

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

N° :.....



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE AGRONOMIQUE

OPTION : sciences de sole

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: OUALI Nadjat

TAIEBI Oum Hani

Intitulé

**Evaluation de la qualité physico-chimique
des eaux d'irrigation de la région MAGRA
(wilaya de M'sila)**

Soutenu devant le jury composé de:

MADANI .Dj

Université M'sila (MAA)

Président

TIR Ch

Université M'sila (MAA)

Encadreur

Tellache S

Université M'sila (MAA)

Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et la foi afin de réaliser ce travail.

*Nous tenons à remercier Mademoiselle **TIR CHAFIA**, notre promoteur, qui nous a proposé ce travail et accepté de nous encadrer. Son avis et ses remarques, ses critiques et ses qualités humaines apportées tout au long de ce travail nous ont été précieuses.*

*Nous exprimons nos respectueux remerciements à Mademoiselle **MADANI .D** pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury.*

*Nous adressons notre profonde reconnaissance à Monsieur **TELLACHE.S** pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner notre travail.*

*Profonds remerciements vont également à Monsieur **AOUINA .H** pour ces aides pratique et scientifique.*

*Nous exprimons nos respectueux remerciements à Madame **HAMIDI .N** responsable du laboratoire de l'ADE , **NAOUI MEHIDI. F** et **HADJAB .A** pour nous avoir accueillis dans son laboratoire, et monsieur **DJEGHEDALI. KH**,*

DJINAOUI. N, ALOUANI. R, HADJ AROUSSI. Y

et spécialement BADOUCHE EL CHAIMA

Nous tenons à remercier vivement nos parents, nos frères et sœurs pour leur amour qui est le meilleur des encouragements.

Enfin, nous réservons un vif remerciement à tous nos amis et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers Parents (Ouali Mohammed et Mimoune Hada) sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien

Quelque soit les remerciements que je leurs adresse c'est peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.

Mes très chères sœurs :fadila, Amira , Habiba.

***Nedjoud et leurs maries spécialement (ouali rabeH)
et ces enfants de grand à petit***

Mon très cher frère : Saad

Ma famille (tantes et oncles, cousins et cousines)

*Une spéciale dédicace à **Mon très cher marie***

Titraoui Mohammed

Nadjat

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers Parents sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien quelque soit les remerciements que je leurs adresse c'est peu, que Dieu les protégée leur donne la santé et une longue vie.

*Mes très chères sœurs : **RABIA, MARIAME et NAIMA.***

*Mes très chers frères : **AMAR, DJAMAL, MAHMODE et ZAKARIA.***

*Femme de Mon frère : **RIMA.***

Mon famille (tantes et oncles, cousins et cousines)

*Une spéciale dédicace à **Mon foncé***

*Mes adorables amies : **ACHEWAK, SIHEM, HOUDA, HANAN, HORIA,***

MARIAM, KHADRA, KHALIDA, RANIA.

OUM HANI



***TABLE DES
MATIERES***

TABLE DES MATIERES

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE 01

PARTIE 01:

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTERISTIQUES)

1-1-Introduction	03
1-2-Les eaux d'irrigation dans le monde	03
1-3- Les méthodes de collecte des eaux d'irrigation	05
1-4-Importance, avantages et inconvénients de l'irrigation	07
1-4-1-Importance de l'irrigation	07
1-4-2-1-Apport sur le plan économique	07
1-4-2-2-La satisfaction	07
1-4-3-Les inconvénients de l'irrigation	08
1-5-La qualité de l'eau d'irrigation	08
1-6-Les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation	08
1-7-Les eaux d'irrigation en Algérie	09
1-7-1-Les ressources en eau en Algérie	10
1-7-1-1-Les potentialités globales en eau en Algérie	10
1-7-2-Situation d'irrigation en Algérie	11
1-7-3-Gestion de l'irrigation en Algérie	11
1-7-3-1-Gestion des grands périmètres irrigués (GPI)	11
1-7-3-2-La petite et Moyenne Hydraulique ou PMH	12
1-7-4-Irrigation dans la région aride et semi-aride	13
1-8-Propriétés des eaux d'irrigation	13
1-9-Paramètres physiques	14
1-9-1-Le débit	14
1-9-2-La température	14
1-9-3-Conductivité électrique (CE)	14
1-9-4-Ph	15
1-9-5-La turbidité	15

1-9-6-La densité	15
1-9-7-Oxygène dissous	15
1-9-8-DBO et DCO et oxydabilité	16
1-9-9-Résidu sec	16
1-9-10-Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)	16
1-10-Paramètres chimiques	17
1-10-1-Le magnésium et le calcium	17
1-10-2-Sodium	17
1-10-3-Le potassium	17
1-10-4-Les chlorures	17
1-10-5-Les sulfates	18
1-10-6-Les nitrates	18
1-10-7-Carbonates et bicarbonates	18
1-10-8-Les matière azotées	19
1-10-9-Matières phosphatées	19
1-10-10-Matières en suspension (MES)	19
1-11-Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation	19
1-11-1-La salinité	19
1-11-2-Toxicité	21
1-11-3- Risques liée à la composition ionique des eaux d'irrigation	21
1-11-3-1-Risque liée au sodium	21
1-11-3-2-Risque liées aux bicarbonates	21
1-11-3-3-Risque liées aux chlorures	21
1-11-3-4-Risque liées au bore	22
1-11-4- Risque de colmatage des réseaux d'irrigation	22
1-12-Classification des eaux d'irrigation	22
1-12-1-Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différent sources	22
1-12-2-Classification des eaux d'irrigation basée sur la conductivité électrique (CE)	24
1-12- 3- Classification des eaux d'irrigation en fonction de l'alcalinité	24
1-12-4-Classification basée sur le SAR	25
1-12-5-Classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du	26

sodium, calcium et du magnésium	
1-12-6-Classification de DURAND dans l’Afrique du Nord	26
1-12-7-Classification des eaux par la méthode de Wilcox	26
1-12-8-Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards	27
1-13-Conclusion	28

PARTIE 02:

MATERIELS ET METHODES D’ETUDES

Chapitre 1: Etude du milieu physique de la zone d’étude

2-1-1- Présentation de la zone d’étude	29
2-1-2-Climat et caractéristiques météorologiques de la zone d’étude	30
2-1-2-1-Originine des donnés climatiques	30
2-1-2-2-Etude climatique de la zone de Magra (sans extrapolation)	30
a-Températures	30
b-Précipitations	30
c- Le vent	31
d- L’humidité relative	32
e-Synthèses climatiques	33
2-1-2-3-Etude climatique de la zone de Dehahna (avec application de la méthode d’extrapolation)	35
a-Température	35
b-Précipitation	35
c-Synthèses climatiques de la région de Dehahna	36
2-1-3- Relief	37
2-1-4- Caractéristique édaphique	37
2-1-5- Hydrogéologies	38
2-1-6-Occupations du sol	38

Chapitre 2: Méthodes d’étude

2-2-1-Introduction	40
2-2-2-Choix de la région d’étude	40
2-2-3-Choix de sites de prélèvement	40
2-2-4-Echantillonnage et conservation des prélèvements	41
2-2-5-Méthodes d’analyse	42
2-2-5-1-Mesures in site	43

a- Détermination de la température et du pH	43
b-Détermination de la conductivité électrique	44
c-Salinité	45
d- TDS	45
2-2-5-2-Mesure au laboratoire	45
a-Alcalinité (TA, TAC)	45
b- La dureté totale (TH)	47
c- Le calcium (Ca ⁺²) et le magnésium (Mg ⁺²)	48
d-Les chlorures (Cl ⁻)	49
e- Les nitrites (NO ₂ ⁻)	50
f-Les nitrates (NO ₃ ⁻)	51
g-les sulfates (SO ₄ ⁻²)	52
h-Résidu Sec(RS)	53
i-Matière en suspension (MES)	54
j- Les carbonates et bicarbonates	54
k- sodium (Na ⁺²) et potassium (K ⁺)	55

PARTIE 03: RESULTATS ET DISCUSSION

3-1- Caractérisation physico-chimique des eaux d'irrigation des forages analysés	56
3-1-1- La température des eaux des forages de Magra	56
3-1-2- Le pH	57
3-1-3-Alcalinité (TA et TA)	58
3-1-4-La dureté totale	58
3-1-5- Les matières en suspension (MES)	59
3-1-6- Les résidus secs	60
3-1-7- La conductivité électrique (CE)	60
3-1-8- SAR (sodium absorption ratio)	61
3-1-9- Les anions	61
3-1-9-1- Les nitrites (NO ₂ ⁻ mg/l)	61
3-1-9-1-2-Les nitrates	62
3-1-9-1-3- Les sulfates	63
3-1-9-1-4- Les chlorures	63
3-1-9-1-5 Les carbonates et les bicarbonates	64
3-1-10-Les cations	65

3-1-10-1-Le calcium	65
3-1-10-2-Le magnésium	66
3-1-10-3- Le sodium	67
3-1-10-4- Le potassium	67
3-2- Classifications des eaux d'irrigation des forages de la zone de MAGRA	68
3-2-1-Classifications des eaux d'irrigation des forages de la zone de MAGRA selon le diagramme de PIPER	68
3-2-2-Classification des eaux d'irrigation de la zone de Magra selon le diagramme de SCHOLLER-BERKOLFFE	71
3-2-3- Classifications des eaux de station par le diagramme de WILKOX	76
3-2-4- Classifications des eaux de station par le diagramme de de Richard (Réverside)	79
CONCLUSION GENERALE	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

***LISTE DES
FIGURES***

Liste des figures

Figure 1: Diagramme de classification des eaux d'irrigation (RICHARDS, 1954)	27
Figure 2: Présentation de la zone de MAGRA sur la carte de la wilaya de M'sila (D.S.A 2019).	29
Figure 3: Variations des températures moyennes, minimales et maximales de la région Magra (1988-2017).	30
Figure 4: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de Magra (1988-2014)	31
Figure 5: Variation des moyennes mensuelles des vitesses de vent (m/s) dans la région de Magra de (2006-2016)	32
Figure 6 : Variation de l'humidité moyenne de la région de Magra de 2006-2016 (SMM, 2019).	33
Figure 7: Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausse de la région de Magra (1988-2017).	33
Figure 8 : Situation bioclimatique de la région de Magra dans la Climatogramme d'Emberger (1988-2017).	34
Figure 9: Variation des températures moyennes, minimales et maximales de Dehahna 1988-2017(après extrapolation des données).	35
Figure10 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de Dehahna 1988-20147(après extrapolation).	35
Figure 11: Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausse de la région de Dehahna 1988-2017(après extrapolation des données).	36
Figure 12: Situation bioclimatique de la région de Dehahna dans le Climatogramme d'Emberger (1988-2017) (après extrapolation des données)	36
Figure 13: Carte géologique de la zone de Hodna(ZEDAM, 2015).	37
Figure 14: Carte pédologique de la zone de Hodna(ZEDAM, 2015).	38
Figure 15: Localisation des stations (Forages) des prélèvements au niveau de la zone de Magra	41
Figure 16: Glacières pour conservation des eaux à analyser	41
Figure 17: Laboratoire de l'ADE	4
Figure 18: pH mètre utilisé dans les analyses de nos eaux d'irrigation	44
Figure 19: Conductimètre	45
Figure 20: Dosage de calcium (Ca^{+2}).	49

Figure 21: Spectrophotomètre (absorption atomique) utilisé pour détermination de nitrite	51
Figure 22: Dosage des sulfates	53
Figure 23 : Etuve	54
Figure 24: Spectrophotomètre (à flamme)	55
Figure 25: Variation de température des eaux des forages analysées de la région de Magra(Avril et Mai 2019).	57
Figure 26: Variation du pH des eaux des forages de la région de Magra (Avril et Mai 2019)	58
Figure 27: Variation de TA et TAC des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	59
Figure 28: Variation du la dureté totale (TH) des eaux des forages de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	60
Figure 29: Variation de matière en suspension des eaux analysée de la région de Magra (avril et Mai 2019).	60
Figure 30: Variation de résidu sec des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	61
Figure 31: Variation de conductivité électrique des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	61
Figure 32: Variation des eaux analysées de SAR de la région de Magra (Avril et Mai2019).	62
Figure 33 : Variation des nitrites des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	63
Figure 34 : Variation de nitrate des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	63
Figure 35 : Variation de sulfate des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	64
Figure 36: Variation des chlorures des eaux analysées de la région de Magra (Avril et Mai 2019)	65
Figure 37: Variation de CO_3^{2-} et HCO_3^- des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019)	66
Figure 38: Variation des eaux analysées de calcium de la région de Magra (Avril et Mai2019).	67

Figure 39: Variation des eaux analysées de magnésium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	67
Figure 40: Variation des eaux analysées de sodium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	68
Figure 41: Variation des eaux analysées de potassium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).	69
Figure 42 : Classification des eaux d'irrigation des forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9) de la région de Magra selon la méthode de piper (Avril et Mai 2019).	70
Figure 43: Classification des eaux d'irrigation des forages (F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19) de la région de Magra selon la méthode de piper (Avril et Mai 2019).	71
Figure 44: Classification des eaux d'irrigation des forages F1, F2, F3, F4, F 5 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai 2019)	72
Figure 45 : Classification des eaux d'irrigation des forages F6, F7, F8, F9, F10 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai 2019)	73
Figure 46: Classification des eaux d'irrigation des forages F11, F12, F13, F14 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai 2019)	74
Figure 47: Classification des eaux d'irrigation des forages F15, F 16, F17, F18 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai 2019)	75
Figure 48: Classification des eaux des forages 1, 2, 3,4, 5, 6, 7,8 selon le diagramme de richard (réverside)	78
Figure 49: Classification des eaux des forages F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18 selon le diagramme de wilcox	79
Figure 50: Classification des eaux des forages F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8 et F9 selon le diagramme de Richard (Réverside)	80
Figure 51: Classification des eaux des forages F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17 et F18 selon le diagramme de Richard (Réverside)	81

***LISTE DES
TABLEAUX***

Liste des tableaux

Tableau 1: Potentialités en superficies totales, agricoles et irriguée dans continents de monde.	04
Tableau 2: Principaux éléments de la répartition des eaux à l'échelle du globale	04
Tableau 3: Superficies irriguées dans le monde	05
Tableau 4: Quelques caractéristiques de pays utilisant des eaux usées pour l'irrigation	05
Tableau 5 : Comptabilité des ponctions en eau pour différentes régions	06
Tableau 6: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation	09
Tableau 7: Evolution en% de l'utilisation de l'eau en Algérie	10
Tableau 8 : Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région	12
Tableau 9: Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation	12
Tableau 10: Concentration des sels dissous dans l'eau	20
Tableau 11 : Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale des sels, selon différent sources	23
Tableau 12: Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation	24
Tableau 13 : Répartition de superficie de commun de Magra	39
Tableau 14 : Conditions de conservation de prélèvement.	42
Tableau 15 : Les valeurs des CO_3^{-2} et HCO_3^- à partir les valeurs TA et TAC	55
Tableau 16 : Solution fils dans solution d'eau distillée.	55
Tableau 17: Les différents facies chimiques des eaux des forages de zone de Magra	69
Tableau 18: Les facies chimique des eaux d'irrigation de Magra (Avril et Mai 2019) selon Scholler-Bercaloff	70
Tableau 19: Résultats de pH mesuré et pH d'équilibre des eaux des forages de Magra selon Scholler-Bercaloff	76
Tableau 20: Les classes des forages de Magra selon le diagramme de Richards (Réverside)	82

***LISTE DES
ABREVIATIONS***

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

AgNO₃ : Nitrate d'Argent.

AFNOR: Agence Française de Normalisation

an : année.

B : Bore.

C : Classe.

Ca⁺²:Calcium.

CE: Conductivité Electrique

Cl: Chlorure.

CO₃ : Carbonate.

DBO : Demande Biochimique en Oxygène.

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DSA : Direction des Service Agricole.

dS/m: Décisiemence par mètre.

EDTA : Ethylène Diamine Tetraacetic Acide.

F : forage.

°F : Degré français.

FAO: Food Agricultural Organisation.

GPI: Grande Périmètres d'Irrigation.

H: Humidité relative.

H (%):Taux d'Humidité.

ha : hectare.

HA: Dureté total.

hab : habitant.

HCO₃ : Bicarbonate.

g/l : gramme par litre.

K⁺:Potassium.

Km : kilo mètre.

m : mètre.

m³ : mètre cube

MDT :Matières dissoutes totales

méq/l: milli équivalent par litre.

MES : Matière en suspension.

Mg+2:Magnésium.

mg/l : milli gramme par litre.

mm : milli mètre.

mmhos/cm: milli mohos par centimètre.

Moy : Moyenne.

ms/cm : milli siemence par centimètre.

Na+:Sodium.

NET : Noir d'ériochrome.

NGL: Azote Global.

NH4: Ammonium.

NO2: Nitrite.

NO3: Nitrate.

Obsc : Obscurité

P:Poid.

P:Précipitation (mm).

pH: Potentiel d'Hydrogène.

PMH : Petite Moyenne Hydraulique.

PNDRA: Plan National de Régulation et de Développement Agricole

PP : poids plein.

PV : poids vide.

Q2:Quotient pluviométrique.

RS: Résidus Secs.

S:surface.

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

SAM : Subdivision Agricole de Magra

SAU : surface agricole utile.

SAR: Taux du sodium en solution.

SiO₂: Silice.

SO₄: Sulfate.

ST: surface total.

T (C°):Température.

T. Max: Température maximale.

INTRODUCTION

GENERALE

La vie, tel que nous la concevons, n'est pas possible sans eau. Dans la nutrition et le développement de tous les êtres vivants, des plantes en particulier et elle est aussi indispensable à toute activité économique, industrielle, agricole ou autre (**OELLIER et POIREE, 1986**)

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Pour pallier à cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation (**JORA n° 30, 1983**)

L'irrigation consiste à apporter l'eau nécessaire au bon développement des cultures afin de garantir un rendement élevé de biomasse. Le recours à l'irrigation a lieu pour compenser le déficit pluviométrique par rapport aux besoins en eau des cultures au niveau de la parcelle. Ce bilan hydrique est fortement influencé par le climat de la région, particulièrement par le microclimat de la culture et par le stockage de l'eau dans le sol (**ZELLA, 2015**)

Mais, il arrive que la qualité de l'eau exigée ne soit pas toujours disponible. Dans le but de sauver voire d'améliorer leurs rendements, les exploitants agricoles se trouvent obligés de recourir à différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures, ils sont contraints d'utiliser des eaux non traitées, pouvant provenir via les Oueds aussi bien des ménages que des industries.

Ces eaux, qui constituent une ressource importante, engendrent cependant des nuisances dans les milieux récepteurs et des risques sanitaires pour les populations qui sont en contact permanent ou consommant les produits agricoles irrigués avec ces eaux.

Pour se prémunir de ces risques, le législateur a, selon le principe de précaution, décrété des normes de qualité pour toute sorte d'eau destinée à des fins d'irrigation (**JORA n° 30, 1983**)

Une utilisation plus efficace de l'eau, en agriculture, pourrait avoir un impact considérable sur la ressource disponible, la connaissance des propriétés de cette eau et l'application de technique d'irrigation efficace pourrait améliorer la distribution de l'eau, augmenter la productivité agricole (**JOSE LUIS, 1992**).

Le présent travail a comme objectif d'évaluer les propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation de la région de Magra (wilaya de M'sila).

INTRODUCTION GENERALE

Afin d'atteindre cet objectif notre travail a été fait dans un cadre méthodologique bien déterminée qui renferme les parties suivantes :

- ✓ La première partie sera consacrée à la synthèse bibliographique.
- ✓ La deuxième partie : contient deux chapitres ; le premier sur l'étude du milieu physique de notre zone d'étude (Magra) et le deuxième consacré aux matériels et méthodes suivis.
- ✓ Troisième partie : présentation des résultats obtenues et leurs interprétations.
- ✓ Et enfin une conclusion générale

PARTIE 01:

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

**(LES EAUX D'IRRIGATION ET
LEURS CARACTERISTIQUES)**

1-1-Introduction

L'eau est la matière la plus importante pour l'existence de l'homme, elle est indispensable pour la survie et pour le développement des sociétés modernes (**KETTAB, 1992**).

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de manque d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (**EL-ASSLOUJ et al, 2007**).

L'irrigation a considérablement développée au cours des 20 siècles, non seulement dans les pays arides et semi-arides, mais aussi dans les régions plus humides d'Europe (**OLLIER et POIREE, 1986**).

1-2-Les eaux d'irrigation dans le monde

On considère que la part des disponibilités en eau devient un facteur critique lorsque 40% ou plus des ressources renouvelables sont utilisées, souvent par l'irrigation. Cette dernière consomme dans le monde 70% de toute l'eau prélevée pour les besoins humains. Le seuil de 40% et celui à partir duquel les pays sont contraints de faire des choix difficiles entre l'approvisionnement en eau de leurs secteurs urbains ou ruraux. Dans le continent Africain, l'agriculture consomme 88% des ressources en eau mobilisées.

Au Moyen Orient et en Afrique du Nord le niveau atteindrait 58% en l'an 2030.

Parmi les 93 pays en développement étudiés par la FAO ; la Libye et l'Arabie Saoudite utilisent déjà annuellement plus d'eau pour l'irrigation que n'en dispose leur potentiel de ressources renouvelables, en puisant sur les réserves fossiles d'eau souterraines.

Les superficies irriguées, à l'échelle mondiale, sont évaluées à 264 millions d'hectares soit 17% des 1,5 milliards d'hectares de superficies cultivées (surface agricole utile-SAU). Les superficies cultivables sont estimées par la FAO à 4,2 milliards d'hectares. Le détail par continent est illustré dans le **tableau 1 (ZELLA et SMADHI, 2007)**

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

Tableau 1: Potentialités en superficies totales, agricoles et irriguée dans continents de monde.

Continent	Superficie Totale (Mha)	SAU (Mha)	% SAU/ST	S. irriguée (Mha)	% S.irrig/SAU	S. drain (Mha)
Amérique	3 798,6	370,5	09,75	40,75	10,99	64,56
Asie	3 001,9	527,3	17,56	183,51	34,80	54,72
Europe	2 172,7	290,9	13,40	23,46	8,06	46,06
Afrique	2 199,4	172,6	07,84	11,93	6,91	3,88
Océanie	801,1	53,9	06,72	02,66	4,93	2,17
Monde	13425,4	1497,4	11,15	271,68	18,14	190
Algérie	238,2	8,2	03,44	0,56	6,83	-

Source: (ZELLA et SMADHI, 2007)

Inévitable dans les régions arides, elle est de plus en plus sollicitée là où les précipitations sont insuffisantes ou mal réparties. Partout où elle a été pratiquée, l'irrigation a assuré une valeur ajoutée et montre son opportunité à la sécurité alimentaire dans plusieurs pays et à cet égard, elle est fortement subventionnée (ZELLA, 2015).

Tableau 2: Principaux éléments de la répartition des eaux à l'échelle du globale

Continents	Précipitation (mm)	Evaporation(mm)	Ruisselement (mm)
Europe	790	507	283
Afrique	740	587	157
Asie	740	416	324
Amérique du Nord	756	418	339
Amérique du Sud	1600	910	685
Australie .Océanie	791	511	280
Antarctique	165	0	165
Moyenne continents	800	485	315

Source: (ZELLA, 2015)

Les superficies irriguées utilisent 1500 km³ d'eau. Les plus vastes sont indiquées dans le tableau 3.

Au pays où les superficies irriguées sont les plus vastes, les techniques d'irrigation sont dominées par l'archaïsme. Ces pays (Chine, Inde et Pakistan) totalisent à eux seuls 58% des terres irriguées dans le monde (ZELLA et SMADHI, 2007).

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

Tableau 3: Superficies irriguées dans le monde

Pays	Irriguées (Mha)	%
Chine	76	28,8
Inde	44	16,2
Europe	31	12
Autres pays	Superficies 30	11,2
USA	25	9,6
Moyen Orient et Afr. Nord	23	8,7
Pakistan	15	5,8
Amérique latine et Caraïbes	14	5,4
Afrique subsaharienne	6	2,3
Total	264	100

Source: (ZELLA et SMADHI, 2007)

On a remarqué que la majorité d'eaux usées est utilisée dans les pays en développement, où se trouvent 75 pour cent des terres irriguées du monde, dont une petite quantité, même si ce n'est pas prévu, est utilisée dans certains pays développés. Dans un nouvel examen qui intègre les données de 46 pays signalent l'utilisation des eaux polluées à des fins d'irrigation (DRECHSEL et al, 2011)

Tableau 4: Quelques caractéristiques de pays utilisant des eaux usées pour l'irrigation

Utilisation des eaux usées pour l'irrigation	Nombre total de pays	PIB par habitant pour 50% des pays (en\$ US)	Couverture de l'assainissement pour 50% des pays (en%)
Non traitées	23	880_4 800	15-65
Traitées et non traitées	20	1 170-7 800	41-100
Traitées	20	4 313-19 800	87-100

Source: (DRECHSEL et al, 2011)

1-3- Les méthodes de collecte des eaux 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 (OLLIER et POIREE, 1983).

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

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.

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, dite 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.

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 (**OLLIER et POIREE, 1983**).

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 XXe 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**).

Tableau 5 : Comptabilité des ponctions en eau pour différentes régions

Région	Agriculture	Industrie	Domestique
Monde	70%	20%	10%
Pays développés	46%	40%	14%
Pays en développement	81%	11%	8%
Amérique du Nord (moins le Mexique)	38%	48%	14%
Mexique, Amérique central et Caraïbes	75%	6%	9%
Amérique du Sud	68%	13%	19%
Europe	33%	52%	15%
Asie (moins le moyen- Orient)	81%	12%	7%
Moyen-Orient et Nord de l'Afrique	86%	6%	8%
Afrique sub-saharienne	88%	3%	9%
Océanie	72%	10%	18%

Source: (ANCTIL, 2008)

1-4-Importance, avantages et inconvénients de l'irrigation

1-4-1-Importance de l'irrigation

L'eau s'est révélée indispensable au développement de la vie humaine, animale et végétale ainsi qu'à tous les écosystèmes. Sa maîtrise a été le moteur de l'évolution des sociétés et des civilisations anciennes et récentes, pour vivre et bénéficier du confort, de la sécurité qu'elle procure ou se prémunir des sinistres qu'elle engendre, l'homme ne cesse de domestiquer l'eau et de la découvrir.

Les disponibilités hydriques naturelles existent en quantité apparemment suffisante mais leur répartition spatiale et temporelle est très hétérogène (**REMINI, 2005 ; ZELLA et al, 2006 ; BEHLOULI et LABIAD, 2008; ABDELHAFIDI, 2005**).

1-4-2- Les avantages de l'irrigation

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde.

En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production (**PLAUCHU, 2003**).

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie (électricité, fuel, etc.) (**PLAUCHU, 2003**).

1-4-2-1-Apport sur le plan économique

Depuis les années 60, la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays en particulier ceux du tiers monde. Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmentée par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement où, dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans (**BOUAROUJ, 2012**).

1-4-2-2-La satisfaction

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes (**CONAC, 1978**).

1-4-3-Les inconvénients de l'irrigation

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs, elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions.

L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salification qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol ; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR). Mal conduite, elle peut être néfaste pour les sols. Lorsqu'ils sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle le long des pentes. En s'évaporant, l'eau stagnante laisse en dépôt les sels qu'elle contient, favorisant une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes et doivent être abandonnés.

1-5-La qualité de l'eau d'irrigation

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 d'autres usages. La qualité de l'eau dépend des facteurs naturels déterminants (sol, sous-sol, etc.) et de l'activité humaine (agricole, industrielle, et domestique) produisant des rejets qui se retrouvent directement ou indirectement dans ces eaux. Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réseaux est indispensable pour les services d'exploitation afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels (AZRI et DJEMIAT, 2015).

D'après (Couture, 2006), Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation ont été dégagés ; il s'agit de :

- La salinité : contenance totale en sels solubles ;
- Le sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres ;
- L'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}) ;
- La concentration en éléments qui peuvent être toxiques ;
- pH : de l'eau d'irrigation.

1-6-Les normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation

Les ressources en eau, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions

PARTIE 01: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTERISTIQUES)

continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies.

Une eau conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. L'exemple du, tableau 6 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (**MAYNARD et HOCHMUTH, 1997**).

Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sus cités.

Tableau 6: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
Salinité - Conductivité (mS/cm) - Matières dissoutes totales	< 0.75 < 700	0.75-3 700-2000	> 3 > 2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9 >	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120	121-200	> 200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

Source: (**MAYNARD et HOCHMUTH, 1997**)

- Les normes ont pour objectif de protéger : le public et les ouvriers agricoles, les consommateurs des produits agricoles, les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ; le matériel d'irrigation, maintenir des rendements acceptables.

1-7-Les eaux d'irrigation en Algérie

Le secteur agricole reste de premier consommateur d'eau en Algérie. Les superficies irriguées sont estimées en l'an 2000, à environ 450 000 ha (378 000 ha en 1989)

Elles consomment environ 1,8 milliard de m³ d'eau. Mais la responsabilité en eau d'irrigation se réduit de plus en plus (**BOUZIANI, 2006**)

PARTIE 01: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTERISTIQUES)

1-7-1-Les ressources en eau en Algérie

1-7-1-1-Les potentialités globales en eau en Algérie

Les potentialités hydriques en Algérie sont actuellement estimées à 16,3 milliards de m³, qui se décomposent comme suit, dans la région Nord, 9,8 milliards de m³ d'eau superficielle et 1,5 milliards de m³ d'eau souterraine, et dans le Sahara septentrional, 5 milliards de m³ d'eau souterraine.

Récemment de nouvelles analyses prévisionnelles des ressources en eau en Algérie ont montré qu'elles peuvent s'élever à environ 19,1 milliard de m³, dont 6,7 milliards sous forme d'eaux souterraines, soit 30%, et 12,4 milliards en eaux de surface (70%).

Les ressources hydriques renouvelables par habitant sont estimées entre 400 et 500 m³/hab/an (BOUZIANI, 2006).

Tableau 7: Evolution en% de l'utilisation de l'eau en Algérie

	1975	1980	1992	1998	2002
Domestique	17	21	25	34,5	39
Irrigation	80	75	70	62	55
Industrie	3	4	5	5,3	6

Source: (BOUZIANI, 2006)

En Algérie, les ressources se répartissent pour 2/3 en eaux de surface et 1/3 en eaux souterraines. Le taux de mobilisation qui n'est que de 41 ,6 % laisse espérer la possibilité de doubler les quantités actuellement mobilisée (DEKHLIL, SD)

La mobilisation de l'eau est réalisable à travers les ouvrages de retenue collinaires et les barrages surtout, mais aussi à travers les nappes souterraines qui peuvent emmagasiner de grandes réserves d'eau (BOUZIANI, 2006).

Comparativement aux autres pays du Maghreb, la mobilisation totale de l'eau en Algérie n'atteint que 31 des eaux de surface et 32%des eaux souterraines.

Actuellement près de 2 milliards de m³ sont mobilisés à partir des barrages fonctionnels dont on dénombre plus de 100 ouvrages à travers le pays.

On dénombre actuellement 21 nouveaux barrages en cours réalisation ou en voie d'achèvement (BOUZIANI, 2006).

1-7-2-Situation d'irrigation en Algérie

L'Algérie est un pays semi-aride, aride (200 à 400 mm) dans lequel les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières et localisées :

- Dans le Sahara, lits d'Oueds recèlent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres : Ghir, M'Zab, Saoura, etc.....

- Dans l'Algérie du Nord, l'apport principal vient du ruissellement, après précipitations, lui-même très concentré : le régime d'un Oued est caractérisé par le fait que durant des mois, voire des années, le lit mal délimité est parcouru par un filet d'eau trompeur et que, tout-à-coup, et pendant un temps bref, il roule jusqu'à 500 m³/s provoquant une crue dévastatrice. C'est que les précipitations sont extrêmement irrégulières, rendant totalement inopérante la notion de moyenne, et mal distribuées géographiquement.

En fin, on note la présence de nappes phréatiques dans les rares plaines littorales et un nombre relativement élevé de points d'eau disséminés à travers le territoire (**RONE, 1985**)

1-7-3-Gestion de l'irrigation en Algérie

Les 320.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 4,6% de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion, il s'agit :

1-7-3-1-Gestion des grands périmètres irrigués (GPI)

Relevant de l'Etat gérés par l'Office National des Irrigations et du Drainage. Ces périmètres sont irrigués à partir de barrages pour la plupart et de forages dans le Nord du pays (tableau8). Dans le Sud l'irrigation des périmètres est assurée à partir de forages profonds dans les grandes nappes souterraines de l'albien. Leur superficie totale équipée actuelle est de l'ordre de 200.000 ha. La surface irrigable représente environ 150.000 ha (nettement inférieure à la surface équipée en raison des pertes occasionnées par la dégradation des sols). La surface effectivement irriguée est de l'ordre de 40.000 ha seulement. Des programmes de remise en état et de rénovation des systèmes de distribution sont en cours pour accroître cette surface. Les cultures pratiquées dans les GPI (en 2008) sont en grande partie l'arboriculture (64,6 % des surfaces irriguées), le maraîchage (28,5 %), des cultures industrielles (6,1 %) et le reste céréales et fourrages. Il y a lieu de remarquer le faible développement des cultures industrielles malgré la vocation des GPI pour ces spéculations, probablement dû à l'absence de valorisation par les filières de transformation. Faiblesse également de la production des cultures fourragères (**BENBLIDIA, 2011**)

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

Tableau 8 : Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région

Régions	Superficies équipées (ha)	Superficies irrigables (ha)	Superficies irriguées (ha)	Proportions équipées %	Irrigables/équipées %	Irrigués/équipées %
Oranie	28.930	13.500	9459,50	15,2	46,7	32,7
Chéouiff	75.438	61.383	11513,54	39,6	81,4	15,3
Algérois	440.88	34.963	3717.11	23,1	79,3	8,4
Constantinois	34.612	30.446	8460,42	18,1	88,0	24,4
Sahara	7660	6939	6772	4,0	90,6	88,4
Total	8239,728	7079,292	39922,57	100	8444,4	169,2

Source: (BENBLIDIA, 2011)

1-7-3-2-La petite et Moyenne Hydraulique ou PMH :

La « Petite et Moyenne Hydraulique », s'est développée avec importante aide de l'état dans le cadre d'un Fonds National de Développement Agricole géré par le ministère de l'agriculture.

D'importantes subventions pour la mise en place d'équipement d'irrigation localisée 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 (BENBLIDIA, 2011).

Tableau 9: Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation

Région	SAU Irriguée (ha)	% Gravitaire	% Aspersion	% Localisé	% Citernage
Nord	221.200	62	22	15	0.9
HautsPlateaux	258.482	64	16	20	0.4
Sud	216.482	70	7	23	0.0
Total	697.164	196	45	58	1,3

Source: (BENBLIDIA, 2011)

Les aides et subventions accordées par l'Etat aux exploitants dans le cadre du PNDAR (Plan de développement agricole 2000-2006) ainsi que la libéralisation de réalisation de forages et de creusement de puits ont permis à la PMH d'occuper une superficie de 720.000 ha en 2008 alors qu'elle n'était que de 350.000 ha en 2000. La PMH grâce à ses cultures principales, maraîchage (32 %) et arboriculture (44 %) contribue efficacement à la satisfaction des besoins en fruits et légumes frais de la population. Il faut noter cependant que ce rapide développement de la PMH s'est accompagné de prélèvements importants et mal contrôlés sur les ressources en eau souterraines et même de surexploitations de quelques grandes nappes (BENBLIDIA, 2011).

1-7-4-Irrigation dans la région aride et semi-aride

Les ressources de l'agriculture des zones arides sont limitées si on les compare aux populations qui y vivent. Dans la plupart de ces régions l'extension de la production agricole s'accompagne de la réalisation de systèmes d'irrigation. Cependant à cause de la rareté de l'eau et de ses caractéristiques chimiques ainsi que des conditions climatiques très évaporèrent, les irrigations doivent être réalisées rationnellement, pour éviter en particulier, la dégradation des sols. C'est ainsi que 200 .000 ha sont pratiquement perdus pour l'agriculture tous les ans dans le monde, par des irrigations mal conduites. D'autre part, les possibilités d'irrigation restent limitées et requièrent des investissements considérables. Moins de 4% de la superficie des zones arides proprement dites dans le monde sont irriguées (HALITIM, 1988)

Une partie des problèmes actuels de gestion de l'eau des pays arides et semi-arides proviennent de l'importation de techniques et de modes de gestion mis au point dans un contexte où l'eau est plus abondante et de l'abandon de techniques millénaires développées localement (ANCTIL, 2008)

L'exploitation durable de l'eau en milieu aride implique l'adoption et la mise en œuvre d'une gestion intégrée de l'eau et du territoire, l'amélioration des système de distribution et d'irrigation, l'adoption de politiques d'allocation d'eau incitant la conservation et l'utilisation raisonnée de la ressource, la valorisation de l'eau comme un bien à grande valeur économique, sociale et environnementale, exploitation durable de toutes les ressources disponibles, incluant le recyclage et l'exploitation de source saumâtres pour certaines usages, la participation des meilleures techniques d'irrigation (dans une perspective d'économie de l'eau), la collaboration des usagers dans la planification et la gestion de l'eau à l'échelle locale et l'éducation des gestionnaires, opérateurs et utilisateurs (ANCTIL, 2008)

1-8-Propriétés des eaux d'irrigation

L'utilisation de types variés pour l'irrigation, aussi bien que la nécessité de prédire les problèmes qui peuvent se développer quand différentes eaux d'irrigation sont utilisées, ont créé le besoin pour un système de classification de la qualité de l'eau d'irrigation qui est complètement différent des systèmes utilisés pour l'industrie, la vie aquatique et plusieurs facteurs entrent en jeu lors du choix de la qualité des eaux utilisées en agriculture. A savoir, l'interaction entre les propriétés physico-chimiques du sol et l'eau d'irrigation, sont des paramètres très importants dans l'évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation. La toxicité, la tolérance des cultures à la salinité et la concentration en éléments qui peuvent être toxiques (MOHAND, 2001; ABDELLAOUI et BEN CHENIT, 2012).

PARTIE 01: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTERISTIQUES)

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.

Les qualités physiques et chimiques de l'eau sont à considérer en irrigation, toutes les eaux n'étant pas favorables aux plantes (**OLLIER et POIREE, 1981; TIR, 2001**).

1-9-Paramètres physiques

1-9-1-Le débit

Le principal intérêt de la mesure du débit est le fait qu'il permet de quantifier la pollution rejetée par l'intermédiaire de l'équivalent habitant qui exprime le volume d'eau usée moyen déversé par habitant et par jour (**LADJEL, 2006**).

1-9-2-La température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (**RODIER et al. 1996**).

Les eaux souterraines, dont la température au cours des saisons est d'environ 12 à 15°C, sont évidemment moins sensibles aux variations de température que les eaux superficielles dont la température sentent l'avantage d'arriver dans le réseau de distribution à une température plus basse mais elles peuvent s'échauffer par la suite dans le réseau (**RODIER et al, 2009**).

1-9-3-Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique fournit une indication de la concentration ionique et permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc nous informe de sa minéralisation. Elle dépend de la température, de la concentration et types d'ions présent (**HCEFLCD, 2006 et HEM, 1985 in EL OUMLOUKI et al, 2014**).

1-9-4-pH

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieure à 7 une eau dite acide et à un pH supérieur à 7, elle est dite basique. C'est cependant l'un des paramètres parmi les plus importants de la qualité de l'eau (**RODIER et al, 2009**).

Le caractère acide d'une eau dépend de sa concentration en ions H⁺.

L'échelle pH a été inventée pour simplifier la description du caractère acide :

$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$ (**ANCTIL, 2008**; **MICHEL et al, 2011**).

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Pour l'eau d'irrigation il devrait se situer entre 5,5 et 6,5 (**COUTURE, 2006**).

1-9-5-La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argile, limons, grains de silice, matières organiques, etc (**RODIER et al, 2009**).

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale (**REJSEK, 2005**).

1-9-6-La densité

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

1-9-7-Oxygène dissous

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique en oxydant des composés minéraux (Fe²⁺, NH₄⁺, NO₂⁻....) ou organiques, soit par phénomènes biochimiques (consommation de oxygène par les microorganismes pour assurer la dégradation des constituants de l'eau), soit encore par des réactions électrochimiques (**RODIER et al, 2009**).

1-9-8-DBO et DCO et oxydabilité

Selon (XANTHOULIS, 1993), la dégradation des composés glucidiques, lipidiques et protidiques des matières organiques se traduit, dans un premier temps, par une composition des chaînes carbonées. Celle-ci commence immédiatement et dure environ 20 jours à la température de 20°C ; par contre le début de la transformation des matières azotées n'apparaît qu'après une dizaine de jours et demande beaucoup plus de temps. Dans ces conditions, il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO₅ en milligramme d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20°C afin de prendre en compte que l'oxydation carbonée.

Le paramètre DBO₅ est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques biodégradables.

On distingue 4 niveaux d'expression de la qualité en fonction du DBO₅ :

Très bonne (DBO₅<3), bonne (3<DBO₅), Moyenne (5<DBO₅<8), Mauvaise, très mauvais (DBO₅>8).

La DCO correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques oxydables. Elle s'exprime par la quantité d'oxygène fournie par le dichromate de potassium et nécessaire à l'oxydation des eaux (RODIER *et al*, 2009)

1-9-9-Résidu sec

Le résidu sec correspond à la teneur de matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sec permet de savoir le degré de salinité des eaux (RODIER *et al*, 2009).

1-9-10-Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium (RODIER *et al*, 2009)
La dureté de l'eau reflète la teneur en ions métalliques, notamment le calcium et le magnésium, mais également certains autres métaux comme le fer et l'aluminium. La dureté influence surtout les usages domestiques et industriels de l'eau (ANCTIL, 2008)

1-10-Paramètres chimiques

1-10-1-Le magnésium et le calcium

Le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} sont présents dans les roches cristallines et roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentantes dans la plupart des eaux (GUILLEMIN et ROUX, 1992).

1-10-2-Sodium

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

Du point de vue agricole, le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino terreuses jouant un rôle dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

D'après RODIER et al, 2009, on utilise assez souvent un coefficient correspondant au pourcentage de sodium ; celui-ci est donné par la formule suivante :

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

Le chiffre de 60% est considéré comme limite maximale pour les usages agricoles (RODIER et al, 2009)

1-10-3-Le potassium

Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium) les évaporites sylvinite KCl .

Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 mg/L (RODIER et al, 2009)

Certains rejets industriels, en particulier de mines de potasse et d'usines d'engrais, peuvent entraîner dans l'eau de la quantité de potassiums relativement importants (RODIER et al, 2009)

1-10-4-Les chlorures

Proviennent essentiellement de la dissolution des sels naturels provoqués par le lessivage des terrains salés, et aussi de l'évaporation intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface. Ainsi que, l'invasion des eaux salées marine dans les aquifères côtiers affluant à la mer.

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

D'autre part, les chlorures (Cl⁻) proviennent de la dissolution des engrais et des pesticides utilisés en agriculture ainsi que les rejets des eaux usées (urbaines et industriels) (BAZA, 2006).

Pour l'usage agricole, les teneurs en chlorures peuvent limiter certaines cultures. Le chlore n'est présent dans le sol que dans sa solution, sous forme de Cl⁻. Il est absorbé par les racines et s'accumule dans les feuilles. Il provoque des brûlures débutant à la pointe des feuilles âgées et progressant vers l'arrière en suivant les bords du limbe (RODIER *et al*, 2009)

1-10-5-Les sulfates

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

1-10-6-Les nitrates

Les nitrates ont 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. En milieu naturel, sa concentration surpasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants en agriculture (CHAPMAN et KIMSTACH, 1996). Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique (RODIER *et al*, 2009)

1-10-7-Carbonates et bicarbonates

Les carbonates totaux dissous dans les eaux sont liés par des équilibres acide-base à l'acide carbonique :



Aux pH des eaux naturelles (entre 7 et 8), les carbonates sont sous formes HCO₃²⁻ (ion bicarbonate ou hydrogénocarbonate) principalement avec des traces d'acide carbonique (ou de dioxyde carbone) et d'ion carbonate (notamment quand le pH est supérieure à 8,3-8,4) (RODIER *et al*, 2009 ; BAZA, 2006).

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

1-10-8-Les matières azotées

Selon (DERONZIER *et al*, 2001; RODIER *et al*, 2009), l'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minérale.

L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se retrouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacal, nitrates, nitrites), il constitue dans les conditions naturelles la majeure partie de l'azote totale ou azote globale (NGL).

$$NGL = N_{total} = N_{organique} + N_{minéral} = N_{organique} + N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$$

1-10-9-Matières phosphatées

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol ; leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0,5mg/L doivent constituer un indice de pollution.

Dans les zones phosphatières, la plupart des eaux contiennent des quantités quelquefois importantes de phosphates, souvent associés à des fluorures (RODIER *et al*, 2009).

1-10-10-Matières en suspension (MES)

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdales, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau (RODIER *et al*, 2009).

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sable, boues, particules organiques, plancton, etc.); elle est fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux des rejets, etc.

D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'absorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les microorganismes (RODIER *et al*, 2009; GOMELLE et GUERREE, 1978)

1-11-Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation

1-11-1-La salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{+2}), de magnésium (Mg^{+2}), de sodium (Na^+), 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

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires (COUTURE, 2006)

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en milli siemens/centimètre (mS/cm) (COUTURE, 2006)

La qualité de l'eau pose un problème de salinité lorsque la quantité totale de sels contenu dans l'eau d'irrigation est suffisamment forte pour que l'accumulation de ces sels dans la zone racinaire en vie ne compromette les rendements (AYERS et WESTOT, 1976).

Les sels contenus dans l'eau d'irrigation est assez grande pour influencer sur les rendements ou si ces sels s'accumulent dans la zone racinaire des plantes ou point d'influer sur les rendements (FAO, 1990)

Le sel est alors dissous et ses ions sont enrobés par des molécules d'eau, l'orientation de celles-ci dépendant de la charge électrique de l'ion (ANCTIL, 2008)

Tableau 10: Concentration des sels dissous dans l'eau

Ions	Symbols	Eau de mer mg/1000g	Eau de rivière mg/1000g	Eau de pluie continentale mg/1000g	Eau de pluie océanique mg/1000g
Sodium	Na ⁺	10 770	5,2	0,2-1	1-5
Magnésium	Mg ⁺⁺	10 290	3,4	0,05-0,5	0,4-1,5
Calcium	Ca ⁺⁺	410	13,4	0,1-3	0,2-1,5
Potassium	K ⁺	400	1,3	0,1-0,3	0,2- 0,6
Chlorure	Cl ⁻	19 350	5,8	0,2-2	1-10
Sulfate	SO ₄ ⁻	2 710	5,3	1-3	1-3
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	120	52,0	trace	trace
Silice	SiO ₂	Trace	10,4	Trace	Trace

Source: (ANCTIL, 2008)

1-11-2-Toxicité

Un problème de toxicité apparaît quand l'absorption de certains sels à l'intérieur de la plante entraîne une baisse du rendement. Ce problème est généralement lié à la présence d'un ou plusieurs ions spécifiques de certains sels.

Les composantes toxiques qui posent le plus souvent un problème sont le sodium, les chlorures et le bore (**FAO, 1990**).

Il se pose problème de toxicité quand certains constituants de l'eau sont absorbés par la culture et s'accumulent en quantités susceptibles d'entraîner une diminution des rendements. Il est généralement lié à un ou plusieurs ions contenus dans l'eau à savoir le bore, le chlore et le sodium (**AYERS, et WESTCOT, 1976**).

1-11-3- Risques liée à la composition ionique des eaux d'irrigation

1-11-3-1-Risque liée au sodium

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsqu'irrigués avec une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques-unes.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles (**COUTURE, 2006**).

1-11-3-2-Risque liées aux bicarbonates

L'abondance des ions bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau d'irrigation mérite aussi d'être évaluée. Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de bicarbonates, on constate une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium ce qui fait augmenter le SAR (**NANCY, 1997**).

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**).

1-11-3-3-Risque liées aux chlorures

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations excessives de chlorures peuvent causer des brûlures sur le bout des feuilles de certaines cultures et voire même entraîner 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 sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien (NANCY, 1997).

1-11-3-4-Risque liées au bore

Le bore (B) est un élément mineur essentiel à la croissance de la plante mais il n'est requis qu'en minime quantité. Le bore est soluble dans l'eau et on le retrouve dans plusieurs sources d'eau utilisées pour l'irrigation. Le bore a tendance à s'accumuler dans le sol en formant des complexes chimiques qui sont difficiles à lessiver (NANCY, 1997).

1-11-4- Risque de colmatage des réseaux d'irrigation

Le colmatage résulte de l'accumulation de matière à la surface des membranes et un large spectre d'espèces présentes dans les eaux naturelles peut contribuer au colmatage, comme des macromolécules organiques (substances humiques, polysaccharides, protéines...), diverses substances organiques ou inorganiques dissoutes, des substances colloïdales, des particules en suspension ou encore des microorganismes (RODIER *et al*, 2009)

1-12-Classification des eaux d'irrigation

1-12-1-Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différentes sources

Les schémas de classification de l'eau d'irrigation qui ont essayé de définir le danger de salinité pour une eau donnée sont tous basés sur de larges généralisations concernant la croissance des cultures, le climat, l'aménagement de l'irrigation, les propriétés du sol, etc (ANONYME, 1978).

Des exemples typiques de classifications suggérées par différents auteurs sont présentés dans le

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

Tableau 11 : Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale des sels, selon différentes 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	/
Thorn 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
Carter (1969) CE (DS/m)	<0.4	0.4 à 0.75	1.2 à 2.25	3.0 à 4.0	/
Ayer et Westcot (1976) CE (dS/m)	<0.75	0.75 à 1.2	1.5 à 2.25	1.5 à 2.25	/

Sources: (ANONYME, 1978)

***C1** : satisfaisante pour toutes les cultures excepté 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 (ANONYME, 1978).

Ces types de classification sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée. La tolérance des plantes aux sels est un exemple pour lequel une classification rigide ne peut pas être correcte. Ainsi l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation doit être faite en relation avec trois aspects ; la tolérance de la culture à la salinité, combien de lessivages seront réalisés et quel est le niveau de salinité qui sera obtenu quand un certain type d'eau d'irrigation est utilisé (ANONYME, 1978)

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

1-12-2-Classification des eaux d'irrigation basée sur la conductivité électrique (CE)

Selon **RODIER et al, (2009)**, la salinité peut être mesurée par conductivité avec une grande précision;

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

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

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

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

5000 < CE 25° C < 20 000 µmhos/cm eaux À salinité excessive. La limite des 20 000 µmhos/cm a été retenue en tenant compte de la du palmier dattier et de la concentration que subit l'eau d'irrigation dans le sable en climat aride.

Les eaux dont la CE (à 25°C) dépasse 20 000 µmhos/cm sont inutilisables 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**).

Tableau 12: Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation Américaine	Evaluation Russe	Evaluation de DURAND pour l'Algérie
CE < 0.25	< 0.2	Faiblement salé	Faible qualité	Non saline
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée	Risque de salinisation	Salinité moyenne
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Ne peut être utilisée sans lessivage	Forte salinité
2.25<CE<5	1.5-3	T. fortement salée		Très forte salinité
5<CE<20	3-7	Salinité excessive		Salinité excessive

Source: (**Durand, 1984**)

1-12- 3- Classification des eaux d'irrigation en fonction de l'alcalinité

D'après **RODIER et al, (2009)**, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

PARTIE 01: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTÉRISTIQUES)

On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

$$\text{Alcalinité totale} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{H}_2\text{BO}_3^-] + [\text{OH}^-] + [\text{H}^+]$$

L'alcalinité est la mesure de la quantité d'ions présents dans l'eau qui peuvent neutraliser l'ajout d'ions H^+ . Ces ions peuvent être perçus comme un tampon assurant le maintien d'un pH constant malgré l'apport d'ions H^+ . Les bicarbonates (HCO_3^-) sont particulièrement efficaces à cette fin. Le degré d'alcalinité de l'eau variera donc en fonction du type de roches qui forment le sous-sol du bassin versant, puisque celle-ci dictent la disponibilité en bicarbonates (ANCTIL, 2008)

1-12-4-Classification basée sur le SAR

Voici la façon dont on calcule le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq /L):

$$\text{SAR} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}$$

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

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

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

Classe 3: SAR compris entre 18 et 26 pour les eaux peu salées entre 7 et 11 pour les eaux très salées.

Eaux fortement alcalisâtes pouvant amener jusqu'à 27% de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

Classe 4: SAR supérieur à 26 pour les eaux peu salées, à 11 pour les eaux très salées.

Eaux très fortement alcalisâtes pouvant amener jusqu'à 27% de sodium sur le complexe adsorbant des sols (MONITION, 1969).

1-12-5-Classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, calcium et du magnésium

Lorsque l'eau d'irrigation possède un rapport sodium/calcium élevée, un échange d'ions adsorbés sur les particules argileuses peut avoir lieu : $\text{Ca-argile} + 2 \text{Na}^+ \text{Na-argile} + \text{Ca}^{2+}$.

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) **(RIEU, 1981)**.

A l'aide du SAR, on divise les eaux d'irrigation en quatre classes, est La classification 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 BENARFA, 2005)**

1-12-6-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 la conductivité électrique de l'eau d'irrigation exprimée en $\mu\text{mhos/cm}$ pour trois groupe de la végétation et cinq groupes de sol, en supposant que les conditions d'irrigation et de drainage est bonne.

Cette description montre que cette classification se fond 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 Salinité laboratoire des Etats-Unis **(BERKANI et BENARFA, 2005)**.

1-12-7-Classification des eaux par la méthode de Wilcox

La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation. Le Na% est défini par la relation :

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

Où tous les éléments sont exprimés en méq / L **(AGGOUNI et al, 2012)**

PARTIE 01: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE (LES EAUX D'IRRIGATION ET LEURS CARACTERISTIQUES)

1-12-8-Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards

D'après **RICHARDS (1954)**, le risque de salinisation des sols peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols par le SAR.

En tenant compte de ces deux paramètres : CE (25°C) et du SAR.

Richards a proposé un diagramme de classification comportant 16 classes correspondant au couple risques salins-risques alcalins.

Cette classification a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sinisation.

En tenant compte de cette classification et après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de Richards, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des deux classes suivantes :

C3.S1 : eau de qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.

C4.S1 : eau de qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds.

Utilisables avec beaucoup de précaution dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse

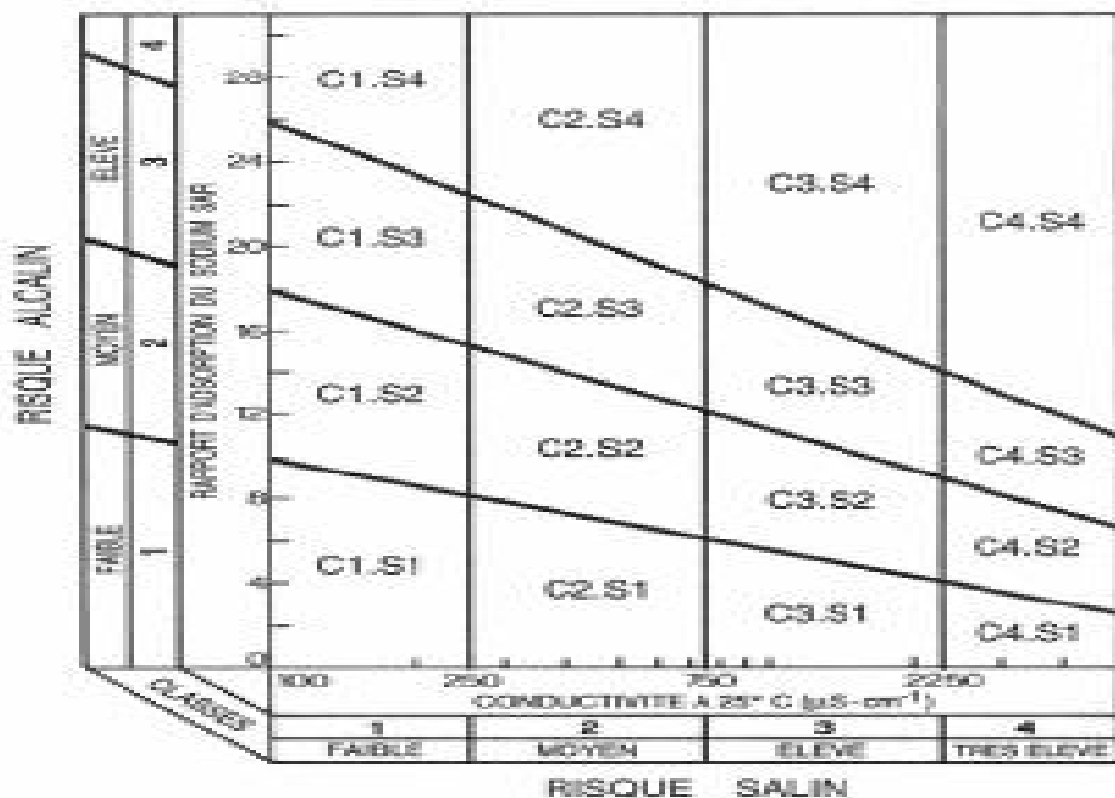


Figure 1: Diagramme de classification des eaux d'irrigation (RICHARDS, 1954)

1-13-Conclusion

L'irrigation est pour l'agriculture un facteur de production dont les coûts monétaires doivent être compensés par un accroissement de la valeur de la production et se traduire pour l'exploitation par une augmentation de la marge nette les eaux utilisées pour l'irrigation font l'objet d'une réglementation qui fixe des interdictions et des autorisations conditionnelles, et impose certains équipements.

L'utilisation de l'eau de pluie récupérée et des eaux usées traitées est autorisée sous certaines conditions. Ces ressources permettent de réduire l'utilisation de l'eau potable issue de traitements coûteux. La normalisation détermine les matériaux à utiliser, les caractéristiques des différents composants, leur mise en œuvre et des règles de calcul (**AFNOR, 1994**).

PARTIE 02:

MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

Chapitre 1 : Etude du milieu physique de la zone d'étude

2-1-1- Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude (la commune de MAGRA) est une Division administrative de la wilaya de M'sila, elle se trouve dans le Nord-Est du bassin d'El Hodna.

Limitée au Nord par la wilaya de Bordj Bou Arreridj, au Nord-Est par la wilaya de Sétif, à l'Est et Sud-Est par la wilaya de Batna et à l'Ouest et Sud-Ouest par la commune d'Ouled Derradj, elle présente une altitude moyenne de 442.5 m.

La figure 2 montre le positionnement de la zone d'étude par rapport aux autres commune de la wilaya de M'Sila.

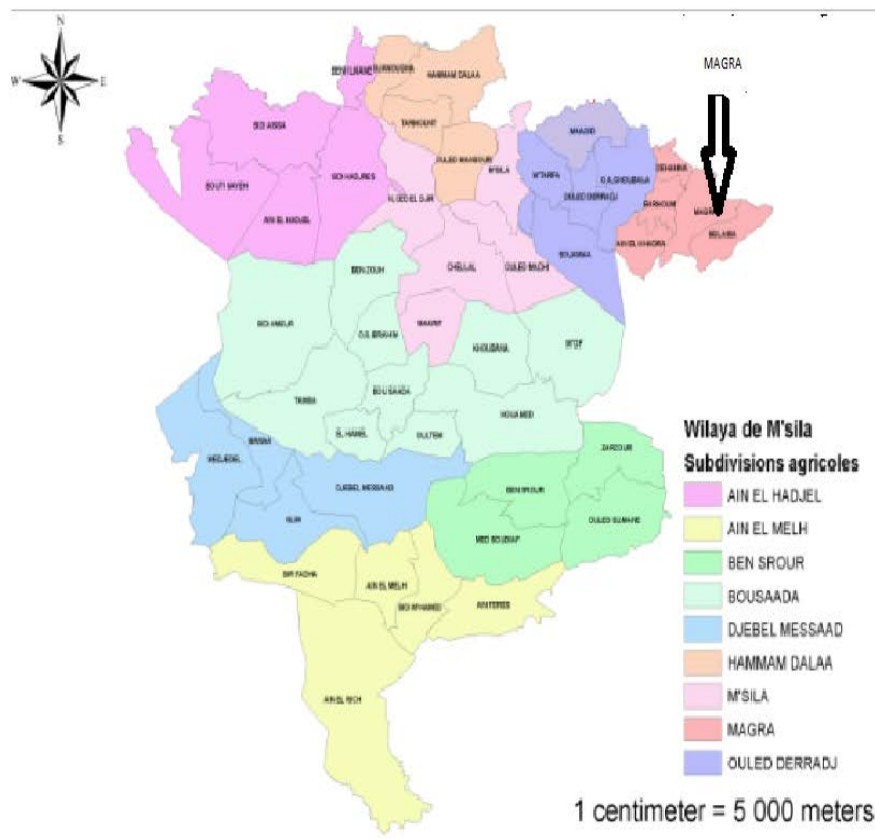


Figure 2: Présentation de la zone de MAGRA sur la carte de la wilaya de M'sila (D.S.A 2019).

2-1-2-Climat et caractéristiques météorologiques de la zone d'étude :

2-1-2-1-Origine des données climatiques

Afin d'étudier les caractéristiques climatiques de notre zone d'étude et en tenant compte de l'absence d'une station météorologique, nous avons utilisé la station de M'sila comme référence.

Suit à la différence d'altitude entre M'Sila et Dehahna on s'est trouver obliger d'opérer la méthode d'extrapolation pour cette zone (voir annexes 3).

2-1-2-2-Etude climatique de la zone de Magra (sans extrapolation)

a-Températures :

La température est un facteur climatique très important et comparativement aux autres facteurs qui sont secondaires, c'est lui qu'il faut examiner en premier lieu pour son influence écologique sur les êtres vivant (**RAMADE, 2003**).

Les résultats mentionnés à la figure 3 et au tableau 1 de l'annexe 2, montrent que le mois le plus froid est celui de Janvier avec -1.4°C , et le plus chaud est Juillet avec 43.14°C .

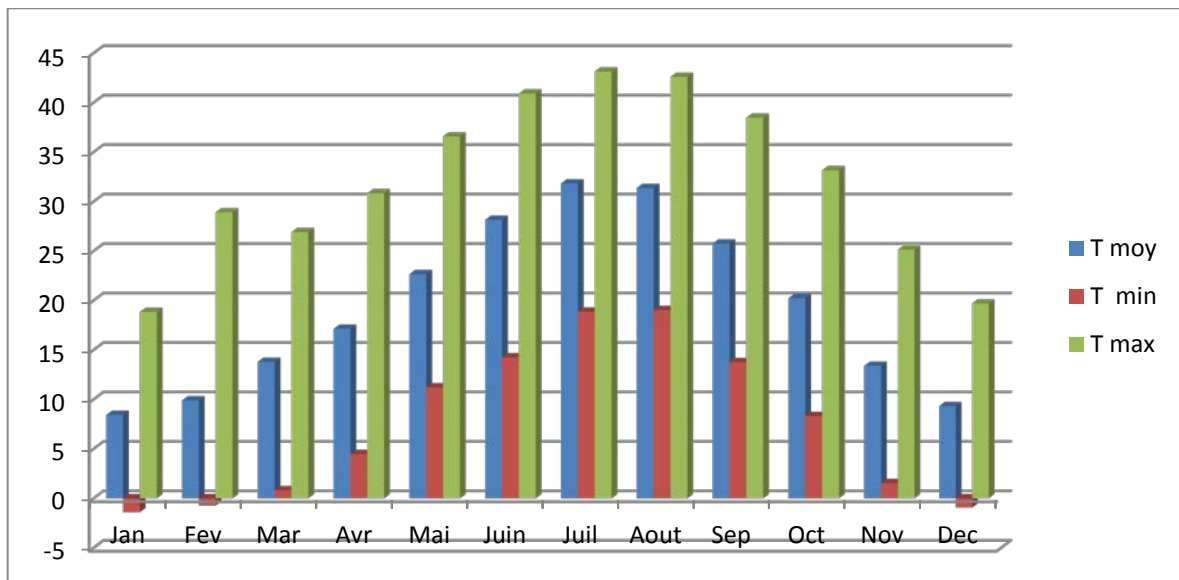


Figure 3: Variations des températures moyennes annuelles, minimales et maximales de la région M'Sila (1988-2016).

b-Précipitations

C'est un facteur écologique fondamental pour les écosystèmes terrestres car elle conditionne avec la température leur structure et leur productivité primaire.

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

Les pluies qui tombent en Algérie sont d'origine et torrentielle. Elles varient selon l'altitude (RAMADE, 2003).

Le tableau 2 de l'annexe 2 et la figure 4, montrent que les précipitations sont irrégulières, les quantités des pluies mensuelles varient d'un mois à l'autre ; le mois le plus pluvieux est Septembre avec 25.3mm, alors que le moins pluvieux est celui de Juillet avec 6.16 mm.

D'après le tableau 2 de l'annexe 2, la précipitation totale de (1988-2016) est de 216.25mm.

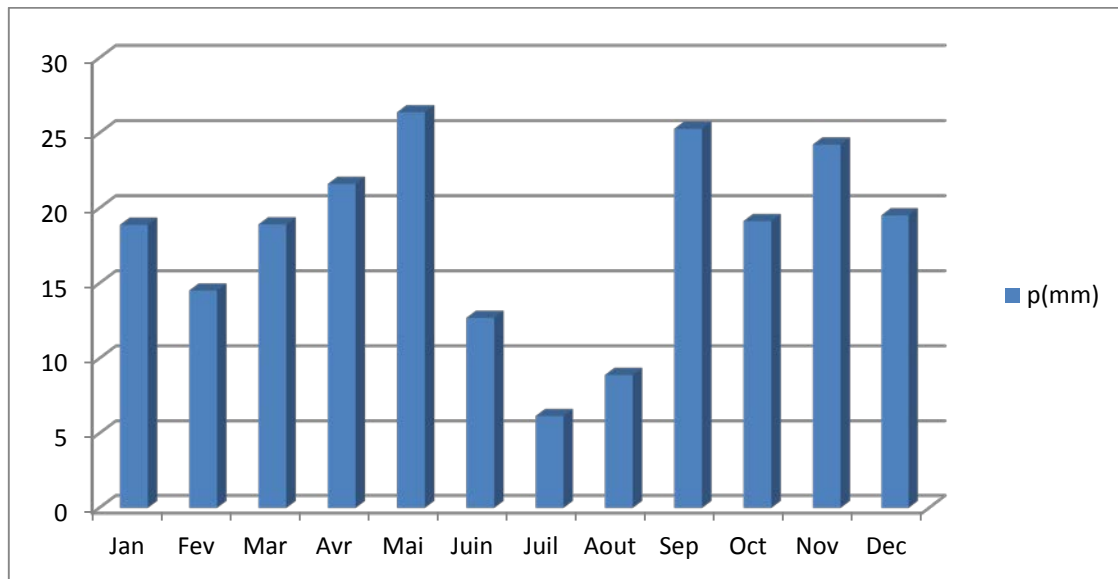


Figure 4: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de M'Sila (1988-2016) (SMM, 2019)

c- Le vent

Le vent est le mouvement de l'air entre deux différentes pressions atmosphériques de la haute pression, vers la basse pression, il est influencé par la température (RAMADE, 2003).

Le vent joue un rôle important dans le système climatique. Les vents dominants qui soufflent dans la région de Magra sont :

- ❖ Le vent d'Ouest (W) : dit « dahraoui » qui est le plus pluvieux il est fréquent en Automne, Hiver et Printemps.
- ❖ Le vent du Nord (N) : dit « bahri » qui est moins fréquent, il est froid et sec.
- ❖ Les vents à direction variables (var) : qui soufflent surtout pendant les saisons sèches.
- ❖ Le siroco : vent chaud et sec, souffle en générale du sud, il entrave le développement des cultures. Il constitue la cause du faible tapis végétal dans la wilaya de M'sila par ce que les vents chauds et secs accentuent le dessèchement du substrat et limite l'installation de la végétation ((DEKKICHE, 1974; LAKROUNE, 1999) in BACHIRI et ZIAZIA, 2016).

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

D'après le tableau 3 de l'annexe 2 et le figure 5, les vitesses du vent sont relativement faibles de 4m/s à 5m/s durant tous les mois.

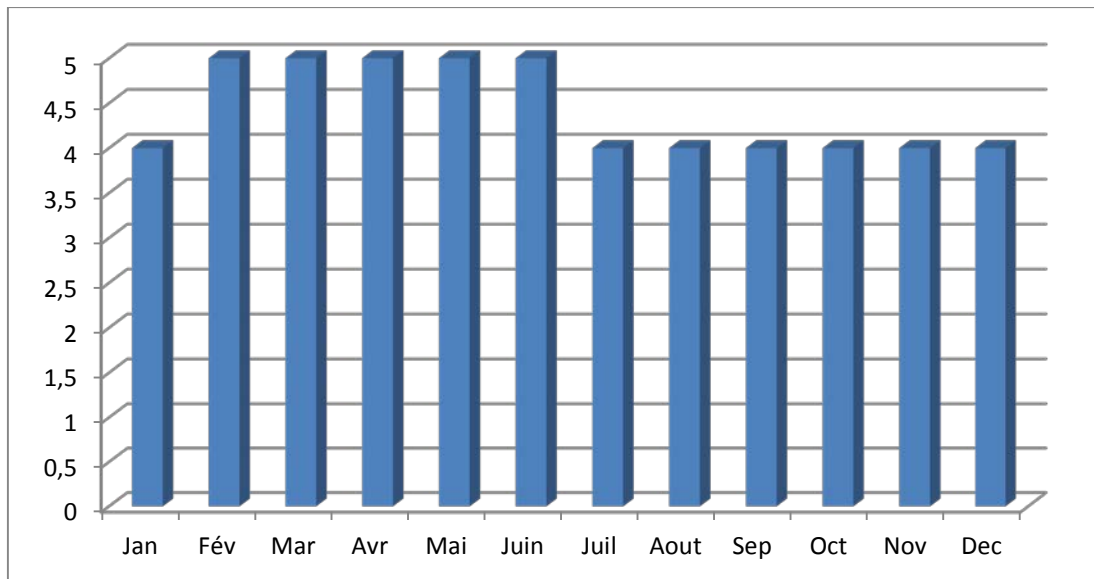


Figure 5: Variation des moyennes mensuelles des vitesses de vent (m/s) dans la région de M'Sila de (2006-2016) (SMM, 2019)

d- L'humidité relative

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, sous forme de vapeur, ou bien; nombre de gramme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. Elle est mesurée par l'hygromètre (RAMADE, 2003).

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

D'après le tableau 4 de l'annexe 2 et la figure 6, l'humidité se varie et le mois le plus humide est celui de Décembre avec 75.82%, tandis que le moins humide est Juillet avec 31.45%

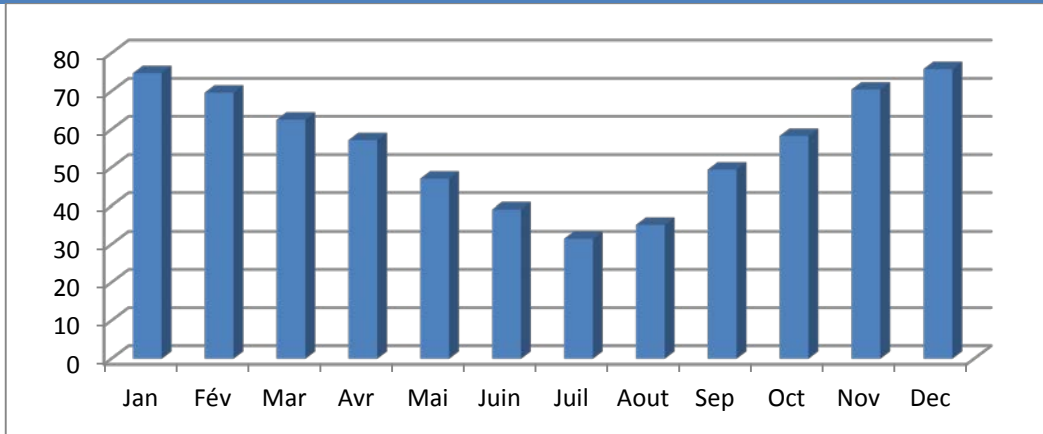


Figure 6 : Variation de l’humidité moyenne de la région de Magra de 2006-2016 (SMM, 2019).

e-Synthèses climatiques

La saison sèche joue un rôle capital dans la distribution de la végétation, notamment pour sa durée et son intensité (LAFFONT, 2015).

Pour déterminer la période sèche de la région de Magra on a utilisé le diagramme Ombrothermique et pour préciser l’étage climatique on a utilisé le Climatogramme d’Emberger.

✓ **Diagrammes Ombrothermique de la zone d’étude :**

Une période de l’année est considérée comme sèche lorsque la pluviométrie, exprimée en mm est inférieur au double de la température, exprimée en degrés Celsius (DAJOZ, 2003).

Le rôle du diagramme Ombrothermique est de déterminer la période sèche et humide.

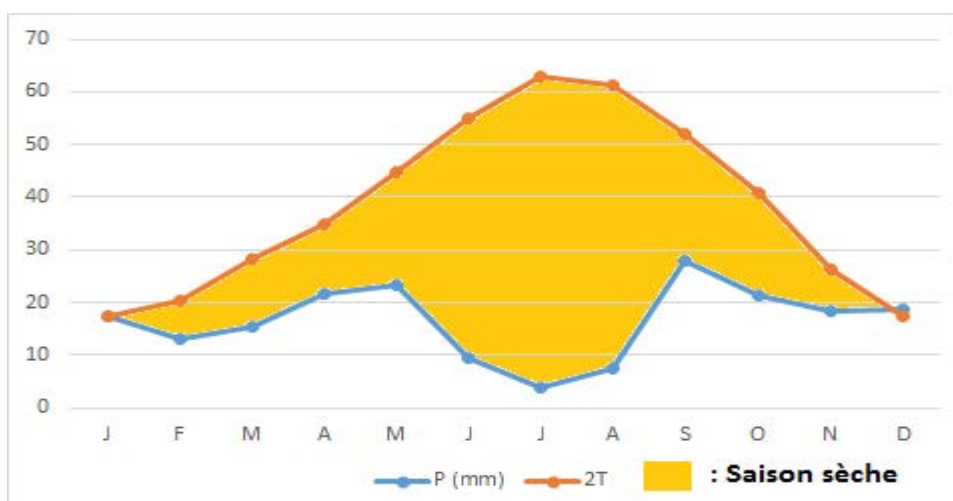


Figure 7: Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausse de la région de M’Sila (1988-2016).

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

D'après le diagramme précédent on remarque la présence d'une période sèche toute l'année.

✓ Quotients pluviométriques d'Emberger

Le diagramme d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude et de donner une signification écologique du climat tel que (humide, subhumide, aride, semi-aride et saharien).

D'après la formule de STEWART, on a : $Q_2=2000P/M^2-m^2$.

Avec : Q : Le quotient pluviométrique d'Emberger, P : Précipitation annuelle moyenne de station, M : Température maximale, le mois le plus chaud par degré kelvin, m : Température minimale, le mois le plus froid par degré kelvin, $T^{\circ}k = T^{\circ}c+273.15$, $P = 216.25mm$, $M = 43.14^{\circ}c+273.15=316.29^{\circ}k$, $m = (-1.4) + 273.15=271.75^{\circ}k$;

$$Q_2=2000 \times (216.25) / (316.29)^2 - (271.75)^2$$

$$Q_2=16.51$$

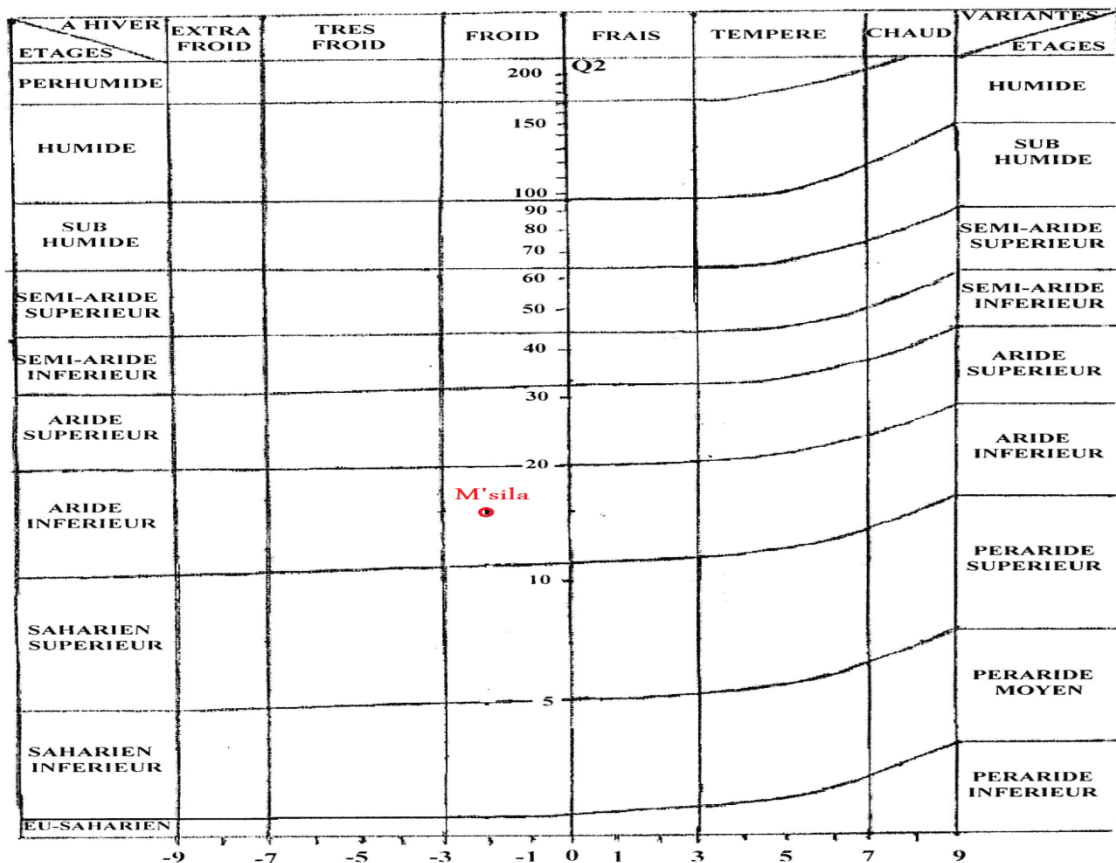


Figure 8 : Situation bioclimatique de la région de M'Sila dans la Climatogramme d'Emberger (1988-2016).

La région de Magra fait partie de l'étage bioclimatique aride à hiver froid (figure 8).

2-1-2-3-Etude climatique de la zone de Dehahna (avec application de la méthode d'extrapolation)

a-Température :

Après l'extrapolation, les données au tableau 5 de l'annexe 2 et la figure 9, montrent que le mois le plus chaud est Juillet avec 41.04°C, et le mois le plus froid est de janvier avec -2.6°C.

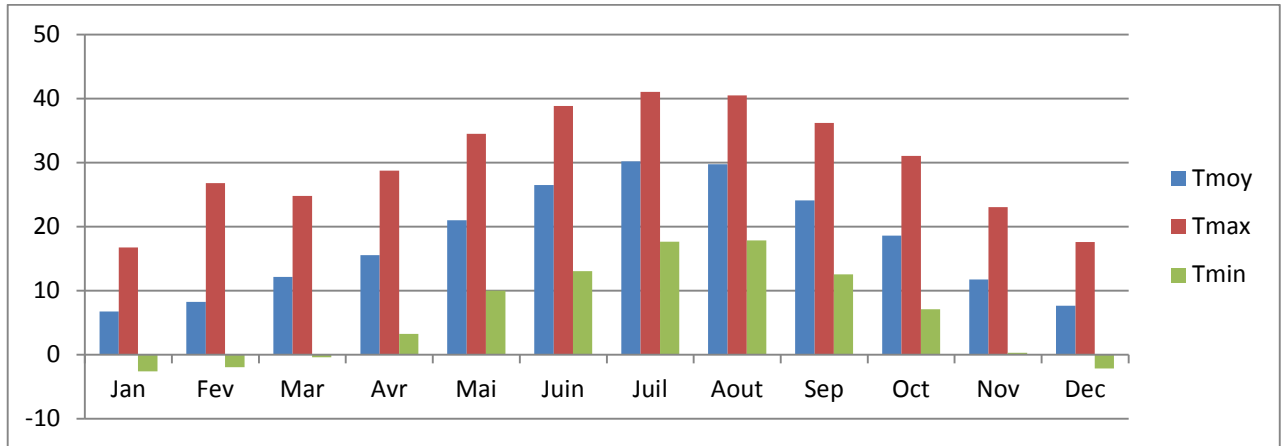


Figure 9: Variation des températures moyennes, minimales et maximales de Dehahna 1988-2016(après extrapolation des données).

b-Précipitation

Le tableau 6 de l'annexe 2 et la figure 10, indiquent l'irrégularité des pluies au niveau de la zone de Dehahna. Le mois de Mai est le plus pluvieux avec 46.38 mm, et le mois de Juillet est moins le pluvieux avec 26.16mm.

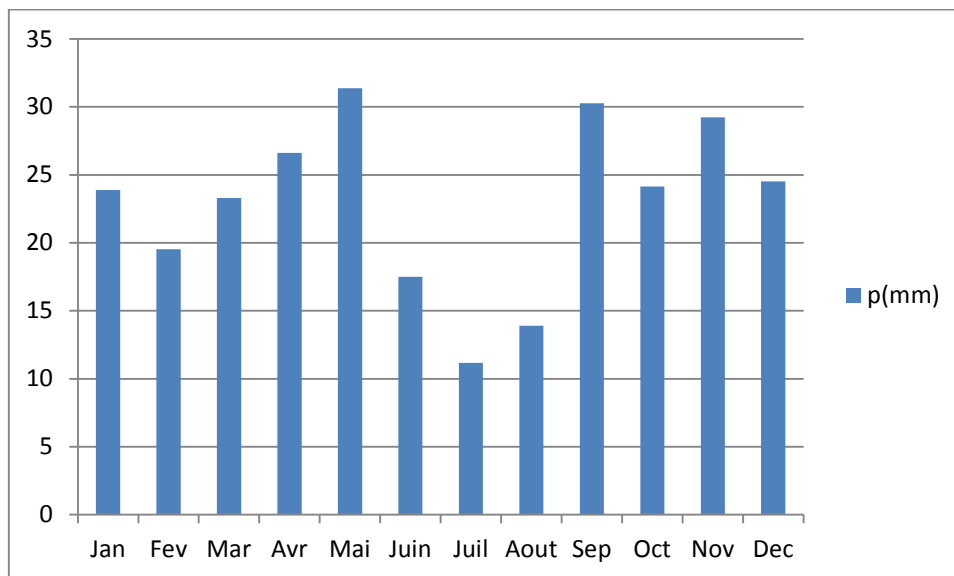


Figure10 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de Dehahna 1988-2016(après extrapolation).

c-Synthèses climatiques de la région de Dehahna

➤ Diagramme Ombrothermique :

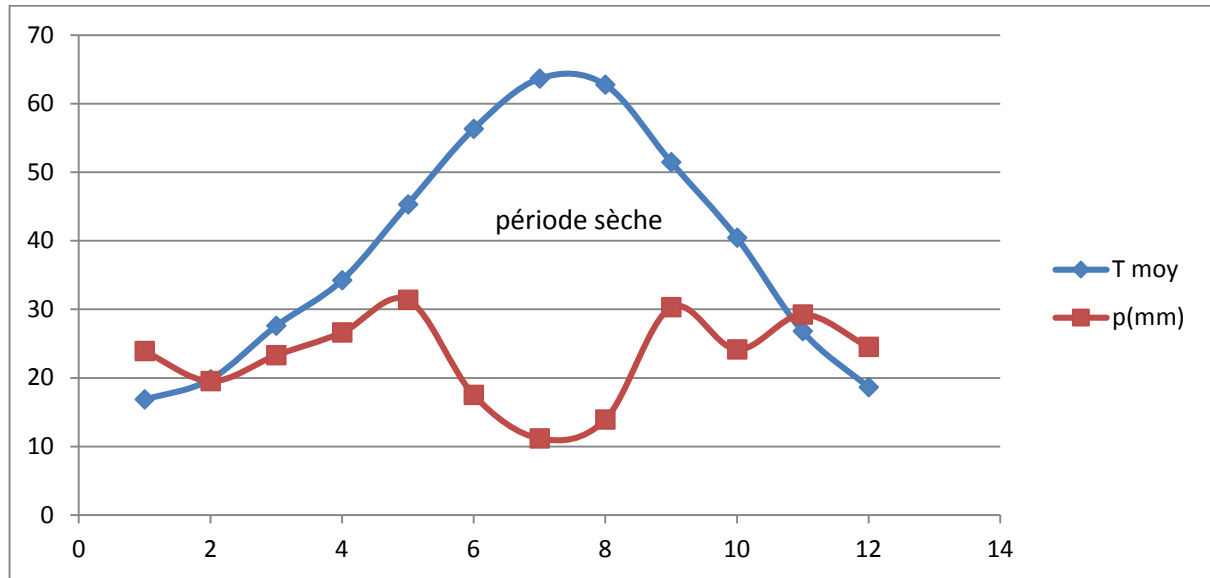


Figure 11: Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausсен de la région de Dehahna 1988-2016(après extrapolation des données).

A partir du diagramme (figure 11), on observe qu'il y a une période sèche la majeure des mois sauf Décembre et Janvier.

Climatogramme d'Emberger

$$P = 275,42\text{mm}, M = 41,04^\circ\text{C} + 273,15 = 314,79^\circ\text{K}, m = (-2,6) + 273,15 = 270,55^\circ\text{K} ;$$

$$Q_2 = 2000 \times (275,42 / 314,79)^2 - (270,55)^2$$

$$Q_2 = 21,2$$

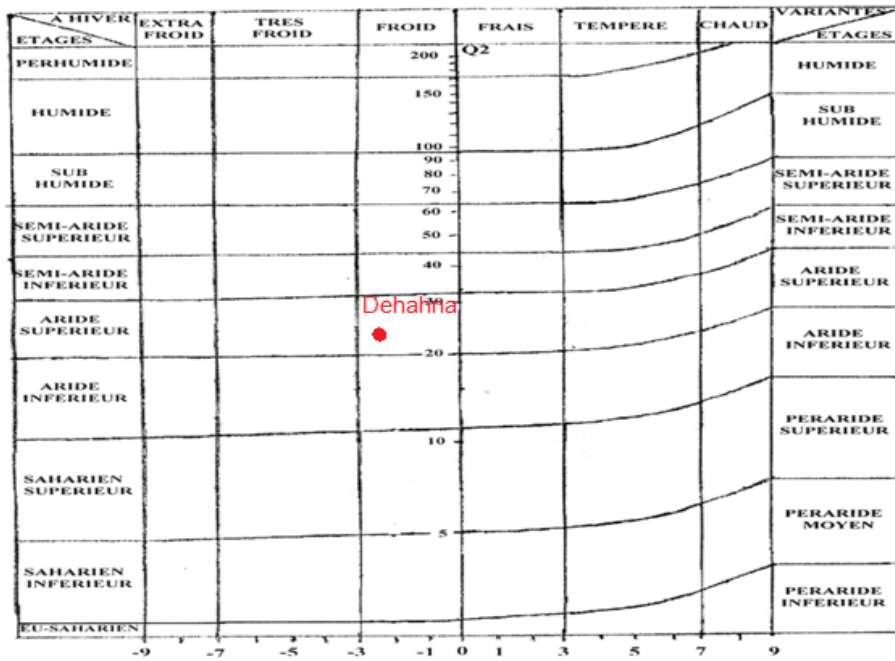


Figure 12: Situation bioclimatique de la région de Dehahna dans le Climatogramme d'Emberger (1988-2016) (après extrapolation des données)

La région de Dehahna fait partie de l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver froid (figure 12).

2-1-3- Relief

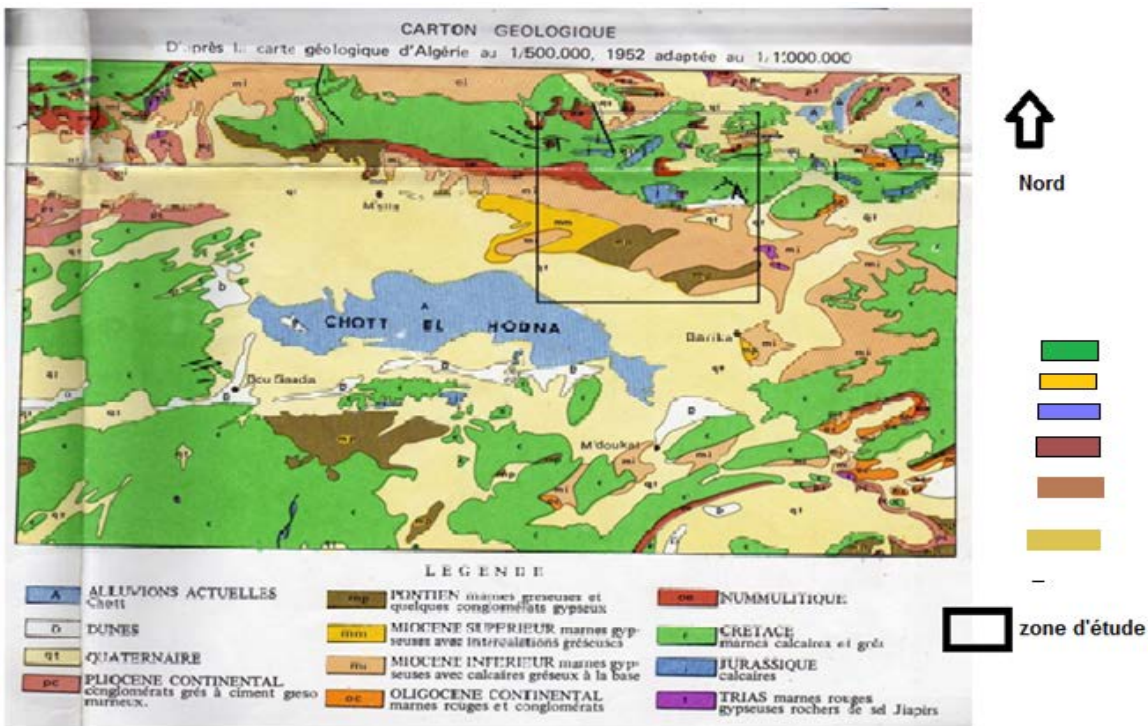


Figure 13 : Carte géologique de la zone de Hodna (Carte géologique d'Algérie, 1952 in ZEDAM, 2015).

MAGRA se situe entre l'ATLAS tellien et l'ATLAS saharien.

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

Notre région d'étude se caractérise par des couches de calcaire et marne, grésât par fois des couches de conglomération.

Dans notre zone d'étude, on trouve les formations géologiques suivantes : Quaternaire, Miocène supérieur, Pontien, Miocène inférieur, Nummulitique, Cretace, Jurassique.

2-1-4- Caractéristique édaphique

D'après la figure 14, la commune de Magra est caractérisée par type de sol peu évolué alluviaux avec encroutements calcaires et aussi des sols gypseux.

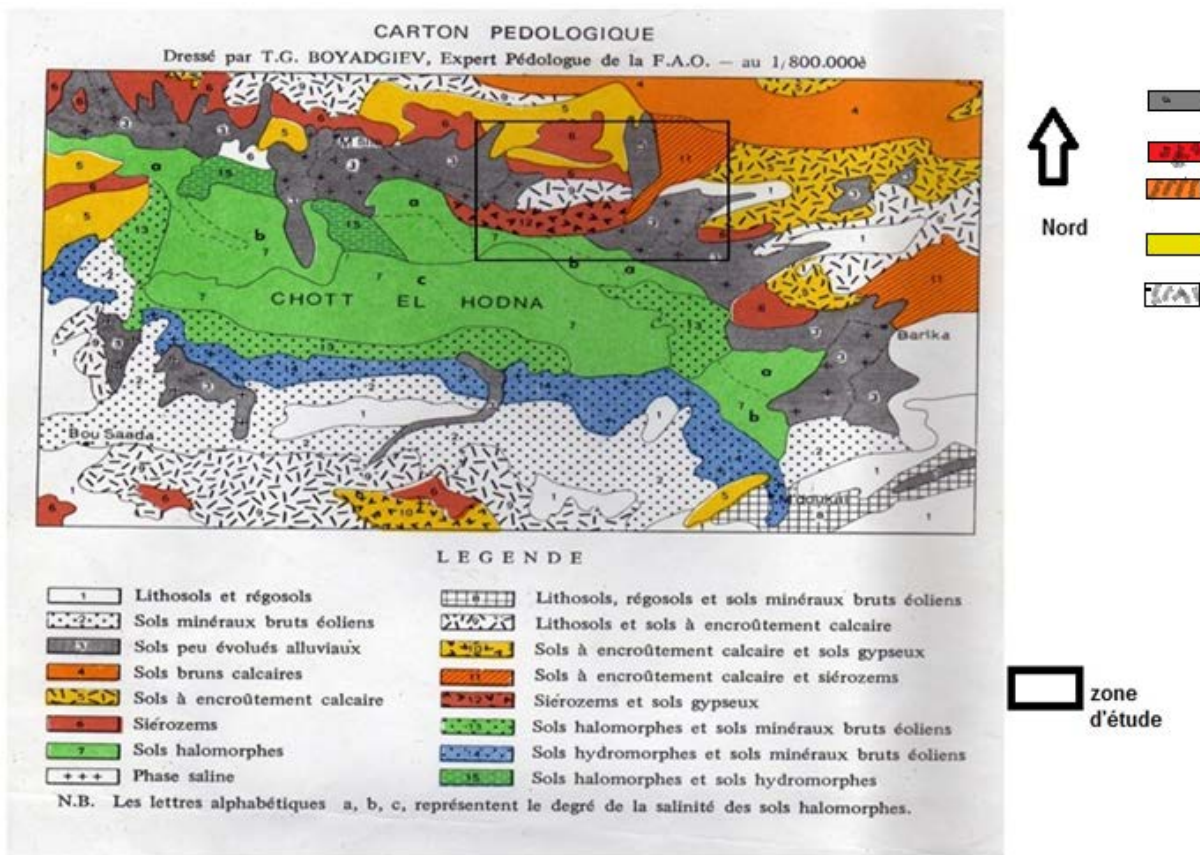


Figure 14: Carte pédologique de la zone de Hodna (FAO, 1972 in ZEDAM, 2015).

2-1-5- Hydrogéologies

Le réseau hydrographique est constitué de cours d'eau saisonniers, tous situés dans de grands Oueds originaires des montagnes de Boutaleb Sobella et d'Ouled Hanash, généralement orientés du Nord au Sud se déverse dans chott El hodna (Sebkha). Ce réseau est un cours d'eau saisonnier résultant de la pluie arrosé les terres agricoles (S.A.M.2019).

2-1-6-Occupations du sol

A partir du tableau précédent (n°13) on remarque que :

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

- La surface irriguée la plus grand est de Magra avec 954 ha à l'inverse du Dehahna a la plus petit surface avec 150ha.

En ce qui concerne les cultures et la productivité on peut résume les résume comme suit :

-Magra a grande superficie à l'arboriculture 645ha et 179ha de céréaliculture.

-Ain-khadra avec 124.5ha de culture maraichère et 126.5ha de culture fourragère.

-pour Dehahna c'est la faible surface dans tous les activités après belaiba.

Tableau 13 : Répartition de superficie de commun de Magra

Commune	système d'irrigation	superficie irrigué (ha)	arboriculture sup (ha)	culturemarichaire sup (ha)	céréaliculture sup (ha)
Magra	Gravitaire	720	482	12,5	158
	Aspersion	71	0	0	21
	Localisé	163	163	0	0
Ain Khadra	Gravitaire	576	215	124,5	171
	Aspersion	67	0	0	6
	Localisé	150	150	0	0
Belaiba	Gravitaire	204	60	43	75
	Aspersion	21	0	0	9
	Localisé	120	120	0	0
Berhoum	Gravitaire	155	45	12,5	35
	Aspersion	10	0	0	0
	Localisé	30	30	0	0
Dehahna	Gravitaire	133	25	11	25
	Aspersion	0	0	0	0
	Gravitaire	720	482	12,5	158

Source : (S.A.M, 2019)

Chapitre 2: Méthodes d'étude

2-2-1-Introduction

La plupart des problèmes qui se développent en agriculture irriguée proviennent de la composition chimique de l'eau d'irrigation.

L'utilisation de types variés d'eau pour l'irrigation, aussi bien que la nécessité de prédire les problèmes qui peuvent se développer quand différentes eaux d'irrigation sont utilisées, ont créé le besoin pour un système de classification de la qualité de l'eau d'irrigation qui est complètement différent des systèmes utilisés pour l'industrie, la vie aquatique et la santé...

Plusieurs facteurs entrent en jeu lors du choix de la qualité des eaux utilisées en agriculture. A savoir, l'interaction entre les propriétés physico-chimiques du sol et l'eau d'irrigation, sont des paramètres très importants dans l'évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation. La toxicité, la tolérance des cultures à la salinité et la concentration en éléments qui peuvent être toxiques **(MOHAND, 2001)**

Dans cette partie, nous allons présenter les méthodes utilisées sur terrain et au laboratoire afin de déterminer la qualité de l'eau d'irrigation.

2-2-2-Choix de la région d'étude

Le but de notre étude est la caractérisation des eaux d'irrigation. Pour cela, d'analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation ont été effectuées au laboratoire du département des sciences agronomiques et laboratoire d'ADE, laboratoire d'hydrochimie dans département sciences technologiques, université de M'Sila.

2-2-3-Choix de sites de prélèvement

Pour la détermination et caractérisation des eaux d'irrigation dans la zone d'étude, nous avons réalisé plusieurs échantillons provenant de différentes stations de 18 forages le 30 Avril 2019 et 12 Mai 2019

Le positionnement des forages est indiqué à la figure15.

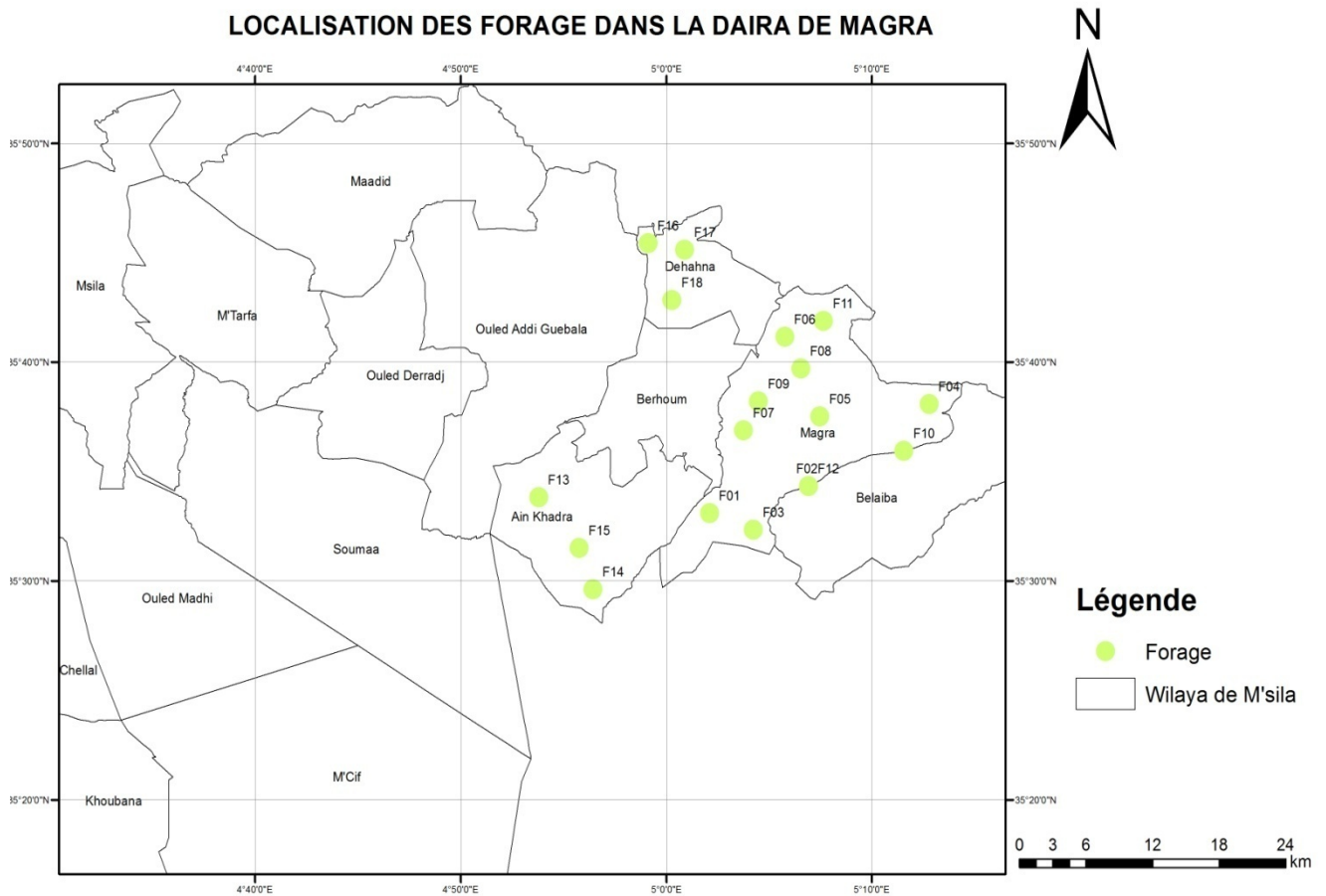


Figure 15: Localisation des stations (Forages) des prélèvements au niveau de la zone de Magra

2-2-4-Echantillonnage et conservation des prélèvements

On a fait notre mieux à suivre la méthode de Rodier et al (2009); des bouteilles en plastique bien fermées, nommées par des codes sont introduites de façon à éviter des bulles d'air dans la section du tuyau du forage et remplies puis mise dans des glacières dans le but de leur conservation jusqu'au moment d'analyse.

Durant la période d'analyse les échantillons étaient conservés à une température de 4°C.



Figure 16: Glacières pour conservation des eaux à analyser

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises pour que les résultats donnent bien une représentation exacte de la composition de l'eau (RODIER et al ; 2009)

Le tableau 14 indique les conditions de conservations des prélèvements des eaux.

Tableau 14 : Conditions de conservation de prélèvement.

Caractéristique a analysé	Volume minimum du prélèvement (ml)	Température de Conservation à (°c)	Effectuer la mesure avant.....
pH	-	4	24h (obsc)
CE	100	4	48h (obsc)
O₂	300	4	24h (obsc)
Résidu sec	500	4	07 jours
Chlorure	100	-	15jours
Sulfate	200	4	07 jours
Nitrate	-	4	48h (obsc)
Magnésium	-	4	Plusieurs mois
Calcium	800	4	Plusieurs mois
Carbonate et bicarbonate	500	4	Quelques jours (obsc)

Source: (RODIER et al, 1996)

2-2-5-Méthodes d'analyse

Le but de notre étude est la caractérisation des eaux d'irrigation. Pour cela, des analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation ont été effectuées au laboratoire des sciences agronomiques et laboratoire d'ADE.



Figure 17: Laboratoire de l'ADE

Les paramètres étudiés sont les suivants : la température (T), potentielle d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), salinité, TDS, Alcalinité (TA, TAC), la dureté totale (TH), le calcium

(Ca⁺²), le magnésium (Mg⁺²), les chlorures (CL⁻) et les nitrites (NO₂⁻), les nitrates (NO₃⁻), les sulfates (SO₄⁻²), résidu sec (RS), matière en suspension (MES), les carbonates et bicarbonates, sodium (Na⁺²) et potassium K⁺.

2-2-5-1-Mesures in site

La température, pH, conductivité électrique, salinité, TDS ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi paramètre (**RODIER et al, 2009**).

a- Détermination de la température et du pH

La température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micros organismes vivant dans l'eau.

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau (**RODIER et al. 1996**).

Dans notre cas, on a procédé comme suit :

➤ **Réactifs**

- Solution tampon : pH= 7 ;
- L'eau distillée ;
- L'eau à analyser.

➤ **Matériels**

Pissette, bécher, pH-mètre (Figure 15).

➤ **Mode opératoire**

- Brancher l'appareil, installer les électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil ;
- Etalonner l'appareil avec la solution tampon et par la suite rincer l'électrode avec l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser ;
- Remplir le bécher avec l'eau à analyser ;
- Emerger l'électrode dans l'échantillon et mettre l'appareil en mode pH et appuyer sur la touche « READ », attendre le signal sonore, puis noter de la température affichée et le pH.



Figure 18: pH mètre utilisé dans les analyses de nos eaux d'irrigation

b-Détermination de la conductivité électrique :

La mesure de la conductivité permet dans d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, celle-ci augment avec la température et la concentration en sels dissous.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (RODIER *et al*, 2009).

➤ **Réactifs**

- Solution tampon pH=7 ;
- L'eau distillée ;
- L'eau à analyser.

➤ **Matériels**

Pissette, béccher, conductimètre (Figure 19).

➤ **Mode opératoire**

- Brancher l'électrode correspondant à la mesure, puis rincer cette électrode avec de l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser ;
- Emerger l'électrode dans le béccher contenant l'échantillon, mettre en mode Conductivité ;
- Appuyer sur la touche « READ » et la valeur s'affiche.



Figure 19: Conductimètre

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

c-Salinité

La salinité désigne la concentration de sels minéraux dissous dans l'eau (**RODIER *et al.* 1996**).

➤ **Mode opératoire**

Après avoir noté la conductivité, appuyer de nouveau sur « READ » puis sur la touche « SAL » et noter la valeur affichée.

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

d- TDS

Le TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des Substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques.

➤ **Mode opératoire**

Une fois la salinité est notée, appuyer une nouvelle fois sur la touche « READ » puis sur la touche « TDS » et noter la valeur affichée.

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné en mg/l .

2-2-5-2-Mesure au laboratoire

a-Alcalinité (TA, TAC) :

Les valeurs relatives du TA (titre alcalimétrique) et du TAC (titre alcalimétrique complet) permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates ou hydrogénocarbonates contenus dans l'eau.

La détermination du TA et du TAC s'effectue à l'aide de deux dosages acido-basiques successifs .

Le TA de l'eau analysée sera déterminé lors du premier dosage par de l'acide chlorhydrique (HCl) en présence de phénolphtaléine. Le TA correspondra au volume d'HCl utilisé pour le virage de la phénolphtaléine (du rose à l'incolore).

Le TAC quant à lui, sera déterminé lors d'un second dosage par de l'HCl en présence de méthylorange. Le TAC correspondra au volume d'HCl utilisé pour le virage de méthylorange (de l'orange au rose orangé) (**RODIER *et al.* 2009**).

➤ **Matériels**

Béchers, pipette de 2ml, pipette de 10ml, pipette de 20ml, pissette, fiole de 1000 ml.

➤ **Réactifs**

- L'eau distillé ;
- 20 ml de l'échantillon (eau à analyser) ;
- Indicateur coloré (phénolphtaléine) pour le TA et méthylorange pour le TAC ;
- Solution de HCl à 0,1 N :(10 ml d'HCl dans 1000ml d'eau distillée).

➤ **Mode opératoire**

*Pour détermination d'Alcalinité totale (TA) :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter des gouttes de phénolphtaléine, s'il y a une coloration rose, donc il y a le TA.

➤ **Expression des résultats**

$$[\text{TA}] \text{ mg/l} = V_{\text{HCl}} * N_{\text{HCl}} * M_{\text{CaCO}_3} * 1000 / \text{PE}$$

V_{HCl} : volume d'acide versé ;

N_{HCl} : normalité d'acide versé ;

M_{CaCO_3} : masse molaire de CaCO_3 ($M_{\text{eq}} = M_{\text{CaCO}_3} / \text{valence}(2) = 100/2 = 50\text{g/mol}$) ;

PE : prise d'essai.

*Pour détermination de Titre Alcalimétrique Complète(TAC) de l'eau on procède comme suit :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 gouttes de méthylorange ;
- Titrer avec HCl à N/0,1 jusqu'à coloration rose ;
- Noter le volume V.

➤ **Expression des résultats**

$$[\text{TAC}] \text{ mg/l} = (0,1 * V * 1000 * M_{\text{CaCO}_3} / V_E).$$

Où :

0,1 : la Normalité de HCl ;

V : volume de HCl nécessaire pour ce dosage ;

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

M_{CaCO_3} : masse molaire de $CaCO_3$ (50g/mol) ;

V_E : volume d'eau à analyser (20ml).

b- La dureté totale (TH) :

C'est la concentration totale en ions calcium et magnésium. Elle se détermine par titrage par l'EDTA à pH = 10, en utilisant le NET (noir d'ériochrome) comme indicateur de fin de réaction. Elle s'exprime en mg/l (**RODIER et al, 2009**).

➤ Matériels

Béchers, pipete de 1ml, pipete de 25ml, bécher de 100ml, pissette, balance, pince.

➤ Réactifs

-L'eau distillé ;

-Solution d'eau (échantillon) 25 ml ;

-Solution ammoniacale tampon (NH_4OH) : (6,75g de Chlorure d'ammonium + 57 ml + HCl concentré (pH= 10,1) + 100ml l'eau distillée) ;

-Indicateur coloré NET (pincée) ;

-Solution EDTA ($C_{10}H_{14}Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) à 0,02 N : (0,3 g EDTA après dés 80°C pendant 2h + 100 ml de l'eau distillée).

➤ Mode opératoire

-Prendre 50ml de l'eau à analyser ;

-Ajouter 1ml de la solution ammoniacale tampon ;

-Une pincée de l'indicateur coloré NET de couleur mauve ;

-Titrer avec la solution d'EDTA à 0,02 N jusqu'à l'obtention d'une couleur bleu front, on obtient le volume de l'EDTA (V_{EDTA}).

➤ Expression des résultats

$$TH = N_{EDTA} \cdot V_{EDTA} \cdot M_{CaCO_3} \cdot 1000 / PE$$

Où :

N_{EDTA} : Normalité de la solution ;

M_{CaCO_3} : masse molaire de $CaCO_3$ (50g/mol) ;

PE : prise d'essai.

c- Le calcium (Ca^{+2}) et le magnésium (Mg^{+2}) :

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

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

On détermine la concentration de magnésium à partir de savoir le volume d'E.D.T.A nécessaire pour dosage de calcium et la dureté (RODIER *et al*, 1996).

➤ Matériel

Pipette de 25ml, balance, capsule 100ml, capsule 50ml, pince.

➤ Réactifs

-L'eau distillé ;

-Solution d'eau (échantillon) 25 ml ;

-Solution d'E.D.T.A (C₁₀ H₁₄ Na₂ O₈ 2H₂O) à 0,02 N : (0,3 g EDTA après dés 80°C pendant 2h + 100 ml de l'eau distillée) ;

-Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) : (6,75g de Chlorure d'ammonium + 57 ml + HCl concentré (PH= 10,1) + 100ml l'eau distillée) ;

-Indicateur Murexide (pincée) ;

-Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 2 N : (8g de NaOH dans 100ml l'eau distillée).

➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;

- Ajouter 2 ml de NaOH à 2N ;

- Ajouter une pincée d'indicateur Murexide ;

- Titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet) ;

- Noter le volume V.

➤ Expression des résultats

$$[\text{Ca}^{+2}] \text{ mg/l} = V_{\text{E.D.T.A}} * N_{\text{E.D.T.A}} * F * M_{\text{Ca}^{+2}} * 1000 / \text{PE}$$

N_{E.D.T.A}: Normalité de la solution (0.01).

V_{E.D.T.A}: volume d'E.D.T.A nécessaire pour ce dosage.

M_{Ca⁺²}: masse molaire du Ca⁺² (40g).

PE : volume d'eau à analyser.

F : facteur de correction (F=1).

Donc :

$$[\text{Ca}^{+2}] \text{ mg/l} = V_{\text{E.D.T.A}} * 8 * F$$



Figure 20: Etape de dosage de calcium (Ca^{2+}).

*Pour détermination du magnésium :

➤ **Expression des résultats**

$$[\text{TH}] = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

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

Avec $[\text{Mg}^{2+}]$ en mg/l

d-Les chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent (**RODIER et al, 1996**).

➤ **Matériel**

Pipete de 5ml, balance, capsule de 100 ml, fiole de 1000 ml.

➤ **Réactifs**

-l'eau distillé ;

-Solution d'eau (échantillon) 5 ml;

-Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,01 N : 1,6987 d' $\text{AgNO}_3 \rightarrow 1000$ (10g de $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow 100$ ml d'eau distillée) ;

-Indicateur coloré K_2CrO_4 à 10 %.

➤ **Mode opératoire**

-Prendre 5 ml d'eau à analyser ;

-Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre) ;

-Titrer avec AgNO_3 à 0,01 N jusqu'à coloration brunâtre.

-Prendre 5ml d'eau à analyser ;

-Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre) ;

-Titrer avec AgNO_3 à 0,01 N jusqu'à coloration brunâtre.

➤ **Expression des résultats**

$$[\text{Cl}^-] \text{ mg/l} = V_{\text{AgNO}_3} * N_{\text{AgNO}_3} * M_{\text{Cl}} * F * 1000 / \text{PE}$$

$$[\text{Cl}^-] \text{ mg/l} = V_{\text{AgNO}_3} * 0,01 * 35,5 * 1 * 1000 / 5$$

Donc :

$$[\text{Cl}^-] \text{ mg/l} = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 * F$$

V_{AgNO_3} : volume d'AgNO₃ nécessaire pour le dosage de l'échantillon ;

N_{AgNO_3} : normalité d'AgNO₃ ;

M_{Cl} : masse molaire des chlorures ;

F : facteur de correction du titre d'AgNO₃ (F=1) ;

PE : prise d'essai.

e- Les nitrites (NO₂⁻) :

Le principe de terminaison des nitrites se base sur la diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa réaction avec la N-(1-naphtyle)-éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique (**RODIER et al, 2009**)

➤ **Matériel**

Bicher 50ml, bicher 100ml, balance, spectrophotomètre.

➤ **Réactif**

-l'eau distillé ;

-50 ml de l'échantillon (eau à analyser) ;

-Solution mixité : (40g de sulfanilamide dans 100 ml HCl) + (2g de N-1-naphtyle éthylène diamine dans 100 ml eau distillée).

➤ **Mode opératoire**

-Prendre 1ml de la solution mixité et ajoutée dans 50 ml d'eau analyser ;

- Reposer durant 15 min (apparition de couleur muove) ;

-Passer les échantillons dans spectrophotomètre.

➤ **Expression des résultats**

Le résultat est donné en mg/l.



Figure 21: Spectromètre utilisé pour détermination de nitrite

f-Les nitrates (NO_3^-) :

La méthode la plus employée pour le dosage des nitrates est celle adoptées par l'agence française de normalisation (AFNOR, 1975 ; norme NFT 90-012), dite méthodes au salicylate de sodium. .

Les mesures de l'absorbance réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre (**RODIER et al, 2009**)

➤ **Matériels**

Capsule de 60 ml, pipette de 2ml, pipette de 10 ml, pipette de 1ml, étuve, spectrophotomètre U.V visible.

➤ **Réactif**

- l'eau distillé ;
- 10 ml de l'échantillon (eau à analyser) ;
- Solution salicylate de sodium à 0,5% : (0.5g de salicylate de sodium dans 100 ml de l'eau analyser ;
- Acide sulfurique ;
- Tartrate double de sodium et de potassium :(40g Hydroxyde de sodium NaOH+ 6g Tartrate de sodium et de potassium dans 100ml de l'eau distillée).

➤ **Mode opératoire**

- Ajouter 1ml de solution salicylate de sodium à 10 ml de l'eau analyser ;
- Poser dans l'étuve à 80°C ;
- Ajouter 2 ml d'acide sulfurique et laisse 10 min ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium et laisse 10 min (apparition de couleur) ;
- Passer les échantillons dans spectromètre.

➤ **Expression des résultats**

Le résultat est donné en mg/l.

g-les sulfates (SO_4^{2-}) :

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de BaCl_2 (RODIER et al, 2009)

➤ Matériel

Pissette, pipette de 2ml, papier filtre, rampe de filtration, balance électrique, capsule de 50ml,

➤ Réactif

-L'eau distillé ;

-50 ml de l'échantillon (eau à analyser) ;

- Solution de HCl (10%) ;

-Solution de chlorure de baryum à 10%.

➤ Mode opératoire

-Prendre 50 ml d'eau analyser

-Ajouter 2ml de HCl (10%)

-Chauffer la solution jusqu'à l'ébullition en agiter constamment pour la précipitation

-Ajouter quelque goutte de solution de chlorure de baryum à 10%

-posse le papier filtre (P_1) ;

-Filtre la solution à l'aide entonnoir et papier filtre ;

-Séchage les papiers filtre dans l'étuve ;

-posse les poids du filtre (P_2) .

➤ Expression des résultats

$$[\text{SO}_4^{-2}] \text{ mg/l} = P_2 - P_1 * (M (\text{SO}_4)) / (M(\text{BaSO}_4))$$

$P_2 - P_1$: poids de sulfate ;

M : masse moléculaire ($\text{SO}_4=96$, $\text{Ba}=137$) .

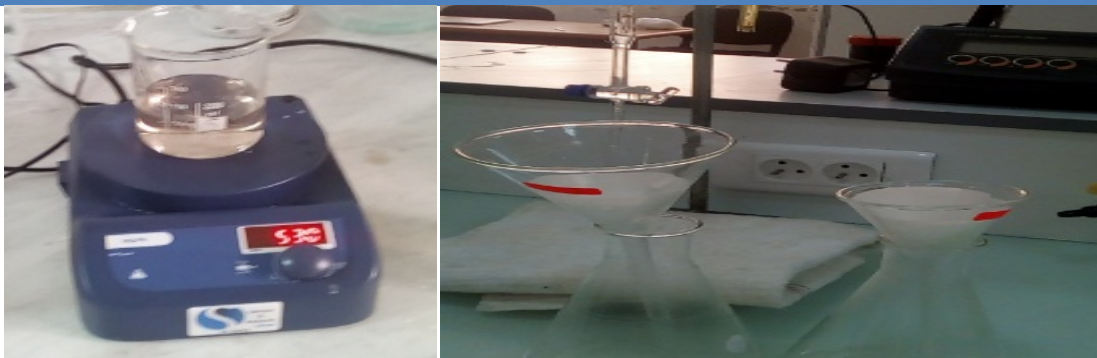


Figure 22: Dosage des sulfates

h-Résidu Sec(RS) :

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en Suspension d'une eau. C'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes (**RODIER et al, 2009**).

➤ Matériel

Capsules de 100ml, fiole jaugée, étuve, pissette, dessiccateur.

➤ Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée ;
- Prélever 100ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et la déverser dans la capsule;
- Porter cette dernière à l'étuve à 108°C pendant 24 heures ;
- Laisser refroidir pendant ¼ heure au dessiccateur ;
- Peser immédiatement et rapidement.

➤ Expression des résultats

La balance nous donne des résultats en gramme, et on a :

$$(PP- PV) *100 \rightarrow 0,1L$$

$$RS (mg) \rightarrow 1L$$

Donc :

$$RS (mg / l) = (PP *PV) *10 *1000.$$

Avec :

- PP** : est le poids plein de la capsule.
- PV** : est le poids vide de la capsule.

i-Matière en suspension (MES) :

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

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

➤ Matériels

Fiolle, capsules, papier filtres, rampe de filtration, balance électrique, étuve, dessiccateur.

➤ Mode opératoire

-Peser le papier filtre et placer ce papier sur la rampe de filtration et bien agiter l'échantillon ;

-Prélever un volume de l'échantillon et le transvider sur papier ;

-Placer le papier dans une étuve à 105°C pendant 1h30 mn pour enlever l'excès d'eau.

*Mettre le filtre dans le dessiccateur pendant 15 minutes jusqu'à refroidissement total.

*Peser le filtre.

➤ Expression des résultats

$$[\text{MES}] \text{ mg/l} = (p_2 - p_1) * 1000 / \text{PE}$$

P₁ : poids vide la capsule (mg/l).

P₂ : poids capsule après séchage (mg/l).

PE : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce d'analyse)



Figure 23 : Etuve

j- Les carbonates et bicarbonates :

Le dosage des carbonates totaux peut être réalisé très simplement par la détermination de l'alcalinité et plus précisément des titres TA et TAC selon le tableau suivant (RODIER *et al*, 2009).

PARTIE 02: MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

Tableau 15 : Les valeurs des CO_3^{2-} et HCO_3^- à partir les valeurs TA et TAC

Espèces carbonatées	Valeurs respectives des titres TA et TAC		
	Si TA = 0	Si TA < TAC/2	Si TA = 2TAC
CO_3^{2-}	0	2TA	TAC
HCO_3^-	TAC	TAC - 2TAC	0

Source: (RODIER *et al*, 2009)

*désolution 0,19g de KCl dans 1000 ml de l'eau distillée pour dosage de potassium (K^+).

k- sodium (Na^{+2}) et potassium (K^+):

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium, lithium, calcium etc....) sont généralement sous forme de sels.

➤ Mode opératoire

-Préparation du solution mère :

*désolution 2,45g de NaCl dans 1000 ml de l'eau distillée pour dosage de sodium (Na^{+2}).

-Retirer la cuvette et remplie par une solution étalon de Na ou de k et remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).

-Passer aux échantillons dans une autre cuvette jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable.

Tableau 16 : Solution fils dans solution d'eau distillée.

Solution fils	80 ml	60 ml	40 ml	20 ml
Eau distillée	20 ml	40 ml	60 ml	80 ml



Figure 24: photomètre

➤ Expression des résultats

Voir annexe 5

PARTIE 03:

RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de nos forages (de la région de Magra) et leurs interprétations.

3-1- Caractérisation physico-chimique des eaux d'irrigation des forages analysés

3-1-1- La température des eaux des forages de Magra

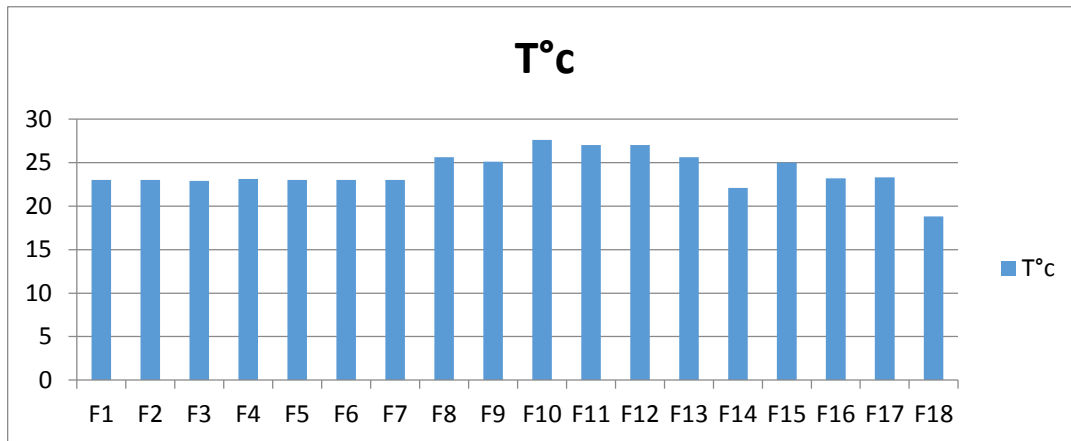


Figure 25: Variation de température des eaux des forages analysées de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

Les résultats de la figure 25 indiquent qu'il y a une variation des températures mesurées, celle dernière est comprise entre 18.8°C et 27.6°C.

Ces résultats sont généralement acceptables, sauf que le forage F18 présente une température de 18.8°C. Les eaux des forages (F9, F10, F11, F12, F13, F15) affichent des valeurs de température comprise entre 25°C à 27°C.

Pour le reste des forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F14, F16, F17, F18), la température prend des valeurs entre 22°C à 23°C.

D'après les normes proposées par la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux, sept forages (F8, F9, F10, F11, F12, F13 et F15) dépassent la valeur limite (25°C) des eaux destinées à l'irrigation.

3-1-2- Le pH

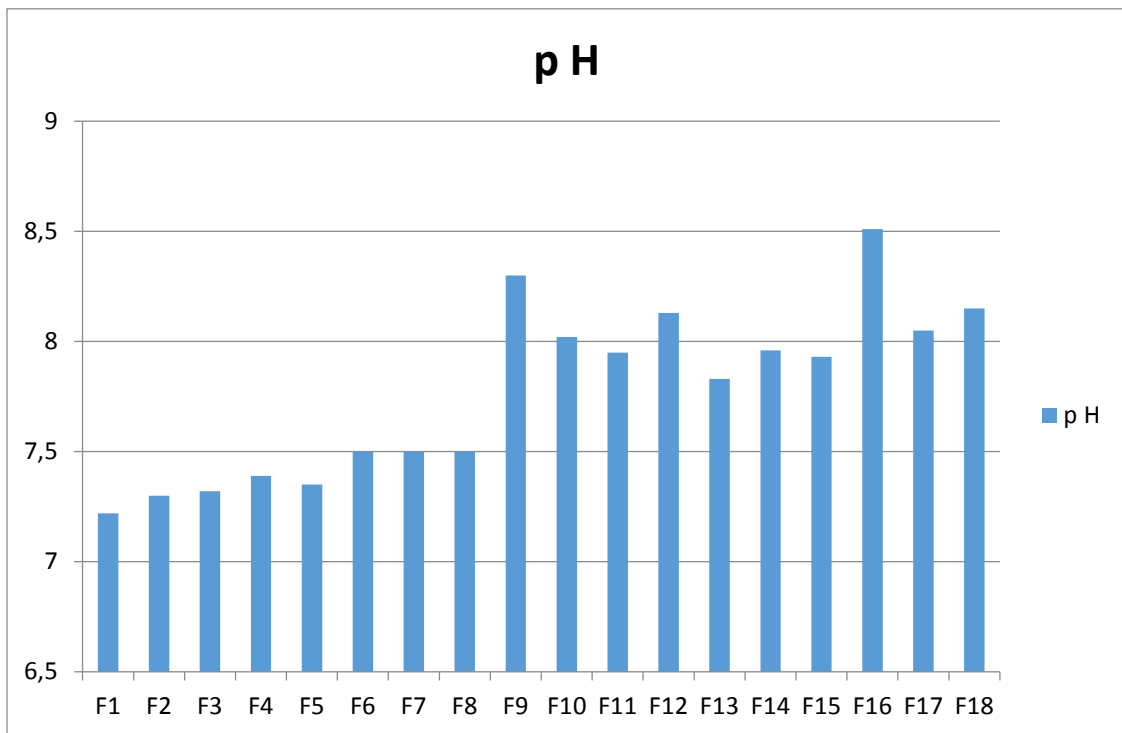


Figure 26: Variation du pH des eaux des forages de la région de Magra (Avril et Mai 2019)

La plupart des valeurs de pH des eaux analysées d'après la figure 26 sont proche ou égale à 7.

Alors selon la grill multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux, les eaux des forages (F1 à F8 et F11, F13 à F15) sont neutres et ceux des forages (F9, F10, F16 à F18) sont à neutralité rapproché.

Selon les travaux de (**Abd Elhafide, 2005**), nos eaux se rapprochent de la neutralité, sauf ceux de F9, F10, F11, F12, F16, F17, F18 qui sont considérés comme alcalin. Cette alcalinité est peut être induite par la nature géologique de la région d'étude.

3-1-3-Alcalinité (TA et TAC)

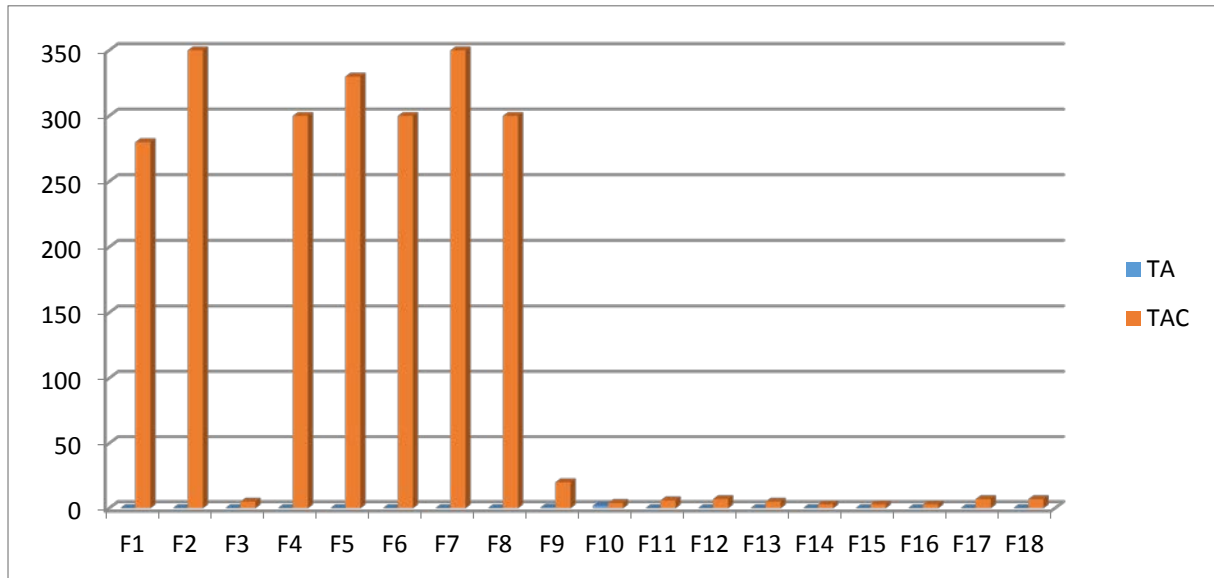


Figure 27: Variation de TA et TAC des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

Le titre alcalinométrique (TA) est nul (figure 37), ce qui traduit l'absence des ions CO_3^{2-} dans l'ensemble des forages analysées.

3-1-4-La dureté totale

Les résultats d'analyse des eaux des 18 forages (représentés dans la figure 28 et le tableau 17) montrent que notre eau est très dure (selon le tableau 1 de l'annexe 7), car les valeurs enregistrés pour ce paramètre (TH°F) dépassent pour les 18 forages 25°F .

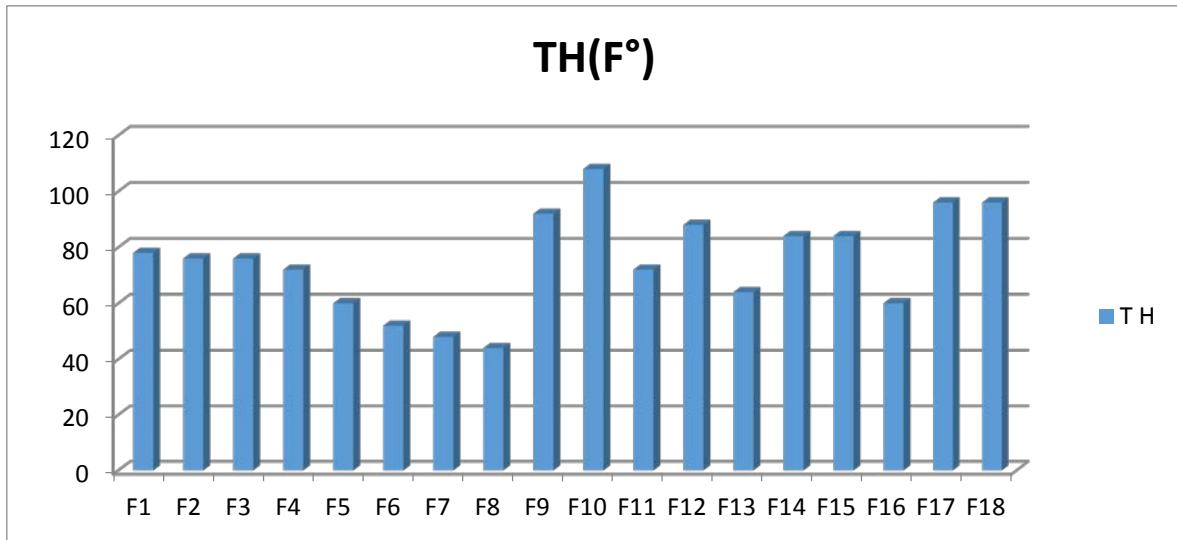


Figure 28: Variation de la dureté totale (TH) des eaux des forages de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

3-1-5- Les matières en suspension (MES)

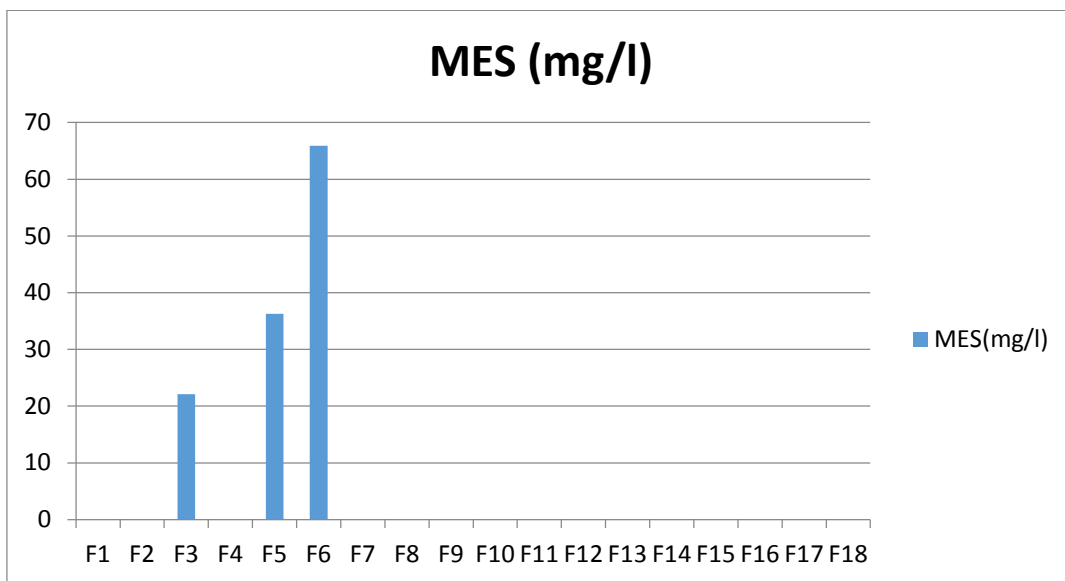


Figure 29: Variation de matière en suspension des eaux analysées de la région de Magra (avril et Mai 2019).

A partir des résultats représentés à la figure 29 et ceux de l'annexe 6, on déduit que les eaux de tous les forages sont de bonne qualité à l'exception de F3 qui présente une qualité moyenne et des forages F5 et F6 qui sont de mauvaise qualité.

3-1-6- Les résidus secs

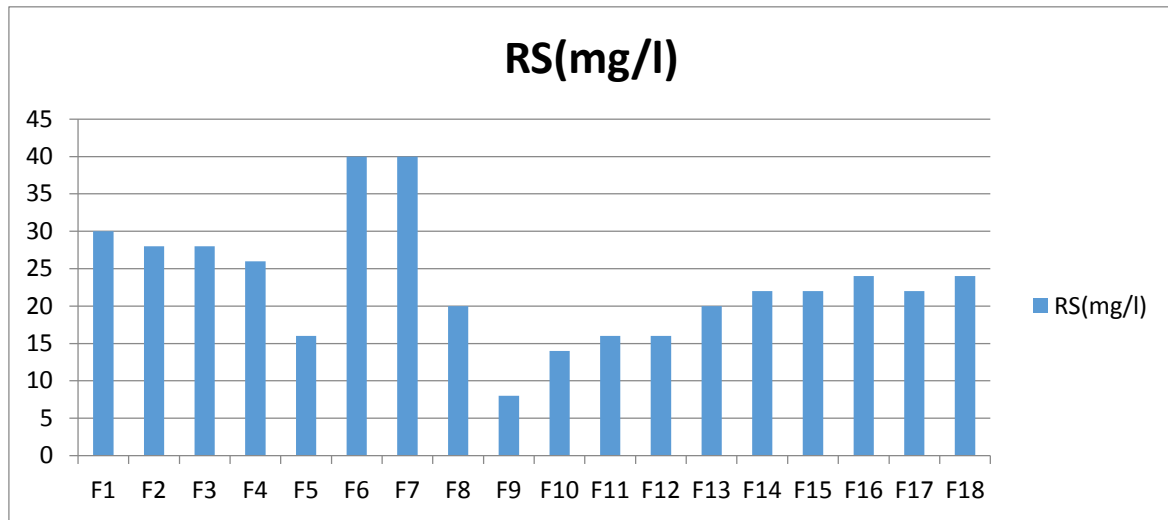


Figure 30: Variation de résidu sec des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

La figure 30 indique que les échantillons de nos eaux analysées sont de qualité très bonne selon le grill multi usage d’appréciation globale de la qualité des eaux.

3-1-7- La conductivité électrique (CE)

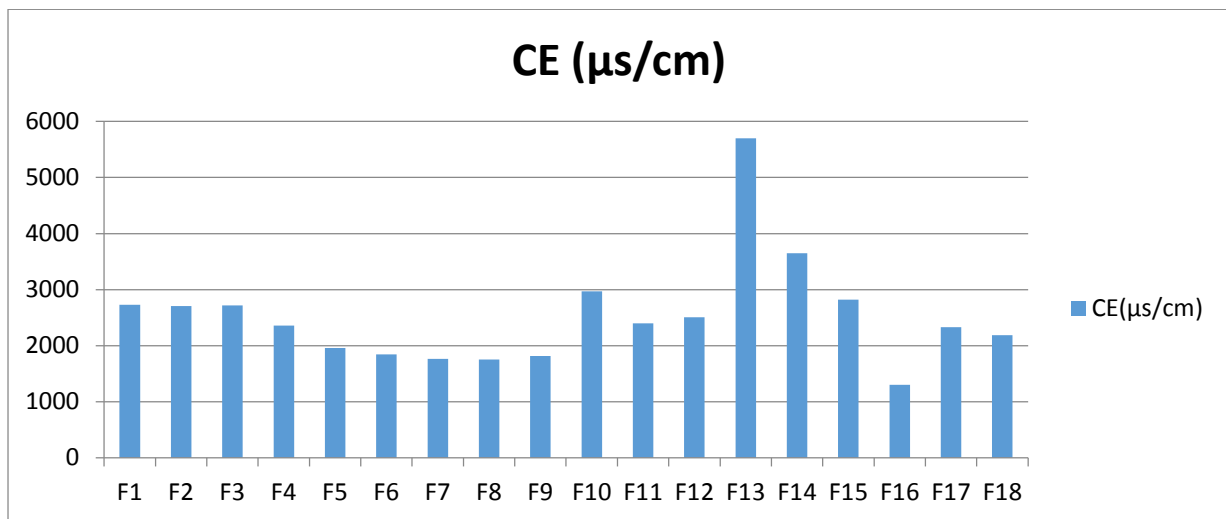


Figure 31: Variation de conductivité électrique des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

A partir de l’observation de la figure 31 et la grille standard multi usage d’appréciation globale de la qualité des eaux (annexe 6), on déduit que les eaux du forage F16 sont de qualité moyenne alors que les forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11,

F12, F15, F17, F18) de mauvaise qualité et les forages F13 et F14 sont de qualité très mauvaise.

3-1-8- SAR (sodium absorption ratio)

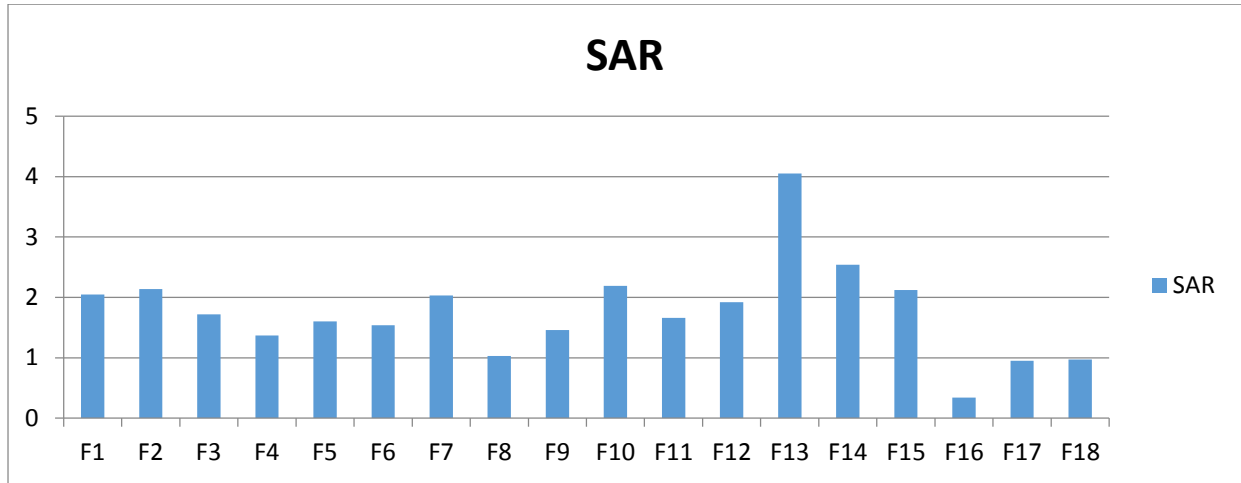


Figure 32: Variation des eaux analysées de SAR de la région de Magra (Avril et Mai2019).

La figure 32 montre que la valeur du SAR la plus élevée est celle du forage F13 (avec 4.05), et la valeur le plus faible est celle de F16 (avec 0.34), les autres valeurs des autres forages sont proche les une par l'autre.

Le tableau 3 dans l'annexe 7, explique que la qualité des eaux analysées de notre région d'étude est à faible risque d'alcalinité.

3-1-8- Les anions

3-1-8-1- Les nitrites (NO₂⁻ mg/l)

Les résultats mentionnés à la figure 33 de nos eaux analysés montrent qu'elles sont de bonne qualité pour le forage F7 (avec une valeur de 0,004 mg/l) et très bonne qualité pour le reste (annexe 6).

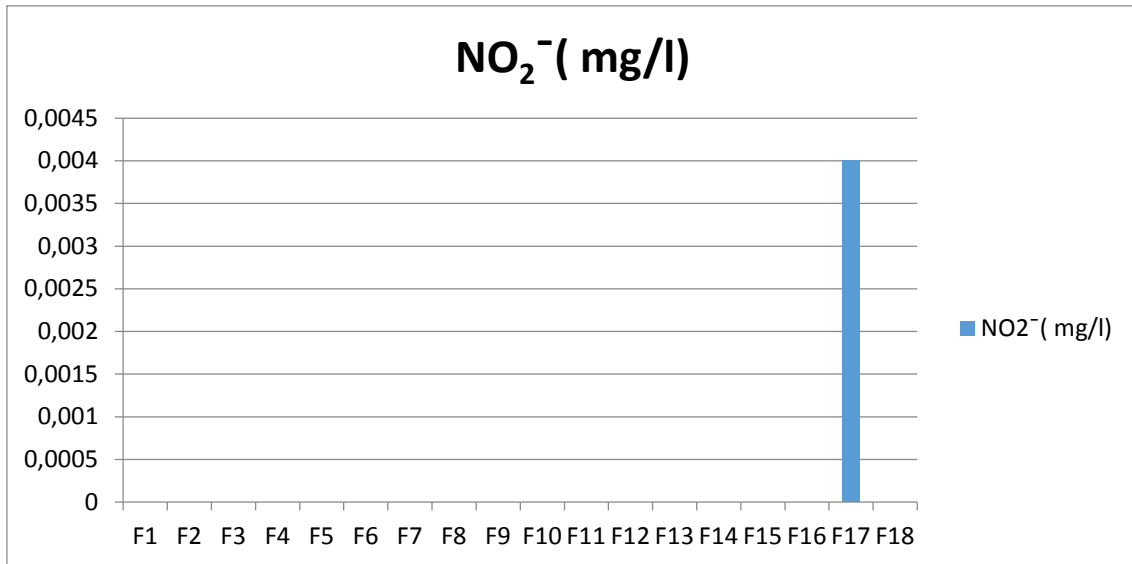


Figure 33 : Variation des nitrites des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

3-1-8-1-2-Les nitrates

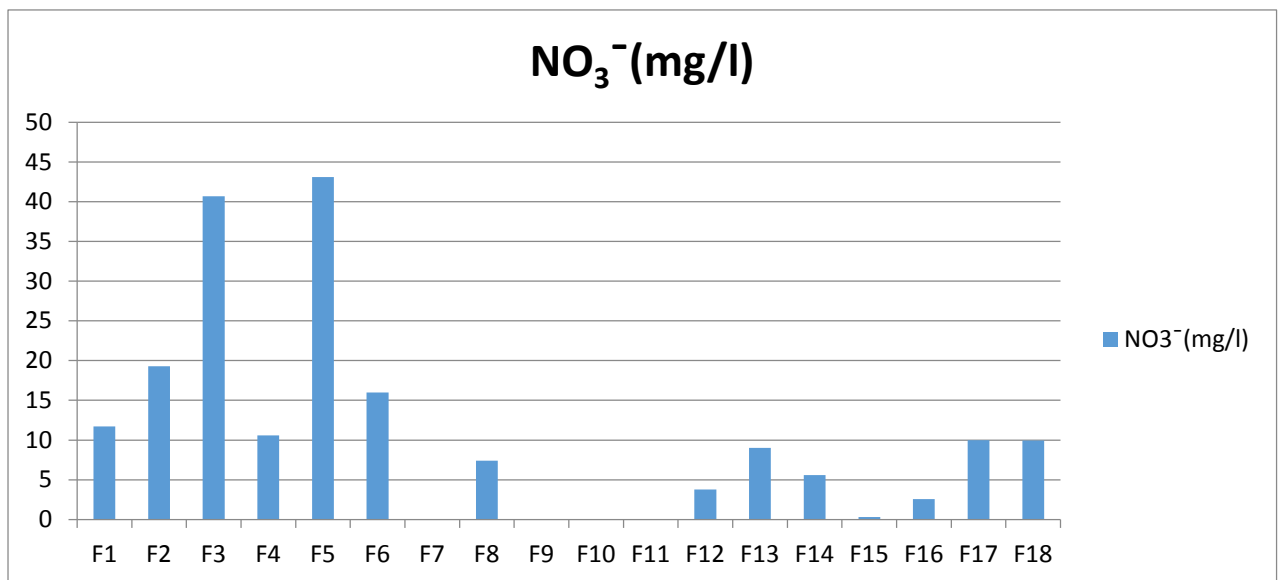


Figure 34 : Variation de nitrate des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

En se référant au grill standard multi usage d’appréciation globale de la qualité des eaux (annexe 6) et aux résultats mentionnés à la figure 34, on remarque que les eaux de F3 et F5 dépassent 30mg/l et c’est l’inverse pour le reste des forages.

D’après (SMAK, 2000), les eaux des forages F3et F5 sont de moyenne qualité tandis que ceux du reste des forages (F1, F2, F4,F6, , F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18) présentent une bonne qualité.

3-1-8-1-3- Les sulfates

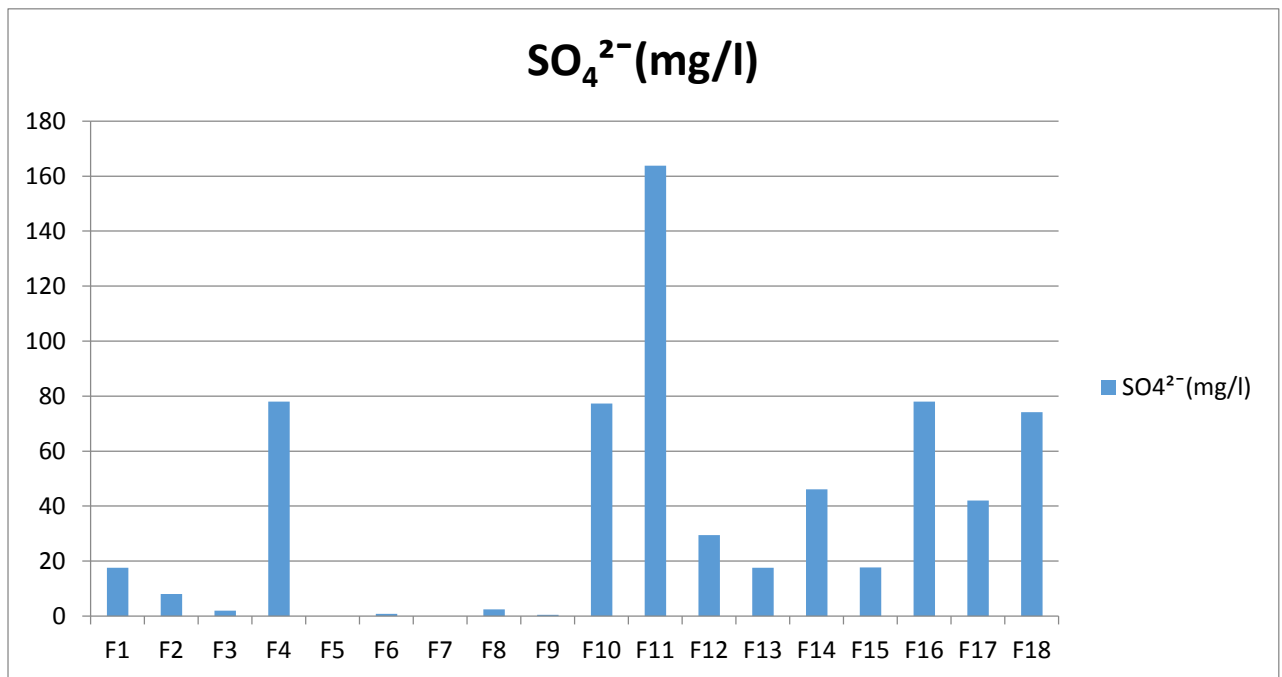


Figure 35 : Variation de sulfate des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

La figure 35, montre que le forage F11 a la grande valeur observée ce qui traduit une eau de qualité moyenne, les forages F4, F10, F16 et F18 enregistrent des valeurs comprises entre 74 à 78, le reste des forages (F1, F2, F3, F5, F6, F7, F8, F9, F12, F13, F14, F15, F17) présentent des valeurs inférieures à 50mg/l.

3-1-8-1-4- Les chlorures

Les résultats représentés dans la figure 36 (et aussi voir annexe 6) indiquent que :

Le forage F6 possède une eau de très bonne qualité.

Les forages F7, F8, F18 sont de qualité moyenne.

Les forages F13 et F14 sont très mauvais (voir annexe 6)

Le reste des forages sont de mauvaise qualité.

Cette abondance des chlorures dans nos eaux d'irrigation est peut-être un résultat d'intrusion des eaux salées à partir de la nappe phréatique.

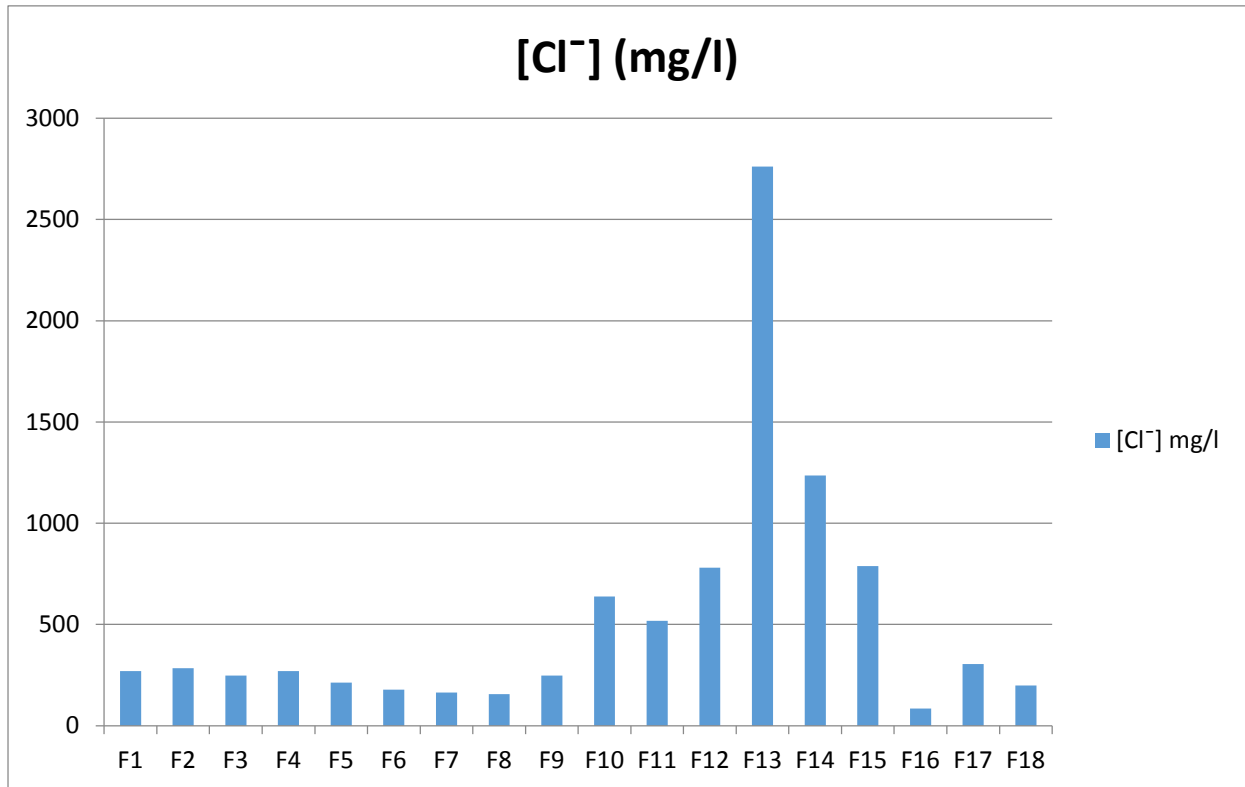


Figure 36: Variation des chlorures des eaux analysées de la région de Magra (Avril et Mai 2019)

3-1-8-1-5 Les carbonates et les bicarbonates

La figure 37, affiche des valeurs presque nulles des carbonates (à l'exception de F9 et F10).

Pour les bicarbonates et selon la figure 38, on remarque que cet anion présente des valeurs comprise entre 0 et 18 pour les forages F3, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18 entre 280 et 350 pour les forages F1, F2, F4, F5, F6, F7, F8.

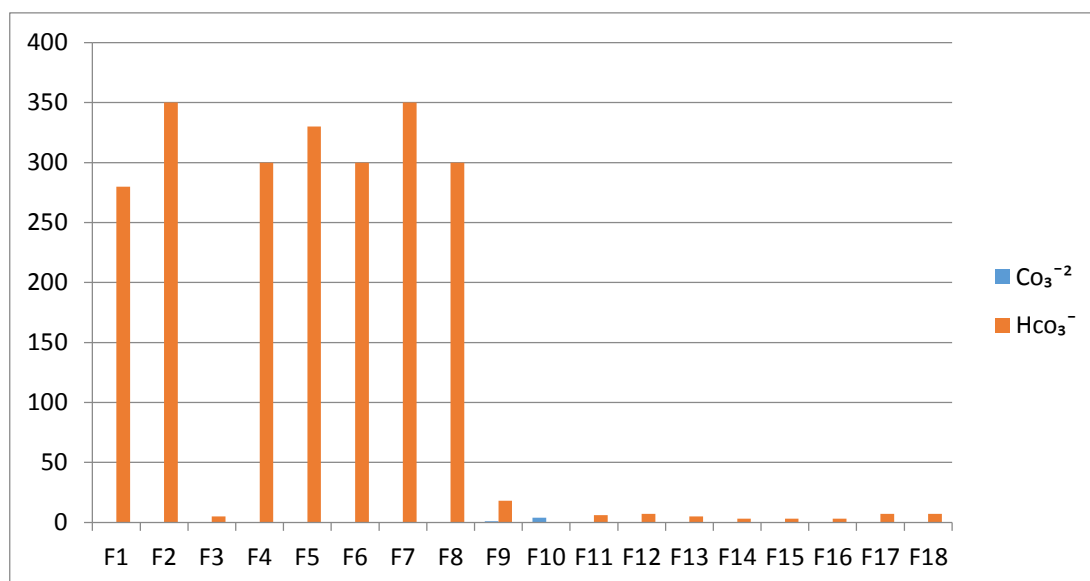


Figure 37: Variation de CO₃²⁻ et HCO₃⁻ des eaux analysée de la région de Magra (Avril et Mai 2019)

3-1-9-Les cations

3-1-9-1-Le calcium

Selon la figure 38, les valeurs de calcium sont assez élevées avec des valeurs entre (160-230/bonne), pour les eaux de tous les forages sauf le forage F13 qui affiche une valeur de 8,02 marquant une eau de très bonne qualité

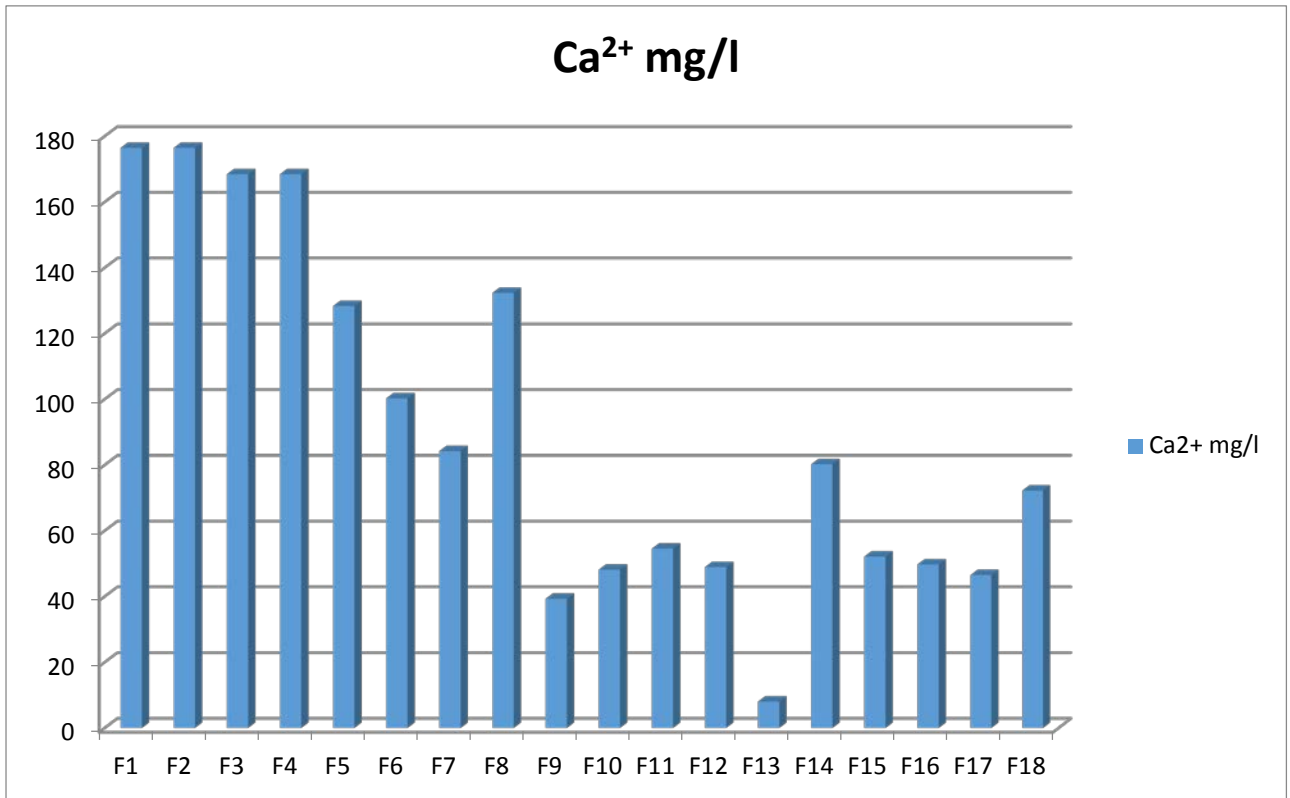


Figure 38: Variation des eaux analysées de calcium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

3-1-9-2-Le magnésium

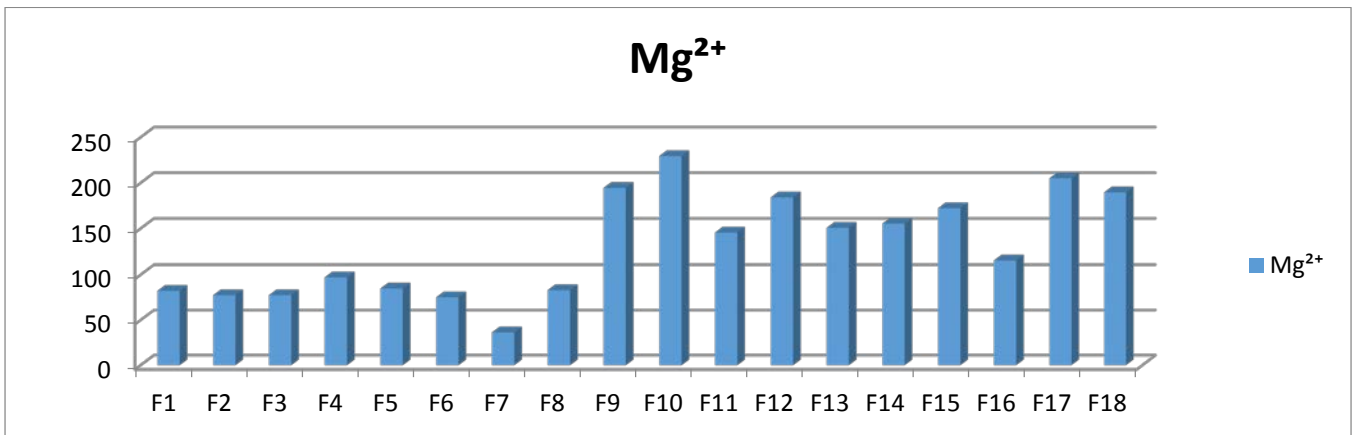


Figure 39: Variation des eaux analysées de magnésium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

La figure 39 des résultats de nos eaux analysées montre que les valeurs du magnésium sont comprises entre 36.3 mg/l (F7) et 229.3 mg/l (F10).

Les forages F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8 ont des eaux de qualité moyenne (elles affichent des valeurs comprises entre 75 à 100).

Le reste des forages (F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17 et F18) affichent des valeurs de 100 à 400, donc leurs eaux sont de mauvaise qualité.

Ces valeurs sont un peu élevées, et c'est peut être due à la nature géologique de la région d'étude.

3-1-9-3- Le sodium

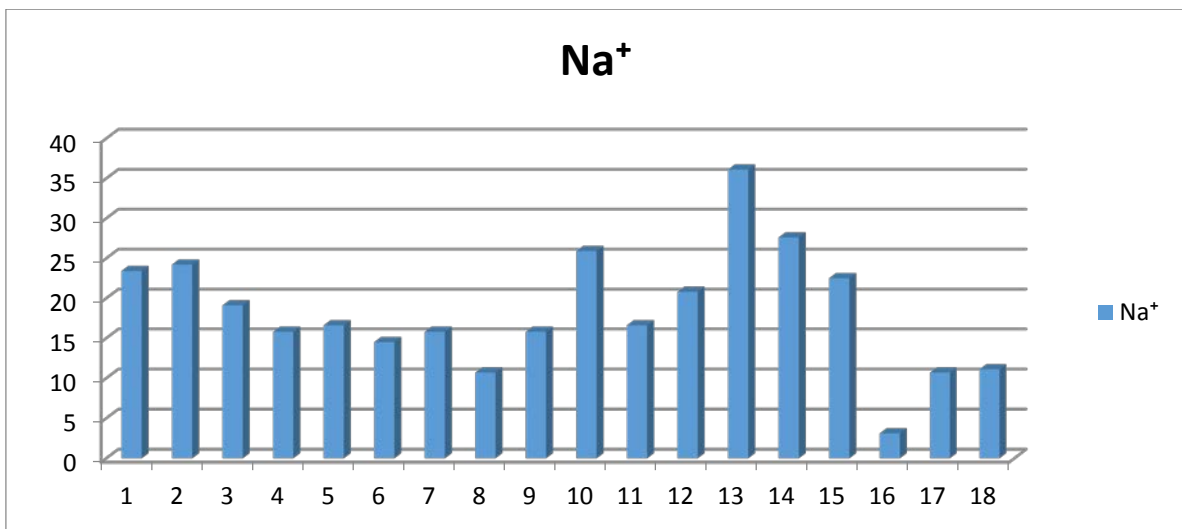


Figure 40: Variation des eaux analysées de sodium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

Les résultats des d'analyse des eaux de notre zone d'étude montrent que la majorité des forages prennent des valeurs comprises entre (3.1 à 36.1 mg/l), la valeur la plus grande est de forage F13 et la plus faible valeur est de forage F16.

3-1-9-4- Le potassium

En se qui concerne le potassium, les résultats des eaux analysés varient entre 3.1mg/l de forage (6.7.8.18) à 8.3mg/l de forage 13 (voir figure 41).

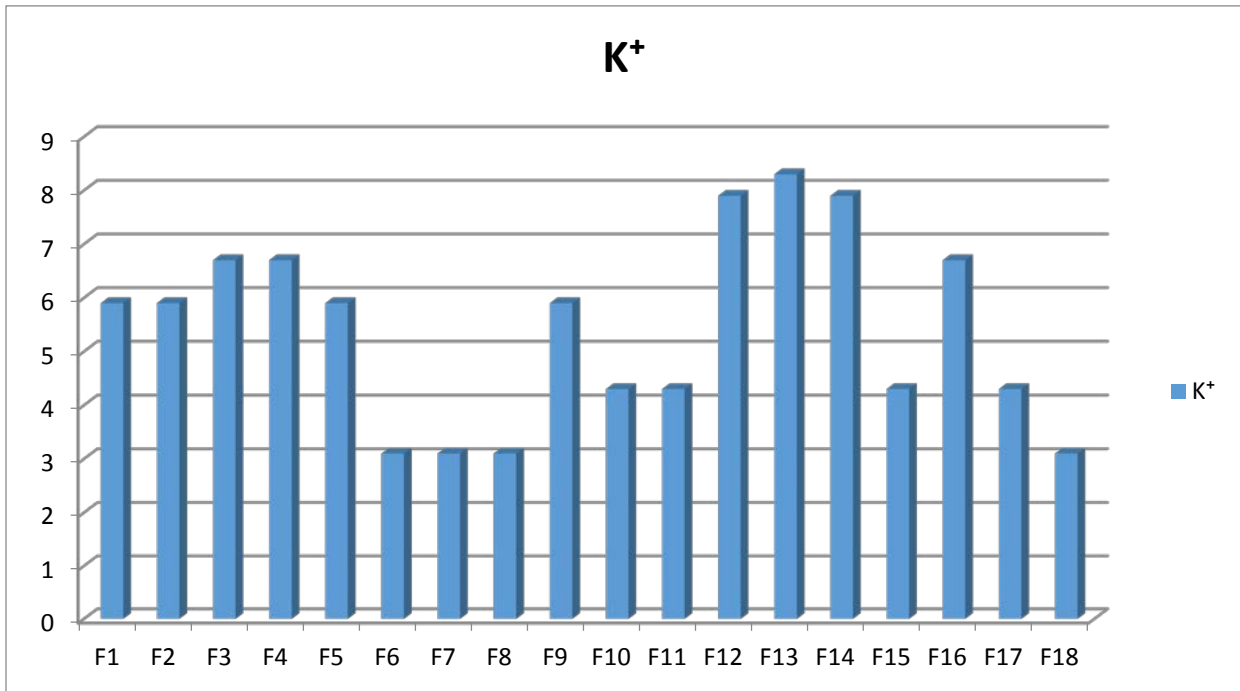


Figure 41: Variation des eaux analysées de potassium de la région de Magra (Avril et Mai 2019).

3-2- Classifications des eaux d’irrigation des forages de la zone de MAGRA

3-2-1-Classifications des eaux d’irrigation des forages de la zone de MAGRA selon le diagramme de PIPER

Les figures 42 et 43 et le tableau 17, indiquent que les facies chimiques des eaux analysées des forages de la zone de Magra, sont des types ou familles résumées au tableau 17.

Tableau 17: Les différents facies chimiques des eaux des forages de zone de Magra

Facies chimique	Les forages
Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne	F1, F2, F5, F6 et F8
Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne voisin à hyper chlorurée calcique hyper sulfatée calcique	F3, F7, F9, F10, F11, F12 et F13 F14, F15, F16, F17 et F18
Bicarbonatée calcique et magnésienne	F4

Diagramme de Piper DE MAGRA

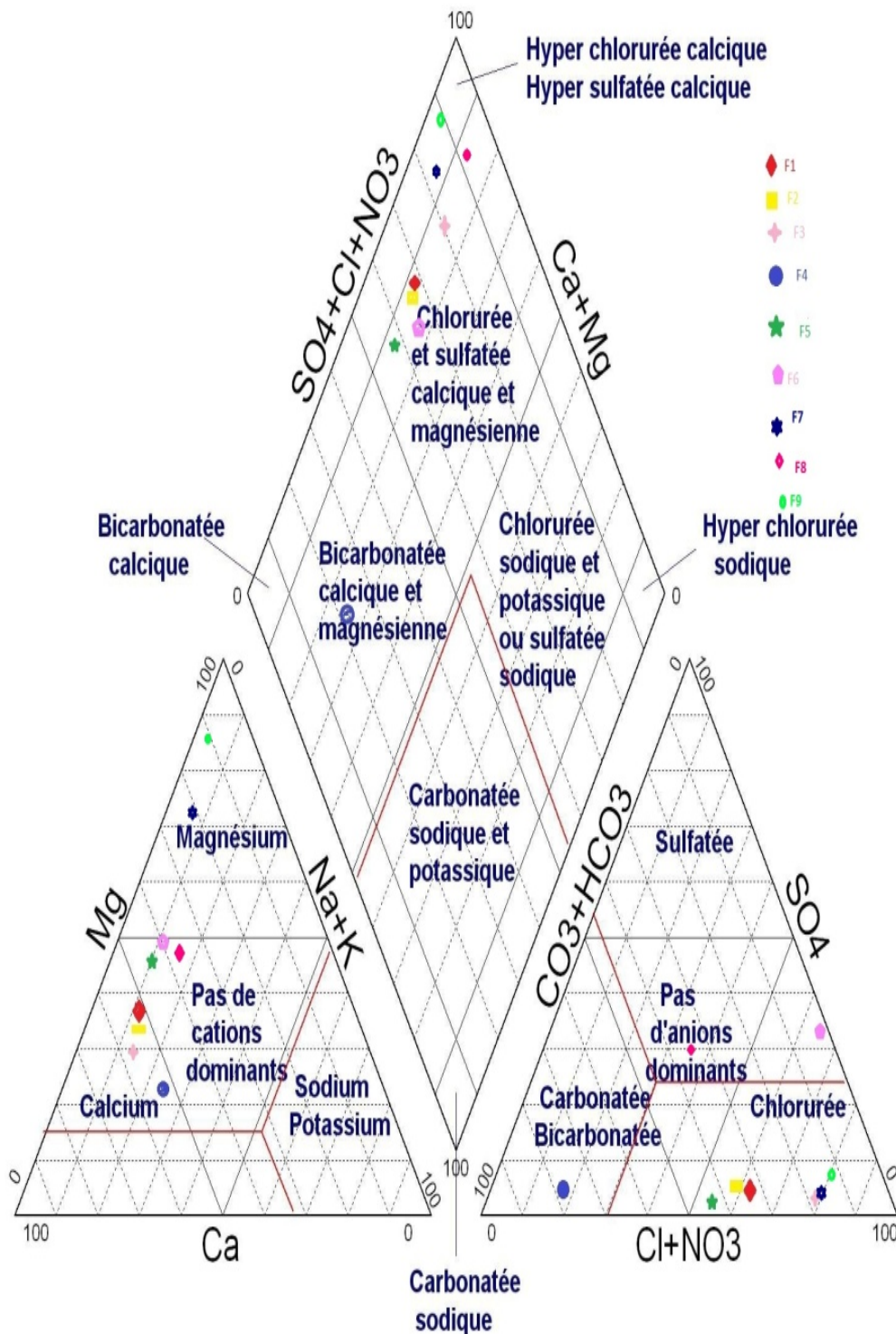


Figure 42 : Classification des eaux d’irrigation des forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9) de la région de Magra selon la méthode de piper (Avril et Mai 2019).

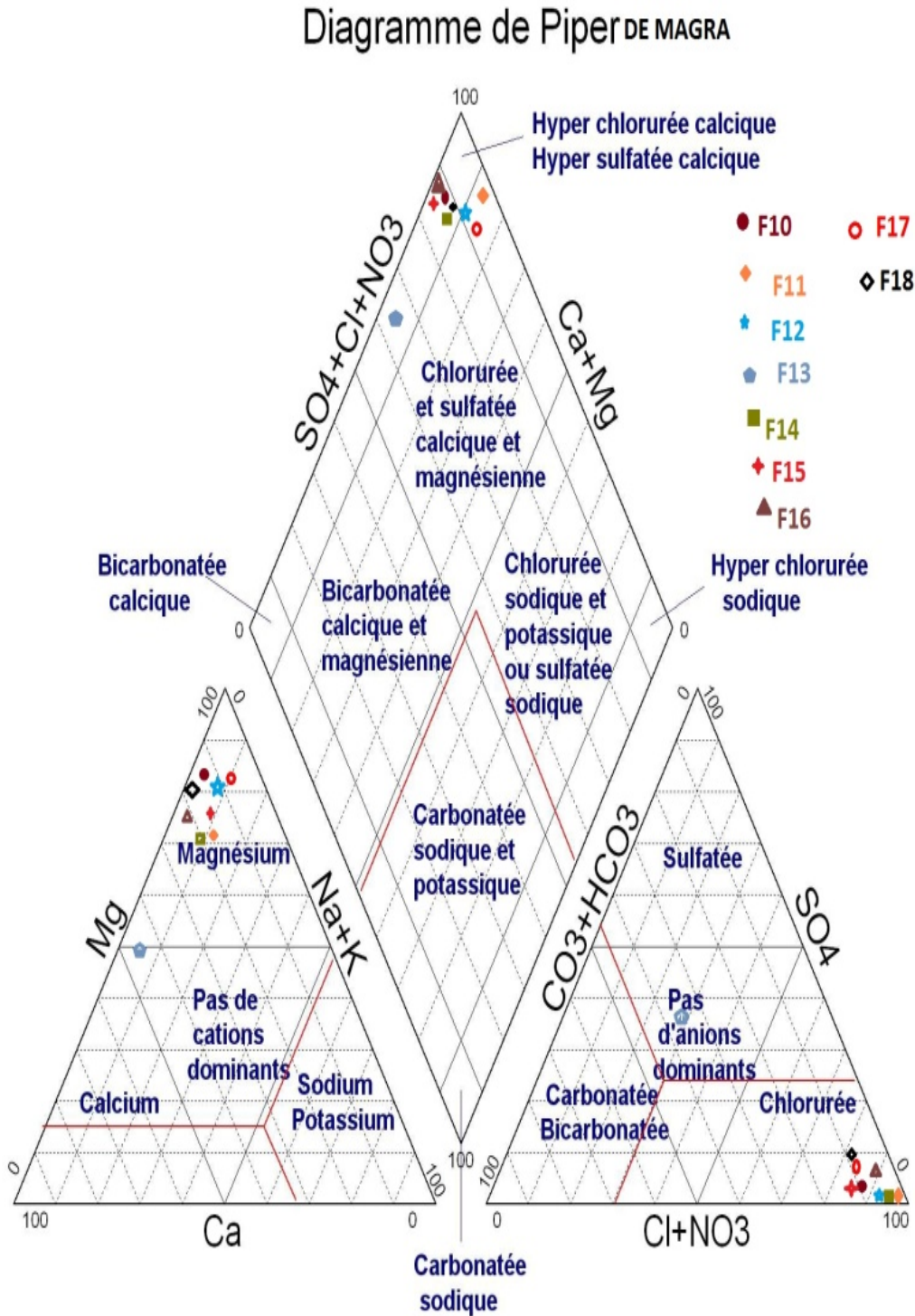


Figure 43: Classification des eaux d’irrigation des forages (F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19) de la région de Magra selon la méthode de piper (Avril et Mai 2019).

3-2-2-Classification des eaux d'irrigation de la zone de Magra selon le diagramme de SCHOLLER-BERKOLFFE

En utilisant le diagramme de Scholler-Bercaloff (figures 44, 45, 46 et 47) on a pu résumer nos résultats au tableau 18.

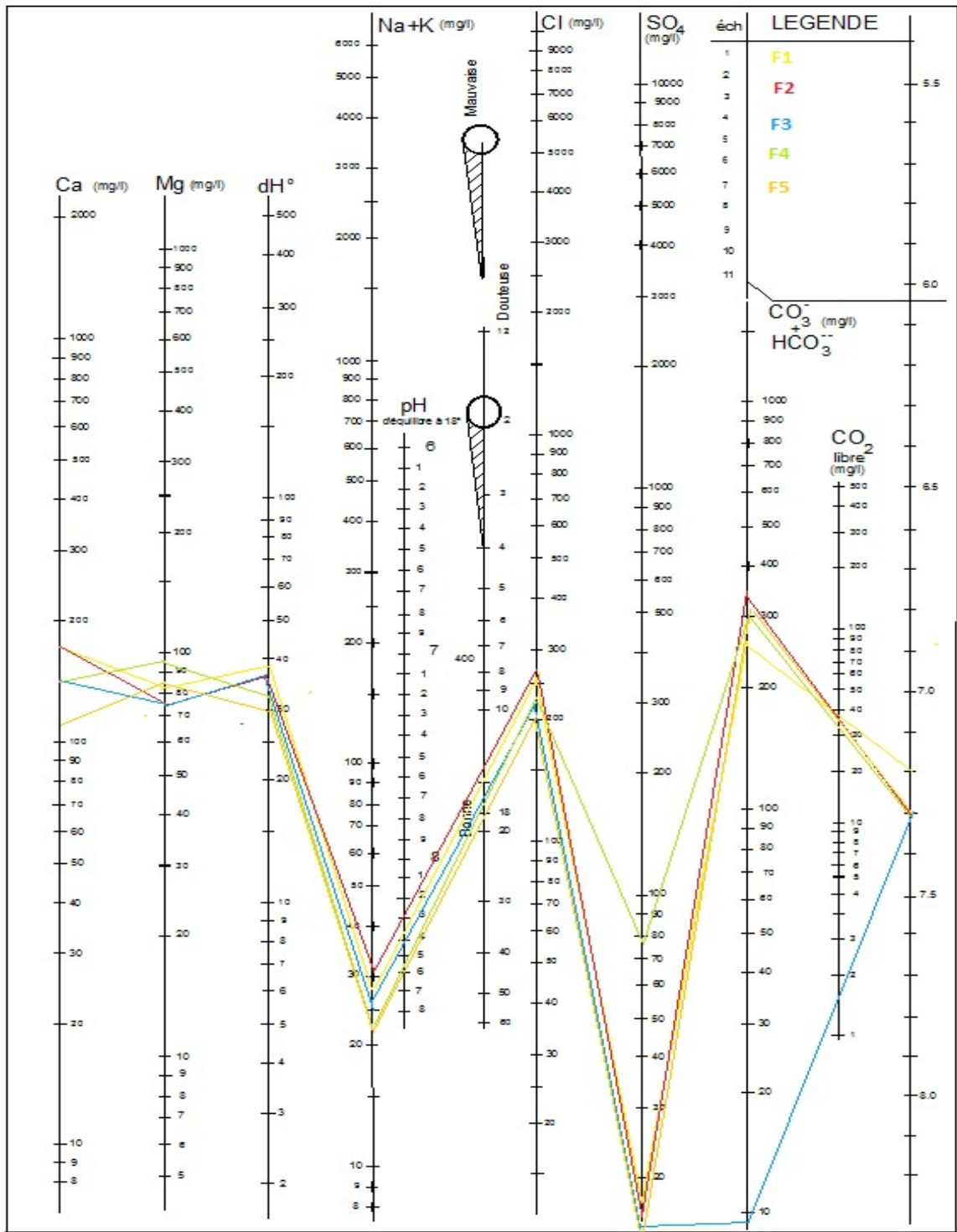


Figure 44: Classification des eaux d'irrigation des forages F1, F2, F3, F4, F 5 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai 2019)

PARTIE 03: RESULTATS ET DISCUSSION

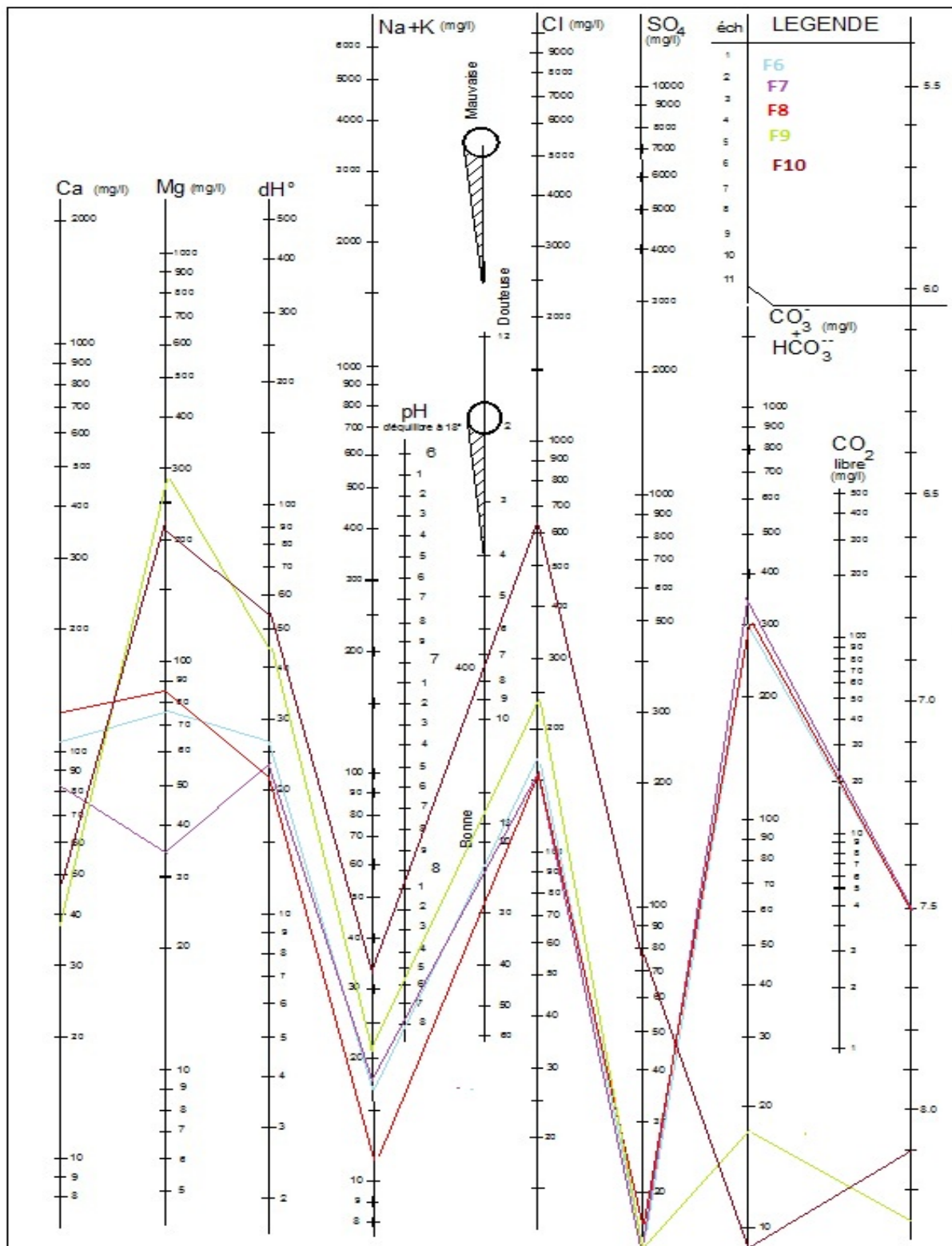


Figure 45 : Classification des eaux d’irrigation des forages F6, F7, F8, F9, F10 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai 2019)

PARTIE 03: RESULTATS ET DISCUSSION

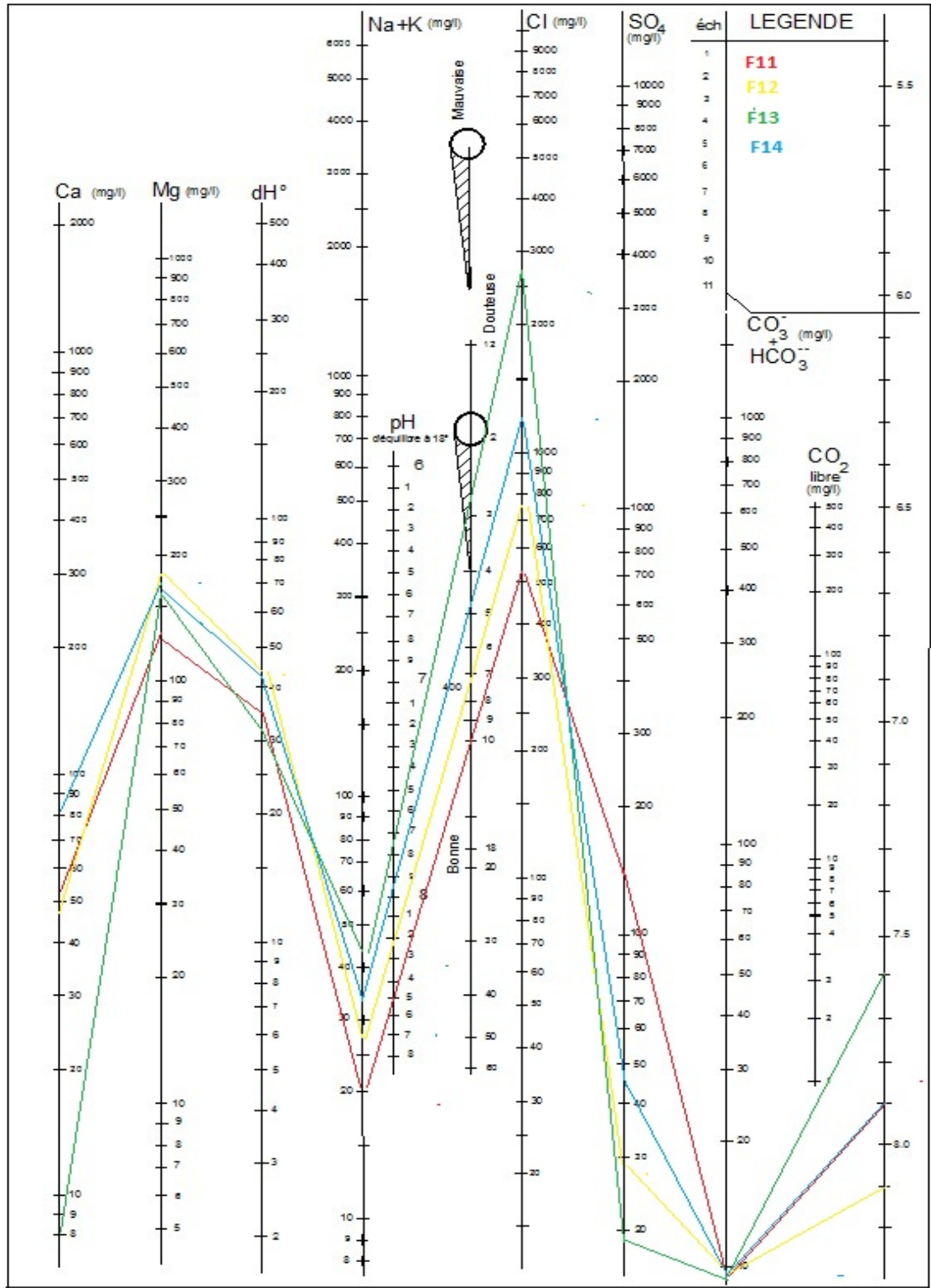


Figure 46: Classification des eaux d'irrigation des forages F11, F12, F13, F14 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai2019)

PARTIE 03: RESULTATS ET DISCUSSION

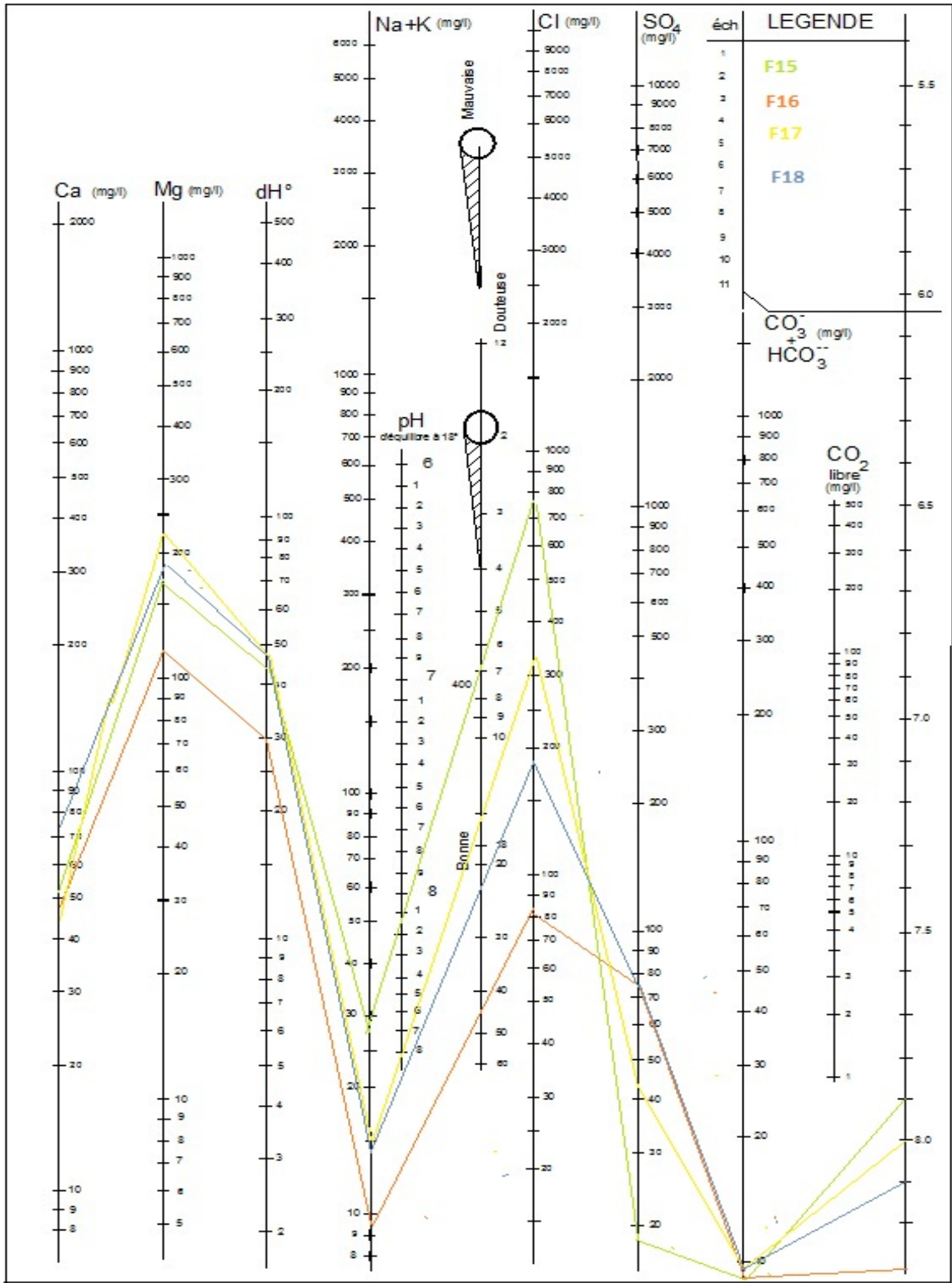


Figure 47: Classification des eaux d'irrigation des forages F15, F 16, F17, F18 selon le diagramme de Scholler-Bercaloff de Magra (Avril et Mai2019)

Tableau 18: Les facies chimique des eaux d'irrigation de Magra (Avril et Mai 2019) selon Scholler-Bercaloff

Facies chimiques	Forages de Magra
Chlorurée calcique	F3
Chlorurée magnésienne	F6, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17et F18
Bicarbonatée calcique	F1 et F2
Bicarbonatée magnésienne	F4, F5, F7 et F8

Le deuxième résultat que nous pouvons extraire à partir du diagramme de Scholler-Bercaloff est celui du pH d'équilibre (résumé au tableau 19);

Tableau 19: résultats de pH mesuré et pH d'équilibre des eaux des forages de Magra selon Scholler-Bercaloff

Forages	pH mesuré	pH d'équilibre
F1	7,22	8,36
F2	7,30	8,2
F3	7,32	8,4
F4	7 ,39	8,6
F5	7,35	8 ,8
F6	7,50	8,7
F7	7,50	9
F8	7,50	8,6
F9	8,30	8
F10	8,02	8,5
F11	7,95	8,1
F12	8,13	8,2
F13	7,83	7,8
F14	7,96	8,2
F15	7,93	8,1
F16	8,51	9
F17	8,05	8,8
F18	8,15	8,8

En cas de pH mesuré > pH d'équilibre, les eaux sont considérées de qualité incrustante et c'est le cas des forages : F2, F9, F13

En cas de pH mesuré < pH d'équilibre, les eaux sont de qualité agressive ; il s'agit dans notre cas des eaux des forages: F1, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F10, F11, F12, F14, F15, F16, F17 et F18.

La troisième information de diagramme de Scholler-Bercaloff est de quantité de CO₂ libre dans l'eau :

Les forages F6, F7, F8, F9, F10 sont de valeur 20mg/l de co₂ libre

Le forage F1=36 mg/l

F5 et F2 =35 et F4 mg/l de 34mg/l

Le reste des forages (F3, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18) mentionnent des valeurs inférieures à 0mg/l

3-2-3- Classifications des eaux de station par le diagramme de WILKOX

A partir le diagramme de wilcox (figures 48 et 49), en peut résumer les classes de nos eaux en qualités suivantes:

Bonne pour: F5.F6.F7.F8.F9.F16

Médiocre pour: F1.F2.F3.F4.F10.F11.F12.F13.F17.F18

Mauvaise pour: F1.F15

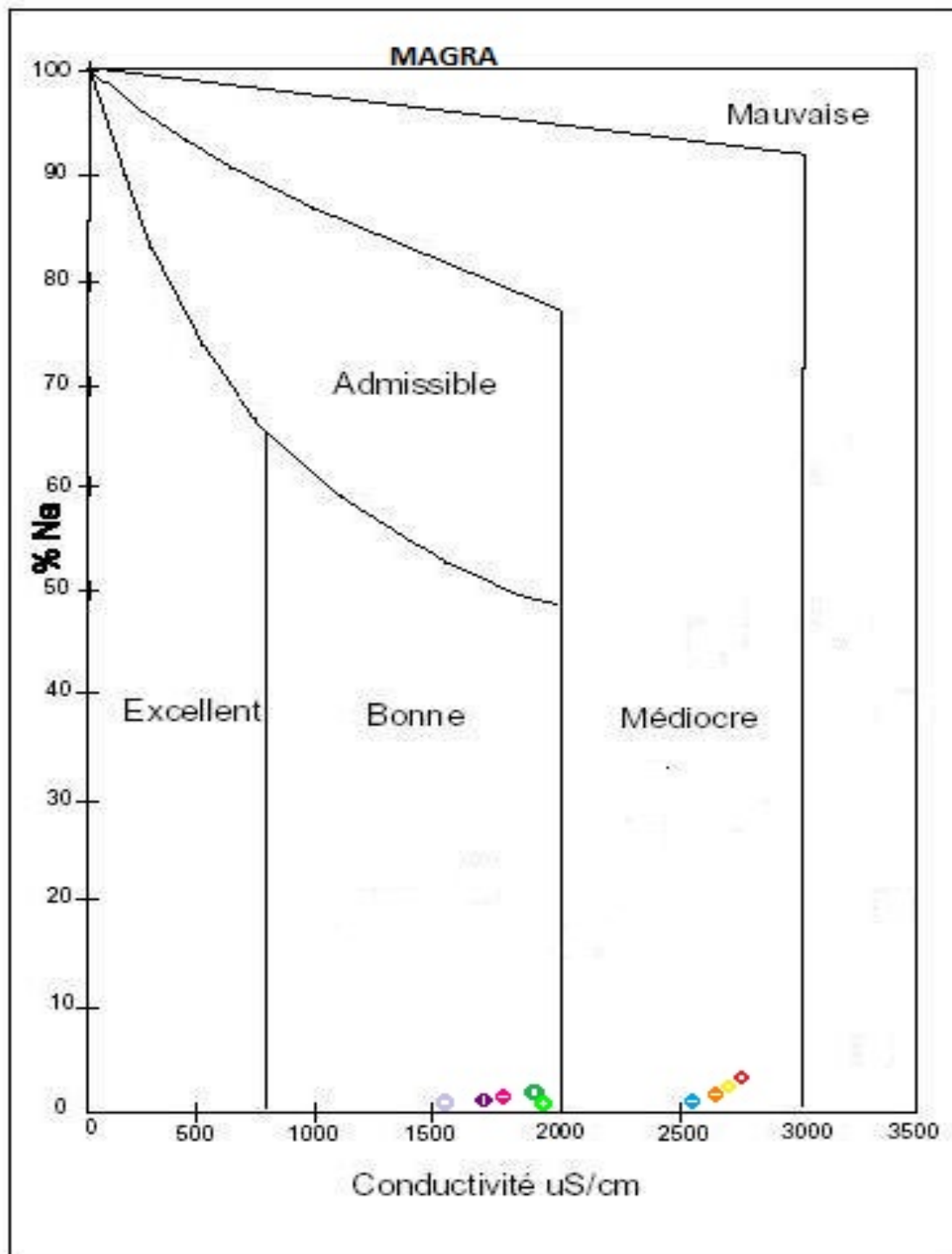


Figure 48: Classification des eaux des forages 1, 2, 3,4, 5, 6, 7,8 selon le diagramme de richard (réverside)

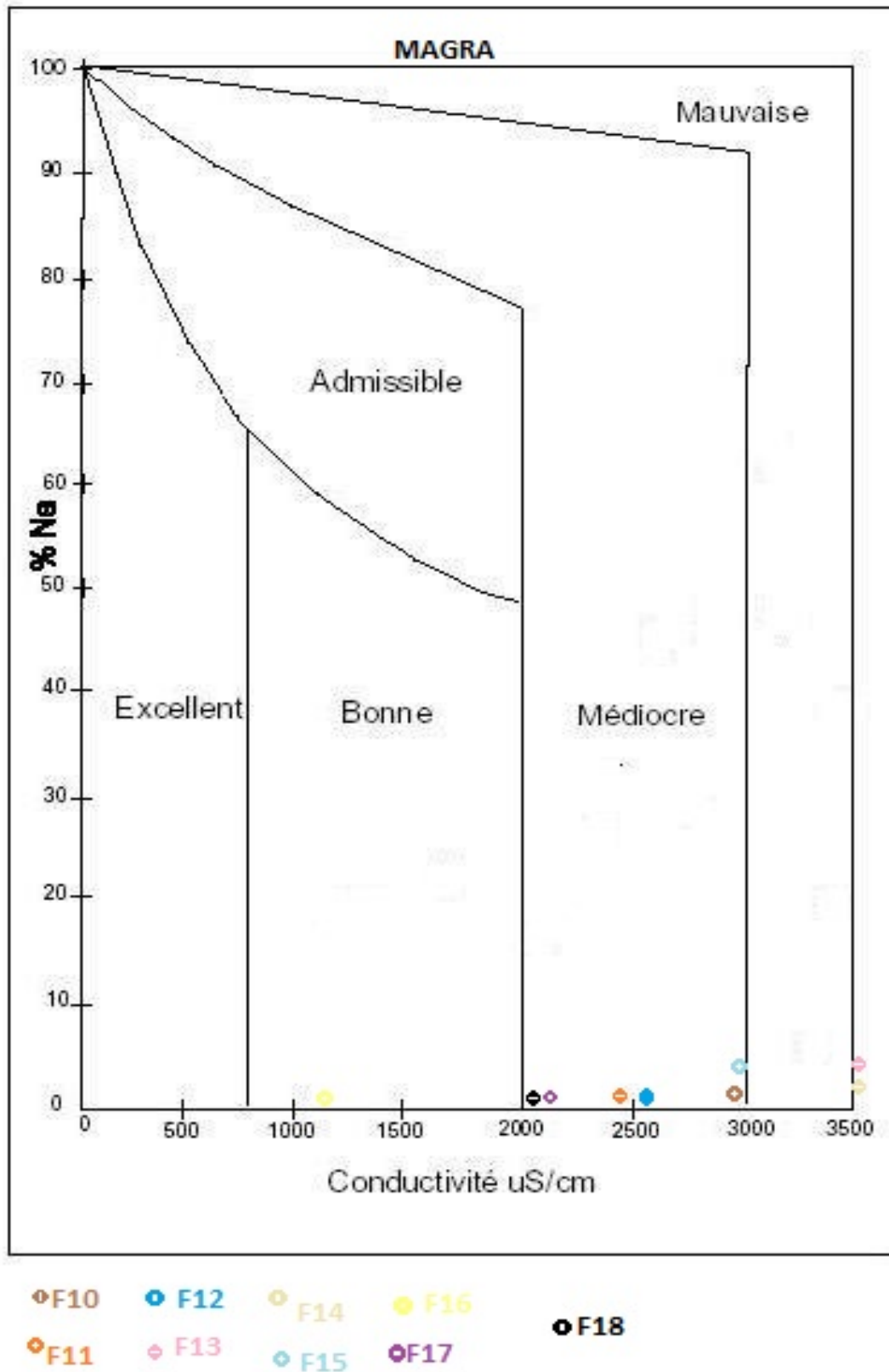


Figure 49: Classification des eaux des forages F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18 selon le diagramme de wilcox

PARTIE 03: RESULTATS ET DISCUSSION

3-2-4- Classifications des eaux de station par le diagramme de de Richard (Réverside)

Les résultats de la classification des eaux de notre zone d'étude (Magra) sont montrées clairement aux figures 50, 51 et au tableau 20.

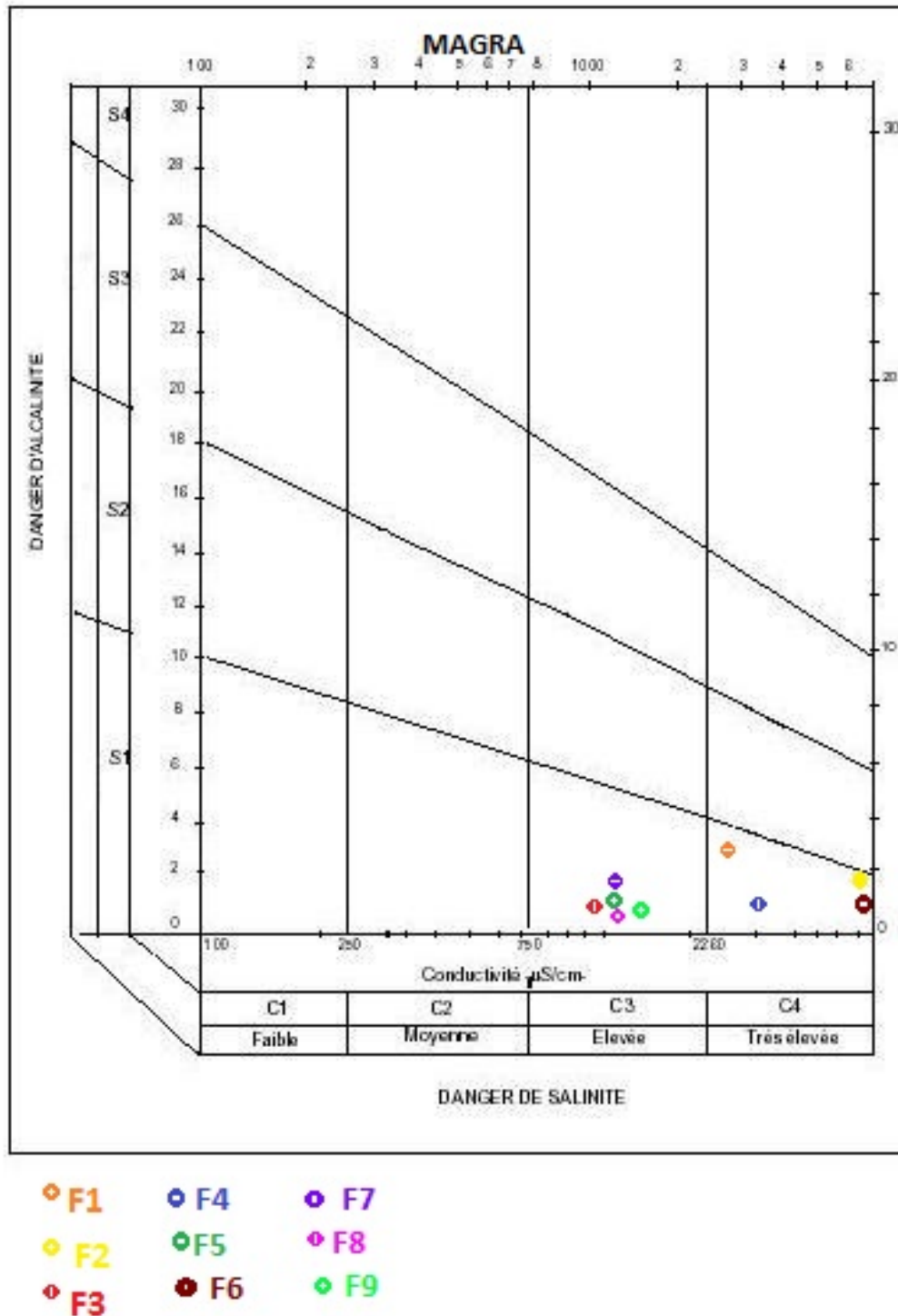


Figure 50: Classification des eaux des forages F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8 et F9 selon le diagramme de Richard (Réverside)

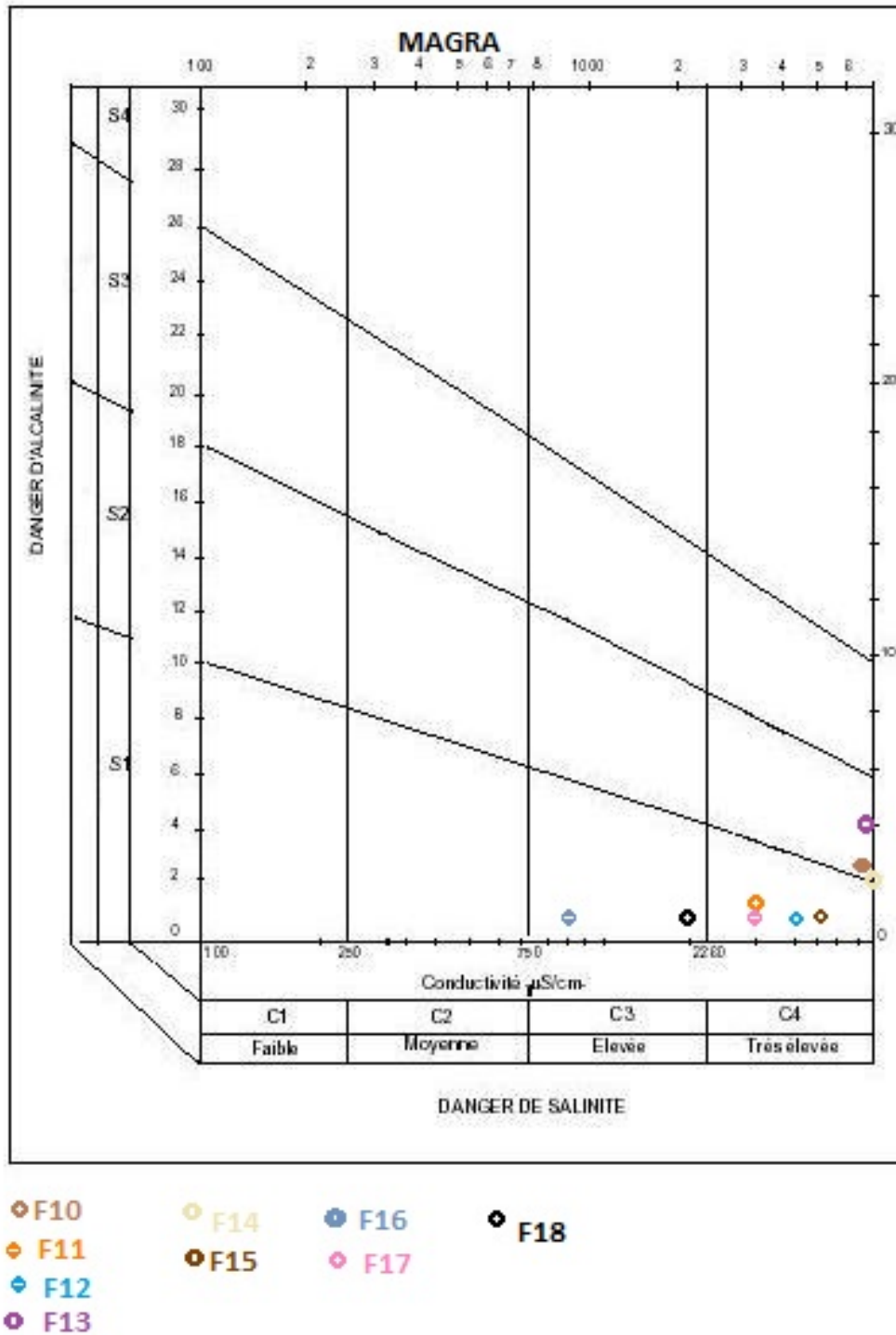


Figure 51: Classification des eaux des forages F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17 et F18 selon le diagramme de Richard (Réverside)

Tableau 20: Les classes des forages de Magra selon le diagramme de Richards (Réverside)

Les forages	Classe	Qualité	Interprétation
F6, F7, F8, F9, F10, F16 et F18	C3S1	Moyenne à médiocre	A utilisé avec précaution. nécessite de drainage avec dose de lessivage et/ou apport de gypse
F1, F2, F3, F4, F11, F12, F15 et F17	C4S1	Médiocre à mauvaise	Exclure les plantes sensibles et le sol lourd. Utilisation avec beaucoup de précaution dans les sols légers, bien drainés avec dose de lessivage et/ou apports des gypses
F13 et F14	C5S2	Très déconseillé pour l'irrigation	/

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale :

Ce travail a été mené dans la zone Magra, dans le but de la connaissance des principales propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation (à partir de 18 forages).

Notre zone d'étude la commune de Magra est située dans le Nord-Est du bassin d'El Hodna. Elle se caractérise par un climat de type aride avec une période sèche qui s'étale entre le mois Mai et Septembre et une période humide le reste de l'année.

Les sols de la région d'étude sont de type peu évolués alluviaux avec encroutements calcaire et gypseux.

Le réseau hydrographique est constitué des cours d'eau saisonniers, tous situés dans de grands Oueds originaires des montagnes de Boutaleb Sobella et d'Ouled Hanash.

Les résultats d'analyse de nos eaux d'irrigation indiquent que:

-Le pH dans les forages F1 à F8 et aussi F11, F13 à F15 est neutre, pour les eaux de F9, F10, F16 à F18 est basique ($7 < \text{pH} < 8$), il n'y a pas de problèmes pour utiliser ces eaux pour l'irrigation.

-Le risque de salinité est sévère dans tous les forages.

-Pour la dureté totale; l'eau est très dure dans l'ensemble des forages analysés.

-La conductivité électrique est élevée (risque sévère avec > 3.0 mmhos/cm) dans l'ensemble des forages.

-Les nitrites n'existent pas dans tous les forages indiquant une qualité très bonne sauf pour F₁₇ qui présente une qualité bonne; on peut dire qu'il n'y a pas de sévérité.

-En ce qui concerne les nitrates, nos eaux sont de bonne qualité, sauf ceux des forages F3 et F5 qui enregistrent des qualités moyennes.

-Les valeurs des sulfates sont inférieures à 200mg/l pour l'ensemble des eaux des forages analysés

-D'après le diagramme de Piper, les eaux d'irrigation de la région de Magra présentent les faciès chimiques suivants: Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne voisine à hyper chlorurée calcique, Bicarbonatée calcique et magnésienne respectivement pour (F1, F2, F5, F6 et F8), (F3, F7, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17 et F18), F4

CONCLUSION GENERALE

-A partir du diagramme de Wilcox, on peut résumer les classes de nos eaux en : qualité bonne pour (F5, F6, F7, F8, F9 et F16), mauvais (14 et 15) et médiocre pour les forages (F1, F2, F3, F4, F 10, F11, F12, F13, F17 et F18)

-Selon le diagramme de Richard, nos eaux sont classées comme suit: C3S1 pour les forages (F 6, F7, F8, F9, F 10, F16 et F18), C4S1 (F 1, F2, F3, F4, F 11, F12, F15 et 17), C5S2 (F13 et F14); se sont des eaux respectivement à utiliser avec précaution, à utiliser avec beaucoup de précaution et enfin très déconseillée à l'irrigation

En fin, et comme suggestions on propose pour la région de Magra:

Le contrôle des doses ainsi que des périodes d'irrigation

Installation des réseaux de drainage pour évacuer l'eau saline en de hors des parcelles cultivées.

Le bon choix des cultures à installer (celles qui s'adaptent aux caractéristiques de nos eaux d'irrigation ainsi qu'aux propriétés des sols de la région de Magra).

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **ABDELHAFIDI N., 2005-** Contribution à l'étude de qualité des eaux minérales en Algérie par approche statistique. Mémoire d'ingénieur, université de Djelfa.77p.
- **ABDELLAOUI F., BEN CHENIT A., 2012-** Caractérisation des sols et des eaux d'irrigation dans deux station Ben Srouer et Maadher (W- M'Sila). Mém. Inge., Dép. Agro. Univ., M'sila. 61p.
- **AFNOR, 1994. Agence Française de Normalisation.** Recueil de normesfrançaises 1994, Qualité de l'eau. Paris: AFNOR, 1994Norme NFT 90-012
- **AGGOUNI A, DEBECHE A et DEMDOUM F. ,2012-**Etude de la qualité des eaux de surface dans la région septentrionale du Hodna. Cas du barrage du k'sob, M'sila- Algérie. Mém. Ing.,Dép.Bio., Univ ., M'sila, 87p.
- **AMMMICHE L., 2018-**Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation dans la zone d'OuledDerradje (wilaya de M'sila).Mém., Master,Dép. Agro. Univ., M'sila. 64p.
- **ANCTIL F, 2008-**L'eau et ses enjeux. Les presses de l'Université Laval, Canada.228p.
- **ANONYME., 1978-** Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale en sels, selon différentes sources, 24-25p.
- **AYERS R.S et WESTCOL D.W, 1976-**La qualité de l'eau en agriculture. Bull. FAO N°29, Rome.81p.
- **AZRI N, DJEMIAT S ; 2015-**Contribution à la connaissance des propriétés des sols et des eaux d'irrigation dans la zone d'Elghil -Maàdid-Wilaya de M'Sila.Mém., Master,Dép. Agro. Univ., M'sila. 113p.
- **BACHIRI A et ZAZIA M., 2016-**Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation de la zone d'ElghilMaadid wilaya de M'asila.Mém., Master, Dép. Agro. Univ., M'sila. 68p.
- **BAZA Y., 2006-** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi-aride cas de la région d'Ain el Ibel. Mém. Ing. Univ., Djelfa, 92p.
- **BEHLOULI D et LABIAD S., 2008-** Etude de la qualité des eaux de quelques sources de la région de « Djelfa »: étude comparative des paramètres physico-chimiques. Mémoire d'ingénieur, université Djelfa. 60p.
- **BENBLIDIA., 2011-**L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Plan bleu .Centre d'activités régionales. PNUE/PAM,24p.

Références bibliographiques

- **BERKANI I et BENARFA N., 2005-** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi-aride, cas de la région de DELDOUL (plain de Ouledtolba) wilaya de Djelfa. Mémoire d'ingénieur, université Djelfa. 92 p.
- **BOUAROUDJ S., 2012-** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation, en provenance des oueds : Rhumel et Boumerzoug, dans deux exploitations agricoles (El-khroub - Constantine). Mém. Ing. Univ., Constantine, 3 - 17p.
- **BOUZIANI M. 2006-**L'eau: Dans tous ses états; source de vie, ressource épuisable , maladies hydriques , pollutions chimiques. Dar Ghab, Oran, Alger.260p.
- **CHAPMAN D., KIMSTACH V., 1996-** Selection of water quality variables. Water quality assessments; a guide to the use of biota. Sediments and water in environment monitoring. Chapman.édition, 2 éd. E et FN Spon, London.
- **CHEBABHA E, et KHEBAL R.,CHEBABHA E, KHEBAL R –**Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimique des eaux d'irrigation dans la zone d'Ouanougha (wilaya de M'sila).Mémoire Master, université de M'sila. 72p.
- **CONAC F. 1978.**Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens etdanubiens.
https://web.supagro.inra.fr/pmb/opac_css/index.php?lvl...id.
- **COUTURE I. 2006.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQMontréal-Est AGRI-VISION 2003-2004. 8p
- **DAJOZ A., 2003-**Précise d'écologie. Paris : Dundod, 29p.
- **D.S.A., 2011-** Direction des services agricoles. M'Sila.
- **D.S.A., 2019-** Direction des services agricoles. M'Sila.
- **DEKHIL S., SD-** L'eau et le développement de l'irrigation en Algérie. N° 1-2/91, MEDIT. P 34-38.
- **DERONZIER G, SCHETRITTE S, RACAULT Y, CANLER J-P, HEDUIT A et DUCHENE P., 2001-** Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites. Thèse Doctorat, Science, USTHB., Alger, 210p.
- **DRECHSEL P, CHRISTOPHER A.S, LIQA R-S, MARIK R et AKICA B., 2011-** L'irrigation avec des eaux usées et la santé : Evaluer et atténuer les risques dans les pays à faible revenu. Presses de l'université du Québec, Canda.439p.
- **DURAND J.H., 1970-** Les sols irrigables, étude pédologique. Ed. Presse universitaire de France, Paris, pp158-160.

Références bibliographiques

- **DURAND J.H., 1984-** Les sols irrigables, étude pédologique. Ed, S.E.S. Alger,180p.
- **EL ASSLOUJ J ; KHOLTEI S ; EL AMRANI N et HILALI A. 2007-**Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique science 03(1) (2007) 109 – 122.
- **EL OUMLOUKI. k, MOUSSADEK. R, ZOUAHRI. A, DAKAK. H, CHATI. M et EL AMRANI. M, 2014-**Etude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa : cas de périmètreIssen, Maroc ; 2365-2374pp.
- **FAO ,1990 -**Qualité de l'eau .Dosage du sodium et potassium. Méthode spectromètre d'émission à flamme. NA 1653, ISO 9964-3.Ed. INAPI. Edition et diffusion. Alger, 4p.
- **JORA 1983. Journal Officiel de la République Algérienne** Loi 87-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, p 1270.JORA n°30 du 19-07-83 Chapitre II. Eau d'irrigation.
- **JOSE LUISE B., -**Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine : exemple dans la comarca larguera. Thèse université Montpellier. 267p.
- **GOMELLE C et GUERRE H., 1978-** Le traitement des eaux publiques industrielles et privées. Ed Eyrolles. Paris. 262p.
- **GUILLEMIN C et ROUX J-C ., 1992-**La pollution des eaux souterraine. Manuels et Méthodes n° 23. Ed BRGM. 262p.
- **HALITIM A, 1988-**Sols des régions arides d'Algérie. Office des Publication Universitaires, place centre de Ben Aknoun , Alger. 384p.
- **HORNING H M., 1973.**Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations. Séminaire régional FAO/PNUD Damas. 7-13 décembre 1971.pp 10-21.
- **KETTAB A, 1992–**Traitement des eaux : les eaux potables. Office des Publications Universitaires, Place centre de Ben Aknoun. Alger, 151p.
- **KRAATZ D.B, 1972-** Revêtement des canaux d'irrigation. FAO, Rome. 222p.
- **LADJEL S., 2006-** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage. T7. Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi-Ouzou, 101p.
- **MAYNARD D.N.et G.J. HOCHMUTH.1997.**Knott's Handbook for Vegetable growers. 582p.

Références bibliographiques

- **MICHEL C.G, CHRISTIAN S ET BERNARD J., 2011**-Etudes des sols: description, cartographie, utilisation .Dunod, Paris.404p.
- **MOHAND S., 2001**- Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Ed. O.P.U. Alger.156p.
- **MONITION L ., 1969**. Donnés sur l'utilisation des eaux selon leurs qualités chimique, 1_20pp.
- **NANCY M., 1997**- La qualité de l'eau d'irrigation : un facteur à ne pas négliger, 33-34p.
- **OLAND V, 2010**-Eau, environnement et santé publique: Introduction à l'hydrologie. Lavoisier, 3 ème, paris.213p.
- **OLLIER CH et POIREE M., 1981**- Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie technique et économie d'arrosage. 55p.
- **OLLIER CH.ET POIREE M. 1983**. Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Ed.Eyrolles. Paris.455p.
- **OLLIER CH et POIREE M., 1986** –Irrigation: les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages. Boulevard, 61ème, Paris. 503p.
- **PLAUCHU A ., 2003**-Economie de l'environnement, 283 p.
- **RAMADE F., 2003**- Eléments d'écologie. 3° Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- **REJESK, F., 2005**-Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques » ; centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine. Ed.Eyrolles. Paris.45p.
- **Richards L. A. 1954** Diagnosis and improvement of saline and alkaliSoils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.
- **REMINI., 2005**- La problématique de l'eau en Algérie. Ed.O.P.U. Alger.162p.
- **RIEU M., 1981**- Sodium adsorption ration et estimation de l'alcalinisation des eaux, maison ORSTOM, vol XVIII n°2, pp 123-128.
- **RODIER J., BAZIN C etBROUTIN J-P, CHOMOBON P., CHAMPSAUR H et RODI., (1996)** - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultantes.8ème édition,Dunod, Paris, 1384p.
- **RODIER J, LEUBE B, MERLET N et COLL., 2009** –L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, DOUND, 9ème,Dunod. Paris, 1526p.
- **RONE A, 1985**– L'eau en Algérie: De l'impérialisme au développement (1830-1962). Office Des Publications Universitaires, Alger. 388p.

Références bibliographiques

- **S.A.M, 2019**-Subdivision Agricole de Magra
- **S.M.M, 2018**-Station Métrologique de M'sila.
- **SAMAK H., 2002**-Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de durant la période 200 et 2001, 77p.
- **TIR C., 2001**- Dynamique saisonnière des nappes phréatiques dans la station expérimentale de SediMehdi-Touggourt. Mém. Ing. Univ., Batna, 70 p.
- **XANTHOULIS D. (1993).**, Valorisation agronomique des eaux usées des industries agroalimentaires.
- **ZEDAM A, 2015**-Etude de la flore endémique de la zone humide de Chott El Hodna (inventaire – préservation) ; Doctorat ; université de Stif ; 138p.
- **ZELLA L et SMADHI D., 2006**-L'eau, la gouvernance et l'éthique. Ed .O.P.U.Alger, 131p.
- **ZELLA L, ET SMADHI D., 2007** -Evolution de l'irrigation. Institut National Agronomique, Alger, Algérie, pp 65-80.
- **ZELLA L, 2015** –Irrigation : eau, sol et plante. L'Office Des Publications Universitaires, Ben Aknoun , Alger. 61p.
- <http://www.lenntech.fr/applications/salinité-risque-irrigation.htm>
- <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableau 01 : Moyenne mensuelle des températures maximales en c (1988-2016) de la région de M'sila

année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	moyenne
1988-1989	16,9	23,5	26,6	27,2	37,9	36,8	41,6	42,5	41,6	33	26,4	19,7	31,14
1989-1990	16,6	25,4	25,8	25,9	34,7	40	41,3	39,8	39,4	28	25,8	22,1	30,40
1990-1991	18,5	19,5	26,1	26,3	33	39,9	44,4	41,8	38,5	32,3	24,2	17,2	30,14
1991-1992	14,6	19,2	22,4	30	36,7	36,6	39,1	40,3	37,4	31,8	22,3	21	29,28
1992-1993	16,5	17,7	25,6	29	37,8	43,7	45,3	42,4	36,6	32,6	22,1	20,5	30,82
1993-1994	18,8	23,6	27	29	43,6	43	43,6	43,4	37,1	34,6	24,6	18,6	32,24
1994-1995	19	23,6	26	26,7	35,8	40,1	41,8	43,1	39	28	24,7	19,9	30,64
1995-1996	20,3	17,7	28,2	27,9	35,6	38,8	43,2	42,2	37,3	30,7	27,5	18,8	30,68
1996-1997	19	24,4	25,2	29,3	37,5	43,7	45,2	43,5	36,5	30,5	26	23,3	32,01
1997-1998	18,7	21,8	26,5	31,4	32	42,5	44,2	42,2	38,5	32,4	22,5	17,2	30,83
1998-1999	18,3	22,7	25,5	34,1	41,7	43,3	43,3	44,7	42,2	29,6	26,6	20	32,67
1999-2000	20,2	21,7	24,9	35,7	36,4	42,9	43,9	42	37,4	31,8	25,7	19,6	31,85
2000-2001	18,6	21,4	33,8	31,6	38,2	41	43	41,7	41,2	30,2	25,8	20,3	32,23
2001-2002	21,2	22,8	28,5	33,8	39,4	41,3	45,6	41,7	39,2	34	26,1	20,7	32,86
2002-2003	20	17,8	24,8	36,8	35,7	42,6	45,2	42,8	36,2	34	26,1	18,5	31,71
2003-2004	18,8	24,7	25,6	26,8	30	41,5	43,1	43,6	40,4	39,3	28,6	18,4	31,73
2004-2005	20,2	21,4	32,8	33	37,2	41,9	46,2	44	39,2	34,5	24,7	21,5	33,05
2005-2006	16,4	17,8	28,9	32,8	39,7	44,2	33,8	42,1	36,9	32,4	28,3	18,6	30,99
2006-2007	22,6	22,3	27,7	28,8	36,9	44,1	42,2	42,2	36,4	36,3	30,8	19,5	32,48
2007-2008	19,2	23,4	30,5	34,4	36,2	40,7	45,7	45	36,8	36,8	21,4	20,8	32,58
2008-2009	18,3	18	25,4	28,7	37	39,8	45,2	43,4	39,5	39,5	21,4	17	31,10
2009-2010	20	28,7	28,2	30,2	34	42,6	45,3	42,7	40,8	32,7	27	22,8	32,92
2010-2011	20,3	20,4	25,6	33	36,1	41,3	43,6	44,6	36,7	35	23,3	22,1	31,83
2011-2012	18,4	21,5	26,1	31,7	36,4	43,3	46,2	44,8	41	30,9	22,6	18,8	31,81
2012-2013	21,3	19,6	26,8	34,1	27,4	34,1	38	36,1	38,5	36	28,1	19,3	29,94
2013-2014	18,8	25,4	23,6	33,3	36,6	39,4	43,3	44,3	33	29,3	18,9	14,2	30,01
2014-2015	20	17,7	29,4	34,4	41,3	40,2	44,2	45,3	41,4	37,2	26,1	18,5	32,98
2015-2016	22,4	237	32,7	32,4	43,2	40,3	43,2	43,4	39,4	34,3	24,2	20,4	51,08
2016-2017	12,3	17,8	22,4	25,8	32,9	37,1	40,4	39,9	37,4	34	27,4	22	29,12
moyenne	18,83	28,91	26,99	30,83	36,58	40,92	43,14	42,60	38,47	33,16	25,14	19,70	

ANNEXE 1

Tableau 02 : moyenne mensuelle des températures minimales en c (1988-2016) de la région de M'sila

Année	Jan	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne
1988-1989	-2,8	-1	3,3	3,3	4	9,2	19,8	19,1	10	7	1,2	-2,9	5,85
1989-1990	1	1,3	0,7	4,2	10	14	16,8	16,8	15,3	8,4	5,9	1,2	7,97
1990-1991	-3,9	0	2,1	3,2	3	13,1	17,7	17,7	15,6	8,4	0,3	-2,2	6,25
1991-1992	-3,6	-2	0,8	4	5,8	10,4	14	14	14,5	4,4	-0,3	-2,5	4,96
1992-1993	-2,3	-0,3	-3,2	3,2	8	18,8	18,9	18,9	15,1	6,5	2	0,2	7,15
1993-1994	-0,3	1	4	2,3	8	13,8	20,7	20,7	11,1	6,4	1,6	-0,2	7,43
1994-1995	-1,3	-1,6	3,3	2,8	8,9	12,9	18	18	12,2	11	3,2	-2,7	7,06
1995-1996	3,8	2,2	1,8	3,9	6,9	12,4	16,5	16,5	12	9,2	2,4	0,9	7,38
1996-1997	-0,6	0,7	3	4,9	6,8	12,7	17	17	11,5	6,5	1	-1,1	6,62
1997-1998	-3,3	-1	1,9	4	6,8	14	18,9	18,9	14	6,9	-2	-1,9	6,43
1998-1999	0,2	-0,5	1,6	4,4	11,2	16,8	21,2	21,2	16	6	0,6	-3	7,98
1999-2000	-2,8	-0,8	3,2	3	13	12,8	17,2	17,2	14,2	12	-0,2	-0,2	7,38
2000-2001	-0,9	0,2	1,9	5	8,4	16	21	21	12,6	8,3	1	-1	7,79
2001-2002	-1,8	-0,8	4,8	6,8	8	12,8	16	16	15,6	13	3,4	-1,4	7,70
2002-2003	1	-0,2	4,2	5,2	9,3	18,2	20,8	20,8	13,9	8,6	3,2	1,6	8,88
2003-2004	-1,6	-3,8	0,2	4,1	4,7	13,4	19,5	19,5	15,4	9	4,5	-2,3	6,88
2004-2005	-7,1	-0,2	-2,4	3,1	9,5	13,7	15,3	15,3	11,2	7,3	1,2	-2,8	3,54
2005-2006	-3,8	-0,2	1,4	4,7	13	7,7	17,6	17,6	11,9	10	-1,9	-3	4,83
2006-2007	-0,3	-0,1	-0,6	4,2	9,1	12,2	19,3	19,3	11,5	11	4,8	-0,9	7,46
2007-2008	-2	-1,5	-0,9	4	8,4	13,2	20,5	20,5	14,1	6	-2,5	-1,9	12,79
2008-2009	0	-2	0,5	2,2	7	15,2	22	18,8	12,2	8,2	2	0,8	7,24
2009-2010	-2,2	-2,8	1,5	6,8	6,8	15,3	19,9	21,6	13	6,8	2,4	0,5	7,47
2010-2011	-3,4	-1,9	0,7	7	9,4	13,5	18,3	19,8	12,3	4,1	2	-4,1	6,48
2011-2012	-2,9	-5	2,2	4	8,8	18,9	17,9	20,8	16,4	8,4	5,4	-0,3	7,88
2012-2013	-1,2	-3,2	-1,7	3,6	13,5	18,2	23,5	21,9	14,4	4,6	2,4	-1,2	7,90
2013-2014	0,1	-1,8	1	5,3	8,6	13,8	19,7	19,9	20,4	18	7,9	3,3	9,68
2014-2015	-1	-1,5	1,6	4,6	8,8	15,36	20,8	18,6	15,8	7,6	5,7	-0,6	7,98
2015-2016	-0,3	-0,4	0,4	4,2	5,7	12,8	13,6	18,7	13,9	8,9	1,7	0,4	6,63
2016-2017	2,8	6,3	7,7	11,6	18,1	22	24,6	25,7	12,8	8,5	2,5	0,2	11,90
moyenne	-1,40	-	0,81	4,47	11,21	14,25	18,86	19,03	13,76	8,31	1,53	0,93	

ANNEXE 1

Tableau 03 : moyenne mensuelle des températures moyenne en c (1988-2016) de la région de M'sila

année	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	sep	Oct	nov	dec	Moyenne
1988-1989	7,7	9,9	14,7	14,9	22	24,7	30,5	30,6	24,9	20,5	14	7,6	18,50
1989-1990	9,2	12,6	14,3	15,2	20,6	28,4	28,8	28,7	25,1	19,7	14,6	12	19,10
1990-1991	7	8,3	12,8	14,2	17,9	26,6	31,5	30,3	26,7	20,3	3,2	7,3	17,18
1991-1992	6,6	8,9	12,2	15,3	20,9	23,9	28,7	30,4	26	18,1	11,1	7,8	17,49
1992-1993	6,8	8,8	12,2	16	22,1	29,3	31,2	31,2	26,2	19	13,3	9,1	18,77
1993-1994	9,2	10,3	15,7	15	25	28,9	32,5	33,5	24,9	20,5	13,2	9,3	19,83
1994-1995	8,2	12,7	12,5	15,7	23,2	26,8	32	29,8	25,3	18,9	13,8	8,9	18,98
1995-1996	10,4	8,5	12,6	16	20,9	25,1	30,3	29,6	23,5	20	13,4	10,6	18,41
1996-1997	9,7	12,3	13,7	16,5	23,5	29,3	31,3	30,3	23,5	17,6	13,5	10,6	19,32
1997-1998	8,9	10,8	13,3	16,8	19,6	28,8	32,4	30,5	24,5	19,2	12,3	9,4	18,88
1998-1999	8,8	8,8	13,3	18,2	26,1	30	31,9	33,8	26,1	17,3	13,1	8,3	19,64
1999-2000	6	10,4	14,8	17,9	25	28	32,4	31	26,4	22,2	12,7	8,7	19,63
2000-2001	8,9	10	17,5	17,6	22,3	29,7	32,6	32	26,2	18,5	13,9	10,1	19,94
2001-2002	7,9	11,2	15,4	18,3	23,3	29,7	31,5	30	26	23,5	13,2	8	19,83
2002-2003	8,6	8,6	14	18,1	23,3	30	33,9	31,8	25,3	20,6	14	10,6	19,90
2003-2004	8,4	11,1	13,9	15,5	18	26,9	31	31,6	25,2	20,5	13,6	8,7	18,70
2004-2005	6,2	7,3	14,7	17,9	25,6	29,2	33,4	30,7	25,1	21,5	12	9,3	19,41
2005-2006	7,3	8,8	14,3	19,9	25,4	28,8	31,8	30,8	24,5	20,4	12,3	8,2	19,38
2006-2007	9,7	12,1	12,4	16,9	21,8	28,8	31,6	31,4	24,5	19,6	15,2	10,2	19,52
2007-2008	9,4	11,7	13,6	18,2	22,7	27,6	32,6	31,8	25,5	20,3	12,2	9,5	19,59
2008-2009	8,5	8,2	12,6	13,1	23,2	28,9	31,9	31,6	26	19,1	12,1	7,8	18,58
2009-2010	9,7	11,2	14,1	17,9	20,2	27,6	32,6	31,6	25,2	19,9	13,8	10,5	19,53
2010-2011	9,1	9,3	13	19	22,3	27,1	32	31,8	25,8	19,1	13,2	9,2	19,24
2011-2012	8	6,6	13,7	16,3	24,1	31,3	33,9	33,7	27,7	19,4	13,8	9,5	19,83
2012-2013	8,8	8	14	18,4	21	26,9	32	34	26,6	20,8	14,5	9,2	19,52
2013-2014	9,6	11,5	12,8	19,7	23,2	27,6	31,8	32,5	30	26,7	23,9	12,9	21,85
2014-2015	8,2	8,5	13,9	20,3	25,2	27,9	32,8	31,4	28,1	22,1	15,4	9,1	20,24
2015-2016	10	11,4	13	19,2	22,9	28,9	32	30,8	25,9	19,5	13,6	8,8	19,67
2016-2017	7,3	11,6	14,8	18,6	25,6	29,6	32,5	32,6	25,9	21,8	13,5	9	20,23
moyenne	8,42	9,98	13,79	17,12	22,65	28,15	31,82	31,37	25,74	20,23	13,39	9,32	

ANNEXE 1

Tableau 04 : pluviométrie mensuelle en mm (1988-2016) de la région de M'sila

année	jan	fév	mar	avri	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
1988-1989	1	8	1	28	14	41	NT	26	24	18	27	22
1989-1990	27	NT	19	36	100	14	12	NT	33	7	20	16
1990-1991	3	31	62	10	11	NT	2	11	14	1	20	32
1991-1992	24	11	13	4	44	9	25	NT	19	77	15	17
1992-1993	NT	16	9	5	30	NT	NT	NT	1	3	35	14
1993-1994	14	26	15	6	NT	NT	NT	14	18	NT	41	20
1994-1995	11	7	40	7	NT	3	NT	1	45	44	9	4
1995-1996	62	26	32	23	46	6	7	3	16	7	11	35
1996-1997	30	7	5	40	36	8	1	33	3	NT	6	24
1997-1998	10	18	10	46	60	8	NT	2	61	33	50	13
1998-1999	52	6	16	12	1	21	NT	12	39	6	9	5
1999-2000	NT	NT	5	3	25	2	2	2	31	47	26	58
2000-2001	25	2	5	25	NT	NT	NT	5	54	15	7	31
2001-2002	11	6	1	5	5	NT	2	16	45	17	15	18
2002-2003	73	11	2	17	29	28	1	3	7	13	26	13
2003-2004	5	5	31	36	75	10	2	29	47	83	29	25
2004-2005	1	18	6	6	NT	7	3	3	11	8	11	29
2005-2006	26	50	1	14	26	29	29	5	31	16	28	6
2006-2007	5	12	17	80	26	NT	NT	4	20	NT	29	22
2007-2008	5	5	61	NT	16	2	2	3	23	10	5	NT
2008-2009	31	17	50	34	2	8	1	3	35	57	10	26
2009-2010	7	32	21	21	3	3	2	6	23	4	6	19
2010-2011	3	8	8	21	13	40	2	5	4	11	8	3
2011-2012	NT	2	31	21	4	1	1	4	19	26	12	11
2012-2013	15	10	21	27	14	NT	5	7	59	27	9	9
2013-2014	20	7	19	NT	50	11	6	2	6	38	29	28
2014-2015	12	25	13	6	6	3	NT	16	13	2	27	13
2015-2016	5	8	12	50	22	NT	14	NT	27	51	NT	NT
2016-2017	13,2	18	4,3	0,5	1,5	12,7	4,1	7,4	5	9	16	14
moyenne	18,9	14,5	18,3	21,6	26,4	12,7	6,2	8,9	25,3	24,2	19,1	19,5

ANNEXE 1

Station météorologique de M'sila

HUMIDITE - MOYENNES MENSUELLES 2006-2016 (%)

Lat : 35° - 40'

Long : 04° - 30'

Alti : 441 m

Tableau 5 : Humidité moyennes mensuelles 2006-2016 de moyennes mensuelles 2006-2016 de m'sila

	JAN	FEV	MA R	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MO Y
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
0	74,7 3	69,6 4	62,55	57,1 8	47,0 9	39,0 9	31,4 5	35,0 9	49,4 5	58,2 7	70,4 5	75,8 2	

ANNEXE 1

Bilan Vitesse de Vent Moyenne mensuelle en m/s depuis 2006

Lat : 35° - 40'

Long : 04° - 30'

Alti : 441 m

Tableau 6 : vitesse de vent moyenne mensuelle en m/s de m'sila 2006-2016

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
2006	4	4	5	5	4	6	3	4	3	4	4	3
2007	3	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4	5
2008	3	4	5	6	5	5	4	3	4	2	3	3
2009	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4
2010	4	4	4	4	5	4	3	3	4	3	4	3
2011	3	5	4	4	5	4	5	3	4	3	4	4
2012	4	5	5	6	4	4	5	5	4	5	4	4
2013	5	5	7	5	6	5	4	4	4	4	5	3
2014	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3	4	5
2015	5	6	6	4	5	4	4	4	5	4	4	2
2016	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4
moy vent en (m/s)	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4

ANNEXE 2

Tableau 01: Température mensuelle moyenne (°c) de 1988-2016 au niveau de M'Sila

	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T_{moy}	8,42	9,89	13,79	17,12	22,65	28,15	31,82	31,37	25,74	20,23	13,39	9,32
T_{min}	-1,4	-0,72	0,81	4,47	11,21	14,25	18,86	19,03	13,76	8,31	1,53	-0,93
T_{max}	18,83	28,91	26,91	30,83	36,58	40,92	43,14	42,6	38,47	33,16	25,14	19,7

Source : S.M.M, 2018

Tableau 2: Moyenne mensuelle de précipitation en (mm) de M'Sila (1988-2016).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Totale
P (mm)	19	14,5	18,9	21,6	26,4	12,70	6,16	8,90	25,3	19,14	24,23	19,52	216,25

Source : S.M.M, 2018

Tableau 3: Les moyennes mensuelles de la vitesse de vent en (m/s) de la région de M'Sila de (2006-2016)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
moy vent en (m/s)	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4

Source : S.M.M, 2019

Tableau 4: Moyenne mensuelles d'humidité de la région de M'sila de 2006-2016

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
Vent en %	74,73	69,64	62,55	57,18	47,09	39,09	31,45	35,09	49,45	58,27	70,45	75,82

Source : S.M.M, 2019

Tableau 5 : température mensuelle moyenne (°c) de 1988-2017 au niveau de Dehahna

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T_{moy}	6,77	8,24	12,14	15,53	21	26,5	30,17	29,72	24,09	18,58	11,74	7,67
T_{max}	16,73	26,81	24,81	28,73	34,48	38,82	41,04	40,5	36,17	31,06	23,04	17,6
T_{°min}	-2,6	-1,92	-0,39	3,27	10,01	13,05	17,66	17,83	12,56	7,11	0,33	-2,13

Source : S.M.M, 2018 (après extrapolation des données dans l'annexe 3)

Tableau 6: Moyenne mensuelle de précipitation en (mm) de Dehahna (1988-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Pmm	23,89	19,52	23,29	26,61	31,38	17,5	11,16	13,9	30,28	24,14	29,23	24,52

Source : S.M.M, 2018 (après extrapolation des données annexe3)

ANNEXE 3

Méthode détaillée d'extrapolation des données climatique pour la région d'étude

Les données climatiques de la région d'étude sont calculées suivant le gradient altitudinal :

- ✓ **L'altitude de la région de M'sila est : 441m.**
- ✓ **L'altitude de la région Dehahna: 743.6m.**

On calcule la différence d'altitude : $743-441= 302$ m.

1- La température

- ✓ **Température maximale**

$0.7\text{ C}^\circ \rightarrow 100\text{ m}$

$T\text{ C}^\circ \rightarrow 302$

$T\text{ C}^\circ = 0.7*302/100 = 2.114\text{C}^\circ$

- ✓ **Température minimale**

$0.4\text{C}^\circ \rightarrow 100\text{m.}$

$TC^\circ \rightarrow 302\text{m}$

$TC^\circ = 0.4*302/100 = 1.208\text{C}^\circ$

2- La précipitation

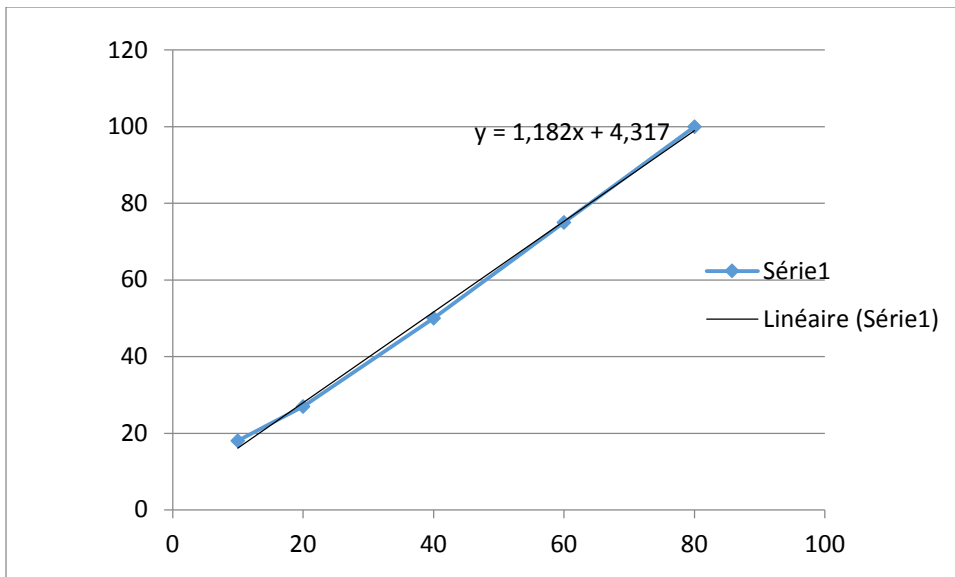
$20 \rightarrow \text{mm } 100\text{m}$

$P \rightarrow 302\text{m}$

$P = 20*302/100 = 60.4\text{ mm}$

ANNEXE 4

Figure 01 : Courbe étalonnage de sodium Na⁺



➤ **Expression des résultats**

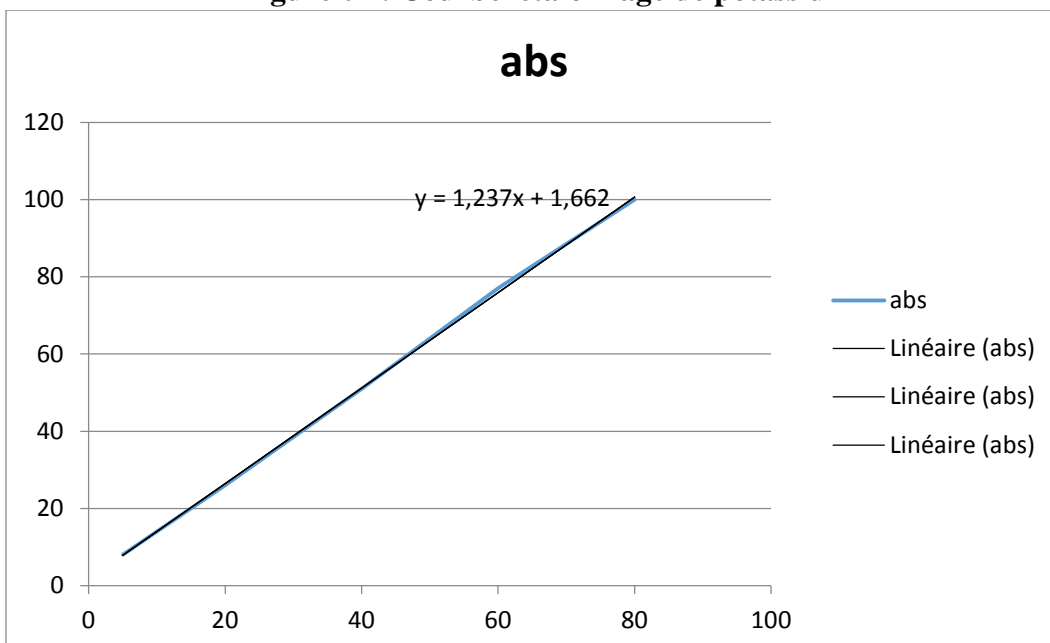
Calculée la concentration de sodium à partir l'équation suivante :

$$Y = 1.182x + 4.317$$

$$\text{Donc : } X = \frac{y - 4.317}{1.182}$$

$$[\text{Na}^+] = x$$

Figure 02 : Courbe étalonnage de potassium k⁺



➤ **Expression des résultats**

Calculée la concentration de potassium à partir l'équation suivante :

$$Y = 1.237x + 1.662$$

$$\text{Donc : } X = \frac{y - 1.662}{1.237}$$

$$[\text{K}^+] = x$$

ANNEXE 5

Tableau 01 :caractéristiques des zones de prélèvement

source d'eau	nom de forage	position géographique	Altitude(m)	Profondeur(m)	type de culture	système d'irrigation
F1	ouledsaid (magra) 1	N35°33'36 6 / E005°02'34 0	478m	120m	blé, orge,olive	surfa
F2	ouledsaid (magra) 2	N35°33'45 2 /E005°02'57 3	478m	330m	blé, orge,olive	surfa
F3	ouledsaid (magra) 3	N35°33'24 1 /E005°02'56 9	478m	90m	blé, orge,olive	surfa
F4	ouledaariba(magra)	N35°36'11 6	480	250	blé, orge,olive	surfa
F5	le complexe (magra)	N35°37'00 9	521m	250	blé, orge,olive	surfa
F6	Chnaoua (magra)	N35°36'15 7	548m	350	blé, orge,olive	surfa
F7	l'abatoiar (magra)	N35°36'05 7	518m	250	blé, orge,olive	surfa
F8	l'aamait (magra)	N35°37'18 4	585m	300	blé, orge,olive	surfa
F9	ouledmensour (magra)1	N35°31'06 2 /E004°00'52 1	430m	160m	culture marichaire,arboriculture	tous type
F10	ouledmensour (magra)2	N35°31'43 7" /E005°00'52 6	409m	240m	olive	surfa
F11	ouledmensour (magra)3	N35°31'40 3 / E005°00'49 9"	418m	240m	céréaliculture,culturemarichaire	tous type
F12	ouledmensour (magra)4	N35°31'46 7" / E005°00'40 3"	439m	240m	oliveet culture marichaire	surfa
F13	mechtetregayg (A-khadra)	N35°31'52 7" / E004°58'37 2"	441m	240m	olive	surfa
F14	ouled M'barek (A-khadra)	N35°30'43 4" / E004°56'40 2"	443m	240m	céréaliculture,culturemarichaire	surfa
F15	nfidha(A-khadra)	N35°31'05 2" / E004°56'13 1"	447m	240m	blé,orge,olive	surfa
F16	M'naifa(Dehahna) 1	N35°44'23 6" /E004°59'06 8"	763m	240m	arboriculture	surfa
F17	M'naifa(Dehahna) 2	N35°44'18 3" / E004°59'13 0"	720m	220m	arboriculture	surfa
F18	M'naifa(Dehahna) 3	N35°44'13 2" /E004°59'12 0"	748m	220m	olive,grenard	surfa

ANNEXE 6

Tableau 01: Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux

Classes paramètre	Très Bonne 1A	Bonne 1B	Moyenne 2	Mauvaise 3	Très Mauvaise HC
Conductivité à 20°C (µS/cm)	400	400-750	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	30-70
Résidus sec (mg/l)	≤500	500-1500	1500-2500	2500-3500	-
SO₄₋₂ (mg/l)	≤200	-	200-300	300-400	>400
Cl⁻ (mg/l)	≤150	-	150-300	300-400	>
Mg⁺² (mg/l)	≤50	50-75	75-100	100-400	-
Ca⁺² (mg/l)	≤160	160-230	230-300	300-500	-
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

ANNEXE7

Tableau 01 : Les classes d'eau selon la dureté

degrés français F°	dureté de l'eau
0 à 5	très douce
5 à 12	eau de faible dureté
12 à 25	moyennement dure
25 et plus	très dur

Tableau 02 : Risque de salinité des eaux d'irrigation en fonctions de la conductivité électrique

Risque	Total dissous (mg/L)	Mmhos/cm
Nul	<500	<0.75
Légers	500-1000	0.75-1.5
Modéré	1000-2000	1.5-3
Sévère	>2000	>3

Source : <http://www.lenntech.fr/applications/salinité-risque-irrigation.htm>

Tableau03: Classement selon le SAR

SAR	Risque
<10	Faible
10 <SAR< 18	Moyen
18 <SAR <26	Elevé
>26	Très élevé

Source : <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>

ملخص:

تقييم نوعية مياه الري الفيزيائية والكيميائية في منطقة مقرة (ولاية مسيلة)

أجريت هذه الدراسة في منطقة مقرة (ولاية مسيلة) بهدف معرفة الخصائص الفيزيوكيميائية لمياه الري لـ 18 عينة (18 بئر) أخذت بتاريخ 30 أبريل و 12 ماي 2019.

أثبتت النتائج أن هذه المياه تحتوي على :

- درجة حموضة قاعدية .
- ملوحة مرتفعة.
- نوعية جيدة إلى جيدة جدا، وذلك لعدم وجود خطورة النيتريت ونوعية متوسطة بالنسبة للنترات.
- حسب مخطط Richard تصنف حسب C3S1 (F 6, F7, F8, F9, F 10, F16 et F18), C4S1 (F 1, F2, F3, F4, F 11, F12, F15 et 17), C5S2 (F13 et F14) والتي نحذر من استعمالها ولا ننصح بها من أجل الري.

نقترح متابعة الري (الكمية والمدة) مع تركيب شبكات صرف صحي جيدة واختبار النباتات الملائمة أكثر لزراعتها.

الكلمات المفتاحية: الخصائص - فيزيائية - كيميائية - مياه السقي - مقرة - المسيلة.

Résumé

EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX D'IRRIGATION DE LA ZONE MAGRA (WILAYA DE M'SILA)

Cette étude est réalisée dans la région de Magra (W de M'sila) dans le but de la connaissance des caractéristiques physico-chimiques de ces eaux d'irrigation, sur les eaux de 18 échantillons (18 forages) prélevées le 30 Avril et le 12 Mai 2019.

Les résultats montrent que nos eaux d'irrigation présentent:

- Un pH basique.
- Une salinité élevée.
- Une qualité très bonne à bonne indiquant l'absence sévérité pour les nitrites. Une qualité moyenne à bonne concernant les nitrates.
- Selon le diagramme de Richard, nos eaux sont classées comme suit: C3S1 pour les forages (F 6, F7, F8, F9, F 10, F16 et F18), C4S1 (F 1, F2, F3, F4, F 11, F12, F15 et 17), C5S2 (F13 et F14); se sont des eaux respectivement à utiliser avec précaution, à utiliser avec beaucoup de précaution et enfin très déconseillée à l'irrigation

Comme suggestion, on propose le contrôle de l'irrigation (dose et période), l'installation des réseaux de drainage et le chois des cultures à installer.

MOTS CLES : Caractérisation - physique-chimique- eaux d'irrigation - Magra - M'sila-

ABSTRACT

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF IRRIGATION WATER IN THE MAGRA AREA (M'SILA)

This study is carried out in the Magra region (W de M'sila) with the aim of knowing the physical and chemical characteristics of these irrigation waters, on the waters of 18 samples (18 boreholes) taken on April 30 and May 12, 2019.

The results show that our irrigation waters have:

- A basic pH.
- High salinity.
- A very good to good quality indicating the absence severity for nitrites. Medium to good quality for nitrates.
- According to Richard's diagram, our waters are classified as follows: C3S1 for drilling (F 6, F7, F8, F9, F11 and F18), C4S1 (F 1, F2, F3, F4, F 11, F12, F15 and 17), C5S2 (F13 and F14); are waters to be used with caution, to be used with great care and finally very discouraged for irrigation

As a suggestion, irrigation control (dose and period), installation of drainage systems and choice of crops to be installed are proposed.

KEYWORDS: Characterization - physical-chemical - irrigation water - Magra - M'sila.