

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila



MEMOIRE

Présenté
à la Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques
Pour obtenir le Diplôme de

Master Académique en science du sol

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Thème

Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (M'Sila).

Présenté par :

BADOUCHE El-Chaima

Soutenu devant le jury suivant :

-President: **Mr Cherief Abdelkader** (MAA)

-Promoteur : **Melle Tir Chafia** (MAA)

-Examineur: **Mr Amroune Abdelouahab** (MCB)

Année universitaire : 2018/2019

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila



MEMOIRE

Présenté
à la Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques
Pour obtenir le Diplôme de

Master Académique en science du sol

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Thème

Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (M'Sila).

Présenté par :

BADOUCHE El-Chaima

Soutenu devant le jury suivant :

-President: **Mr Cherief Abdelkader** (MAA)

-Promoteur : **Melle Tir Chafia** (MAA)

-Examineur: **Mr Amroune Abdelouahab** (MCB)

Année universitaire : 2018/2019

Dédicace

A mes parents.

Pour vos mains qui ont tant travaillées,

Pour votre cœur qui m'a tant donné

Pour votre sourire qui m'a tant réchauffé,

Pour vos yeux qui furent parfois mouillés,

Pour vous qui m'avez tant aimé.

A mes chères sœurs : Soumia, Kaouthar et Khadidja

A mon chère frère : Housseem el-dinne

A mon fiancé : Mohammed Belaabase et sa famille

A tous qui me connaisse de près ou de loin.

Je dédie ce modeste travail

El - Chaima.

Remerciements

« La connaissance est la seule chose qui s'accroît lorsqu'on la partage »

Avant toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donnée la force et la patience, afin d'accomplir ce mémoire.

J'adresse tout d'abord mes sincères remerciements à Melle Tix Chafra.

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

Mr Cherief A, d'avoir accepté de présider le jury ainsi que son soutien moral et scientifique.

J'adresse mes profonds remerciements et respects à, Mr Amroune A, Mr Guendougene A, Mr Houina H et Mr Alouani R pour leurs aides et leurs conseils.

Mr Faghdali K pour ces aides précieuses.

C'est un grand merci que j'adresse à tous qui m'aide dans ce travailles enseignants.

Je remercie tout particulièrement ma famille qui m'a toujours soutenu dans mes choix, et qui été présente chaque fois que cela a été nécessaire. Merci Maman, merci Papa, merci mes Sœurs, mon Frère. C'est avec vous que j'ai partagé mes joies, mes peines, vous m'avez soutenu grâce à votre présence, à votre sourire et à votre amitié.

Table de matière

Introduction générale.....	1
Partie I : Synthèse bibliographique sur l'eau et ces propriétés	
1. Introduction et notion de base sur l'eau.....	3
2-Forme de l'eau.....	3
2-1- Les eaux superficielles.....	4
2-2- Les eaux souterraines	4
3- La réserve en eau dans le monde et en Algérie.....	5
4-L' utilisation de l'eau.....	5
5- Les ressources en eau dans le monde.....	6
6- Les ressources en eau en Algérie.....	8
7- Les propriétés des eaux d'irrigation.....	10
7-1- Notion de base sur l'irrigation.....	10
7-1-1-Irrigation de surface.....	10
7-1-2-Irrigation par aspersion	13
7-1-3-Irrigation localisé (Micro-irrigation).....	13
8-L'irrigation dans le monde.....	14
9-L'irrigation en Algérie.....	15
10-Les propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation.....	16
10-1- Les paramètres physiques des eaux d'irrigation	16
10-1-1-La température (T°).....	16
10-1-2-Le pH	16
10-1-3-La conductivité électrique	16
10-1-4-La densité.....	17
10-1-5-La dureté (TH).....	17
10-1-6-Le débit.....	18
10-1-7-L'oxygène dissous.....	18
10-1-8-L'oxygène, DBO, DCO et oxydabilité	18

10-1-9-Résidu sec.....	19
10-2- Les paramètres chimiques des eaux d’irrigation.....	19
10-2-1- Les anions.....	19
➤ Chlorures (Cl^-).....	19
➤ Sulfates (SO_4^{-2}).....	19
➤ Nitrates (NO_3^-).....	20
➤ Nitrite (NO_2^-)	20
➤ Bicarbonates (HCO_3^-) et Carbonates (CO_3^{-2}).....	20
10-2-2- Les cations.....	20
➤ Sodium (Na^+).....	20
➤ Potassium (K^+).....	21
➤ Magnésium (Mg^{+2}).....	21
➤ Calcium (Ca^{+2}).....	21
➤ Matières en suspension (MES).....	21

Partie II : Matériels et méthodes d’étude

Chapitre 1 : Etude du milieu physique

1. Etude de la région de Hammam Dalaa.....	22
1.1. Situation géographique de la région d’étude	22
1.2. Climat de la région d’étude	23
1.2.1. Climat de la zone de Hammam Dalaa	23
a.Température	23
b.Précipitation	24
c.Classification climatique de la région d’étude.....	25
⇒ Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussien Durant la période (1993-2017).....	25
⇒ Climagramme d’Emberger.....	26
1.2.2. Climat de la zone de Tarmounte	28
a.Température.....	28
b.Précipitation.....	29

c.Classification climatique de la région d'étude.....	30
⇒ Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен durant la période (1993-2017).....	30
⇒ Climagramme d'Emberger	31
1.2.3. Climat de la zone d'Ouled Manseur	32
a.Température.....	32
b.Précipitation.....	33
c.Classification climatique de la région d'étude.....	34
⇒ Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен durant la période (1993-2017).....	34
⇒ Climagramme d'Emberger	35
1.3. Vent	36
1.4. Humidité relative.....	37
1.5. Topographie.....	38
1.6. Réseau hydrographique	38
1.7. Terres forestières.....	39
1.8. Superficie irriguée par type d'irrigation	39
1.9. Occupation des sols	39
1.10. Géologie.....	42
1.11. Pédologie	43
Chapitre 2 : Méthodes d'étude	
2.1. Choix des sites d'étude	45
2.2. Les sites de prélèvement.....	45
2.3. Echantillonnage et conservation des échantillons d'eaux à analyser	46
2.4. Méthodes d'analyses des propriétés physico-chimiques de l'eau	46
2.4.1. Paramètres mesures in site.....	46
2.4.2. Paramètres mesures au laboratoire.....	46
2.4.2.1. Résidu sec.....	46
2.4.2.2. Matière en suspension.....	47

2.4.2.3. Dureté totale (TH).....	47
2.4.2.4. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).....	48
2.4.2.5. Carbonate et Bicarbonate (CO_3^{-2} et HCO_3^-)	48
2.4.2.6. Nitrate (NO_3^-).....	49
2.4.2.7. Nitrite (NO_2^-).....	49
2.4.2.8. Chlorure (Cl^-)	49
2.4.2.9. Sulfate (SO_4^{-2})	50
2.4.2.10. Azote ammoniacal (NH_4^+).....	51
2.4.2.11. Calcium (Ca^{+2})	51
2.4.2.12. Sodium Na^+ et Potassium K^+	52
2.4.2.13. Magnésium(Mg^{+2}).....	52
2.4.2.14. Fer(Fe^{+2}).....	53

Partie III : Résultats et Discussion

1. Analyse des caractéristiques physico-chimiques des eaux des forages analysée.....	54
1.1. Température	54
1.2. Potentielle de l'hydrogène	54
1.3. Conductivité électrique.....	55
1.4. Résidu sec	56
1.5. Matière en suspension.....	57
1.6. Dureté totale (TH).....	58
1.7. Titre d'alcalinité complet (TAC).....	58
1.8. Carbonates et Bicarbonates (CO_3^{-2} et HCO_3^-)	59
1.9. Nitrate (NO_3^-)	60
1.10. Nitrite (NO_2^-).....	61
1.11. Chlorure (Cl^-).....	61
1.12. Sulfate (SO_4^{-2})	62

1.13. Azote ammoniacal (NH_4^+).....	63
1.14. Calcium (Ca^{+2}).....	64
1.15. Magnesium(Mg^{+2}).....	65
1.16. Sodium Na^+	66
1.17. Potassium K^+	66
1.18. Fer (Fe^{+2}).....	67
1.19. Salinité.....	68
1.20. SAR des eaux des forages analysées.....	68
2. Classification des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa.....	69
2.1. Les faciès chimiques.....	69
2.2. Formule caractéristique de STABLER.....	69
2.1.2. Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon le diagramme de Piper.....	70
2.3. Classification des eaux d'irrigation de la zone d'étude selon le diagramme de SCHOLLER-BERKALOFF.....	73
2.4. Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon Richards.....	79
2.5. Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon le diagramme de Wilcox.....	84
3. Aptitude à l'irrigation.....	88
3.1. Salinité.....	88
3.2. Etude de la toxicité des végétaux.....	89
3.2.1. Sodium.....	89
Conclusion générale	90

Références bibliographiques

Annexes

Liste des Tableaux

Tableau n° 1 : Demande mondiale en eau (Km^3/an) selon les usages (entre 1900 et 2000).	6
Tableau n°2 : Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région.	15
Tableau n°3 : Qualité des eaux d'irrigation selon la dureté totale.	18
Tableau n°4 : Les échelles de valeur fréquemment rencontrées pour oxygène, DBO, DCO et oxydabilité.	18
Tableau n°5 : Classification des eaux en fonction des résidus secs.	19
Tableau n°6 : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la zone de Hammam Dalaa.	23
Tableau n°7 : Précipitation moyenne mensuelle en mm pendant la période (1993-2017) de la zone de Hammam Dalaa.	24
Tableau n°8 : Les précipitations et les températures moyennes mensuelles de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (1993-2017).	26
Tableau n°9 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone de Hammam Dalaa.	27
Tableau n°10 : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la zone de Tarmounte.	28
Tableau n°11 : Précipitation moyenne mensuelle en mm pendant la période (1993-2017) de la zone de Tarmounte.	29
Tableau n°12 : Les précipitations et les températures moyennes mensuelles de la zone de Tarmounte pendant la période (1993-2017).	30
Tableau n°13 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone de Tarmounte.	31
Tableau n°14 : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la zone d'Ouled Manseure.	32
Tableau n°15 : Précipitation moyenne mensuelle en mm pendant la période (1993-2017) de la zone d'Ouled Manseure.	33

Tableau n°16 : Les précipitations et les températures moyennes mensuelles de la zone d'Ouled Manseure pendant la période (1993-2017).....	34
Tableau n°17 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone d'Ouled Manseure.....	35
Tableau n°18 : La répartition des surfaces irriguées dans la région de Hammam Dalaa.....	39
Tableau n°19 : La répartition des cultures dans la région de Hammam Dalaa.....	39
Tableau n°20 : Classification des eaux souterraines de la région de Hammam Dalaa selon STABLER.....	69
Tableau n°21 : Classification des eaux souterraines de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.....	70
Tableau n°22 : Les caractères des eaux des forages de la région de Hammam Dalaa d'après le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF.....	79
Tableau n°23 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards.....	80
Tableau n°24 : Résultats de l'utilisation du diagramme de Wilcox.....	84
Tableau n°25 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Salinité).....	86
Tableau n°26 : Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation.....	89
Tableau n°27 : Directives concernant la qualité des eaux d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions).....	89

Liste des figures

Figure n° 1 : Ressources en eaux naturelles renouvelables dans les pays méditerranéens.....7

Figure n°2 : Ressources en eau naturelles par habitant (1995) dans les pays méditerranéens (moyenne national)..... 8

Figure n° 3 : Les cinq régions de planification hydraulique.....9

Figure n°4 : L'irrigation par bassin11

Figure n°5 : L'irrigation à la raie12

Figure n°6 : L'irrigation par planches12

Figure n°7 : L'irrigation par aspersion13

Figure n°8 : L'irrigation goutte à goutte14

Figure n°9 : Situation géographique de la commune de Hamma Dalaa (**Bensaïssa et Boukhane, 2015**).....22

Figure n°10 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (1993-2017)..... 24

Figure n°11 : Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (1993-2017) 25

Figure n°12 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la zone de Hammam Dalaa.....26

Figure n°13 : Positionnement de la zone de Hammam Dalaa dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1993-2017)..... 28

Figure n°14 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la zone de Tarmounte pendant la période (1993-2017)29

Figure n°15 : Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone de Tarmounte pendant la période (1993-2017) 30

Figure n°16 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la zone de Tarmounte.....31

Figure n°17 : Positionnement de la zone de Tarmounte dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1993-2017)..... 32

Figure n°18 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la zone d'Ouled Manseure pendant la période (1993-2017) 33

Figure n°19 : Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone d'Ouled Manseure pendant la période (1993-2017).....34

Figure n°20 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la zone d'Ouled Manseure.....	35
Figure n°21 : Positionnement de la zone d'Ouled Manseure dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1993-2017).....	36
Figure n°22 : Variations des vitesses moyennes mensuelles de vent en (m/s) de la région de Hammam Dalaa pendant la période (2006-2016).....	37
Figure n°23 : Humidité moyenne mensuelle en % de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (2006-2016).....	38
Figure n°24 : Carte d'occupation des sols de la zone de Tarmounte	40
Figure n°25 : Carte d'occupation des sols de la zone d'Ouled Manseure.....	41
Figure n°26 : Carte géologique de la région du Hodna	43
Figure n°27 : Carte pédologique de la zone du Hodna.....	44
Figure n°28 : Localisation des points d'eau prospectée au niveau de la région de Hammam Dalaa.....	45
Figure n°29 : Détermination de Calcium Ca^{+2} de l'eau analysée	52
Figure n°30 : Variation de la température des eaux d'irrigation des forages analysées de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	54
Figure n°31 : Variation du pH des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	55
Figure n°32 : Variation de la conductivité électrique des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	56
Figure n°33 : Variation de la concentration du résidu sec des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	57
Figure n°34 : Variation des teneurs des matières en suspension des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	57
Figure n°35 : Variation de la dureté totale des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	58
Figure n°36 : Variation du titre alcalimétrique complet des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	59
Figure n°37 : Variation de la (CO_3^{-2} et HCO_3^{-}) des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril, 2019).....	60
Figure n°38 : Variation de la concentration de Nitrate des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	60

Figure n°39 : Variation de la concentration de Nitrite des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	61
Figure n°40 : Variation de la concentration du chlorure des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	62
Figure n°41 : Variation de la concentration du chlorure des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	63
Figure n°42 : Variation de la concentration d'Azote ammoniacal des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	63
Figure n°43 : Variation de la concentration de Ca^{+2} des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	65
Figure n°44 : Variation de la concentration de Magnésium des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	65
Figure n°45 : Variation de la concentration de Sodium des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	66
Figure n°46 : Variation de la concentration de Potassium des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	67
Figure n°47 : Variation de la concentration du Fer des eaux de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	67
Forage n°48 : Variation de la salinité des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	68
Figure n°49 : Variation du SAR des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).....	69
Figure n°50 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°1, 2, 3, 4 et 5 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.....	71
Figure n°51 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°6, 7, 8, 9 et 10 de la région Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.....	72
Figure n°52 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°11, 12, 13, 14 et 15 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.....	73
Figure n°53 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 1, 2 et 3 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.....	74
Figure n°54 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 4, 5 et 6 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.....	75
Figure n°55 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 7, 8 et 9 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.....	76

Figure n°56 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 10,11 et 12de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.....	77
Figure n°57 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 13,14 et 15de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.....	78
Figure n°58 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°1, 2, 3, 4 et 5 de la région de Hammam Dalaa selon diagramme de Richards.....	81
Figure n°59 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°6, 7, 8, 9 et 10 de la région de Hammam Dalaa selon diagramme de Richards.....	82
Figure n°60 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°11, 12, 13, 14 et 15 de la région de Hammam Dalaa selon diagramme de Richards.....	83
Figure n°61 : Classification des eaux d'irrigation des forages N° 1, 2, 3, 4 et 5 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Wilcox.....	85
Figure n°62 : Classification des eaux d'irrigation des forages N° 6, 7, 8, 9 et 10 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Wilcox.....	86
Figure n°63 : Classification des eaux d'irrigation des forages N° 11, 12, 13, 14 et 15 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Wilcox.....	87

Liste des abréviations

Ca⁺² : Calcium

CaCO₃ : Calcite

CE : Conductivité électrique

CI : Continental Intercalaire

Cl⁻ : Chlorure

CO₂ : Gaz carbonique

CO₃⁻² : Carbonate

CT : Complexe Terminal

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EDTA : Ethylène Diamine Tetraacetic Acide

°F : Degré français

Fe⁺² : Fer

GPI : Grands Périmètres Irrigués

HCO₃⁻ : Bicarbonate

K⁺ : Potassium

°K : Degré Kelvin

MEDDE : Ministère de l'écologie de développement durable et l'énergie

MES : Matière En Suspension

méq/l : Milli équivalent par litre

Mg⁺² : Magnésium

mg/l : Milli gramme par litre

Na⁺ : Sodium

NH_4^+ : Azote ammoniacal

NO_3^- : Nitrate

O_2 : Oxygène

pH : Potentiel d'hydrogène

P : Précipitation

Q : Débit

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger

R.S : Résidu sec

SAHD : Subdivision Agricole de Hammam Dalaa

SAR : Sodium Absorption Ratio (Rapport d'adsorption en sodium)

SD : Sans date

SMM : Station Météorologique de M'Sila

SO_4^{-2} : Sulfate

T° : Température

TA : Titre d'alcalinité

TAC : Titre d'alcalinité complet

TDS: Total Dissolved sels

TH: Dureté totale

T°max : Température maximale

T°min : Température minimale

UN : Nations Unies

$\sum r^+$: La somme des quantités en réactions (méq/l)

% : Pour cent

*Introduction
générale*

Introduction

L'eau est une ressource naturelle essentielle à l'homme et à l'économie et ce pour des usages multiples : potabilité, irrigation, production d'énergie, activités industrielles...

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau.

Dans les conditions arides et semi arides, les exploitants agricoles sont amenés à utiliser différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures (**Al Amrani et al, 2007**).

L'irrigation des régions agricoles représente **70%** de l'eau utilisée dans le monde entier. Dans plusieurs pays en voie de développement, l'irrigation représente jusqu'à **95%** de toutes les utilisations d'eau (**Lachache et Boudjenah, SD**).

L'agriculture irriguée consiste l'activité humaine qui consomme la part la plus importante de l'eau car celle dernière est répartie comme suit : **70%** agriculture, **20%** industrie et **10%** eau potable (**Benzaria, 2008**).

Dans les zones arides et semi-arides, l'eau est le principal facteur limitant la production agricole. Le développement de l'agriculture dans ces régions fait recours à l'irrigation qui devient alors une nécessité pour produire suffisamment afin d'assurer les besoins alimentaires d'une population de plus en plus importante (**Badraoui et al, 2002**).

D'après **Halitim (1988)**, les zones arides en Algérie présente près de **95%** du territoire nationale dont **80%** dans le domaine hyper aride.

L'Algérie est au cœur d'une des régions du monde les plus déficitaires en eau. La surface agricole utile ne couvre que **7,8 millions** d'hectare, soit **3,2%** de la surface total. Malgré cette grande surface, l'Algérie est classée parmi les pays ayant une faible surface agricole (**Mouhouche et Guemraoui, 2007**).

M'sila, est une zone semi-aride à aride du centre du pays. Cette région réputée d'être une zone pastorale où l'agriculture était une activité secondaire. Mais avec l'accroissement démographique cette activité ou ce secteur commence d'avoir de plus en plus d'attention. Elle s'étend sur une superficie totale de **1817500 ha**, d'où la surface agricole utile est de l'ordre de **277592 ha** (soit **15,25%** de son territoire), avec une superficie irriguée de **38735 ha** (**13,95%** seulement de la S.A.U), dont la majorité sont irriguées à partir des eaux souterraines (**A.S.M, 2014**).

La qualité des eaux souterraines se diffère d'une région à l'autre selon plusieurs critères, dont le plus important est la nature géologique de l'aquifère.

La connaissance des propriétés des eaux souterraines de chaque région paraît indispensable, surtout dans le secteur agricole et dans notre cas nous allons étudier ceux de la région de Hammam Dalaa.

Le but de cette étude consiste à renforcer la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines destinées à l'irrigation de la région de Hammam Dalaa.

Afin d'arriver à notre objectif, nous avons articulé notre travail comme suit :

- Première partie ; comporte une étude bibliographique sur l'eau et ces propriétés ;
- Deuxième partie ; concerne la représentation du milieu physique et les méthodes d'analyses ;
- Troisième partie ; consacrée aux résultats et discussion ; et
- Enfin, on termine par une conclusion récapitulative.

Partie 9 :
Synthèse
bibliographique
sur l'eau et ces
propriétés

Partie I : Synthèse bibliographique sur l'eau et ces propriétés

1- Introduction et notion de base sur l'eau

Les philosophes grecs depuis l'antiquité considéraient que la matière est composée de quatre éléments : eau, terre, feu et air. Pour Thalès de Milet (**625-547** av, J-C), l'eau est le principe matériel explicatif de l'univers d'où procèdent les autres éléments, l'air, le feu et la terre. La terre n'est que de l'eau condensée alors que l'air n'est autre que de l'eau raréfiée. Son disciple Anaximène (**585-525** av, J-C) considère plutôt l'air comme le composé fondamental de la matière (**Zella, 2015**).

Quelques siècles plus tard, la matière se compose, selon le philosophe Aristote (**384-322** av, J-C), de froid, de chaleur, d'humidité et de sécheresse. Ces théories relatives à la composition de la matière restent prépondérantes jusqu'à tard au **XVII^{ème}** siècle quand en **1668**, Robert Boyle donne une définition vague de la composition fondamentale de la matière (**Zella, 2015**).

Selon le **MEDDE (SD)**, l'eau existe dans la vie en trois états :

❖ Etat liquide

C'est la forme de l'eau la plus répandue sur terre, notamment dans les mers et océans (eau salée). Seul $\frac{1}{4}$ de l'eau douce est liquide, essentiellement dans des eaux souterraines plus ou moins profondes et dans les eaux de surface, c'est-à-dire les lacs, fleuves et rivières.

❖ Etat de vapeur (état gazeux)

La vapeur d'eau présente dans l'atmosphère ; il s'agit d'un gaz qui devient visible sous l'effet de la condensation.

❖ Etat solide

Les $\frac{3}{4}$ de l'eau douce sont stockés sous forme de glaciers ou sous forme de neige, et très difficilement accessibles à l'homme. Les calottes glaciaires des pôles Nord et Sud sont les plus grands réservoirs d'eau douce de la planète. Les glaciers représentent une masse si importante que s'ils fondaient, le niveau des mers remonterait de près de **200** mètres.

2-Forme de l'eau

La terre « planète bleue » en raison de la présence d'eau, **97,5%** de celle-ci consiste toutefois en eau salée dont l'essentiel est dans les océans et **2,5%** seulement en eau douce (**Coulibaly, 2005**).

2-1- Les eaux superficielles

Les eaux de surface composées d'eaux de mer, de fleuve, de rivière, de marigot, ces eaux couvrent la terre.

Bien qu'il semble s'agir de masses d'eau bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement, on ne doit pas oublier qu'elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté.

Si l'eau de précipitation, encore appelée eau « météorique », est à l'origine même des eaux superficielles, son devenir est en fait triple. Le $\frac{1}{4}$ de cette eau pénètre dans le sol, $\frac{1}{4}$ ruisselle à la surface de celui-ci, la moitié restante s'évaporant. Les frontières entre eaux souterraines, eaux superficielles et eau atmosphérique sont donc difficilement définissables, d'autant plus que les eaux de source viennent encore compliquer le problème (**Vilaginès, 2010**).

2-2- Les eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à la rencontrer d'une couche imperméable. Là, elles s'accumulent le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ **12000** kilomètres cubes d'eau par an. Les eaux souterraines sont exploitées à partir des puits peu profonds et des forages (**Plauchu, 2004 in Baouch et Zid el khir, 2016**).

Les eaux souterraines peuvent être rangées en trois catégories d'après leur emplacement. Il s'agit :

1-Des nappes des vallées fluviales, qui s'écoulent lentement dans le sous-sol immédiat de ces vallées, parallèlement aux fleuves ;

2-De la nappe phréatique, c'est-à-dire de la première nappe rencontrée en partant de la surface et constituée par l'accumulation au-dessus de la première couche imperméable des eaux venant de la surface du sol ; et

3-Des nappes profondes (**Ollier et Poiree, 1986**).

3- La réserve en eau dans le monde et en Algérie

Au niveau mondial, les réserves en eau profonde ne sont pas complètement connues, on considère que la quantité d'eau disponible est très limitée. On sait déjà que l'eau douce en représente seulement **2,5%** et que la majorité est bloquée dans les glaces (**2%**) ou stocké dans les nappes profondes. Donc, seulement **0,6%** (**0,58%** dans les nappes et le sol, **0,02%** pour les eaux superficielles) est effectivement utilisable.

Cette réserve en eau est particulièrement mal répartie puisque **10** pays, en majorité situés au Nord du globe ou en zone tropicale humide, possèdent **60%** de ressources. Le déficit existe donc dans les régions où l'on en a le plus besoin, c'est-à-dire dans les zones arides, et en particulier au Proche et au Moyen-Orient.

Les réserves d'eau fossiles (nappes) sont déjà très utilisées et ne peuvent pas constituer une réserve durable (**Cheverry et Robert, 1996**).

D'après **Dekhil (1991)**, l'Algérie présente deux grands types de réserves hydrauliques :

- Des châteaux d'eau montagnards dont les plus importants sont situés dans le Tell central et oriental (grande Kabylie, Babors et Ouarsenis) ; mais qui ont l'inconvénient de ne pas avoir à leurs pieds de vastes plaines irrigables au contraire, la majorité des Oueds qui en sont issus (sauf pour l'Ouarsenis) se jettent très rapidement dans la Méditerranée.

- Des nappes souterraines dans les hauts, plateaux ou plusieurs aquifères renouvelables ont été identifiés (nappes du Chott-Chergui, du Hodna ...) et surtout au bas Sahara où se situent les ressources les plus importantes : deux nappes artésiennes non renouvelables (continental) et une nappe profonde fossile (Albien).

4-L' utilisation de l'eau

L'agriculture, par le biais de l'irrigation, reste de loin l'activité la plus consommatrice d'eau. (Tableau n°1). Certes, sa part diminuera progressivement de **70%** en **1990** à moins de **60%** en **2025**, ceci au bénéfice de l'industrie (**23%** aujourd'hui) et des usages domestiques. Mais dans le cas de l'irrigation, il s'agit en outre d'une « consommation réelle » puisque la plus grande partie de l'eau utilisée est évapotranspirée. En **2025**, même si l'irrigation ne représente plus que **60%** au plus de la « demande en eau », elle continuera à représenter plus de **80%** de la consommation réelle. L'attention sur l'eau dévolue à l'irrigation sera d'autant plus vive que cette activité à la réputation d'être dispendieuse ; **40 à 60%** de l'eau prévue pour l'alimentation des plantes sont en fait perdus avant, par évaporation directe (**Cheverry et Robert, 1996**).

Tableau n° 1 : Demande mondiale en eau (Km^3/an) selon les usages (entre 1900 et 2000).

Utilisation de l'eau	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Agriculture								
A	525	893	1130	1550	1850	2290	2680(68,9)	3250(62,6)
B	409	679	859	1180	1400	1730	2050(88,7)	2500(86,2)
Industrie								
A	37,2	12,4	178	330	540	710	973(21,4)	1260(24,7)
B	3,5	9,7	14,5	24,9	38	61,9	88,5(3,1)	117(4,0)
Domestique								
A	16,1	36,3	52	82	130	200	300(6,1)	441(8,5)
B	4,0	9,0	14	20,3	29,2	41,1	52,4(2,1)	64,5(2,2)
Réservoirs								
A	0,3	3,7	6,5	23	66	120	170(3,6)	220(4,2)
B	0,3	3,7	6,5	23	66	120	170(6,1)	220(7,6)
Total								
A	578,6	945,4	1366,5	1985	2586	3320	4123(100)	5171(100)
B	416,8	701,4	894	1248,2	1533,2	1953	2360,9(100)	2901,5(100)

Source : (Cheverry et Robert, 1996).

A : Consommation globale.

B : Consommation nette (les chiffre entre parenthèses sont des pourcentages).

5- Les ressources en eau dans le monde

La figure n°1, représente les ressources en eaux naturelles renouvelables en Km^3 /an , en distinguant les ressources internes (propres au pays), externes (venant d'un autre pays) et le total des deux : on voit déjà assez bien la disproportion qui existe entre le Nord et le Sud Méditerranée. En ce qui concerne le Maghreb, les ressources sont pratiquement uniquement internes, ce qui n'est pas le cas de la Syrie ou de l'Egypte. On peut encors exprimer les ressources en fonction du nombre d'habitats (**Figure 2**), ce qui accentue le déséquilibre Nord-Sud. A part le Maroc, la Syrie et Liban (**3000 m^3** par habitant), la plupart des pays du Maghreb et du Moyen Orient ont moins de **1000 $m^3/ha/an$** . Un document de l'observatoire Sahara-Sahel (**1995**), montre que les ressources sont beaucoup plus abondantes au niveau de Sahel (Sénégal,

Mali, Niger, Tchad, Soudan, Ethiopie), avec une ressource totale moyenne par habitant de **5655 m³**.

Pour l'Algérie et la Tunisie, il existe deux nappes sahariennes, l'une libre et superficielle, l'autre profonde et captive, mais l'utilisation de cette ressource, non renouvelable, pose un certain nombre de problèmes : eau de complexe terminal très salée, eau du continental intercalaire, très chaude **50° C**. Exprimé enfin par secteur, la part consacrée à l'agriculture va de **60%** pour l'Algérie à près de **80%** à **90%** pour le Maroc, la Tunisie, la Lybie, l'Egypte et la Syrie. Le même rapport du plan Bleu montre que la ressource devrait diminuer encore, en moyenne de moitié pour ces différents pays en **2050**, ceci alors la demande, déjà en liaison avec l'accroissement prévu de population (**2,2%** par an), va augmenter et plus particulièrement dans les secteurs autres que l'agriculture (**Cheverry et Robert, 1998**).

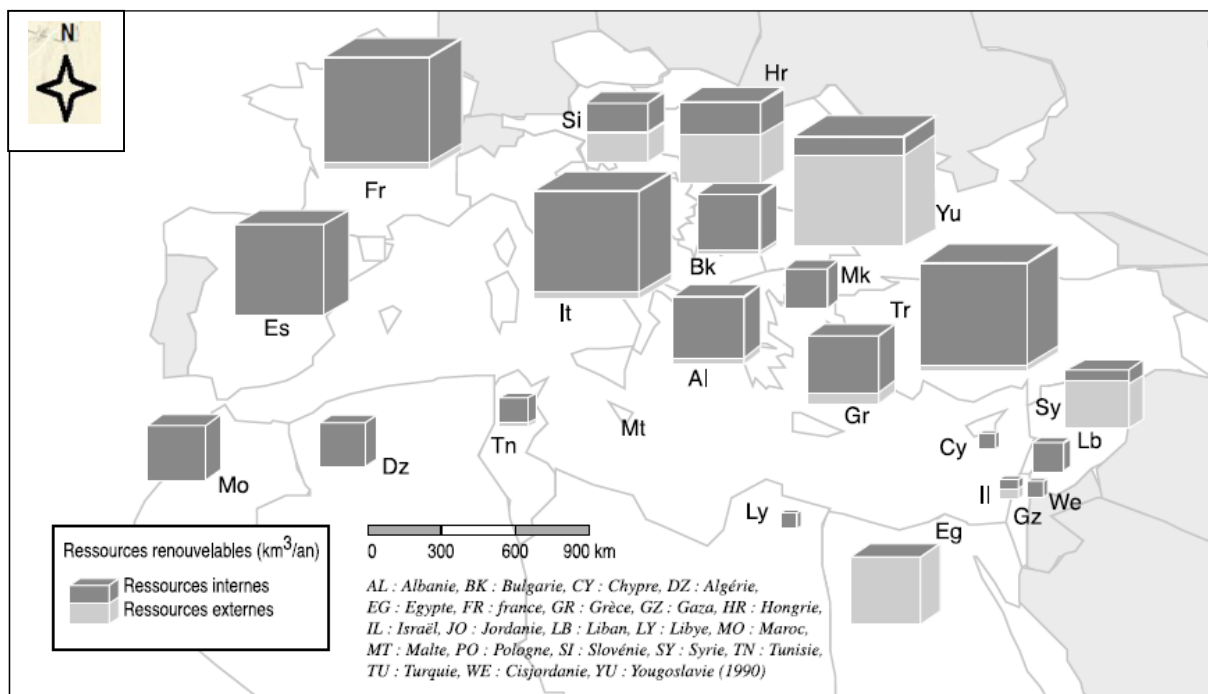


Figure n° 1 : Ressources en eaux naturelles non renouvelables dans les pays méditerranéens (Cheverry et Robert, 1998).

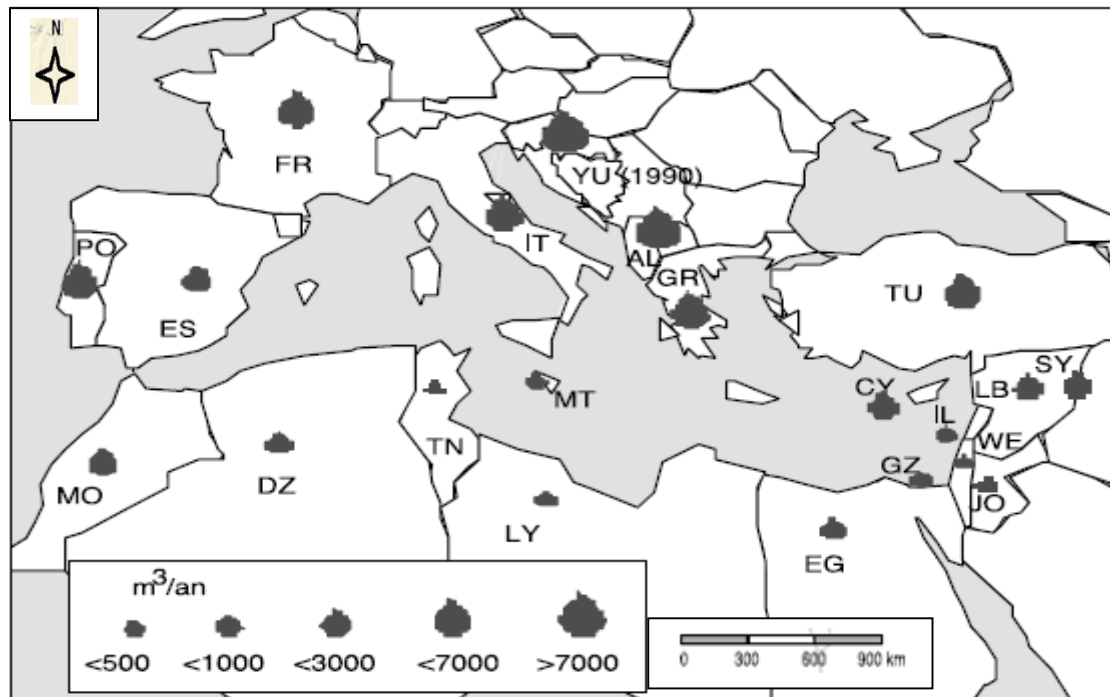


Figure n°2 : Ressources en eau naturelles par habitant (1995) dans les pays méditerranéens (moyenne nationale) (Cheverry et Robert, 1998).

6- Les ressources en eau en Algérie

Le pays est divisé en cinq bassins hydrographiques regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

Les potentialités globales en eau sont évaluées à **19.4 milliards de m^3/an** .

Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de **2 Milliards de m^3/an** . Les ressources superficielles y sont estimées à **12 milliards de m^3/an** (PNUD, 2009).

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves d'eau y sont très importantes et sont de l'ordre de **60 000 milliards de m^3** dont **40 000 milliards** sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable (PNUD, 2009) ; et le reste (**20 000 milliards de m^3**) sont situées au Lybie.

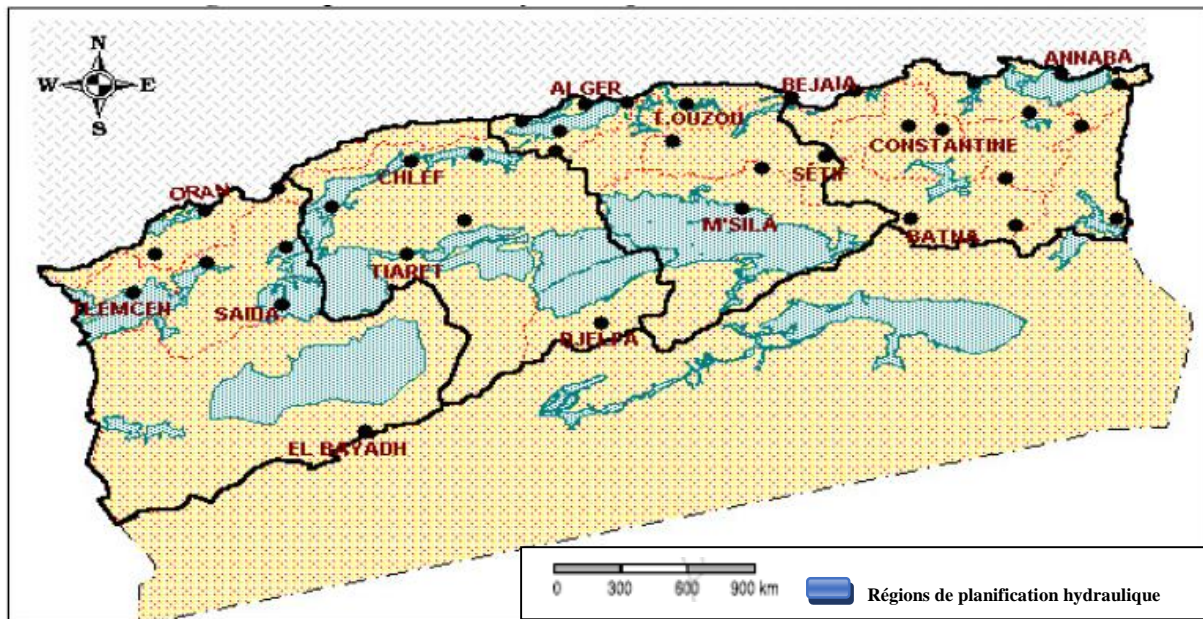


Figure n° 3 : Les cinq régions de planification hydraulique en Algérie (PNUD, 2009).

D'après PNUD (2009), ces ressources sont principalement mobilisées par :

-Les barrages : La capacité totale des **59** barrages des **5** bassins hydrographiques est de **6** milliards de m^3 en **2008** et un volume régularisable de **3** Milliards de m^3 . Sur la base des projets en cours, l'Algérie disposera en **2010**, d'un parc de grands ouvrages de mobilisation de la ressource, composé de **72** barrages faisant passer la capacité de mobilisation à **7,40** milliards de m^3 .

-L'exploitation des eaux souterraines atteint **1.6** milliards de m^3 par forages et **85** millions de m^3 par foggaras.

-Le dessalement de l'eau de mer est pratiqué dans **23** stations pour une capacité de **347 000 m^3 /jour** dont trois grandes stations :

.La station du Hamma à Alger : avec **200 000 m^3 /jour** couplée avec la centrale électrique du Hamma et entrée en production en **2008** ;

. La station d'Arzew près d'Oran : avec **90 000 m^3 /jour** et production d'électricité (**318** Megawatts).

. La station de Skikda avec **100 000 m^3 /jour** et production d'électricité de **800** mégawatts.

-Le recyclage des eaux usées épurées : Le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à **730** millions dm^3 . La capacité installée d'épuration des eaux usées est de **365** millions de m^3 /an correspondant à **65** stations d'épuration en exploitation (PNUD, 2009).

7- Les propriétés des eaux d'irrigation

7-1- Notion de base sur l'irrigation

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-Amrani et al, 2007**).

L'irrigation est le procédé dans lequel l'eau est fournie aux plantes à intervalles réguliers pour leur culture. Que ce soit une irrigation de surface, une irrigation localisée, une irrigation souterraine, ou par un système de goutte à goutte, tous ces systèmes contribuent à apporter de l'eau aux plantes.

Pour que l'agriculteur puisse choisir la méthode d'irrigation la plus adaptée à son cas particulier, il faut qu'il soit capable d'évaluer les avantages et les désavantages de chaque une d'elles. Il doit être capable de sélectionner la technique d'irrigation qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

Malheureusement, dans la plupart des cas, il n'y a pas une solution unique ; chaque méthode a ses avantages et ses désavantages. Le choix rationnel est fait, après essai des méthodes possibles, dans les conditions locales d'exploitation (**Brouwer, 1990**).

Les méthodes les plus utilisées sont :

7-1-1-Irrigation de surface

C'est le système le plus répandu dans le monde. Grande consommatrice d'eau, l'irrigation gravitaire pose le problème de la maîtrise du débit d'alimentation, du contrôle de la dose d'eau apportée, de la régularité de la répartition de l'eau à la parcelle. Conduite de façon traditionnelle, cette technique induit généralement de fortes hétérogénéités d'arrosage à la parcelle, et des pertes importantes par drainage profond, lessivage, et colature, qui favorisent l'entraînement des nitrates et la pollution des eaux (**Keddal et Yao N'dri, 2007**).

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) (**Brouwer, 1990**).

➤ Irrigation par bassin

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation

des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers ; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (**Brouwer, 1990**).



Figure n°4 : L'irrigation par bassin (Image Google).

➤ **Irrigation à la raie (par sillons)**

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée

Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée (**Brouwer, 1990**).



Figure n°5 : L'irrigation à la raie (Image Google).

➤ **Irrigation par planches**

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calant ou planches d'arrosage.

L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons ; soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (**Brouwer, 1990**).



Figure n°6 : L'irrigation par planches (Image Google).

7-1-2-Irrigation par aspersion

D'après **Ollier et Poiree (1986)**, l'irrigation par aspersion est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur le sol.

Très employée depuis longtemps par les jardiniers, les horticulteurs et les arboriculteurs pour les cultures maraichères, florales, arbustives, fruitières, les pelouses, l'aspersion tend.

Dans toutes les méthodes précédentes l'eau est distribuée avec plus ou moins d'uniformité sur le sol par des rigoles et elle y pénètre dans des conditions plus ou moins favorables suivant sa régularité et sa pente. Ici l'eau tombe naturellement sur le sol, donc dans les mêmes conditions que les précipitations atmosphériques, et s'y infiltre, compte tenu seulement de la perméabilité du sol.



Figure n°7 : L'irrigation par aspersion (Image Google).

7-1-3-Irrigation localisé (Micro-irrigation)

Cette méthode d'irrigation est fondamentalement différente de celles de l'irrigation de surface ou par aspersion, qui consiste à réapprovisionner en eau, périodiquement, tout ou partie, du réservoir du sol. Dans ce cas, des doses d'eau relativement importantes sont apportées à chaque irrigation, sur l'ensemble de la parcelle irriguée. La réserve d'eau, ainsi constituée dans le sol, permet d'allonger le laps de temps qui sépare deux arrosages successifs (en général de **3 à 10** jours).

En irrigation localisée, les réserves en eau du sol ne sont pas reconstituées. L'eau dont a besoin la plante est apportée en petites quantités, une ou plusieurs fois par jour, de façon ponctuelle (goutte à goutte) ou sous forme de tache (diffuseurs). Elle diffuse tant radialement sous l'effet des forces capillaires que verticalement sous l'effet de la gravité, dans un volume de sol limité au voisinage des racines, dans lequel la plante puisera.

Il est fondamental de bien maîtriser l'importance du volume de sol humidifié, et les quantités fournies à chaque apport, ainsi que la fréquence des apports pour satisfaire les besoins de la plante au fur et à mesure de ses consommations en eau (**Rieul et Ruelle, 2003**).



Figure n°8 : L'irrigation goutte à goutte (Image Google).

8-L'irrigation dans le monde

L'agriculture est la principale source d'approvisionnement alimentaire dans le monde et la principale source de revenus pour des milliards d'habitants dans les zones rurales. L'irrigation agricole consomme de vastes quantités d'eau douce, ce qui provoque dans de nombreux endroits des pénuries d'eau qui s'aggravent (UN, 2015).

Les terres irriguées, qui ne représentent qu'environ **20 %** des terres agricoles dans le monde, produisent environ **40 %** des denrées alimentaires et **60 %** des céréales dans le monde. Bien que l'agriculture irriguée soit plus productive que les cultures pluviales, l'irrigation fait à présent l'objet d'un examen minutieux en raison de ses rendements relativement médiocres eu égard aux ressources utilisées. La pénurie d'eau croissante dans de nombreuses régions requiert une utilisation beaucoup plus productive de l'eau dans l'agriculture et des mécanismes plus transparents d'allocation de l'eau entre les divers secteurs, en accordant une attention spéciale aux besoins de l'environnement.

La surutilisation de l'eau pour l'irrigation et l'intensification de l'agriculture font peser une menace sur la viabilité des systèmes agricoles dans de nombreuses régions du monde. Depuis quelques dizaines d'années, les nappes phréatiques peu profondes sont devenues une source importante d'approvisionnement en eau pour l'irrigation, mais cela a aussi entraîné, dans la plupart des endroits, un pompage excessif des aquifères et une pollution causée par les produits agrochimiques. L'utilisation inappropriée des engrais et des pesticides peut provoquer une pollution de l'eau potable, des rivières et des lacs (UN, 2015).

9-L'irrigation en Algérie

L'Algérie est au cœur d'une des régions du monde les plus déficitaires en eau. Pour une surface totale de **238** millions d'ha, la surface agricole utile ne couvre que **7,8** millions d'ha, soit **3,2 %** de la surface totale, pour une population qui dépasse **32** millions d'habitants à la fin de l'année **2000**. Malgré cette grande surface, l'Algérie est classée parmi les pays ayant une faible surface agricole. En effet, la surface par habitant est inférieure à **0,25 ha**, de plus si l'on prend en considération les surfaces non cultivées annuellement (jachère et autres), la surface est de **0,18 ha/habitant** (Anonyme, 1996 in Mouhouche et Guemraoui, 2007).

Sur les **17** grands périmètres d'irrigation en exploitation dont la superficie équipée est de **173 000 ha** soit **2,2 %** de la surface agricole utile, moins de **100 000 ha (58 %)** sont irrigables et moins de **40 000 ha (23 %)** ont été en moyenne irrigués ces vingt dernières années. Les volumes affectés à l'irrigation sont très inférieurs aux besoins. En plus de la réduction des ressources en eau affectées, les taux annuels de déperdition sont de l'ordre de **40 %**. Ainsi, en **2002** les déperditions dans les grands périmètres irrigués gérés par les quatre offices des périmètres d'irrigation régionaux ont représenté plus de **40** millions de m^3 .

L'irrigation en Algérie s'est aujourd'hui essentiellement développée dans le cadre de la « petite et moyenne hydraulique » qui, avec une moyenne annuelle de **300 000 ha/an** irrigués, représente **88 %** de la superficie irriguée totale du pays. Cette surface est faible puisqu'elle ne représente que **0,01 ha/habitant** toutes surfaces irriguées confondues.

Le reste ; **12 %**, est représenté par les surfaces mises en valeur dans les grands périmètres irrigués, qui sont passées de **124 000 ha** en **1962** à plus de **173 000 ha** en **2002**, soit une augmentation de **40 %** (Mouhouche et Guemraoui, 2007).

Des grands périmètres irrigués (GPI) relevant de l'état 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 (tableau n°2).

Tableau n°2 : Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région.

Région	Superficies équipés (ha)	Superficies irrigables (ha)	Superficies irriguées (ha)	Proportions équipées (ha)	Irrigables/équipées %	Irriguées/équipées %
Oranie	28.930	13.500	9459.50	15.2	46.7	32.7
Chélif	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	24.4
Sahara	7660	6939	6772	4.0	90.6	88.4
Total	8239.86	7079.292	39922.57	100	386	169.2

Source : (Bouaroudj, 2012).

10-Les propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation

La plupart des problèmes qui se développent en agriculture irriguée provient de la composition chimique de l'eau d'irrigation. Le principal critère d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation, dans la perspective d'un projet de mise en valeur des terres agricoles est sa concentration en sels solubles.

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 utilisés, ont créé le besoin pour un système de classification de la qualité de l'eau d'irrigation qu'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 utilisés en agriculture. A savoir, l'interaction entre les propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux d'irrigation, sont des paramètres très importants dans l'évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (**Mohand, 2001**).

10-1- Les paramètres physiques des eaux d'irrigation

10-1-1-La température (T°)

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

La température doit être mesurée in situ.

10-1-2-Le pH

Le pH d'une eau naturelle peut varier de **4 à 10** en fonction de la nature acide ou basique des terrains travers, des pH faibles (eau acide) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac.

10-1-3-La conductivité électrique (CE)

C'est un paramètre physique très important, car il traduit le degré de minéralisation des eaux. Il permet d'avoir rapidement l'ordre de la minéralisation globale de l'eau, son unité est le **dS/m** (Décimens par mètre) (**Berrouche, 2011**). Afin de déterminer la concentration des sels solubles dans l'eau, on applique la relation suivante :

$$\text{Salinité (mg/l)} = (\text{CE (ms/cm)} \times 0,72) - 3,06$$

Selon **Rodier et al (1996) in Zerrouak (2014)**, la salinité de l'eau est permet de déterminer quatre classes d'eau d'après la relation entre la **CE à 25°C** de l'eau d'irrigation et celle de l'extrait saturée du sol.

➤ **Classe 1 : CE à 25°C < 250 micromhos/cm**

Cette classe présente une eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des terres avec peu de chance d'apparition de salinité dans le sol. Et un léger lessivage est nécessaire, mais il se produit en irrigation normale sauf en sol très peu perméable.

➤ **Classe 2 : CE à 25°C, comprise se entre 250 et 750 micromhos/cm**

Il s'agit d'une eau utilisable avec un léger lessivage, les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité.

➤ **Classe 3 : CE à 25°C, comprise entre 750 et 2250 micromhos/ cm**

Cette eau est inutilisable pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées.

➤ **Classe 4 : CE à 25°C > 2250 micromhos/cm**

On parle ici d'une eau inutilisable normalement pour l'irrigation et exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérante aux sels.

10-1-4-La densité

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 (**Zerrouak, 2014**).

10-1-5-La dureté (TH)

La dureté d'une eau est due essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium. L'origine de Ca^{+2} et Mg^{+2} est attribuée à la dissolution des roches calcaire ires et dolomitiques en présence de CO_2 provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol. Le Ca^{+2} et le Mg^{+2} sont des éléments très solubles à l'état naturel et ils possèdent une grande mobilité aquatique. Il existe plusieurs manières d'exprimer la dureté, que lesquelles on peut utiliser le degré hydrotimétrique ou le degré français, avec **1°F= 10 mg/l de $CaCO_3$** . Elle est calculée par la formule suivante :

$$TH (°F) = (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \times 5$$

Ca^{+2} et Mg^{+2} exprimés en **meq/l** (**Baouch et Zid El Khir, 2016**).

Tableau n°3 : Qualité des eaux d'irrigation selon la dureté totale.

°F	Dureté de l'eau
0 à 7	Très douce
7 à 22	Eau de faible dureté
22 à 54	Moyennement dure
>54	Très dure

Source : **Rodier (2009)**.

10-1-6-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 « équivalent habitant » qui exprime le volume d'eau usée moyen déversé par habitant et par jour (**Zerrouak, 2014**).

10-1-7-L'oxygène dissous

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau ; la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'aptitude augmente (**Zerrouak, 2014**).

10-1-8-L'oxygène, DBO, DCO et oxydabilité

Le **DBO** (Demande Biochimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont cinq jours (on peut donc avoir une dégradation partielle) à **20°C**, à l'abri de la lumière et de l'air ; on parle alors de **DBO₅**.

Tableau n°4 : Les échelles de valeur fréquemment rencontrées pour oxygène, DBO, DCO et oxydabilité.

Situation	DBO ₅ en mg/l d'O ₂
Eau naturelle pure et vive	<1
Rivière légèrement polluée	1<C<3
Egout	100<C<400
Rejet station d'épuration	20<C<40

Source : (**Laos, 1995 in Zerrouak, 2014**).

10-1-9-Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. Elle consiste à prélever **100 ml** d'eau à analyser dans une fiole jaugée et la déverser dans la capsule. Cet échantillon est placé à l'étuve à **105°C** pendant **24h**, puis laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur, et peser immédiatement. Les résultats sont donnés en **mg/l** suivant l'expression (**Baouch et Zid El Khir, 2016**).

Le résidu sec correspond à la teneur de matière dissoute et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sec permet de savoir le degré de salinité des eaux comme présentée dans le tableau suivant :

Tableau n°5 : Classification des eaux en fonction des résidus secs.

Teneur du résidu sec (mg/l)	Qualité de l'eau
<1,5	Bonne
1,5-3	Moyenne
3-5	Ne convient pas pour certain cultures
>5	Saumâtre

Source : (**Hadfi, 2012**)

10-2- Les paramètres chimiques des eaux d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire.

10-2-1- Les anions

➤ Les chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) ; ils représentent environ 0,05% de la lithosphère, ils sont présents à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (**Nechad et al, 2014**).

➤ Les sulfates (SO_4^{-2})

La présence du sulfate due essentiellement à la dissolution des gypses et surtout lorsque le temps de contact avec les roches est élevé. Toutefois, d'un forage à un autre, cette teneur est variable ceci s'explique par la lithologie gypseuse de la région (**Lachache et Boudjenah-Haroun, SD**).

➤ **Les nitrates (NO_3^-)**

Les nitrates constituent le stade finale de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l. Cependant leurs teneurs dans les eaux usées non traitées sont faible (**Zerrouak, 2014**).

➤ **Les nitrites (NO_2^-)**

Rodier et al (2009), montrent que les Nitrites sont des sels de l'acide nitreux. L'acide nitreux est un acide instable de formule HNO_2 .

➤ **Les bicarbonates (HCO_3^-) et Carbonates (CO_3^{2-})**

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) de la minéralisation de la matière organique (**Mebarkia, 2011**).

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

10-2-2- Les cations

➤ **Le sodium (Na^+)**

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.

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 contribue 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.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation (**Couture, 2004**).

Pour calculer le SAR on utilise la formule suivante :

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

Le Na^+ , le Ca^{+2} et le Mg^{+2} exprimer en meq/l.

➤ **Le potassium (K^+)**

Le potassium est assez abondants sur terre, mais peut fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaé dans les sols. Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans les minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles (**Zerrouak, 2014**).

➤ **Le magnésium (Mg^{+2})**

Le magnésium est un élément plus réponde dans la nature ; il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre.

Le magnésium est très soluble dans l'eau. Il est constitué un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates (**Rodier et al, 2009**).

➤ **Le calcium (Ca^{+2})**

Le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entrainement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium (**Nechad et al, 2014**).

Une eau riche en calcium et en magnésium possède généralement des quantités équivalentes de bicarbonate ou de carbonate, lesquelles lui confèrent une alcalinité élevée. C'est là où le bât blesse. Lorsque l'alcalinité est élevée, le calcium et le magnésium sont les deux principaux éléments qui causent des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement obstrués les goutteurs par des dépôts calcaires (**Couture, 2004**).

➤ **Les matières en suspension (MES)**

D'après **Zerrouak, (2014)**, les matières en suspension sont les quantités de polluants organiques et minérales non dissoutes dans l'eau. Les matières en suspension sont responsables d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution de l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton.

*Partie 99 : Matériels et
méthodes d'étude*

*Chapitre 9 : Etude du
milieu physique*

Partie II : Matériels et méthodes d'étude

Chapitre 1 : Etude du milieu physique

1. Etude de la région de Hammam Dalaa

1.1. Situation géographique de la région d'étude

Hammam Dalaa est situé géographiquement entre la série d'atlas tellien à côté du Nord et la chaîne des montagnes du Hodna à l'Est, et entre les lignes longitudinales ($4^{\circ} 56' - 5^{\circ} 33'$) et latitude ($22^{\circ} - 34^{\circ}$).

Elle est située au Nord-Ouest de la wilaya de M'sila à 30Km. Elle occupe une superficie de **115800 hectares** et limitée par :

- au Nord : la wilaya de Bordj Bou Arreridj ;
- au Sud-Est : la région de M'sila ;
- au Sud : la région d'Ouled Madhi ; et
- à l'Ouest : la région d'Ouanougha.

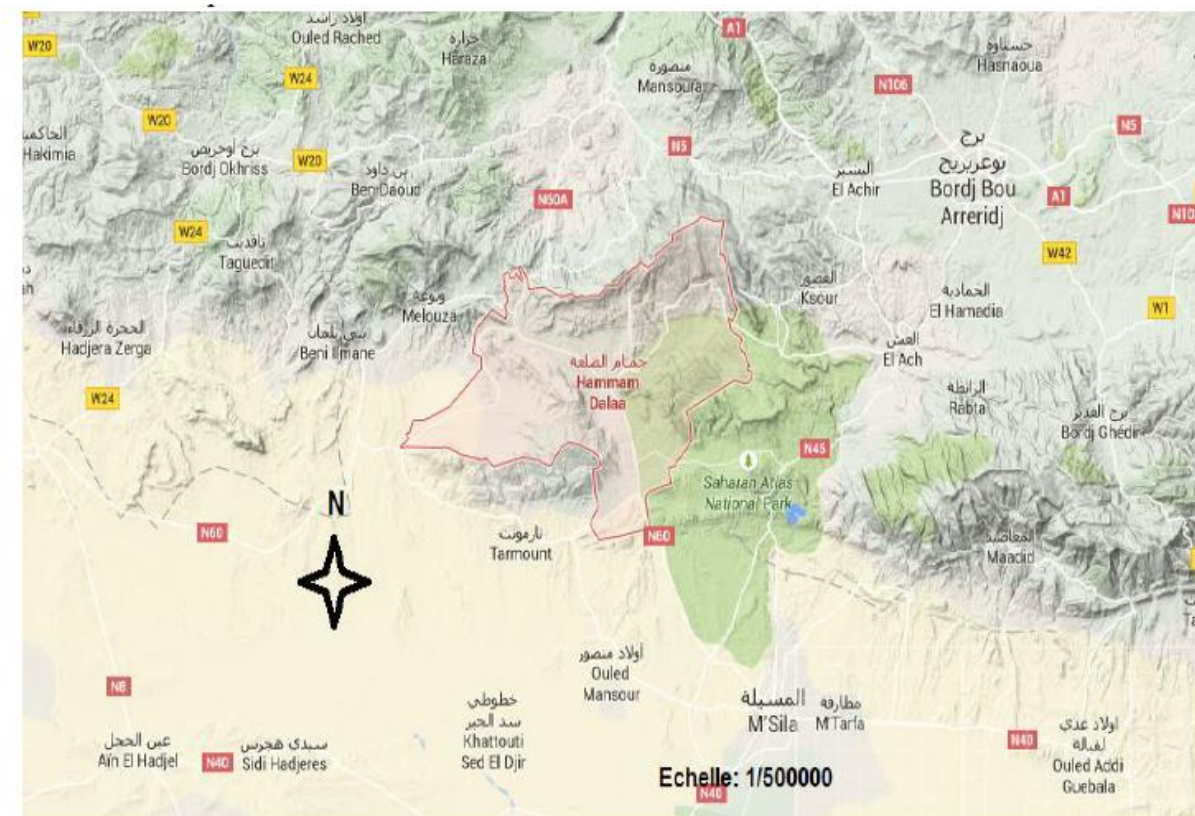


Figure n°9 : Situation géographique de la commune de Hamma Dalaa (Bensaïssa et Boukhane, 2015).

1.2. Climat de la région d'étude

Hamam Dalaa se caractérise par un climat aride ; qui distingué par un forts froid en hiver, une chaleur élevé et sécheresse en été.

En se basant sur les altitudes des zones de prélèvements (forages) on a peu classé ceux derniers en deux zones ; Hamam Dalaa, où l'altitude ne dépasse pas 100m pour extrapoler les données et celle de Tarmounte dont l'altitude de la zone de Hamam Dalaa égale à **816,71 m**, et l'altitude de la zone de Tarmounte est de **696m**.

1.2.1. Climat de zone de Hamam Dalaa

a. Température

La température est un élément essentiel pour déterminer le climat d'une région ; elle joue un rôle essentiel dans l'étude de l'évaporation et l'evatranspiration. L'étude de la température est faite à partir des données recueillies de la station météorologique de M'sila (Ghzel) durant la période (1993-2017).

Tableau n°6 : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la zone de Hamam Dalaa.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T° moyenne max	35,73	30,42	22,55	17,16	16,55	18,87	24,65	28,76	34,11	38,71	41,16	40,21
T° moyenne min	12,19	7,1	0,87	-2,31	-2,75	-2,27	0,02	3,1	7,57	13,17	17,58	17,87
T° moyenne	23,69	18,31	11,69	7,3	6,43	7,89	11,73	15,41	21,92	26,44	30,09	29,52

Source : SMM, (2019) (Après l'extrapolation)

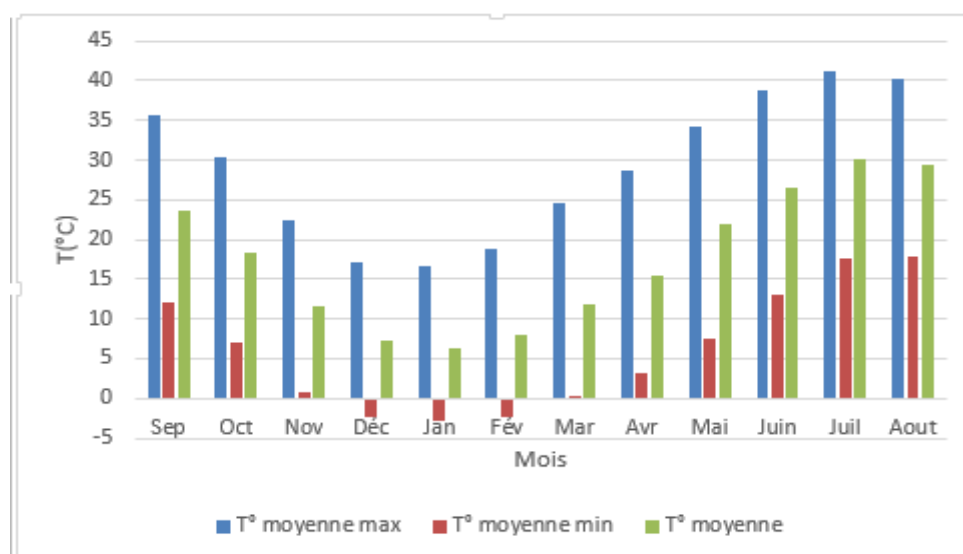


Figure n°10 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (1993-2017) (Après extrapolation des données).

Le **tableau n°6** et la **figure n°10**, montrent que la température maximale est enregistrée au mois de **Juillet** avec **41.16°C**, alors que celle minimale se rencontre au mois de **Janvier** avec **-2.75°C**.

b.Précipitation

La pluie (précipitation) est un facteur climatique très important qui caractérise le climat de la région d'étude ; elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation des nappes souterraines.

La pluviosité augmente avec l'altitude et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer (Abdelhamid, 2016).

Tableau n°7 : Précipitation moyenne mensuelle en **mm** pendant la période (1993-2017) de la zone de Hammam Dalaa.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Totale
P (mm)	25,93	22,37	18,77	18,89	21,21	14,41	14,73	21,85	21,49	9,09	4,77	8,57	202,08 (mm)
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été			
	67,07			54,51			58,07			22,43			

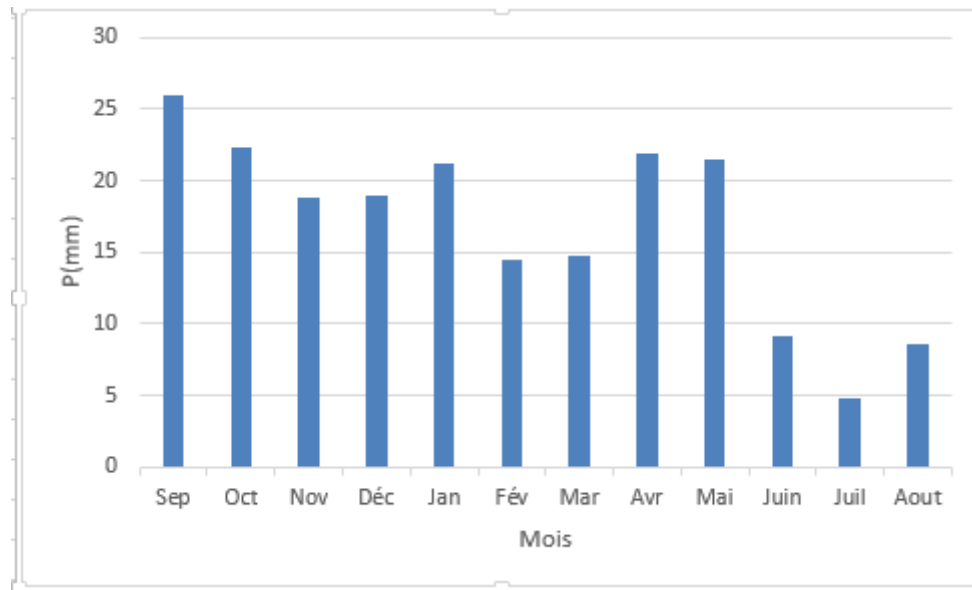


Figure n°11 : Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (1993-2017) (Après extrapolation des données).

A partir de **tableau n°7** et la **figure n°11** :

Le mois le plus arrosé est celui de **Septembre** avec une précipitation moyenne mensuelle de **25,93mm** ; alors que celui le mois arrosé est **Juillet** avec une précipitation moyenne mensuelle de **4.77mm**.

La saison la plus pluvieuse est l'**Automne** avec **67.07mm** et celle moins pluvieuse est l'**Eté** avec **22.43mm**.

c.La classification climatique de la région d'étude

⇒ Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен est utilisé pour déterminer la période sèche et la période humide de la région d'étude.

Pour Gausсен et Bagnouls le climat sec est celui dont $P \leq 2T^{\circ}\text{C}$. Cette relation permet d'établir un graphique Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

Lorsque la courbe représentant les précipitations passe au-dessus de la courbe de température ; il s'agit d'une période excédentaire (humide). Alors que l'inverse indique la période déficitaire (sèche).

Tableau n°8 : Les précipitations et les températures moyennes mensuelles de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (1993-2017).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	25,93	22,37	18,77	18,89	21,21	14,41	14,73	21,85	21,49	9,09	4,77	8,57
T moyennes	23,69	18,31	11,69	7,3	6,43	7,89	11,73	15,41	21,92	26,44	30,09	29,52

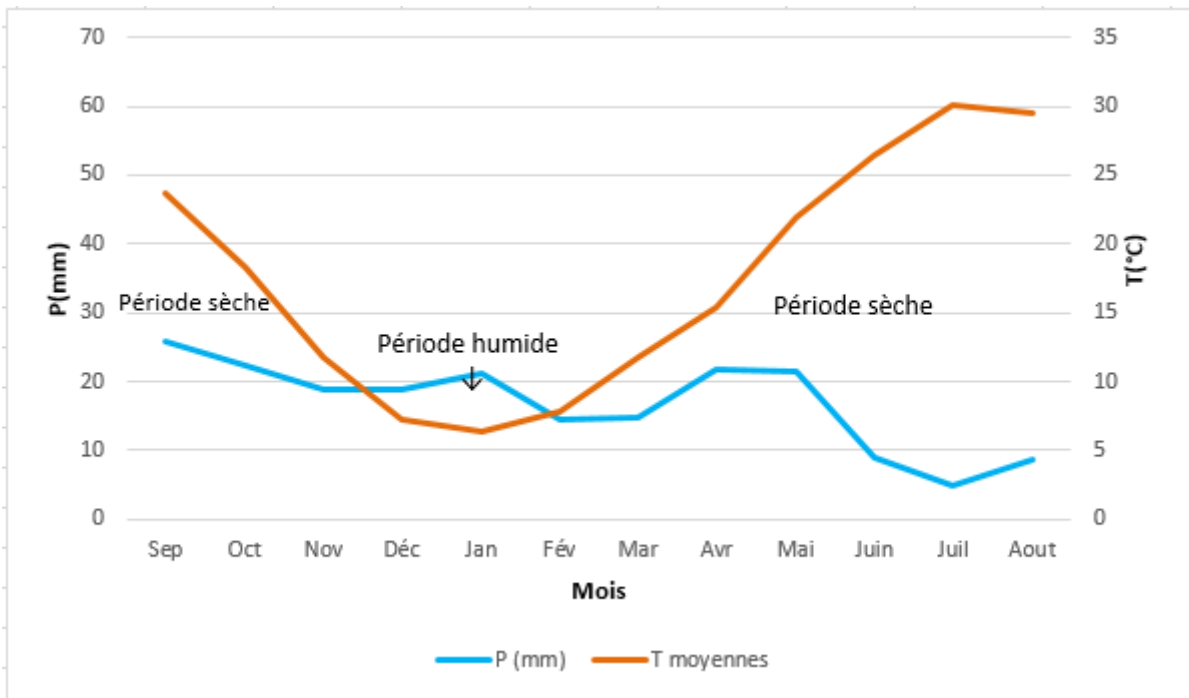


Figure n°12 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la zone de Hammam Dalaa durant la période (1993-2017).

La **figure n°12**, montrent que la zone de Hammam Dalaa se caractérise par l'existence de deux périodes :

- ✓ Période sèche du début de Février jusqu'à la fin de Novembre ; et
- ✓ Période humide du fin de Novembre jusqu'à le début de Février.

⇒ **Climatogramme d'Emberger**

Le diagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude et de donner une signification écologique du climat.

Le quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suit :

$$Q_2 = \frac{3.43P}{M - m}$$

Ou :

Q2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Précipitation annuelle ;

M : Température du mois le plus chaud en °K ;

m : Température du mois le plus froid en °K.

Sachant que : $T^{\circ K} = T^{\circ C} + 273$

Donc :

$M = 41.16 + 273 = 314.16 \text{ }^{\circ K}$; et

$m = (-2.75) + 273 = 270.25 \text{ }^{\circ K}$

Tableau n°9 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone de Hammam Dalaa.

Données	P (mm)	M (°K)	m (°K)	M-m (°K)	Q2
Valeurs	202.08	314.16	270.25	43.91	15.79
Etage bioclimatique	Etage bioclimatique aride à hiver froid				

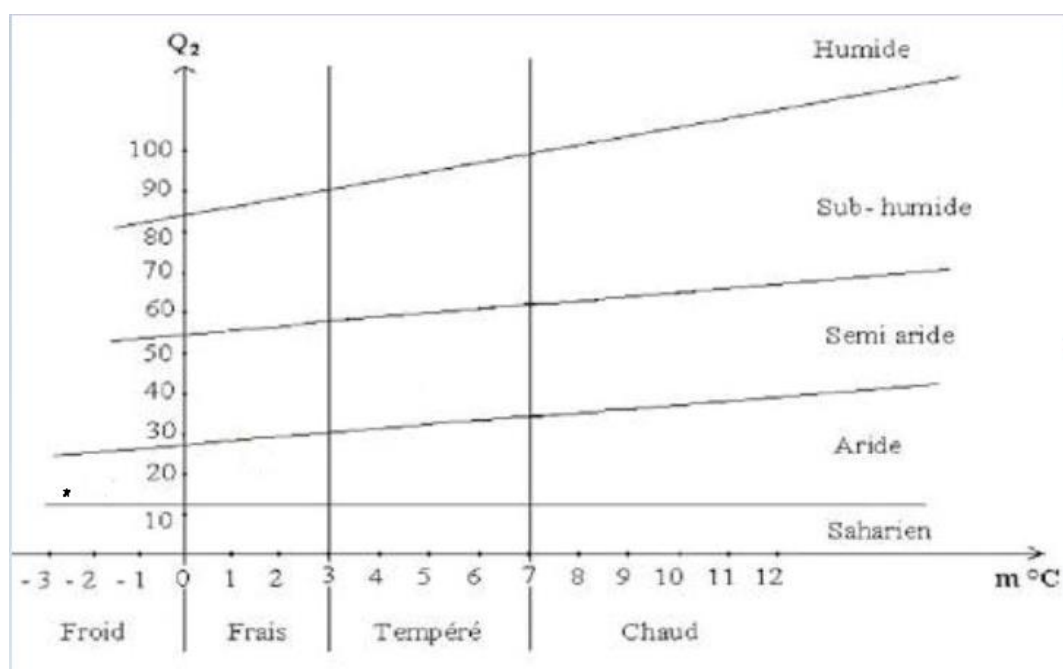


Figure n°13 : Positionnement de la zone de Hammam Dalaa dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1993-2017).

La figure n°13, montre que le climat de la zone de Hammam Dalaa appartient à l'étage bioclimatique aride à hiver froid.

1.2.2. Climat de la zone de Tarmount

Les données climatiques de la zone de Tarmount sont différentes de ceux Hammam Dalaa (pas de même altitude) (Annexe n°6).

a. Température

Pour la température de la zone de Tarmount, le tableau suivant indique les températures max, min et moyenne de cette zone.

Tableau n°10 : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la zone de Tarmount.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T° moyenne max	36,57	31,26	23,39	18	17,39	19,71	25,49	29,6	34,95	39,55	42	41,05
T° moyenne min	12,67	7,58	1,35	-1,83	-2,27	-1,79	0,5	3,58	8,05	13,65	18,06	18,35
T° moyenne	24,36	18,98	12,36	7,97	7,1	8,56	12,4	16,08	21,59	27,11	30,76	20,19

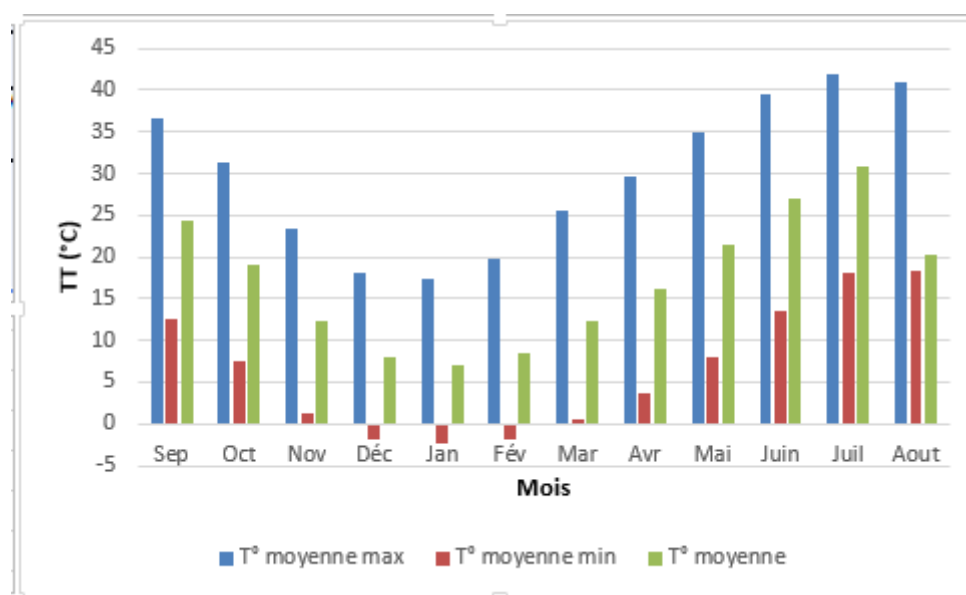


Figure n°14 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la zone de Tarmount pendant la période (1993-2017) (Après extrapolation des données).

Le **tableau n°10** et la **figure n°14**, montrent que la température maximale est enregistrée au mois de **Juillet** avec **42°C**, alors que la température minimale se rencontre au mois de **Janvier** avec **-2.27°C** (Pour la zone de Tarmount).

b.Précipitation

Tableau n°11 : Précipitation moyenne mensuelle en **mm** pendant la période (1993-2017) de la zone de Tarmount.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Totale
P (mm)	25,8	22,24	18,64	18,76	21,08	14,28	14,6	21,72	21,36	9,96	4,64	8,44	201,52 (mm)
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	66,68			54,12			57,68			23,04			

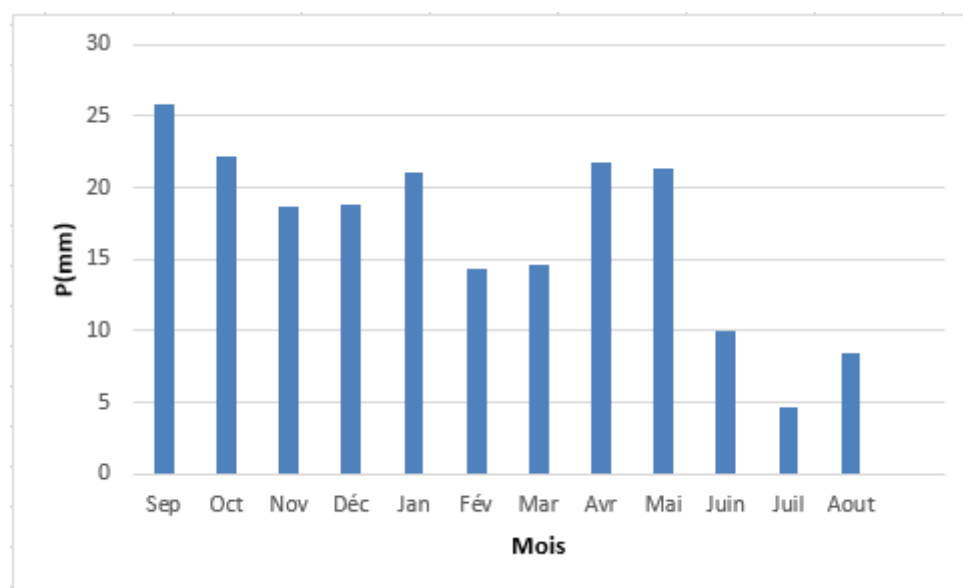


Figure n°15 : Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone de Tarmount pendant la période (1993-2017) (Après extrapolation des données).

A partir de **tableau n°11** et la **figure n°15** :

Le mois le plus arrosé est celui de **Septembre** avec une précipitation moyenne mensuelle de **25,8mm** ; alors que le moins arrosé est **Juillet** avec une précipitation moyenne mensuelle de **4.64mm**.

La saison la plus pluvieuse est **Automne** avec **66.68mm** ; et la saison la moins pluvieuse est l'**Eté** avec **23.04mm**.

c.La classification climatique de la zone de Tarmount

⇒ **Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson**

Tableau n°12 : Les précipitations et les températures moyennes mensuelles de la zone de Tarmount pendant la période (1993-2017).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	25,8	22,24	18,64	18,76	21,08	14,28	14,6	21,72	21,36	9,96	4,64	8,44
T moyennes	24,36	18,98	12,36	7,97	7,1	8,56	12,4	16,08	21,59	27,11	30,76	20,19

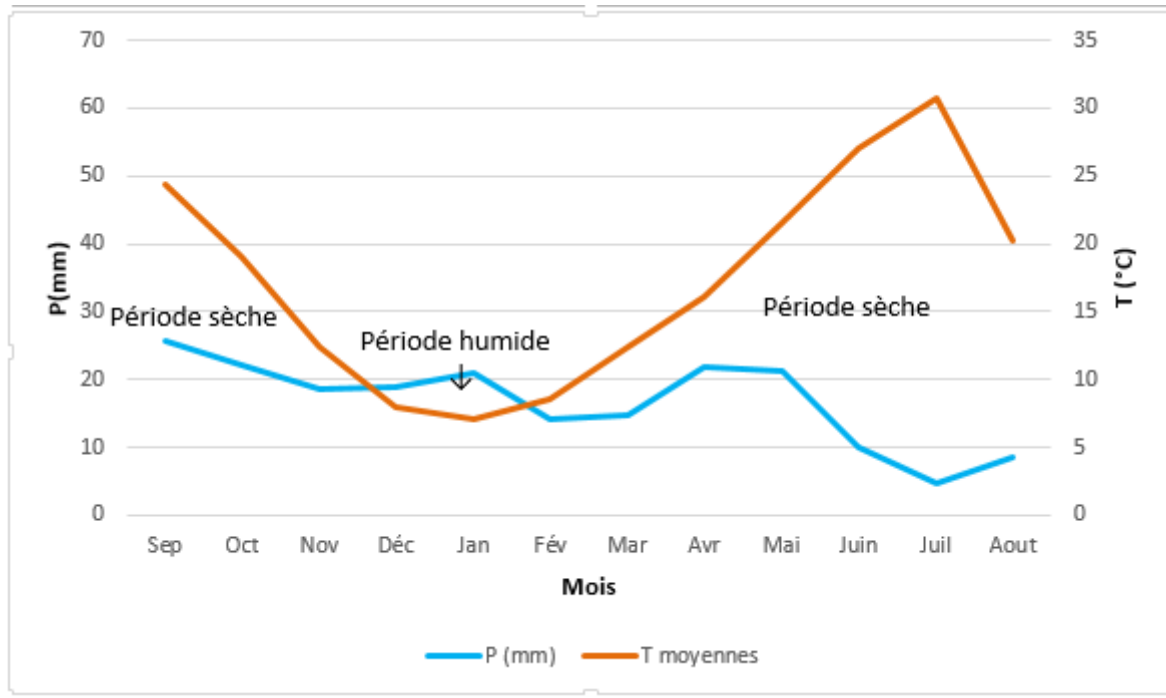


Figure n°16 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la zone de Tarmount durant la période (1993-2017).

La **figure n°16**, montrent que la zone de Tarmount se caractérise par l'existence de deux périodes :

- ✓ Période sèche du fin de Janvier jusqu'à la fin de Novembre ; et
- ✓ Période humide du fin de Novembre jusqu'à la fin de Janvier.

⇒ **Climatogramme d'Emberger :**

Pour la zone de Tarmount les valeurs du quotient pluviométrique sont différent ceux Hamam Dalaa parce que l'altitude est différent.

Tableau n°13 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone de Tarmount.

Données	P (mm)	M (°K)	m (°K)	M-m (°K)	Q2
Valeurs	201,52	315	270,73	44,27	15,61
Etage bioclimatique	Etage bioclimatique aride à hiver froid				

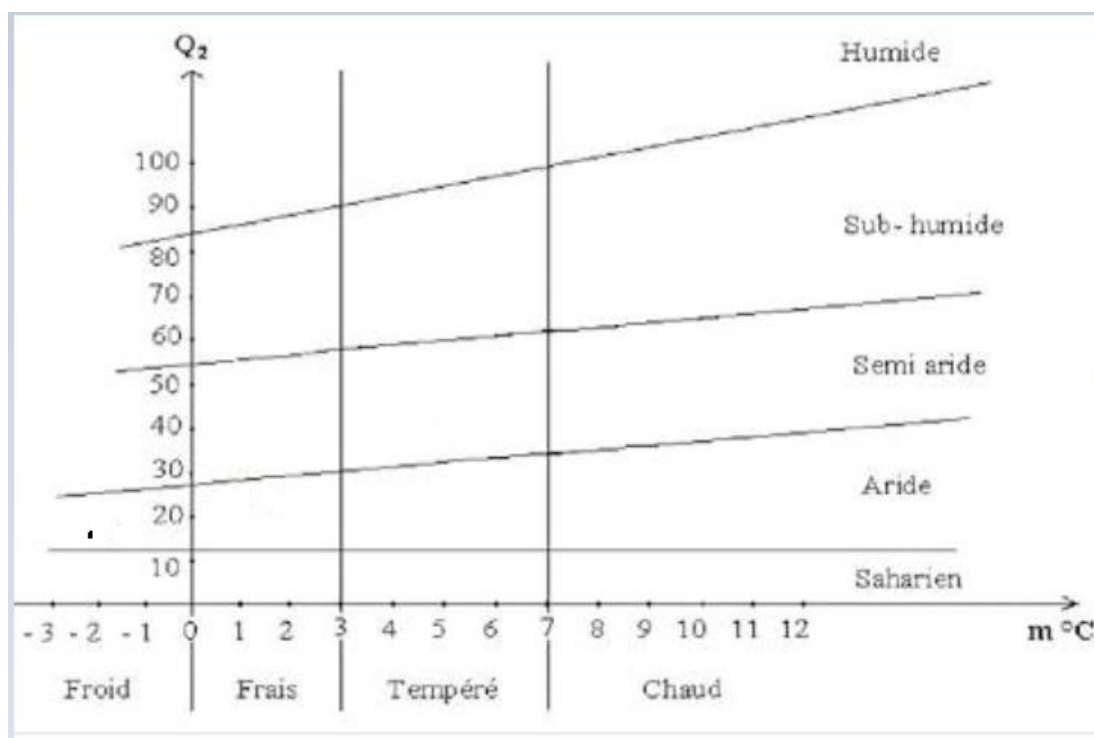


Figure n°17 : Positionnement de la zone de Tarmount dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1993-2017).

La figure n°17, montre que le climat de la zone de Tarmount appartient à l'étage bioclimatique aride à hiver froid.

Remarque :

L'altitude de la zone de Ouled Manseur est proche à l'altitude de la zone (station) de M'sila, donc le climat de cette zone est le même que celui de la station.

1.2.3. Climat de la zone d'Ouled Manseur

a. Température

Tableau n°14 : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la zone d'Ouled Manseur.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T° moyenne max	38,36	33,05	25,18	19,79	19,18	21,5	27,28	31,39	36,74	41,34	43,79	42,84
T° moyenne min	13,69	8,6	2,37	-0,81	-1,25	-0,77	1,52	4,60	9,07	14,67	19,08	19,37
T° moyenne	25,76	20,38	13,76	9,37	8,50	6,96	13,8	17,48	22,99	28,51	32,16	31,59

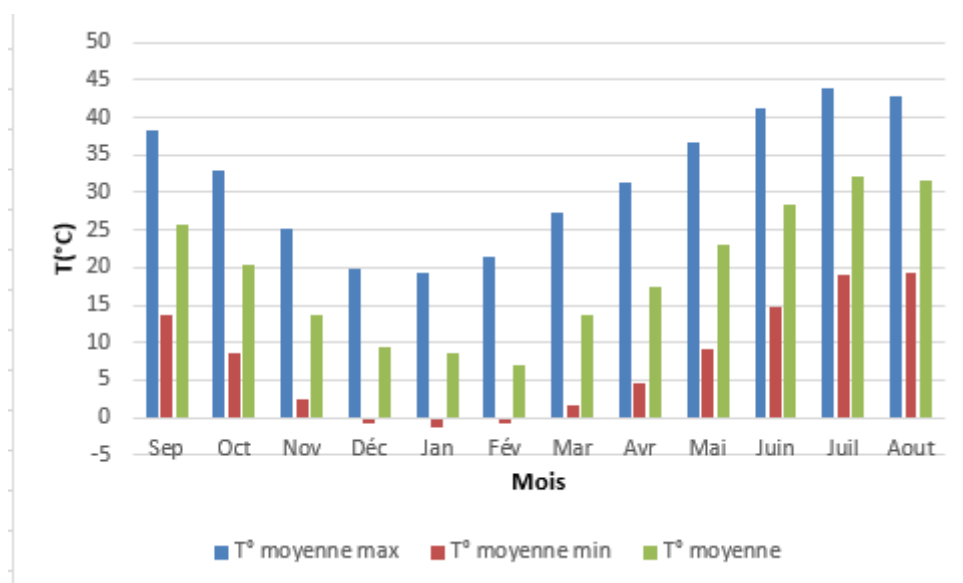


Figure n°18 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la zone d'Ouled Manseur pendant la période (1993-2017) (Après extrapolation des données).

Le **tableau n°14** et la **figure n°18**, montrent que la température maximale est enregistrée au mois de **Juillet** avec **43,79°C**, alors que la température minimale se rencontre au mois de **Janvier** avec **-1,25°C**.

b.Précipitation

Tableau n°15 : Précipitation moyenne mensuelle en **mm** pendant la période (1993-2017) de la zone d'Ouled Manseur.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Totale
P (mm)	24,52	20,96	17,36	17,48	19,8	13	13,32	20,44	20,08	7,68	3,36	7,16	185,16 (mm)
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été			
	62,84			50,28			53,84			18,2			

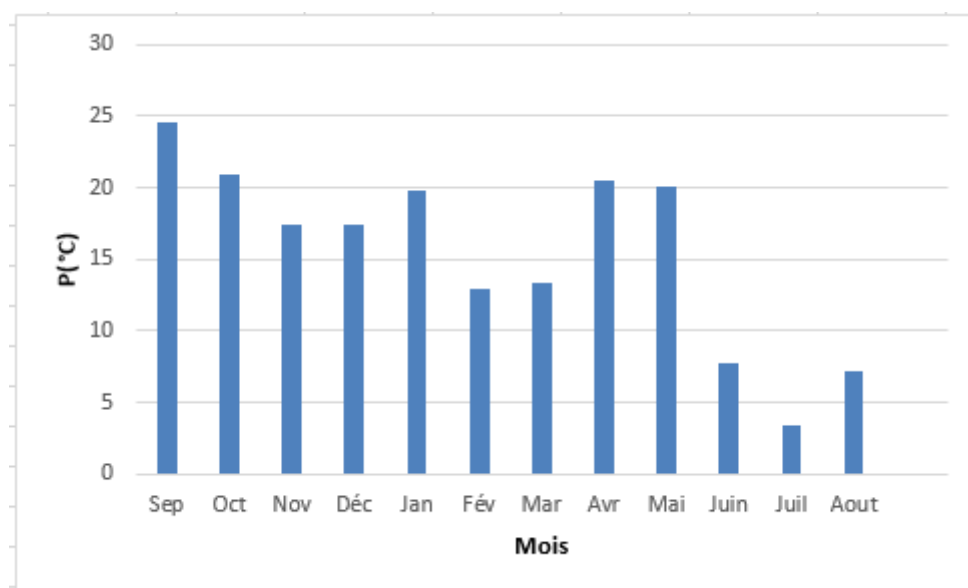


Figure n°19 : Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone d'Ouled Manseur pendant la période (1993-2017) (Après extrapolation des données).

A partir du **tableau n°15** et de la **figure n°19** ; le mois le plus arrosé est le mois de **Septembre** avec une précipitation moyenne mensuelle de **24,52mm** ; et le mois le moins arrosé est le mois de **Juillet** avec une précipitation moyenne mensuelle de **3,36mm**.

La saison la plus pluvieuse est **Automne** avec **62,84mm** ; et la saison la moins pluvieuse est l'**Eté** avec **18,2mm**.

c. La classification climatique de la zone d'Ouled Manseur

⇒ **Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson**

Tableau n°16 : Les précipitations et les températures moyennes mensuelles de la zone d'Ouled Manseur pendant la période (1993-2017).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	24,52	20,96	17,36	17,48	19,8	13	13,32	20,44	20,08	7,68	3,36	7,16
T moyennes	25,76	20,38	13,76	9,37	8,50	6,96	13,8	17,48	22,99	28,51	32,16	31,59

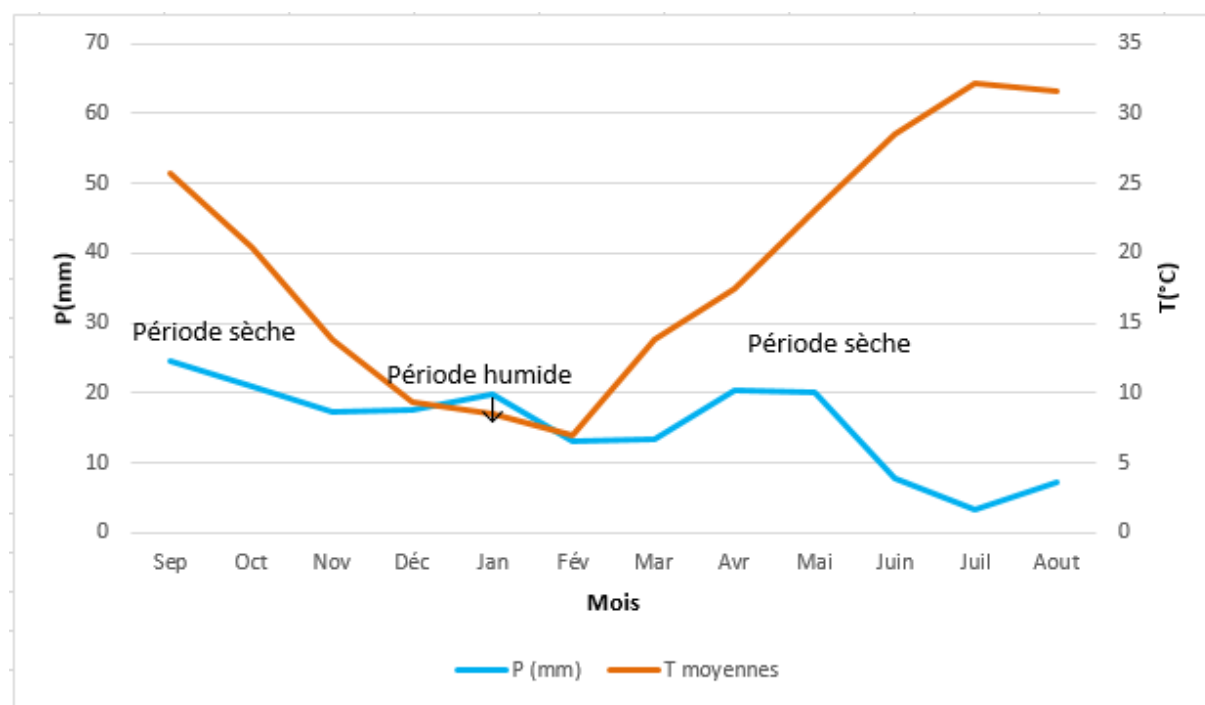


Figure n°20 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la zone d'Ouled Manseur durant la période (1993-2017).

La **figure n°20**, montrent que la zone d'Ouled Manseur caractérisée par l'existence de deux périodes :

- ✓ Période sèche du début de Février jusqu'à le début de Décembre ; et
- ✓ Période humide du début de Décembre jusqu'à la fin de Janvier.

⇒ **Climatogramme d'Emberger**

Pour la zone d'Ouled Manseur les valeurs du quotient pluviométrique sont les même de la wilaya de M'sila.

Tableau n°17 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone d'Ouled Manseur.

Données	P (mm)	M (°K)	m (°K)	M-m (°K)	Q2
Valeurs	185,16	316,79	271,75	45,04	14,10
Etage bioclimatique	Etage bioclimatique aride à hiver froid				

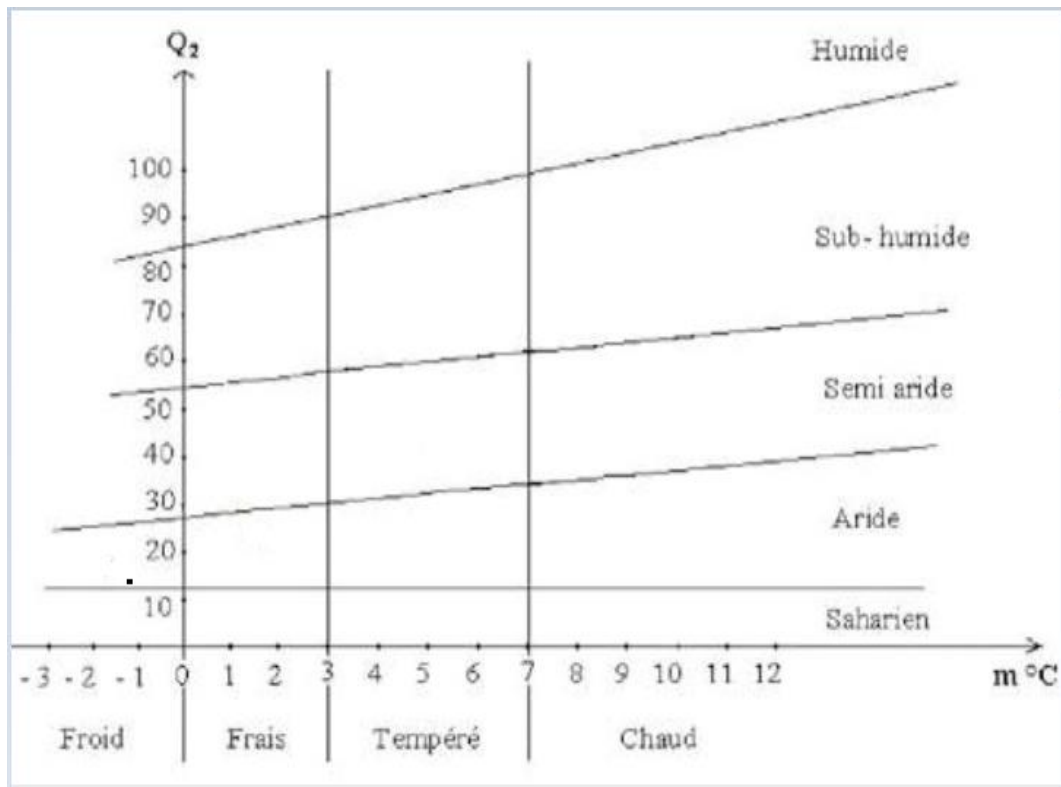


Figure n°21 : Positionnement de la zone d'Ouled Manseur dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1993-2017).

La figure n°21, montre que le climat de la zone d'Ouled Manseur appartient à l'étage bioclimatique aride à hiver froid.

1.3. Le vent

D'après **Mebarkia, (2011)**, le vent influé sur la température, l'humidité et l'évaporation, La direction, la fréquence et la vitesse du vent est variable au cours de l'année.

La commune de Hammam Dalaa est caractérisée par deux types de vent dominants :

- vents d'Ouest et du Nord-Ouest, qui souffle en hiver (froid et humide) ;
 - vents du Sud sont des vents sirocco soufflant en été (chauds et poussiéreux).
- (**Abdelmadjid Madhi, 2016**).

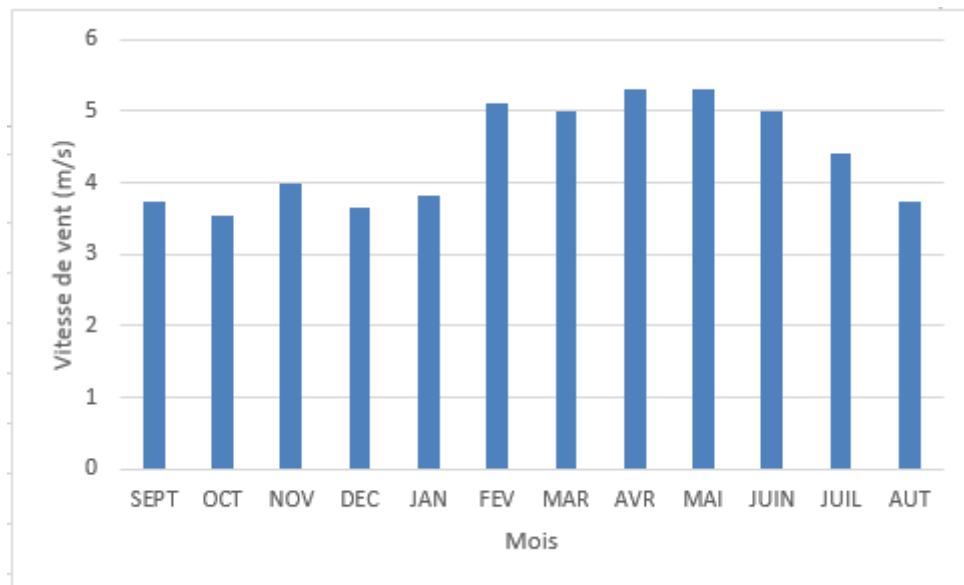


Figure n°22 : Variations des vitesses moyennes mensuelles de vent en (m/s) de la région de Hammam Dalaa pendant la période (2006-2016).

La figure n°22, indique que la vitesse moyenne du vent de la région d'étude durant la période (2006-2016) est variée entre **4.55 m/s** au niveau de mois d'Octobre, et **5.28 m/s** dans le mois d'Avril.

1.4. Humidité relative

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 ce même volume peut contenir à la même température (humidité à saturation) (**Laffont, 2015**).

L'humidité relative de l'air est la proportion de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère par rapport à la quantité maximale qui peut être fixée à une température considérée. L'humidité est un paramètre essentiel pour les calculs des besoins des cultures en eau.

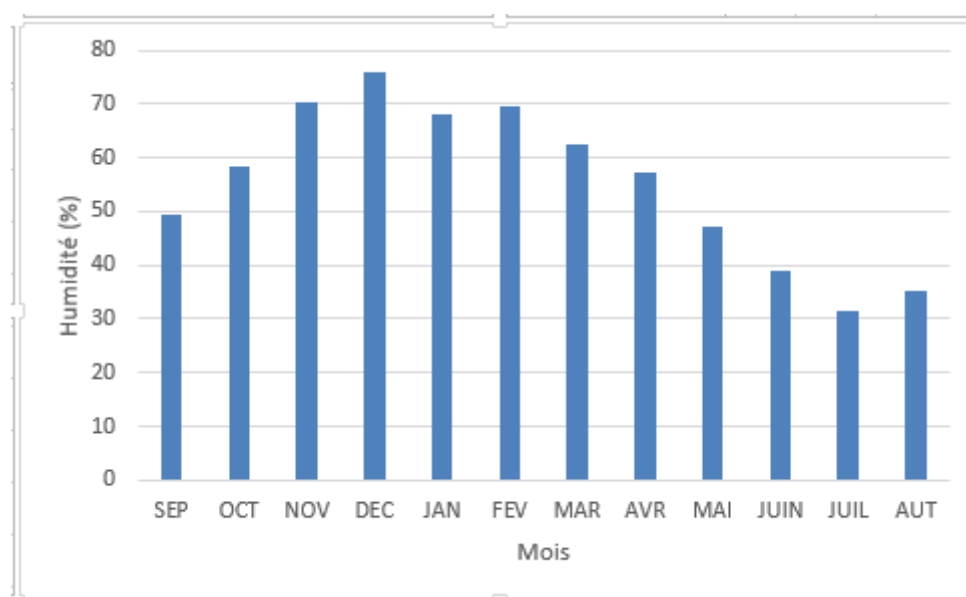


Figure n°23 : Humidité moyenne mensuelle en % de la zone de Hammam Dalaa pendant la période (2006-2016).

Dans notre cas et en se référant à la figure n°23, on remarque que l'humidité de la région d'étude s'élève durant le mois de Décembre presque égale à **77%**, et égale à **32%** durant le mois de Juillet.

1.5. Topographie

La commune de Hammam Dalaa positionné sur une zone de hauteur moyenne, parsemé d'une gamme de hautes terres et de zones en pente, en particulier dans les régions du Nord ; la commune peut être divisée en termes d'aspect de la surface en deux parties principales :

- La partie Nord représente les zones montagneuses jusqu'à **1200 mètres** d'altitude ;
- La partie Sud correspond aux zones plates, en particulier dans l'extrême Sud, où l'altitude est de **700 mètres** au-dessus du niveau de la mer ;

Donc, l'aspect général du commun est un plateau de hauteur moyenne (**Ben Hlima, 2015**).

Notre étude s'est concentrée dans la région de Hammam Dalaa où l'altitude est comprise entre **485.25m** (à Ouled Manseur) et **816.71m** (à Hammam Dalaa).

1.6. Réseau hydrographique

La région d'étude, possède un réseau hydrographique important en raison des différences aspect de surface et de la nature climatique prédominante. Toutes les eaux provenant des montagnes qui entourent la région se déversent dans les vallées qui pénètrent dans cette région à la vallée du Hammam, qui va du Nord au Sud à la hauteur des régions du Nord.

Le débit d'eau augmente pendant la saison pluvieuse, entraînant une érosion des sols due à la forte pente. Ce phénomène est peu dans la partie Sud (faiblesse de pente) (Abdelmadjid Madhi, 2016).

1.7. Terres forestières

Les forêts représentent **12 941 hectares (33.39 %)** de la superficie totale de la région d'étude et se trouve en abondance au nord de la hauteur de cette région et de la présence de montagnes (Ben Hlima, 2015).

1.8. Superficie irriguée et types d'irrigation

Tableau n°18 : La répartition des surfaces irriguées dans la région de Hammam Dalaa.

Communes	Superficie irriguée (Ha)	Gravitaire		Aspersion		Goutte à Goutte	
		Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%
H. Dalaa	351	335	95,44	0	0	16	4,56
Tarmounte	128	94	73,44	0	0	34	26,56
O. Mansour	2207	1377	62,39	710	32,17	120	5,44
TOTAL	2686	1806	67,24	710	26,43	170	6,33

Source : SAHD, 2018.

A partir le **tableau n°18**, le système d'irrigation le plus utilisé dans la région d'étude est par gravité.

Tableau n°19 : La répartition des cultures dans la région de Hammam Dalaa.

Communes	Superficie irriguée (Ha)	Arboriculture		Maraichage		Céréaliculture		Cultures Fourragères	
		Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%
H. Dalaa	351	346	98,58	05	1,42	0	0	0	0
Tarmounte	128	118	92,19	10	7,81	0	0	0	0
O. Mansour	2207	300	13,59	07	0,32	1190	53,92	500	22,66
TOTAL	2686	764	28,44	22	0,82	1190	44,30	500	18,62

Source : SAH.D, 2018.

A partir le **tableau n°19**, la céréaliculture est la plus répondeuse dans la région d'étude **44.30%** de la superficie totale.

1.9. Occupation des sols

Dans les **figures n°24** et **n°25**, les parcours occupent la plus grande partie de la surface dans la zone de Tarmounte avec une surface environ de **10668Ha**, et dans la zone d'Ouled Manseur la SAU avec une superficie de **12745Ha**.

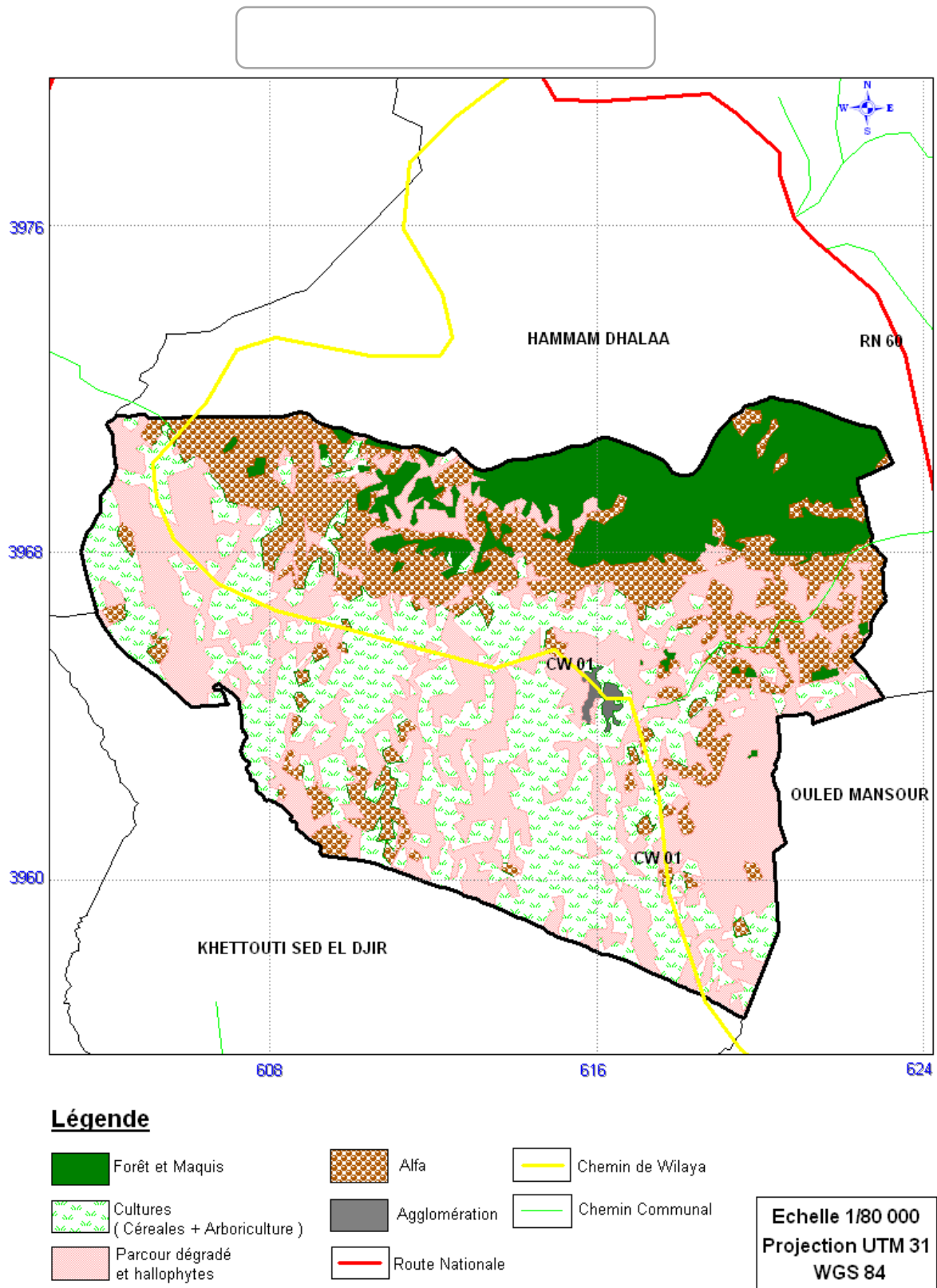


Figure n°24 : Carte d'occupation des sols de la zone de Tarmounte (Source : SAHD, 2018).

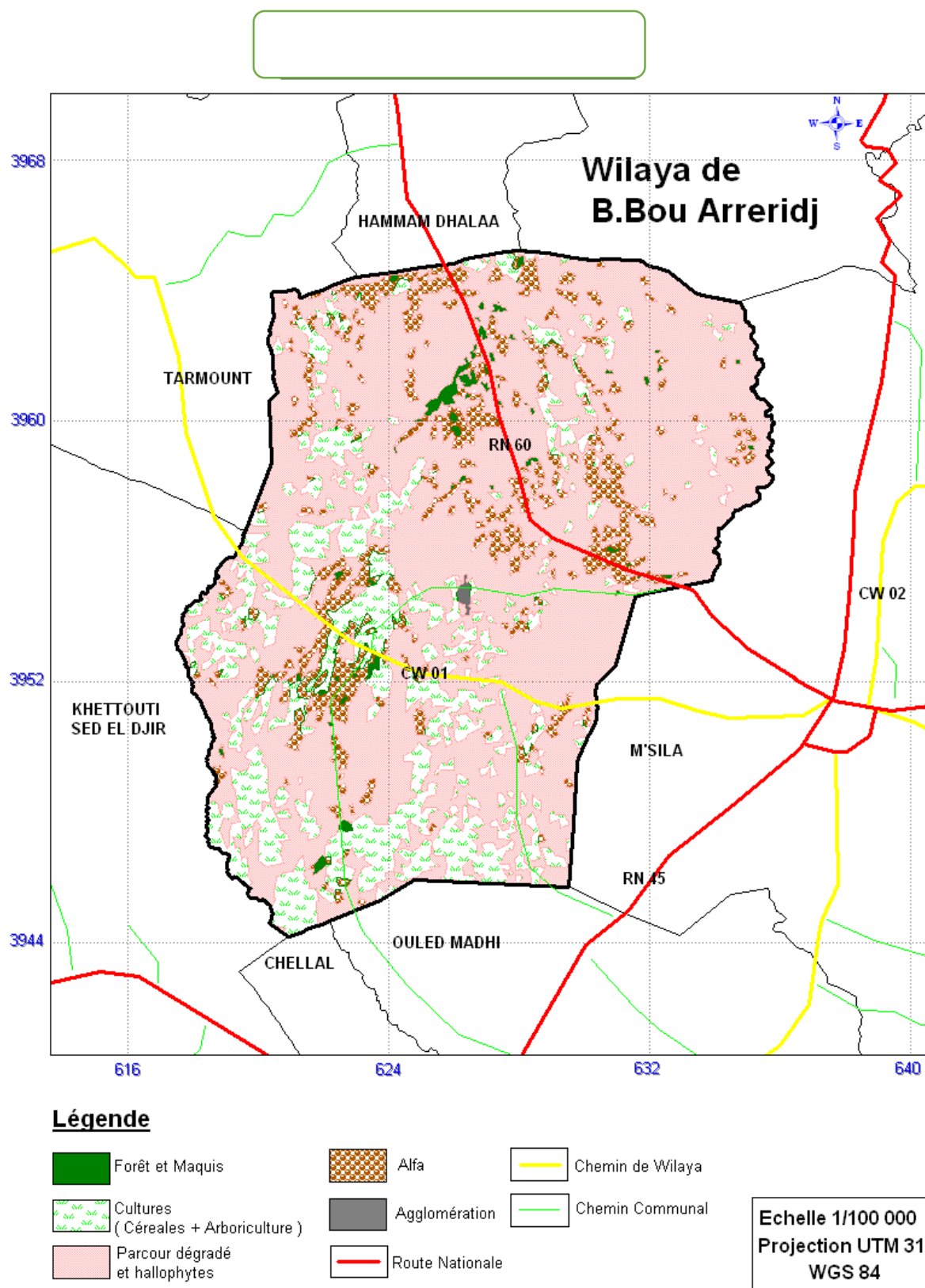


Figure n°25 : Carte d'occupation des sols de la zone d'Ouled Manseur (Source : SAHD, 2018).

1.10. Géologie

D'après la carte géologique de la région du Hodna (Figure n°26), on remarque la présence des formations suivantes dans notre zone d'étude :

-Crétacé : des marnes calcaires et grès ;

-Nummulitique ;

-Miocène inférieur : marne gypseuses avec calcaire gréseux à la bas ;

-Pontien : des marnes gréseuses et quelques conglomérats gypseux ; et

-Quaternaire : Le quaternaire est d'origine continentale, les formations quaternaires sont discordantes sur un substratum Néogène et parfois Paléogène et sont souvent protégées par des croutes calcaireux gypseuses.

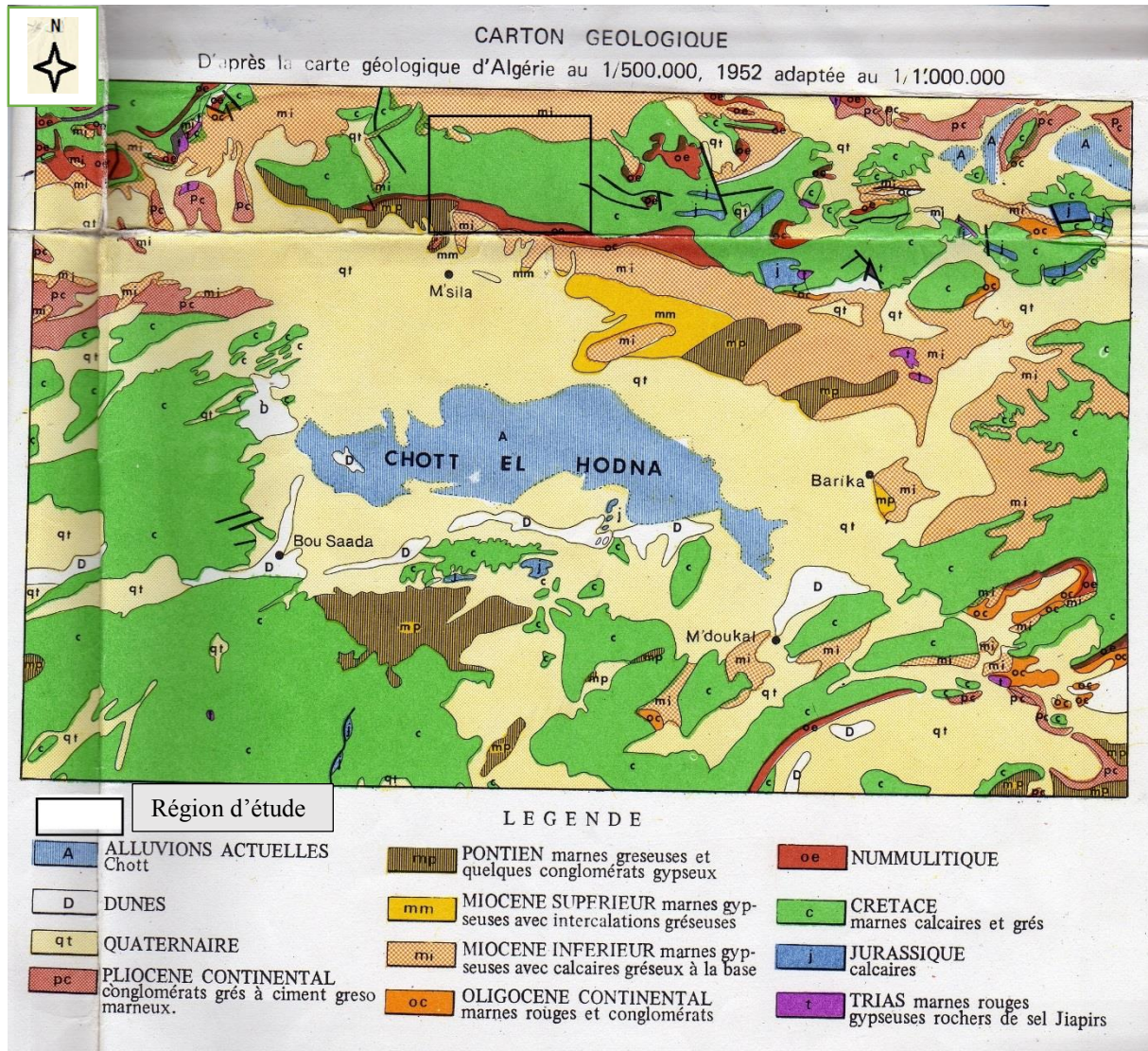


Figure n°26 : Carte géologique de la région du Hodna (Houerou et al, 1975 in Zedam, 2015).

1.11. Pédologie

Selon la carte pédologique de la région du Hodna (Figure n°27), notre zone d'étude est caractérisée par les types des sols suivant :

- Sols brun calcaire ;
- Lithosols et sols à encroustement calcaire ;
- Siérosems ;
- Sols peu évolués alluviaux ; et
- Sols à encroustement calcaire.

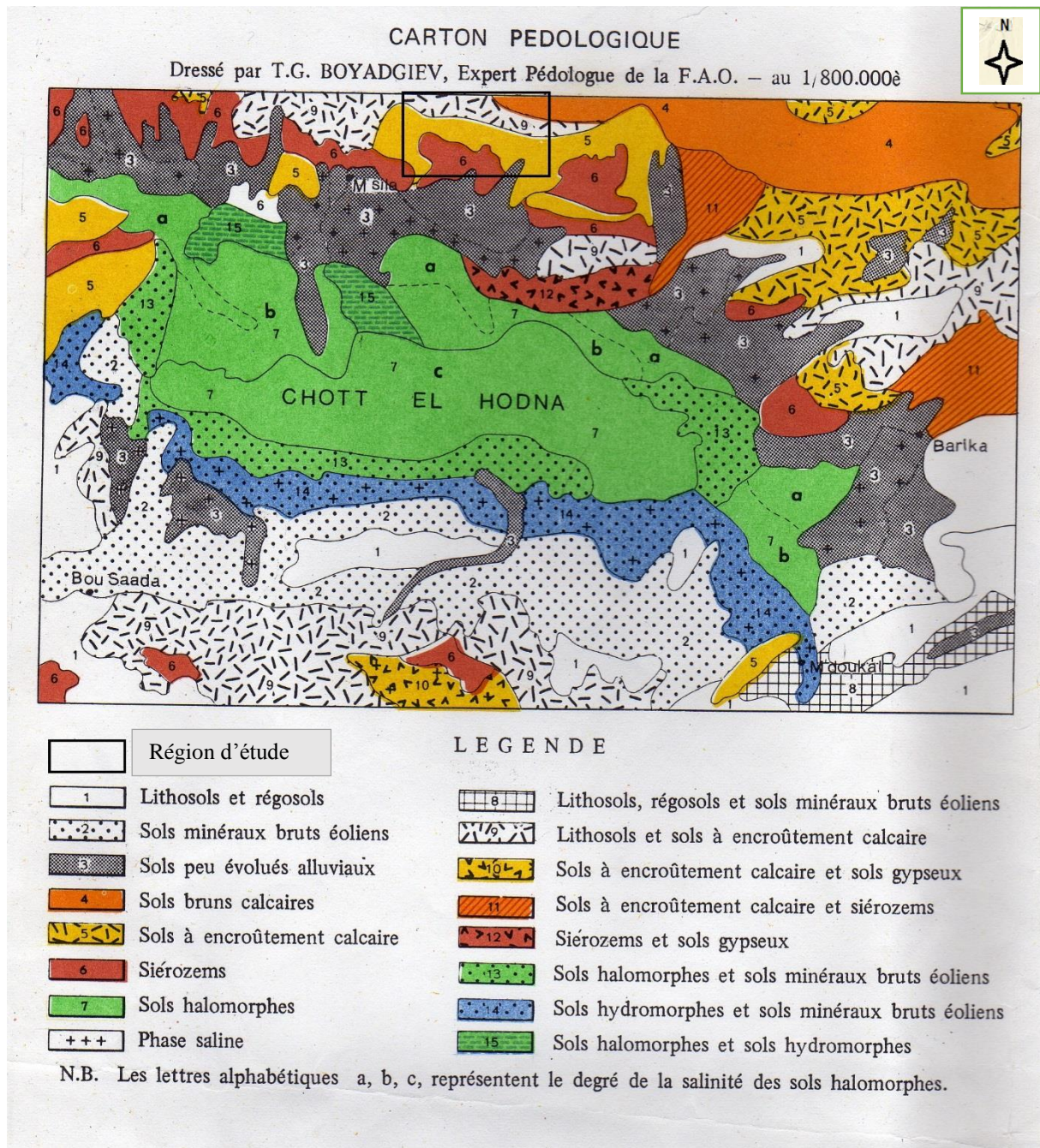


Figure n°27 : Carte pédologique de la zone du Hodna (Houerou et al, 1975 in Zedam, 2015).

*Partie 99 : Matériels et
méthodes d'étude*

*Chapitre 99 : Méthodes
d'étude*

Chapitre 2 : Méthodes d'étude

1. Choix de la région d'étude

Pour la détermination des caractéristiques des eaux d'irrigation de la zone d'étude (Hammam Dalaa), nous avons réalisé plusieurs échantillons provenant de différentes stations de **15** forages. Ce choix est guidé par la disponibilité des agriculteurs et des informations sur ces forages.

2. Les sites de prélèvement

Tous les échantillons ont été réalisés pendant le mois d'avril 2019, et les positionnements exacts sont montrés dans la carte suivant :

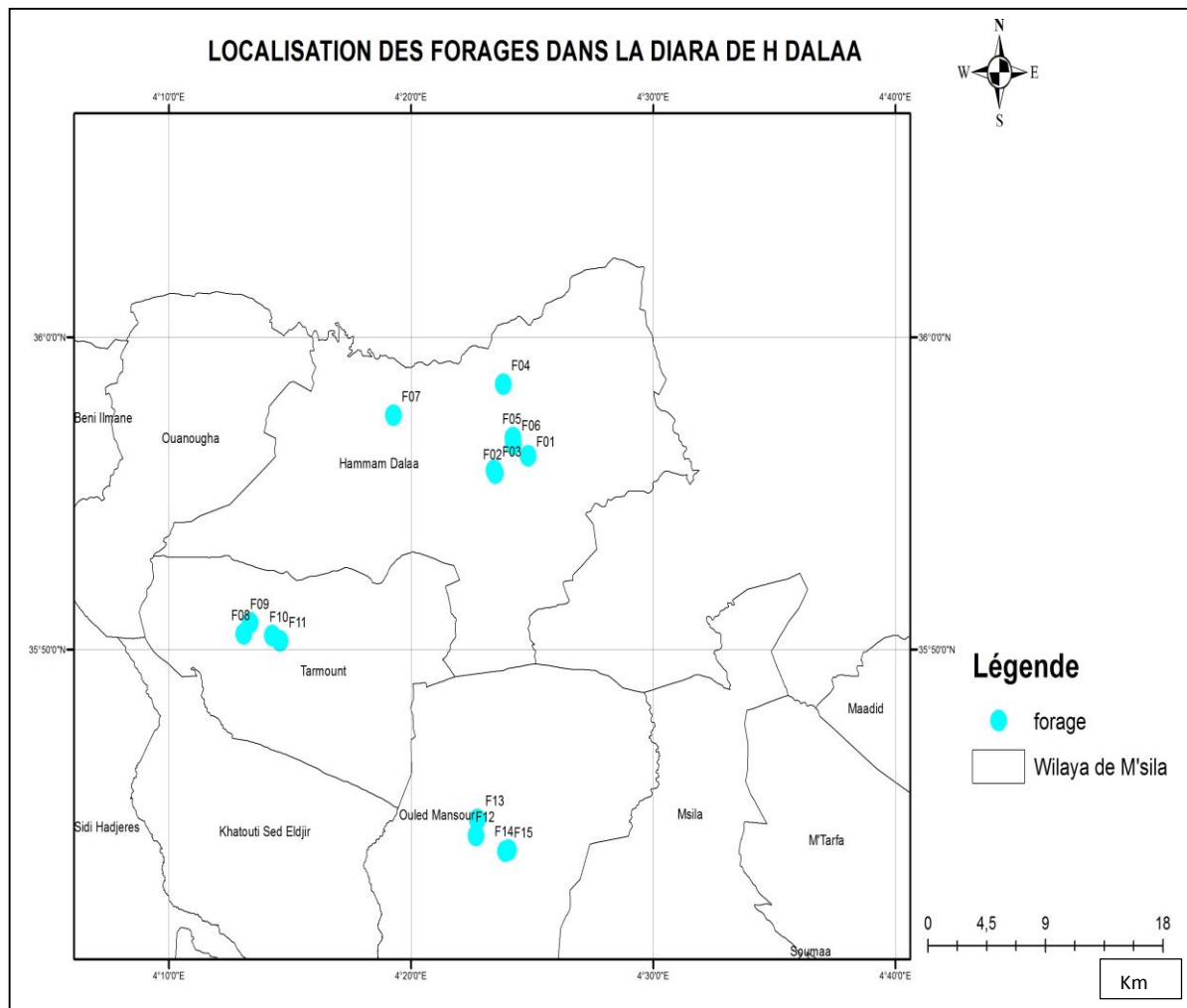


Figure n°28 : Localisation des points d'eau prospectée au niveau de la région de Hammam Dalaa.

Sachant que leur différent caractéristique (Coordonnées géographiques, Altitude, Profondeur, la superficie irriguée, ...etc.) sont résumé à l'**annexe N°7**.

3. Echantillonnage et conservations des échantillons d'eaux à analyser

On a fait de noter mieux à suivre la méthode de **Rodier et al (2009)** ; des bouteilles en plastique sont introduire de façon à éviter des bulles d'air dans la section du tuyau du forage et remplies puis mises dans des glacières à 4°C dans le but de leur conservation ; ensuite, analysée les paramètres qui ne dépassent pas **24h**.

4. Méthodes d'analyses des propriétés physico-chimiques des eaux à étudier

4.1. Paramètres mesures in situ

Les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité électrique) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi-paramètre.

4.2. Paramètres mesures au laboratoire

4.2.1. Résidu sec

La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total (résidu sec). Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure le résidu correspond alors aux matières dissoutes (**Rodier et al, 2009**).

Donc, une certaine quantité d'eau est évaporée dans une bécher. Le résidu desséché est ensuite pesé.

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$RS(mg/l) = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{PE}$$

Où :

P₁ : Poids de bécher vide (**g**) ;

P₂ : Poids de bécher + l'eau après séchage (**g**) ;

PE : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour l'analyse) (**ml**).

4.2.2. Matière en suspension

L'analyse de matière en suspension consiste à déterminer le poids des matières retenues après filtration de l'eau par pesée différentielle (Rodier et al, 2009). Tout en passant par les étapes suivantes :

- ✓ Peser le papier filtre et noter le poids puis placer le papier sur l'entonnoir ;
- ✓ Prélever un volume d'eau de l'échantillon et filtrer ;
- ✓ Après filtration placer les papiers filtres dans l'étuve à **105°C** pendant **1h30min** pour évaporer l'excès d'eau ;
- ✓ Enfin, peser les papiers filtres et noter le poids.

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$MES (mg/l) = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{PE}$$

Où :

P_1 : Poids de papier filtre (g) ;

P_2 : Poids de papier filtre après séchage (g) ;

PE : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour l'analyse) (ml).

4.2.3. Dureté totale (TH)

Cette méthode permet de doser rapidement les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eau.

Ces ions sont titrés par complexométrie avec une solution de l'EDTA à un pH de 10, le net (mordant noir) est utilisé comme indicateur qui donne une couleur rouge foncé ou violet en présence de ces ions. L'EDTA réagit avec les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} libre puis au point d'équivalence, avec les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} combinés avec l'indicateur qui convertit la couleur violet en bleu (ISO, 1984).

Pour déterminer la dureté totale on doit :

- ✓ Prendre **50ml** d'eau à analyser ;
- ✓ Ajouter **4ml** de solution tampon ;
- ✓ Ajouter du net ;
- ✓ Et titrer avec l'EDTA jusqu'à le virage bleu.

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$\text{TH } (^\circ\text{F}) = V_{(\text{EDTA})} \times 2 \times \text{F}$$

Où:

V(EDTA) : le volume nécessaire pour le titrage ;

F : facteur de correction= 1.

4.2.4. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

L'alcalinité des eaux est mesurée à l'aide de la méthode titrimétrique.

Pour déterminer la TAC des eaux nous avons suivi les étapes suivantes :

- ✓ Prendre **20ml** d'eau à analyser ;
- ✓ Ajouter **2** gouttes de méthylorange ;
- ✓ Titrer avec **H_2SO_4 0 N/25** jusqu'à coloration jaune ou jaune orangé.

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$\text{TAC } (F^\circ) = V_{H_2SO_4} \text{ (ml)} \times 10$$

4.2.5. Carbonate et Bicarbonate (CO_3^{2-} et HCO_3^-)

D'après **Rodier et al (2009)**, les carbonates n'existent qu'à **pH > 8,3** et les bicarbonates si le **pH** est comprise entre **4,4 et 8,3**.

La détermination des carbonates et bicarbonates nécessite le passage par les étapes suivantes :

- ✓ Prendre **20ml** d'eau à analyser ;
- ✓ Ajouter **3** gouttes de phénolphtaléine ; s'il y a une coloration rose les carbonates existent ;
- ✓ Titrer avec l'**HCl** jusqu'à la disparition de la couleur rose.
- ✓ S'il n'y a pas une coloration donc les bicarbonates sont existés,
- ✓ Ajouter **3 à 4** gouttes de l'indicateur coloré méthyle orange et titrer avec l'acide chlorhydrique jusqu'à l'apparition de la coloration orange.

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$\text{Carbonates ou Bicarbonates (mg/l)} = \frac{0,1 \times V_{(\text{HCl})} \times 1000}{\text{PE}}$$

Où :

0,1 : la normalité d'HCl ;

V : volume d'HCl nécessaire pour le titrage ;

PE : prise d'essais.

4.2.6. Nitrate (NO_3^-)

La détermination des nitrates est faite à l'aide du spectrophotomètre d'absorption moléculaire. En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrie (**Rodier et al, 2009**).

Les étapes de l'analyse de Nitrate sont résumées à l'**annexe N°8**.

4.2.7. Nitrite (NO_2^-)

Le principe de détermination des nitrites se base sur la sulfanilamide en milieu acide et sa réaction avec le N-1-Naphtyl éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrie (**Rodier et al, 2009**).

Les étapes de l'analyse de Nitrite montrent dans l'**annexe N°9**.

4.2.8. Chlorure (Cl^-)

Le dosage des chlorures s'effectue par l'utilisation de la méthode de Mohr. Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

La détermination des Chlorures nécessite le passage par les étapes suivantes :

- 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.

L'expression des résultats se fait comme suite :

$$Cl^-(mg/l) = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl^-} \times F \times 1000}{PE} = \frac{V_{AgNO_3} \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000}{5}$$

$$Cl^-(mg/l) = V_{AgNO_3} \times 71 \times F$$

Où :

V_{AgNO_3} : Volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage de l'échantillon,

N_{AgNO_3} : Normalité d' $AgNO_3$,

M_{Cl^-} : Masses des chlorures,

F : facteur de correction du titre d' $AgNO_3$,

PE : prise d'essai.

4.2.9. Sulfate (SO_4^{-2})

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de $BaCl_2$.

La détermination des Sulfates nécessite le passage par les étapes suivantes :

-Prendre **50ml** d'eau à analyser ;

-Ajouter **2ml** d' HCl (**10%**) ;

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

-Ajouter quelques gouttes de solution de chlorure de Baryum (**10%**) ;

-Peser les papiers filtres avant la filtration, puis filtrer la solution à l'aide d'entonnoir et papier filtre ;

-Après la filtration sécher les papiers filtres dans l'étuve à **75°C** ;

-Laisser refroidir après peser.

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$[SO_4^{-2}] = \frac{(P_2 - P_1) \times M_{SO_4}}{M_{BaSO_4}}$$

Où :

P_1 : Poids de papier filtre avant la filtration ;

P_2 : Poids de papier filtre après la filtration et le séchage ;

M_{SO_4} : La masse molaire de $SO_4 = 96$;

M_{BaSO_4} : La masse molaire de $BaSO_4 = 137$.

4.2.10. Azote ammoniacal (NH_4^+)

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium (ISO N°7150).

Les étapes de détermination de l'Azote ammoniacal montrent dans l'annexe N°12.

4.2.11. Calcium (Ca^{+2})

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

La détermination de Calcium nécessite le passage par les étapes suivantes :

- Prendre **50 ml** d'eau à analyser ;
- Ajouter **2 ml** de NaOH à **2 N (80g/l)** ;
- Ajouter une pincée d'indicateur Murexide ;
- Et titrer avec l'E.D.T.A (**3,725g/l**) jusqu'au virage (violet).

L'expression des résultats est faite comme suit :

$$Ca^{+2}(\text{mg/l}) = \frac{V_{EDTA} \times C_{EDTA} \times M_{Ca^{+2}} \times F \times 1000}{PE} = \frac{V_{EDTA} \times 0,01 \times 40 \times F \times 1000}{50}$$

$$Ca^{+2}(\text{mg/l}) = V_{EDTA} \times F \times 8$$

Où :

V_{EDTA} : Volume de l'EDTA nécessaire pour l'analyse ;

C_{EDTA} : La molarité d'EDTA (**0,01 mol/l**) ;

$M_{Ca^{+2}}$: La masse molaire de $Ca^{+2} = 40\text{g}$;

F : Facteur de correction ;

PE : Prise d'essai.



Figure n°29 : Détermination de Calcium Ca^{+2} de l'eau analysée.

4.2.12. Sodium Na^+ et Potassium K^+

La photométrie à 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.

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène légèrement oxydante en intercalant de l'eau ultra-pure entre chaque échantillon (Rodier et al, 2009).

Remarque

Avant de doser le sodium (Na^+) il faut toujours vérifier les valeurs de la " conductivité " car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est à dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du Na^+ est grande et vice versa. Alors pour le cas de K^+ on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande.

4.2.13. Magnésium (Mg^{+2})

Le Magnésium est l'un des éléments les plus rependue dans la nature, il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre (Rodier et al, 2009).

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau.

On détermine la quantité de Mg^{+2} à partir de la quantité de Calcium et la dureté totale TH par la formule suivante :

$$Mg^{+2}(\text{mg/l}) = (V_{TH} - V_{Ca^{+2}}) \times 12,15$$

Où :

V_{TH} : Volume de l'EDTA nécessaire pour le dosage de la dureté totale ;

$V_{Ca^{+2}}$: Volume de l'EDTA nécessaire pour le dosage de Calcium.

4.2.14. Fer (Fe^{+2})

Les étapes de Dosage de Fer (Fe^{+2}) montrent dans l'**annexe N°13**.

Partie 999 :
Résultats et
Discussion

Partie III : Résultats et discussion

1. Analyse des caractéristiques physico-chimiques des eaux des forages analysée

1.1. Température

L'analyse des données de la **figure n°30**, indique une variation des températures mesurées.

Cette variation est comprise entre **18,2°C** à forage N°2 et **25,4°C** à forage N°10.

Ces résultats paraissent acceptables pour la majorité des eaux des forages analysés.

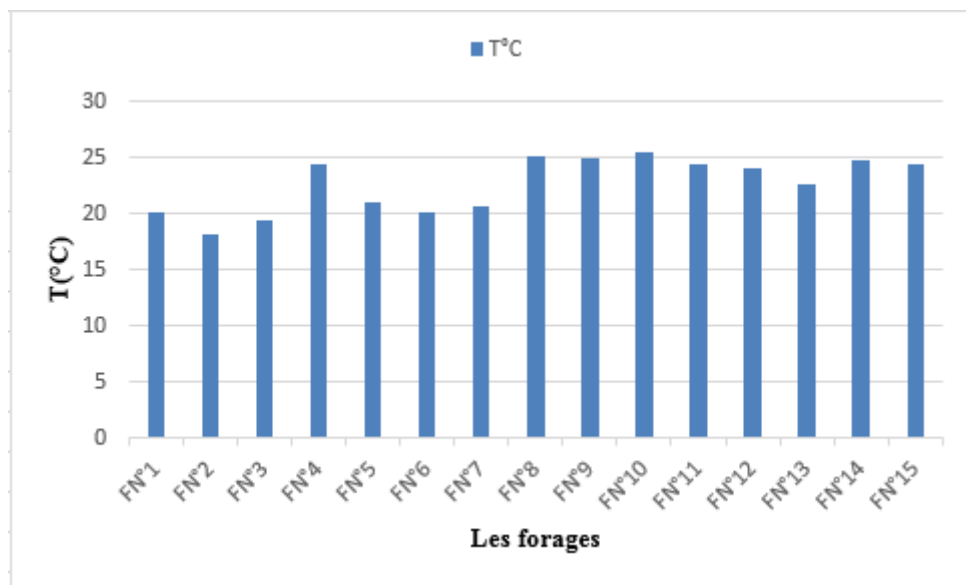


Figure n°30 : Variation de la température des eaux d'irrigation des forages analysés de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

La température de ces eaux est inférieure à **25°C**, considérée comme valeur limite indicative fixée pour les eaux destinées à l'irrigation des cultures selon grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux, sauf pour les forages N°8 et 10.

1.2. Potentielle de l'hydrogène

La **figure n°31** montre que les valeurs du pH mesurées des différents forages dans la région d'étude varient entre **7,47** au niveau du forage N°9 et **9,04** au niveau du forage N°3.

D'après **Abdelhamid (2016)**, toutes les eaux de nos forages se rapprochent à la neutralité sauf les eaux des forages N° 1, 2, 3 et 13 qui sont considérés comme alcalins.

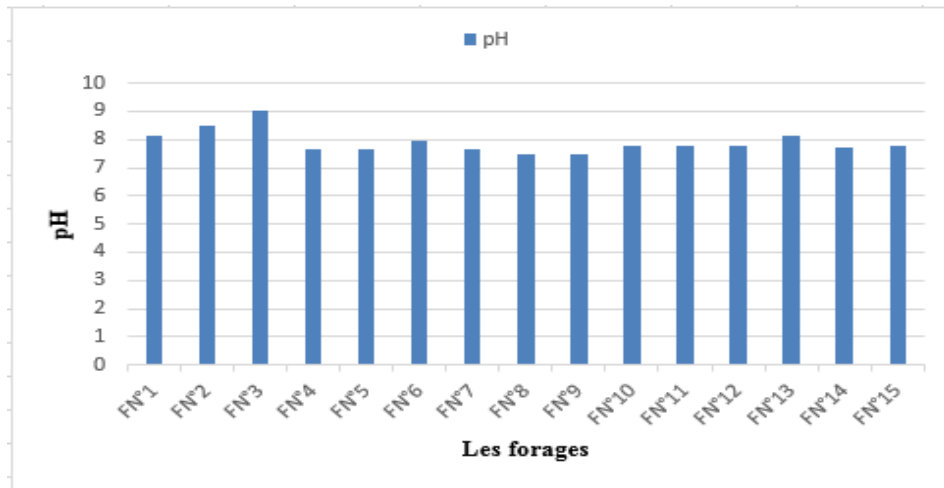


Figure n°31 : Variation du pH des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

Selon les normes de la grille standard multi usage d’appréciation globale de la qualité des eaux le pH compris entre **6,5** et **8,5** est adapté pour l’irrigation.

1.3. Conductivité électrique

Les valeurs de la CE des eaux échantillonnées sont comprises entre **738µS/cm** au niveau du forage N°8 et **4140µS/cm** au niveau du forage N°3.

D’après le grille standard multi usage, l’eau de forage N°8 est de bonne qualité ;

-Les eaux des forages N° 4, 5, 6, 9, 10 et 11 sont de moyenne qualité ;

-Les eaux des forages N°2, 7, 12, 13, 14 et 15 sont de mauvaise qualité ; et

-Les eaux des forages N°1 et 3 sont de qualité très mauvaise.

D’après la classification de **Rodier et al (1996)**, les eaux de nos forages sont classées comme suit :

-Forage n°8 : eau utilisable avec un léger lessivage, les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité.

-Forages n°2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 11 : Ces eaux sont inutilisables pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées.

-Forages n°1, 3, 12, 13, 14 et 15 : eaux inutilisables normalement pour l’irrigation et exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon

drainage et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sel. Les plantes cultivées devront être très tolérante aux sels.

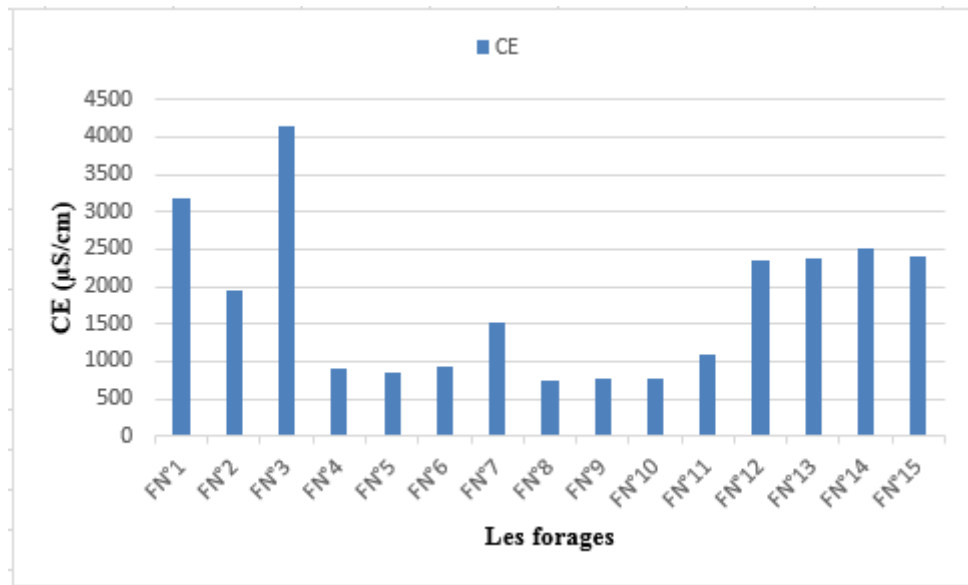


Figure n°32 : Variation de la conductivité électrique des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

Ces valeurs restent supérieures à la limite des normes d'irrigation grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux (voir l'annexe n°15).

1.4. Résidu sec

La **figure n°33** représente les différentes valeurs du résidu sec enregistrées dans nos eaux analysées où :

La valeur maximale égale à **3,562 mg/l** au forage N°3 et la valeur minimale égale à **0,769 mg/l** au forage N°10.

Selon **Hadfi (2012)**, la qualité de nos eaux en fonction de la teneur du résidu sec est classée comme suit :

- Bonne qualité d'eau pour les forages N° : **2, 5, 10 et 11** ;
- Moyenne qualité d'eau pour les forages N° : **1, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 14 et 15** ;
- Pour les eaux des forages N° **3 et 13** : Ne convient pas pour certaines cultures.

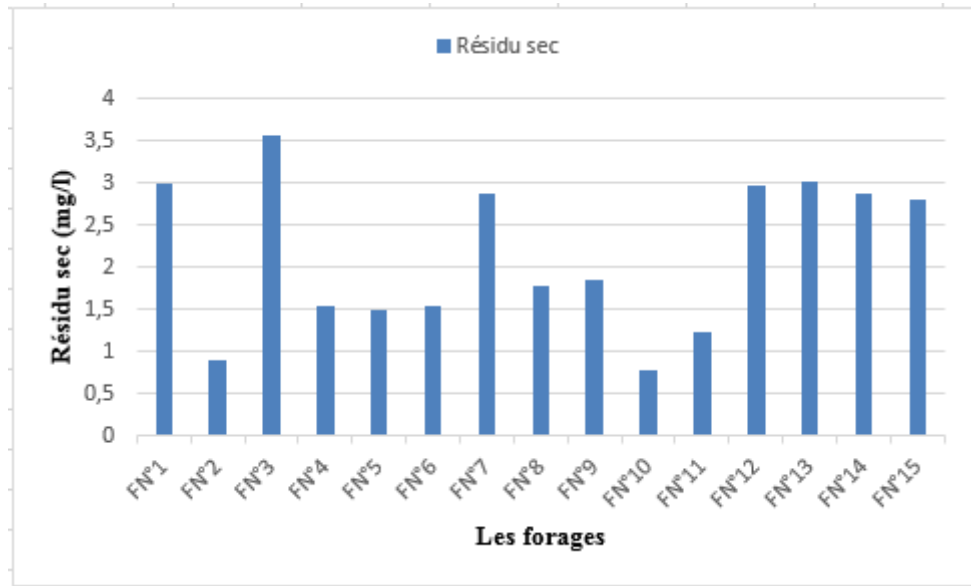


Figure n°33 : Variation de la concentration du résidu sec des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

Ces concentrations dépendent au temps du contact des eaux avec l’ensemble des formations lithologiques de l’aquifère.

1.5. Matière en suspension

Les teneurs des matières en suspension sont comprise entre **0 mg/l** au niveau des forages N° (1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 14 et 15) et **1,114 mg/l** au niveau du forage N°4 (Figure n°34).

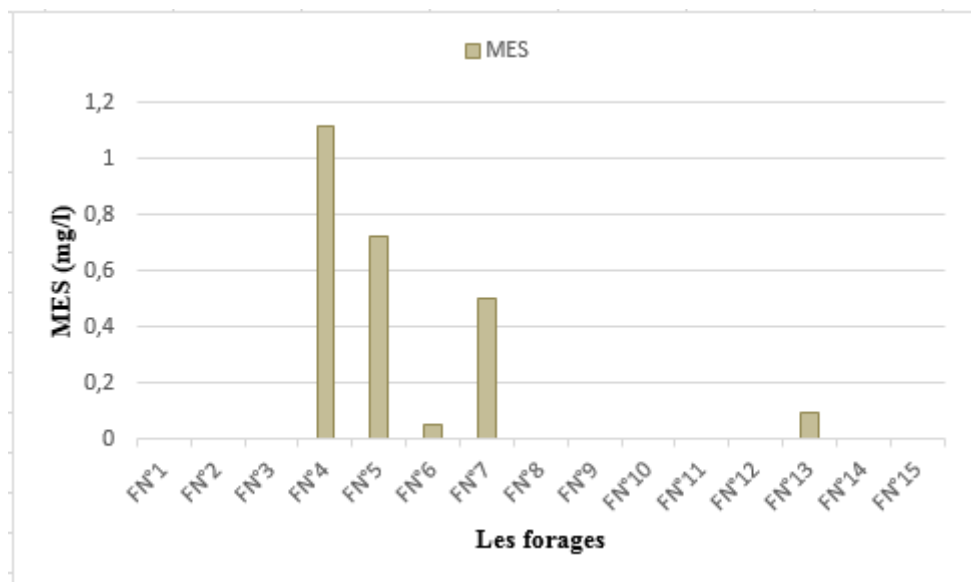


Figure n°34 : Variation des teneurs des matières en suspension des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

2.6. Dureté totale (TH)

La figure suivante (Figure n°35) représente les différentes valeurs de la dureté totale de nos eaux d'irrigation ; la valeur maximale égale à **100 °F** au niveau du forage N°14 et la valeur minimale égale à **14,8 °F** au niveau de forage N°2.

Ces résultats indiquent que les eaux de la nappe sont des eaux moyennement dures à très dure d'après les normes de la qualité des eaux d'irrigation selon la dureté totale (voir le tableau n°3), sauf l'eau du forage N°2 est une eau douce (de faible dureté).

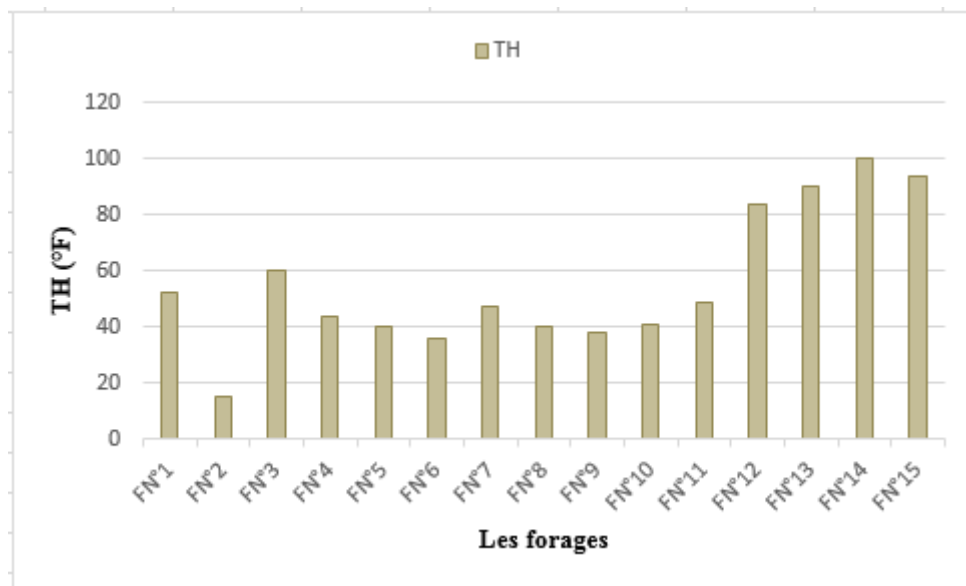


Figure n°35 : Variation de la dureté totale des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.7. Titre d'alcalinité complet (TAC)

D'après la figure suivante (Figure n°36), les résultats d'analyse des eaux montrent que le titre alcalimétrique complet (TAC) varie entre **24°F** au niveau du forage N°13 et **70°F** au niveau du forage N°2.

Le titre alcalimétrique (TA) est nul. Ce qui traduit l'absence des ions CO_3^- dans les eaux des forages.

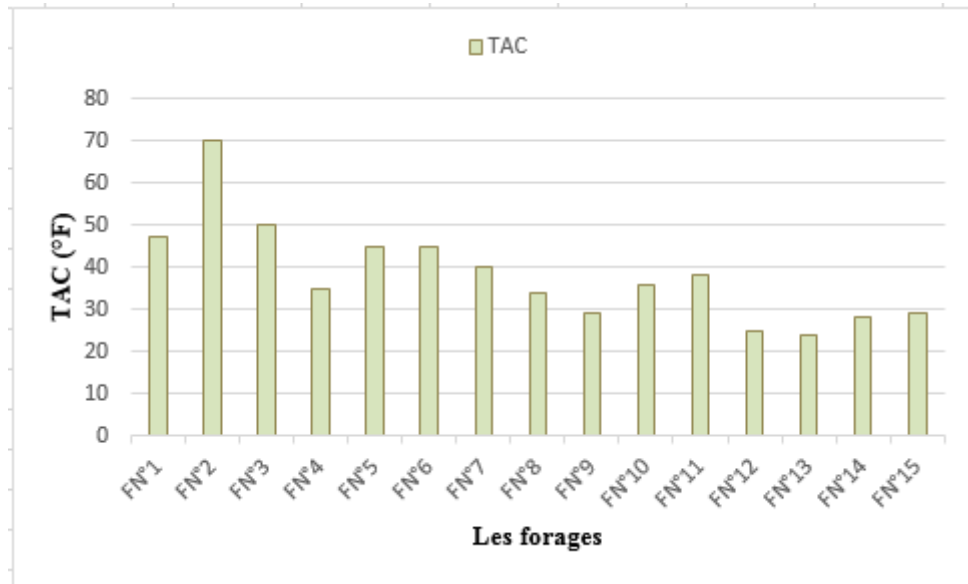


Figure n°36 : Variation du titre alcalimétrique complet des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.8. Carbonates et Bicarbonates (CO_3^{2-} et HCO_3^-)

Selon la figure n°37, les valeurs de la concentration des carbonates des eaux des échantillons égale à **0 mg/l** dans tous les forages sauf pour le forage N°2 dont la concentration égale à **90 mg/l**.

Les valeurs de la concentration des bicarbonates des eaux sont variées entre **396,5 mg/l** au niveau du forage N°8 et **884,5 mg/l** au niveau du forage N°14.

Les bicarbonates dans les eaux d’irrigation de notre zone représentent un risque sérieux pour les cultures puisque les concentrations dépassent les **500mg/l** dans la plupart des forages, donc, dans ce cas-là il faut éviter l’irrigation par aspersion et utilisé le système d’irrigation par gravité et goutte à goutte.

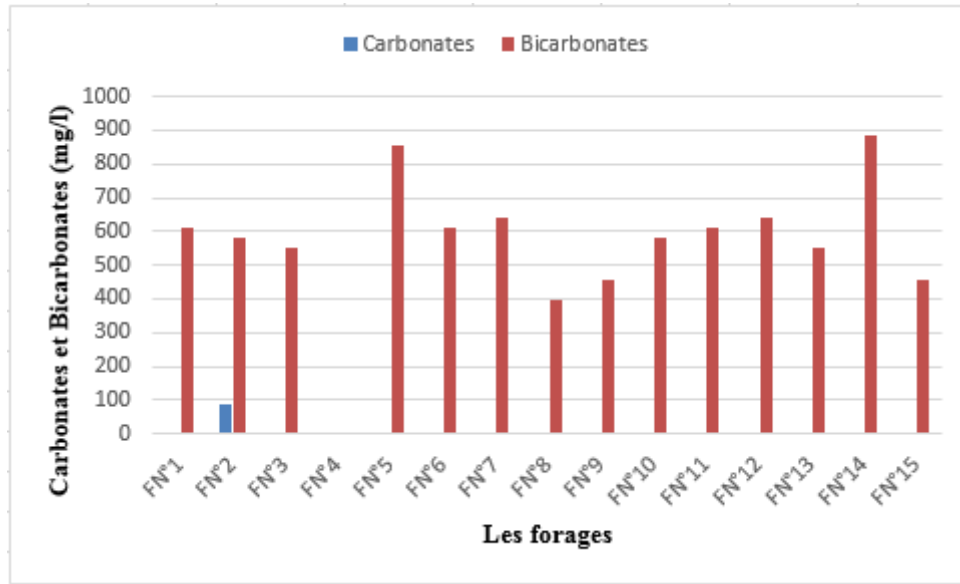


Figure n°37 : Variation de la (CO_3^{2-} et HCO_3^-) des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril, 2019).

1.9. Nitrate (NO_3^-)

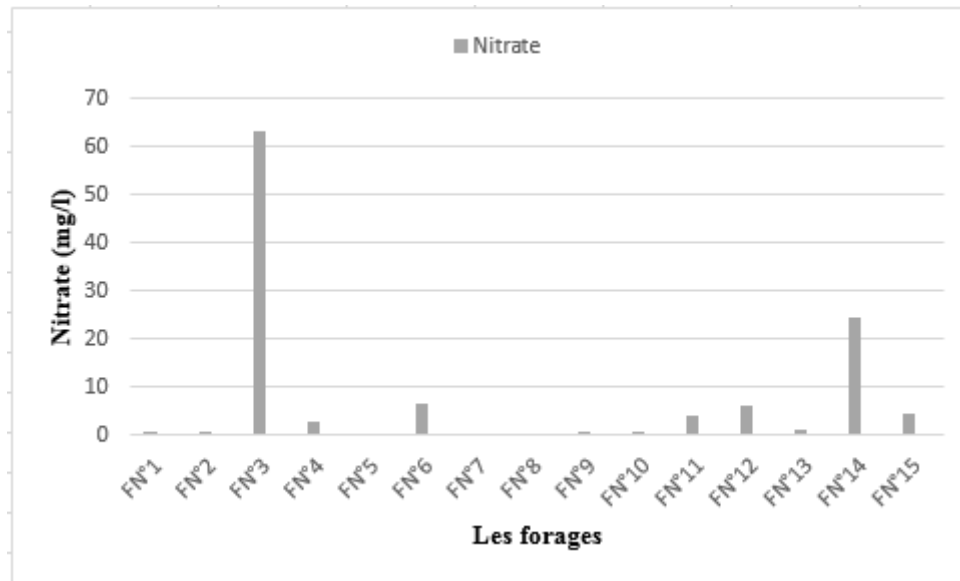


Figure n°38 : Variation de la concentration de Nitrate des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

D'après la figure n°38, on remarque que les valeurs des nitrates se situent entre **0mg/l** au niveau des forages N° 7 et 8 et **63,2 mg/l** au niveau du forage N°3.

L'examen des résultats des Nitrates dans la figure n°38 montre que les concentrations qui dépassent la norme grille standard (30mg/l) sont ceux des forages N° 3 et 14. Ils semblent que les zones les plus affectées sont des régions à fortes activité agricole.

1.10. Nitrite (NO_2^-)

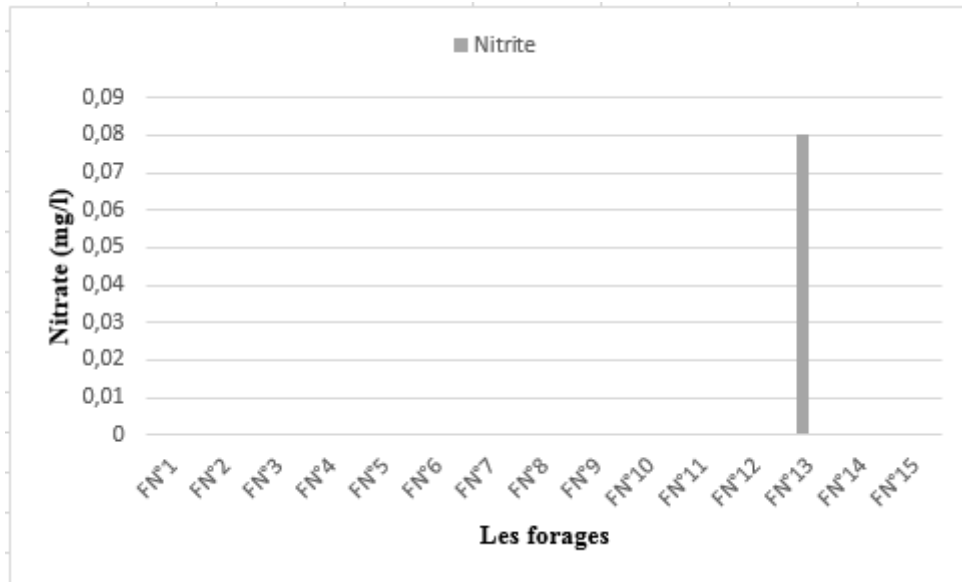


Figure n°39 : Variation de la concentration de Nitrite des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

D'après les résultats des analyses de Nitrite (Figure n°39) ; les concentrations sont égale à **0mg/l** au niveau de tous les forages sauf pour le forage N°13 qui présente une valeur de **0,08mg/l**.

1.11. Chlorure (Cl^-)

La figure suivante (Figure n°40) représente les différents valeurs des concentration du chlorure enregistrée dans les eaux des forages analysées ; il s'agit de deux valeurs : maximale qui enregistrée dans le forage N°3 qu'égal à **1263,8 mg/l**, et une valeur minimale enregistrée au niveau de forage N°2 qu'égal à **85,5mg/l**.

D'après les normes de la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau (Annexe N°15) ;

Les eaux des forages N°2, 5, 6 et 7 sont d'une très bonne qualité.

Les eaux des forages N°8, 9, 10 et 11 sont des eaux de qualité moyenne.

L'eau de forage N°4 est une eau de mauvaise qualité ; et

Les eaux des forages N°1, 3, 12, 13, 14 et 15 sont des eaux de qualité très mauvaise.

Les chlorures dans les eaux d'irrigation représentent un risque potentiel pour les cultures et pour le sol lorsque ses valeurs dépassent une concentration de 300mg/l (Voir l'annexe N°15), et c'est le cas des forages N° 1, 3, 4, 12, 13, 14 et 15.

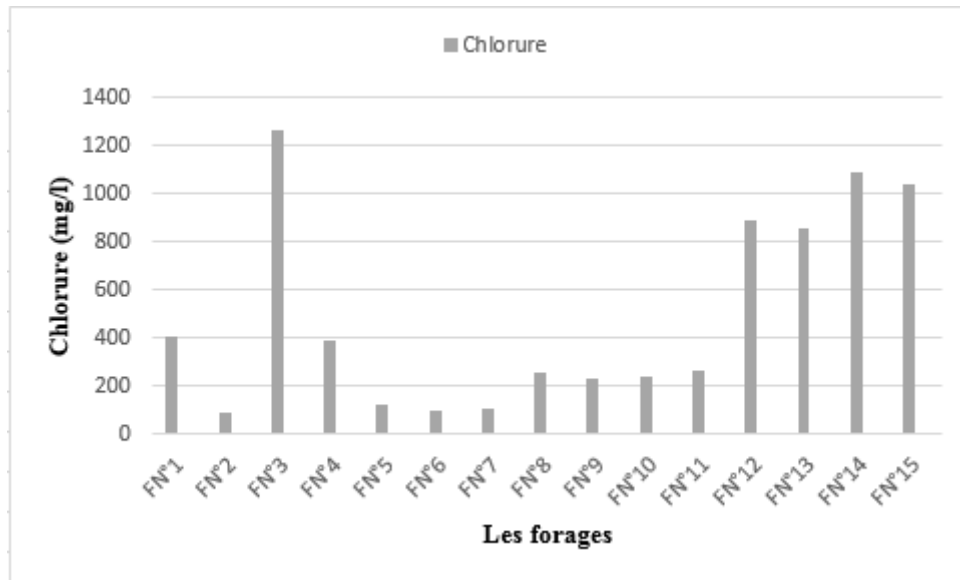


Figure n°40 : Variation de la concentration du chlorure des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.12. Sulfate (SO_4^{-2})

La figure n°41 montre que les teneurs des sulfates varient entre **0 mg/l** au niveau des forages N°4 et 6 et **175,67 mg/l** au niveau du forage N°11.

D'après les normes de la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, tous les forages de la région d'étude sont de très bonne qualité (**<200 mg/l**).

La teneur des sulfates sont en liaison avec les entrées qui fournissent ce minérale à partir des niveaux gypseux, et puis les eaux mélanges avec l'ensemble des réserves de la nappe qui sont lui diminués leur concentration.

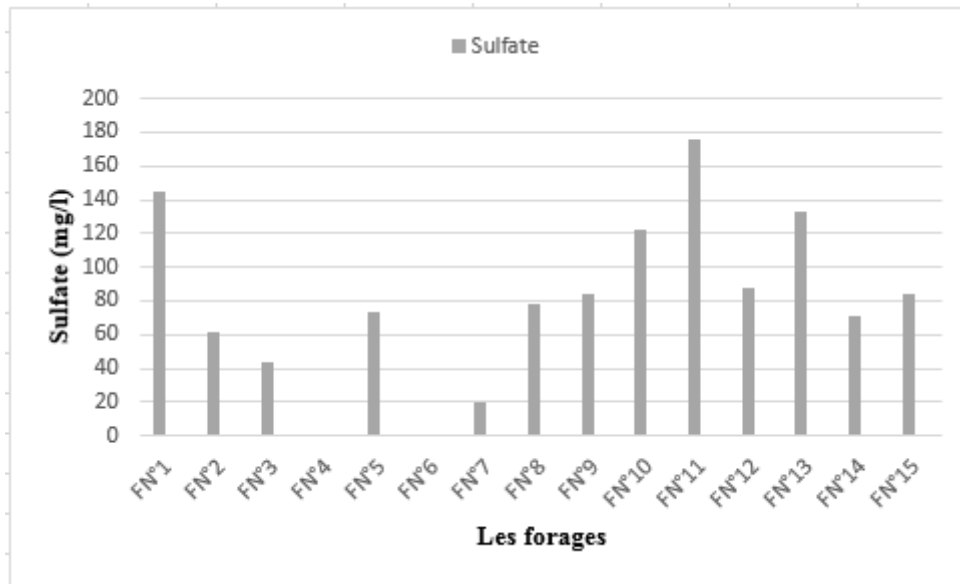


Figure n°41 : Variation de la concentration du sulfate des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.13. Azote ammoniacal (NH_4^+)

D’après les résultats des analyses d’azote ammoniacal, la concentration de NH_4^+ dans les eaux des forages de la région d’étude sont nulles (figure n°42) ; donc, d’après les normes de la grille standard multi usage d’appréciation globale de la qualité d’eau, les eaux de ces forages sont de très bonne qualité.

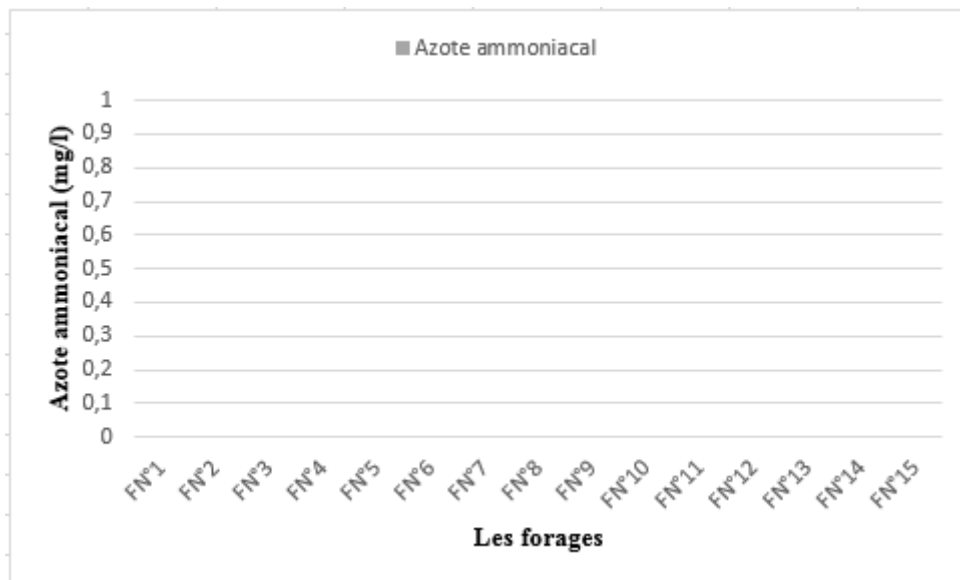


Figure n°42 : Variation de la concentration d’Azote ammoniacal des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.14. Calcium (Ca^{+2})

La figure n°43 montre que les teneurs de Calcium varient entre **33,6mg/l** au forage N°2 et **245,6mg/l** au forage N°13.

D'après les normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production des plantes (Annexe n°14), l'adaptation des cultures à nos eaux analysées est comme suit :

-Pour le **forage n°1** : les cultures sensibles (azalées, éricas, cymbidiums, fougères, primevères, boutures).

-Pour le **forage n°2** : on propose ce qu'on appelle les cultures très sensibles (jeunes plantes de fougères, de broméliacées et d'archidées, semis, systèmes de culture en recyclage) et les cultures sensibles (azalées, éricas, cymbidiums, fougères, primevères, boutures).

-Pour les **forages n° 4, 5, 6, 8, 9, 10 et 11** : On a les cultures sensibles (azalées, éricas, cymbidiums, fougères, primevères, boutures), les cultures moyennement sensibles (cyclamens, bégonias, arbustes en conteneurs, gerberas, frélias, rosiers, plants de légumes), et les cultures peu sensibles (asparagus, chrysanthèmes, œillets, choux divers, plantes massifs, cultures de plein champ).

-Pour les **forages n°7 et 15** : On a les cultures moyennement sensibles (cyclamens, bégonias, arbustes en conteneurs, gerberas, frélias, rosiers, plants de légumes), et les cultures peu sensibles (asparagus, chrysanthèmes, œillets, choux divers, plantes massifs, cultures de plein champ).

-Pour les **forages n°3, 12, 13 et 14** : On a les cultures peu sensibles (asparagus, chrysanthèmes, œillets, choux divers, plantes massifs, cultures de plein champ).

Les valeurs du Calcium qui sont inférieures à 300mg/l sont adaptées à l'irrigation. L'apport du Calcium est assuré par les entrées qui donnent des teneurs élevées car c'est le foyer des infiltrations et du lessivage, par contre, une fois les eaux sont dans la nappe, les vitesses d'écoulements sont faibles, les eaux se mélanges avec l'ensemble des réserves de l'aquifère et se diluent dans ces réserves.

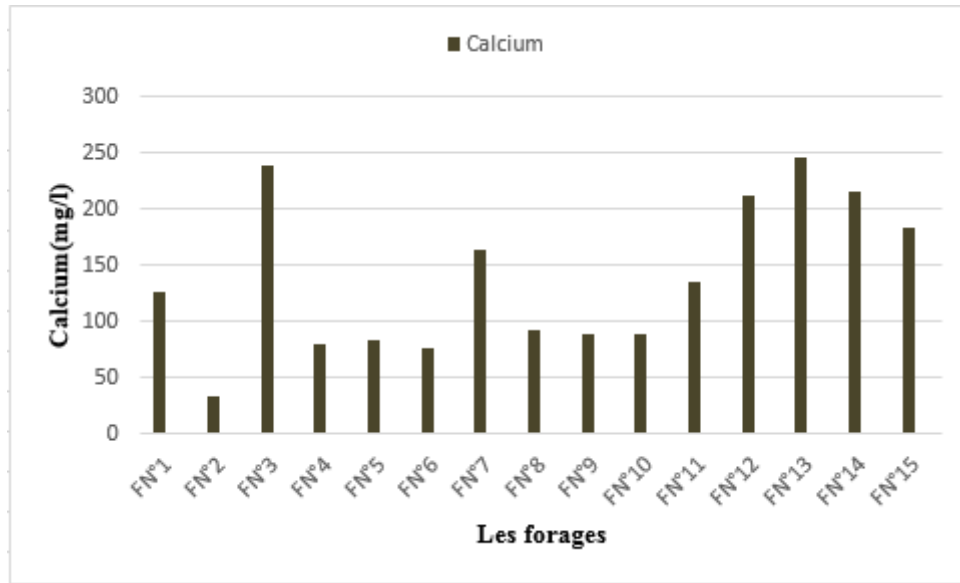


Figure n°43 : Variation de la concentration de Ca^{+2} des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.15. Magnésium (Mg^{+2})

La figure n°44, montre que la teneur minimale du Magnésium est enregistrée au niveau du forage N°3 avec **0,5mg/l**, et la teneur maximale est enregistrée au forage N°15 avec **116,64mg/l**.

Les valeurs de Mg^{+2} qui sont inférieures à **400mg/l** sont adaptées à l'irrigation (Voir l'annexe N°15). Le Magnésium provient à partir des calcaires dolomies.

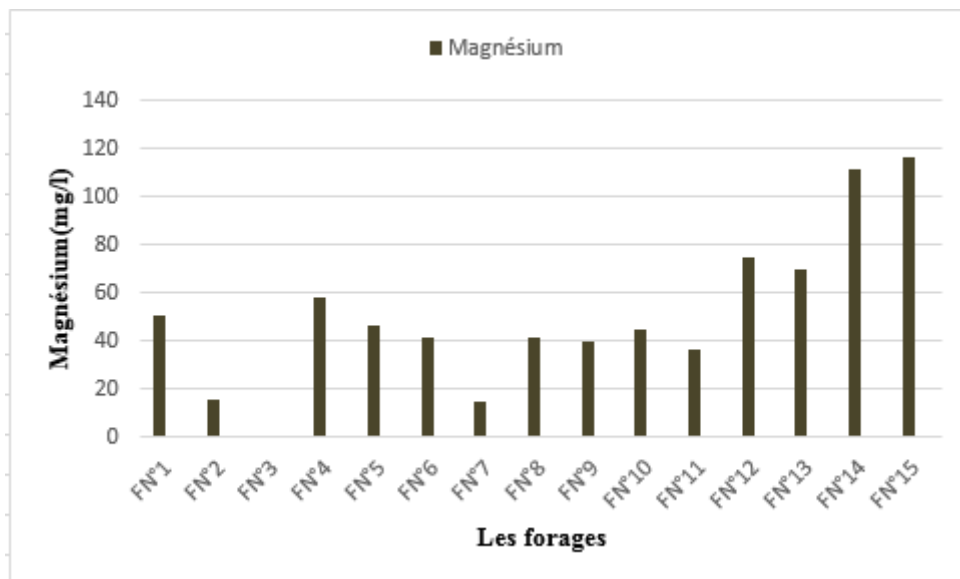


Figure n°44 : Variation de la concentration de Magnésium des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.16. Sodium Na^+

D'après la figure suivante (Figure n°45), les concentrations du Sodium des eaux de la région d'étude varient entre **0 mg/l** aux forages N°6, 8, 9 et 10, et **3,4 mg/l** au forage N°2.

Généralement, la concentration de Sodium dans tous les forages est inférieure à 70 mg/l implique qu'il n'y a aucune problème selon les normes de qualité de l'eau d'irrigation.

La concentration faible de Sodium due à l'absence des marnes gypseuses et la présence des évaporites.

Les cultures qui s'adaptent à cette qualité d'eau sont les cultures très sensibles (jeunes plantes de fougères, de broméliacées et d'archidées, semis, systèmes de culture en recyclage) (voir l'annexe N°14).

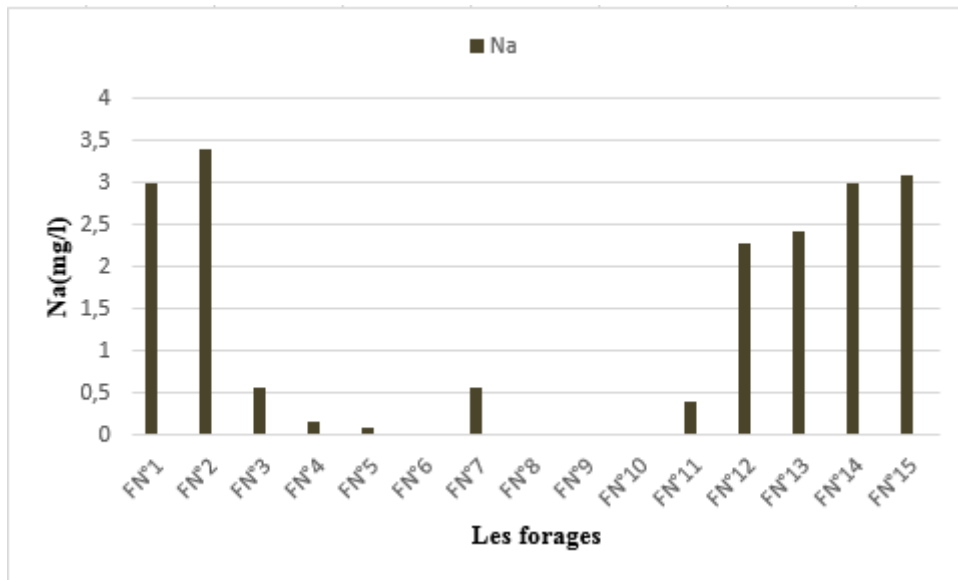


Figure n°45 : Variation de la concentration de Sodium des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.17. Potassium K^+

La figure n°46 indique que la variation de Potassium dans les eaux des forages de notre zone d'étude, on a remarqué que ces concentrations varient entre **1,08 mg/l** au niveau du forage N°2 et **8,35 mg/l** au niveau des forages N°14 et 15.

Le Potassium est dû probablement des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques retrouvés dans les eaux usées agricoles.

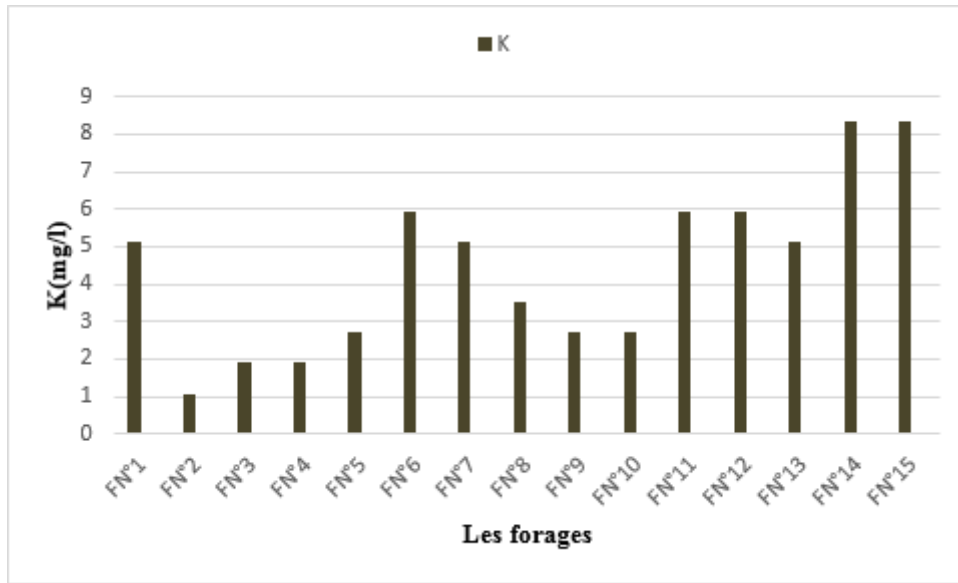


Figure n°46 : Variation de la concentration de Potassium des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.18. Fer (Fe^{+2})

La figure n°47 montre que la concentration du Fer dans les eaux de la région d’étude est variée entre **0mg/l** au niveau des forages N°4,7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15, et **3mg/l** au niveau des forages N° 5 et 6.

Le fer provient à partir des argiles qui contiennent le fer (comme l’Hématite).

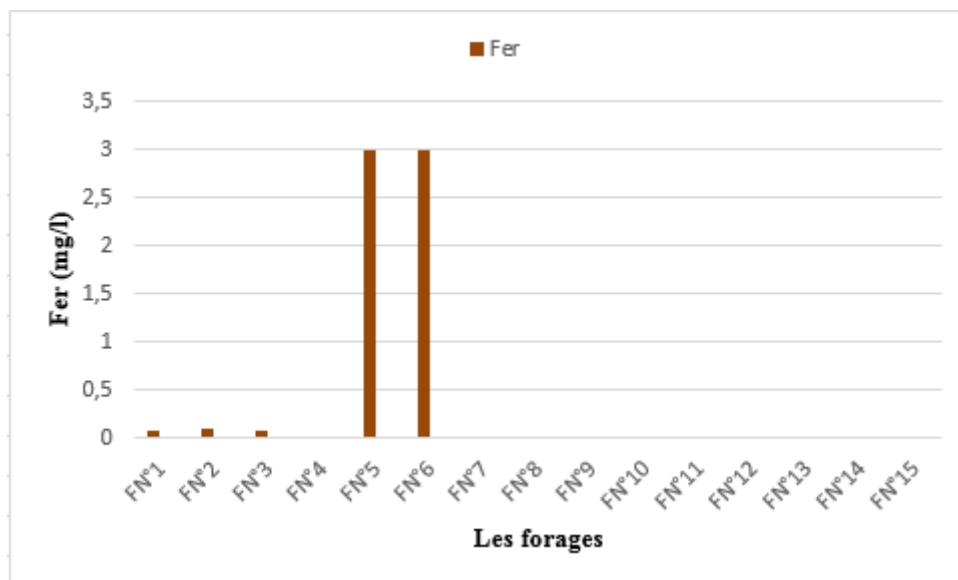
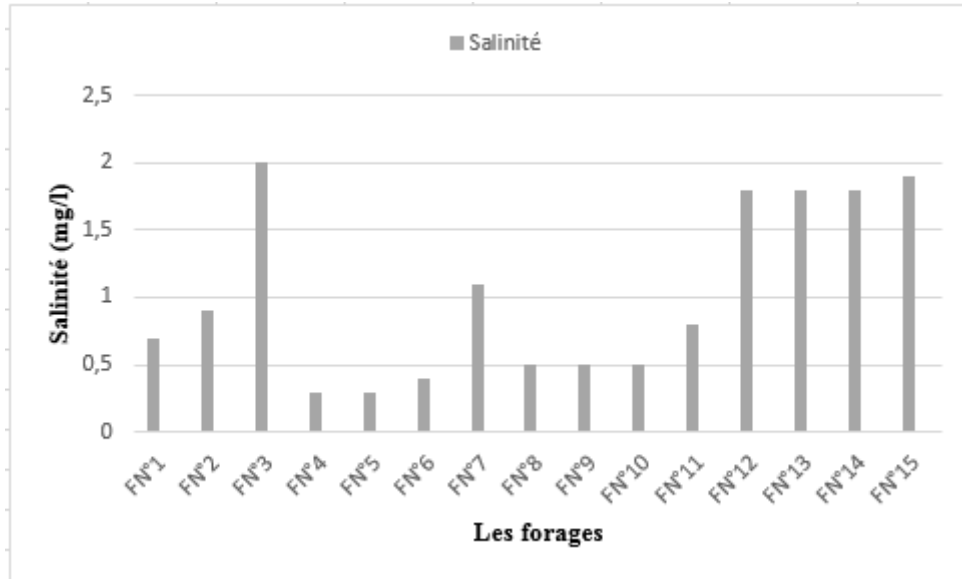


Figure n°47 : Variation de la concentration du Fer des eaux de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

1.19. Salinité

Les valeurs de la salinité mesurées dans l'ensemble des forages sont enregistrées dans la figure suivant (Figure n°48). D'après ces résultats, on a une valeur maximale au niveau du forage N°3 avec **2 mg/l** ; et une valeur minimale qui enregistré dans les forages N°4 et 5 avec **0,3 mg/l**.



Forage n°48 : Variation de la salinité des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

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

1.20. SAR des eaux des forages analysées

D'après la figure suivant (figure n°49), on observe que tous les eaux des forges présentent des valeurs de SAR inférieur à **3** et CE supérieur à **0,7ds/m** donc aucune sévérité du problème selon l'annexe N°16.

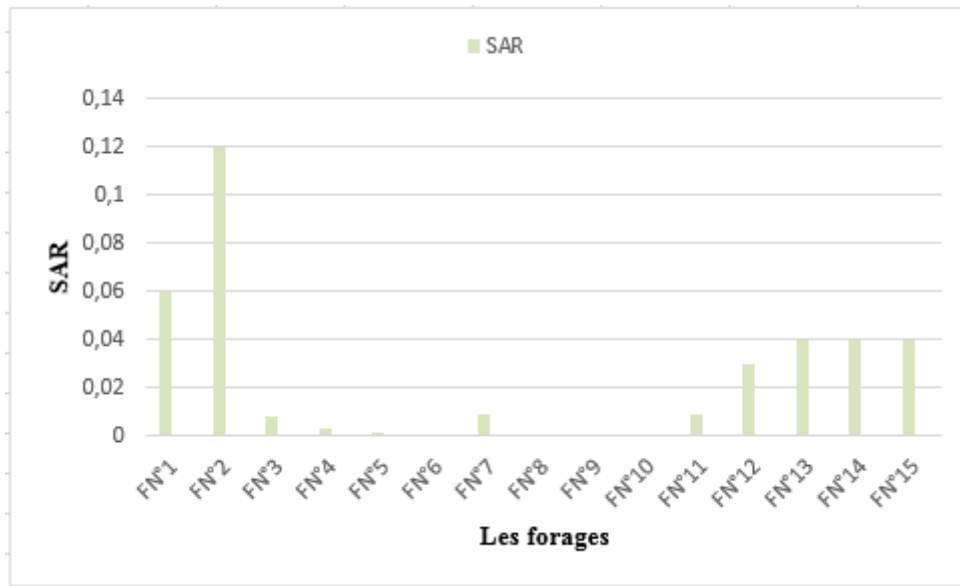


Figure n°49 : Variation du SAR des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

2. Classification des eaux d’irrigation de la région de Hammam Dalaa

2.1. Les faciès chimiques

2.2. Formule caractéristique de STABLER

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant (voir l’annexe N°17) ; Les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès qui figurent dans le tableau suivant (tableau n°18), l’examen de ce tableau montre que les eaux souterraines de l’aquifère de notre zone d’étude destinée à l’irrigation sont des eaux bicarbonatées et chlorurées. Ces familles représentent respectivement **46,67%** pour les faciès bicarbonaté calcique, **40%** pour les faciès chlorurée calcique et **13,33%** pour les faciès chloruré magnésienne.

Tableau n°20 : Classification des eaux souterraines de la région de Hammam Dalaa selon STABLER.

Compagne chimique	Famille des eaux	Faciès chimique	N° de forage	Pourcentage	
Avril 2019	Bicarbonatée	Bicarbonatée calcique	Fn°2, 5, 6, 7, 9, 10 et 11	46,67%	100%
	Chlorurée	Chlorurée calcique	Fn°1, 3, 8, 12, 13 et 14	40%	
		Chlorurée magnésienne	Fn°4 et 15	13,33%	

D'après ces résultats, on remarque une dominance de la famille des chlorures qui semble être liées à une origine géologique ou à la forte évaporation. Tantôt ces résultats qui accompagnent le calcium ou le magnésium ; et la famille des bicarbonates qui semble être liées à des sels dissous.

2.1.2. Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon le diagramme de Piper

La présentation des analyses chimiques des eaux souterraines sur le diagramme de PIPER (figures n°50, 51 et 52) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines. Le tableau suivant (tableau n°21) montre que les eaux de la région de Hammam Dalaa présentent trois familles sont :

- ✓ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ;
- ✓ Bicarbonatée calcique et magnésienne ; et
- ✓ Hyper chloruré calcique Hyper sulfatée calcique.

Tableau n°21 : Classification des eaux souterraines de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.

Compagne chimique	Famille des eaux	N° de forage	Pourcentage	
Avril 2019	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne	Fn°1, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 14 et 15	60%	100 %
	Bicarbonatée calcique et magnésienne	Fn°2, 5, 6, 7 et 10	33,33%	
	Hyper chloruré calcique Hyper sulfatée calcique	Fn°4	6,67%	

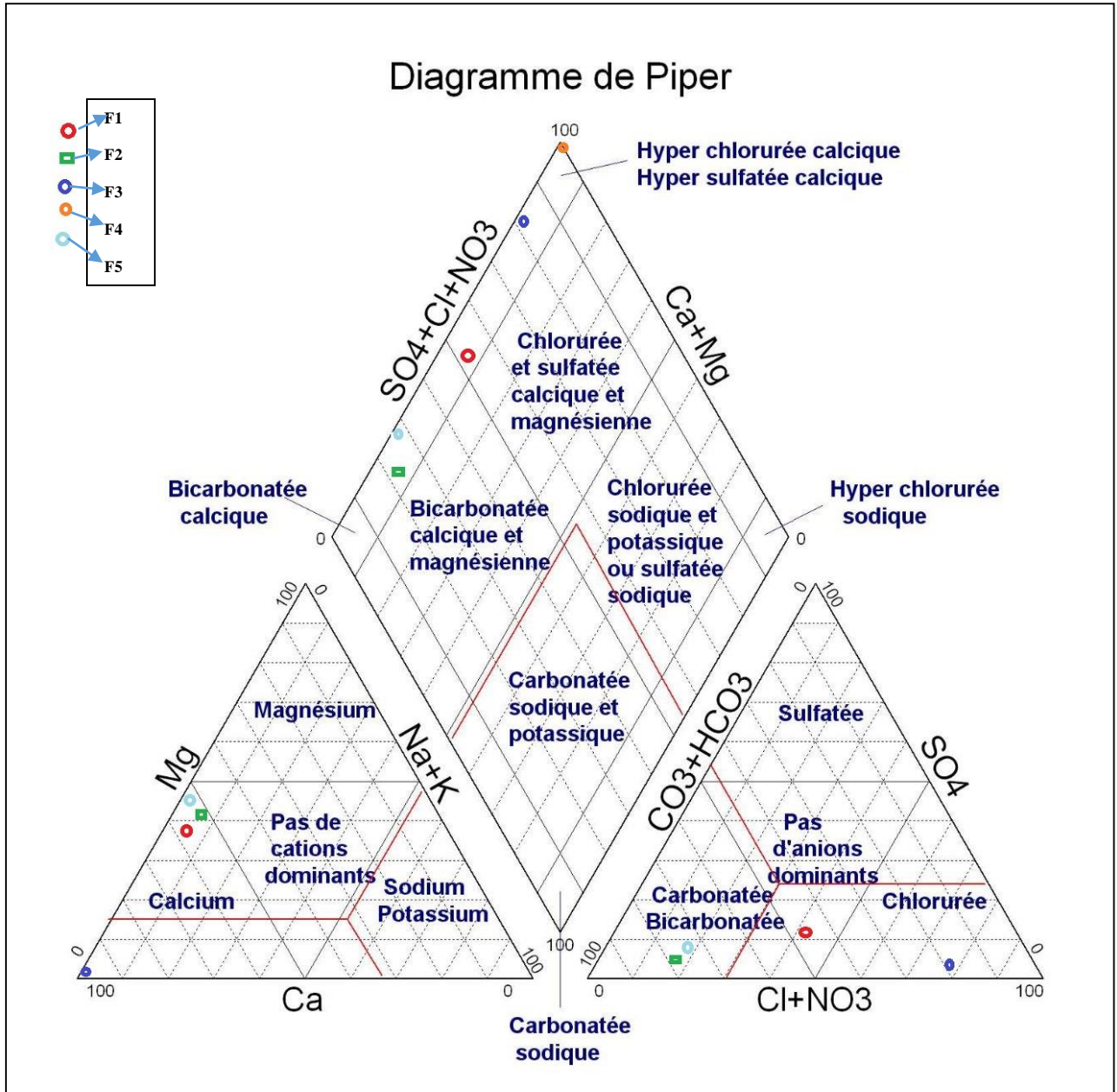


Figure n°50 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°1, 2, 3, 4 et 5 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.

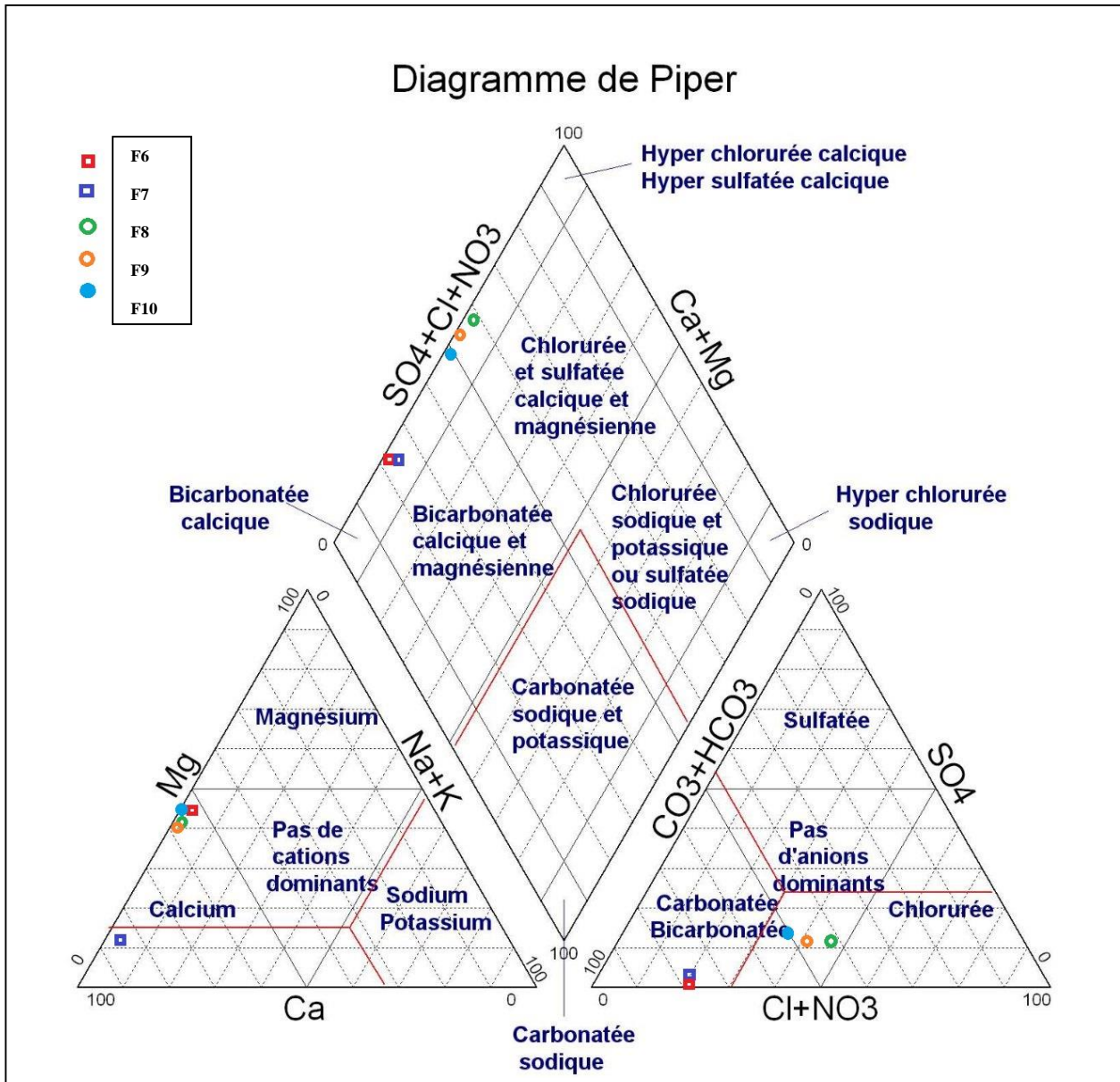


Figure n°51 : Classification des eaux d'irrigation des forages n°6, 7, 8, 9 et 10 de la région Hammam Dalaa selon le diagramme de Piper.

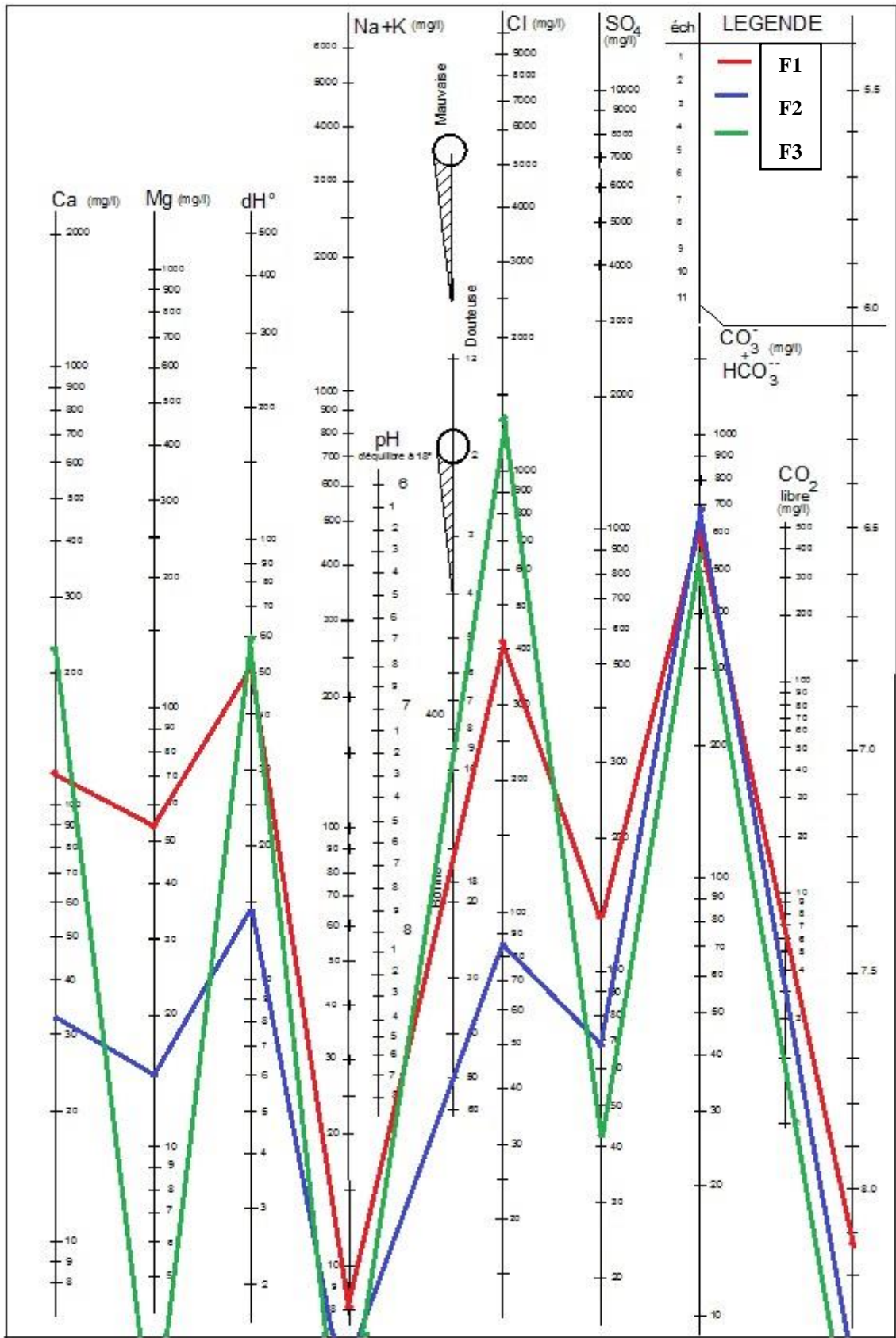


Figure n°53 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 1, 2 et 3 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.

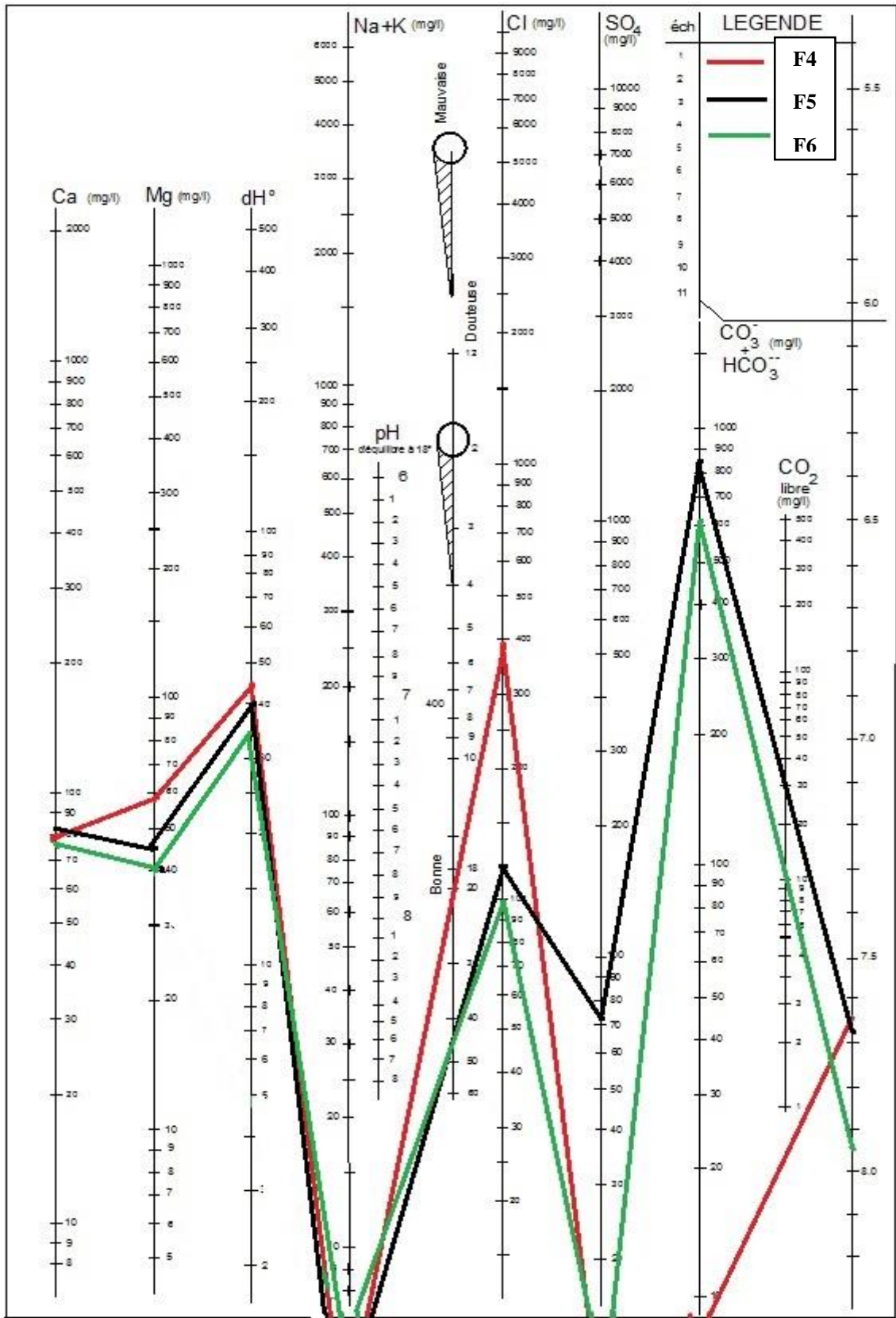


Figure n°54 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 4, 5 et 6 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.

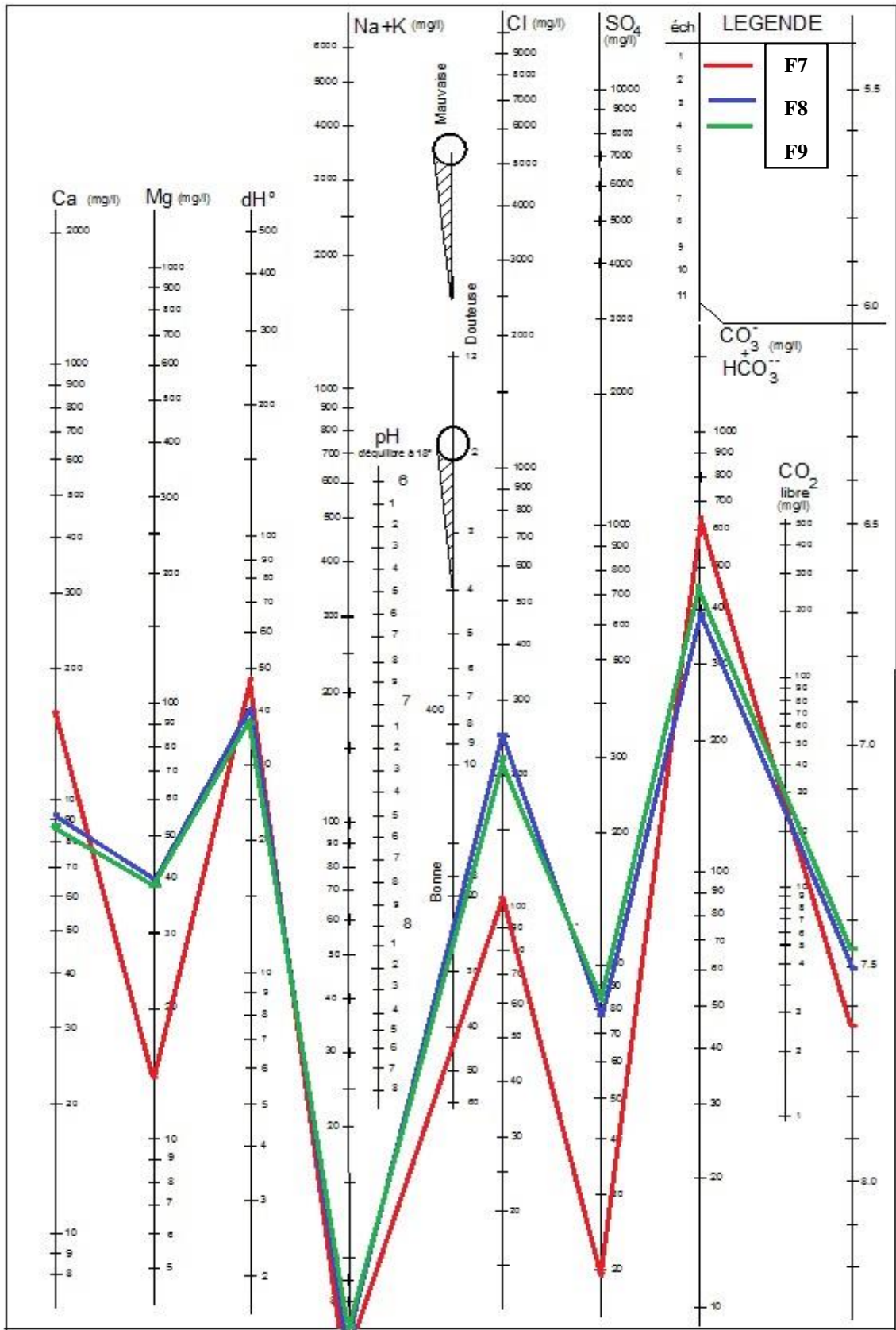


Figure n°55 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 7, 8 et 9 de la région de Hammam Dalaá selon SCHOLLER et BERKALOFF.

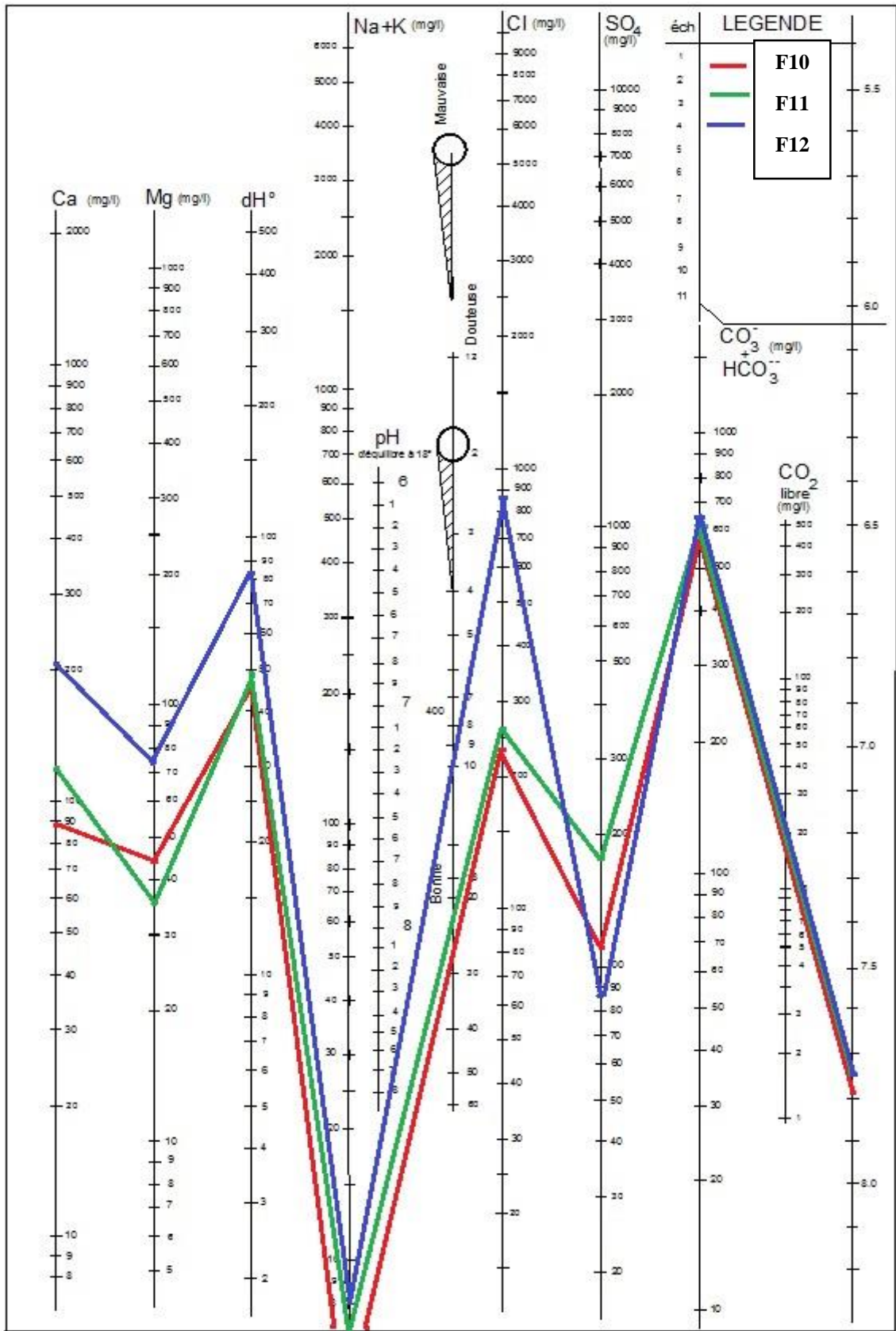


Figure n°56 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 10,11 et 12 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.

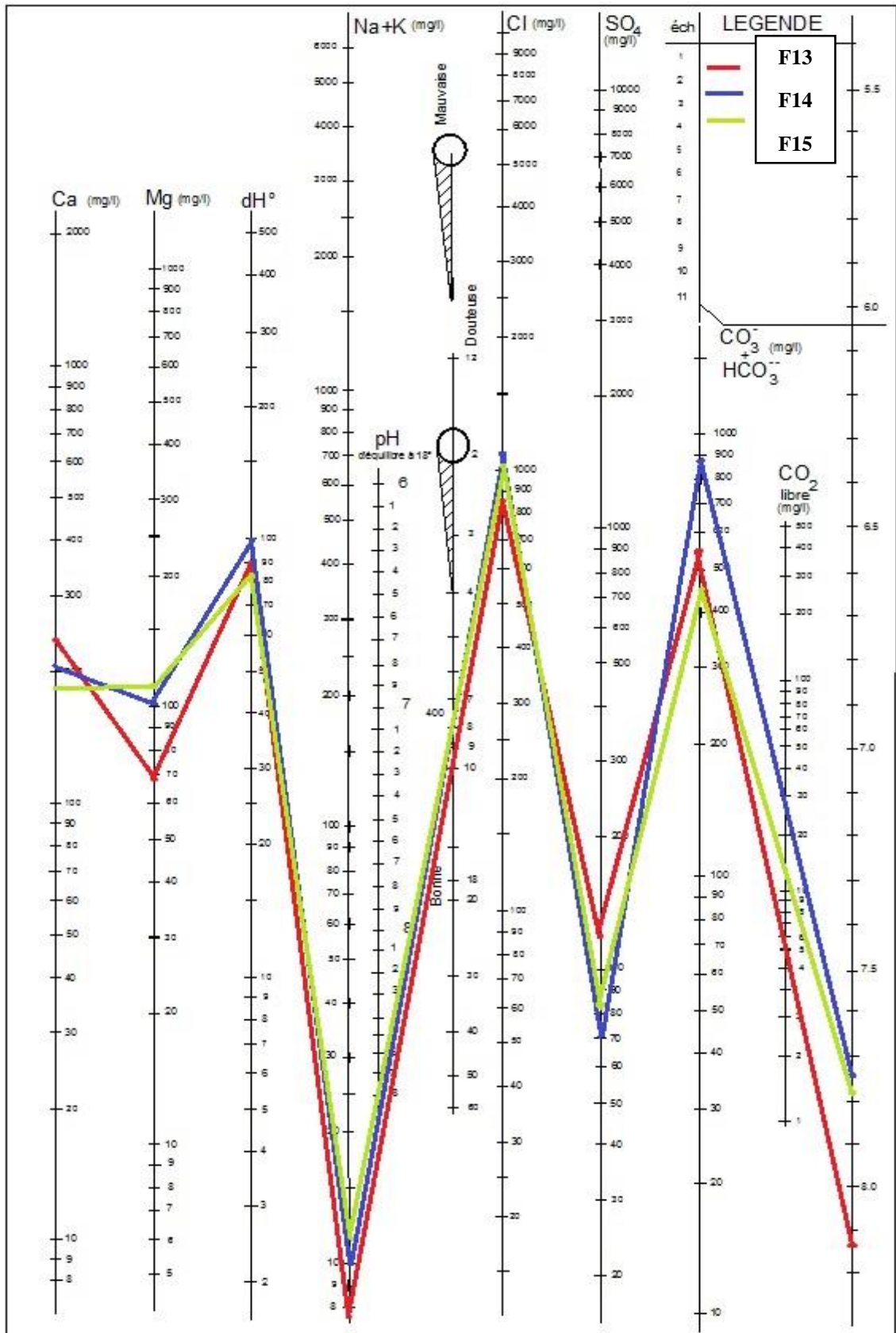


Figure n°57 : Classification des eaux d'irrigation des forages n° 13,14 et 15 de la région de Hammam Dalaa selon SCHOLLER et BERKALOFF.

Tableau n°22 : Les caractères des eaux des forages de la région de Hammam Dalaa d'après le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF.

N° de forage	pH d'équilibre	CO ₂ libre (mg/l)	Comparaison entre pH mesuré et pH d'équilibre	Caractère de l'eau
Fn°1	9.1	8	pH<pH d'équilibre	L'eau est agressive
Fn°2	9.51	3.5	pH<pH d'équilibre	
Fn°3	9.4	1.5	pH<pH d'équilibre	
Fn°4	9.4	0	pH<pH d'équilibre	
Fn°5	9.6	30	pH<pH d'équilibre	
Fn°6	9.5	10	pH<pH d'équilibre	
Fn°7	9.6	25	pH<pH d'équilibre	
Fn°8	9.6	24	pH<pH d'équilibre	
Fn°9	9.9	30	pH<pH d'équilibre	
Fn°10	9.55	20	pH<pH d'équilibre	
Fn°11	9.3	25	pH<pH d'équilibre	
Fn°12	9	25	pH<pH d'équilibre	
Fn°13	9.2	8	pH<pH d'équilibre	
Fn°14	8.8	30	pH<pH d'équilibre	
Fn°15	8.5	10	pH<pH d'équilibre	

L'examen du tableau n°22 montre que tous les eaux des forages de la région d'étude de la campagne Avril 2019 sont caractérisées par une eau agressive avec 100%. Ceci c'est traduit par une forte corrosion du tubage des forages.

2.4. Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon Richards

Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau ; il est donné par la formule suivant :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

Tous les éléments sont exprimés en meq/l.

Le tableau suivant (tableau n°23) représente les résultats obtenus après interprétation de Richards.

Tableau n°23 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards.

Classes		N° de forage	Pourcentage
Bonne qualité	C2S1 : un risque d'alcalinité faible et risque de salinité moyenne	Fn° 8 et 10	13.33%
Qualité médiocre	C3S1 : un risque d'alcalinité faible et risque de salinité élevé	Fn°2, 4, 5, 6, 7, 9 et 11	46.67%
Mauvaise qualité	C4S1 : un risque d'alcalinité faible avec un risque de salinité très élevé	Fn°1, 3, 12, 13, 14 et 15	40%

La distribution du S.A.R dans l'ensemble de secteur d'étude représente un faible risque d'alcalinité à **100%** des échantillons analysées, et un risque de salinité moyenne avec **13.33%**, et risque élevé avec **46.67%** et un risque de salinité très élevé avec **40%**.

A partir ces résultats, il faut implanter des plantes avec une tolérance élève, et le sol bien drainés.

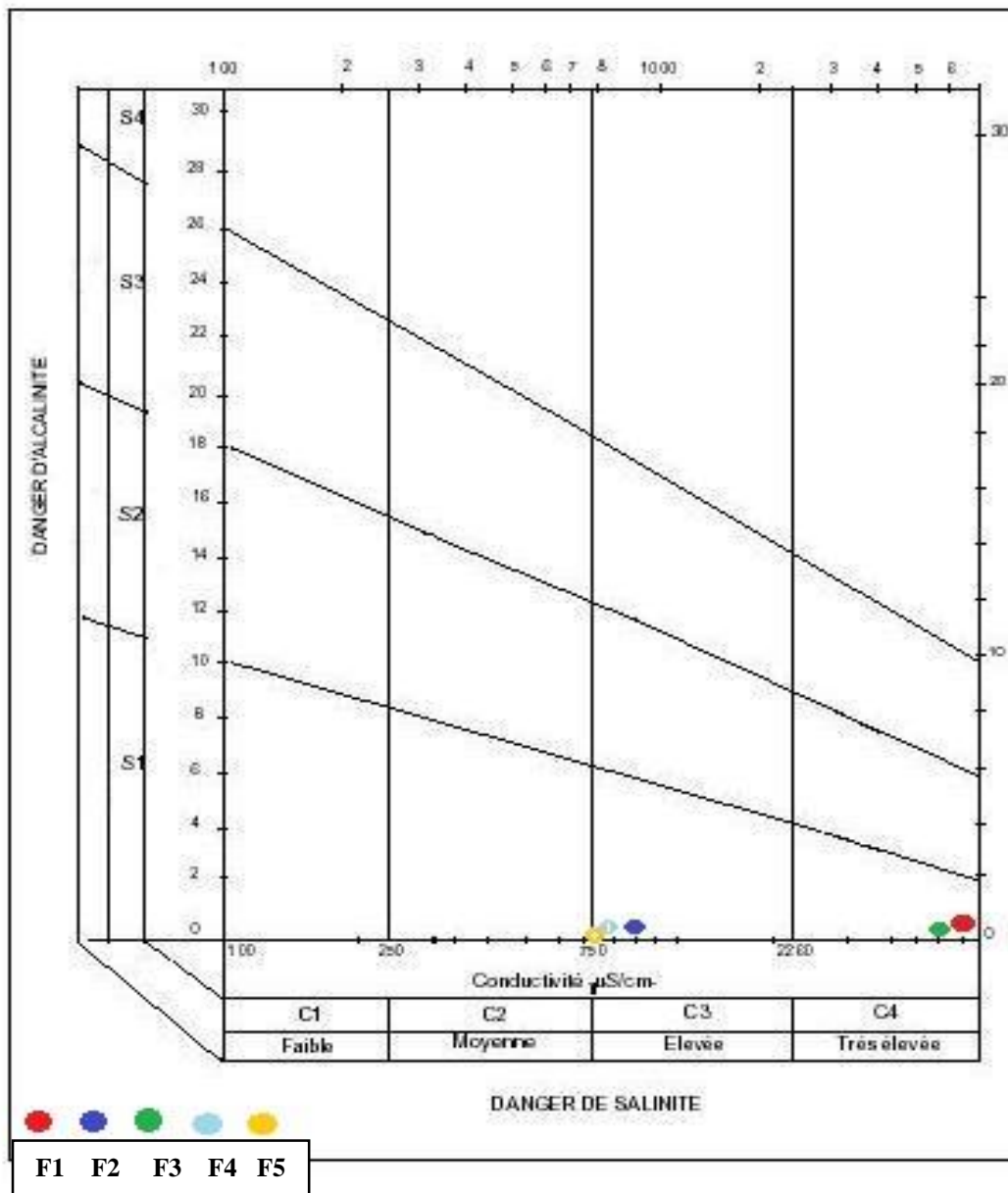


Figure n°58 : Classification des eaux d’irrigation des forages n°1, 2, 3, 4 et 5 de la région de Hammam Dalaa selon diagramme de Richards.

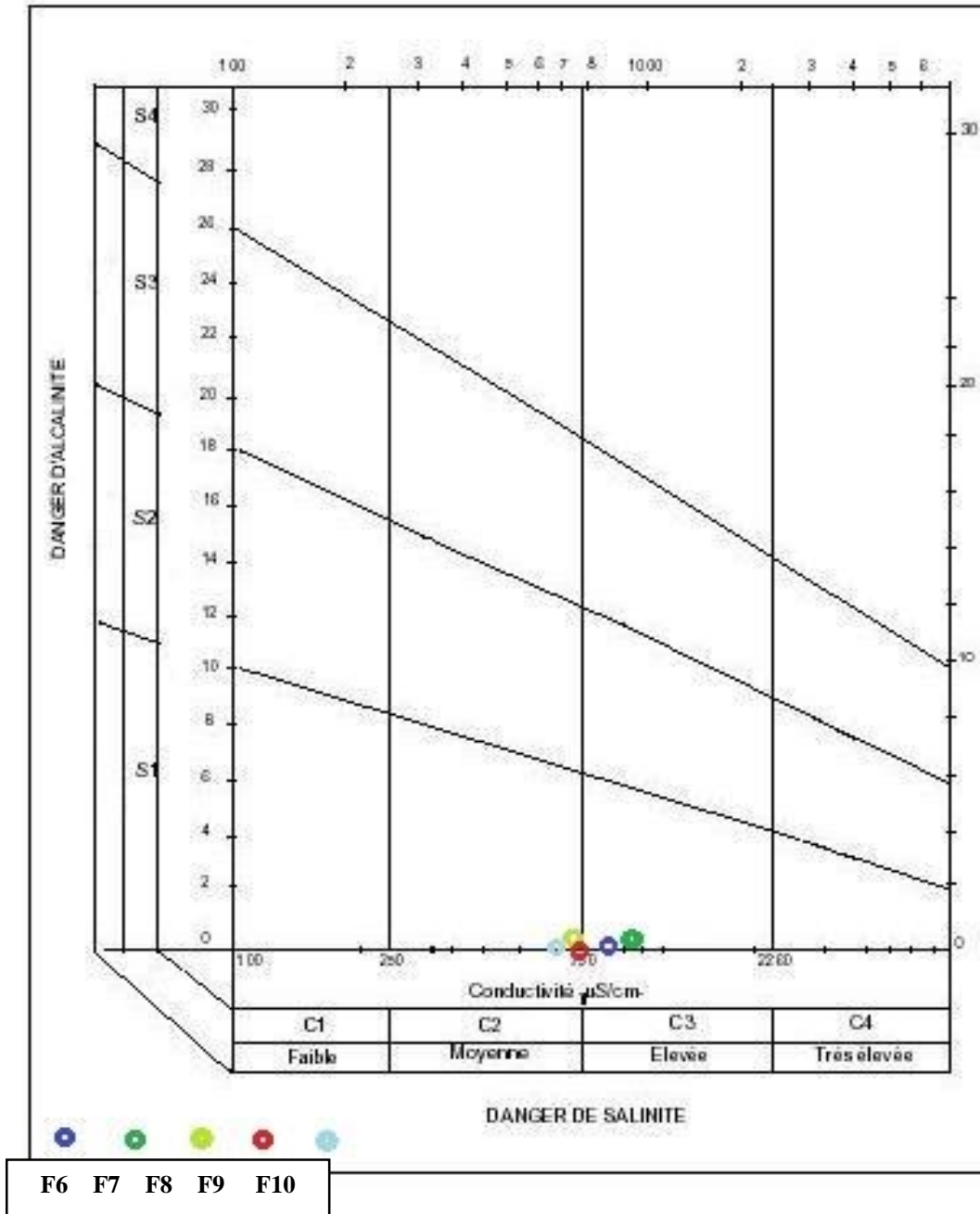


Figure n°59 : Classification des eaux d’irrigation des forages n°6, 7, 8, 9 et 10 de la région de Hammam Dalaa selon diagramme de Richards.

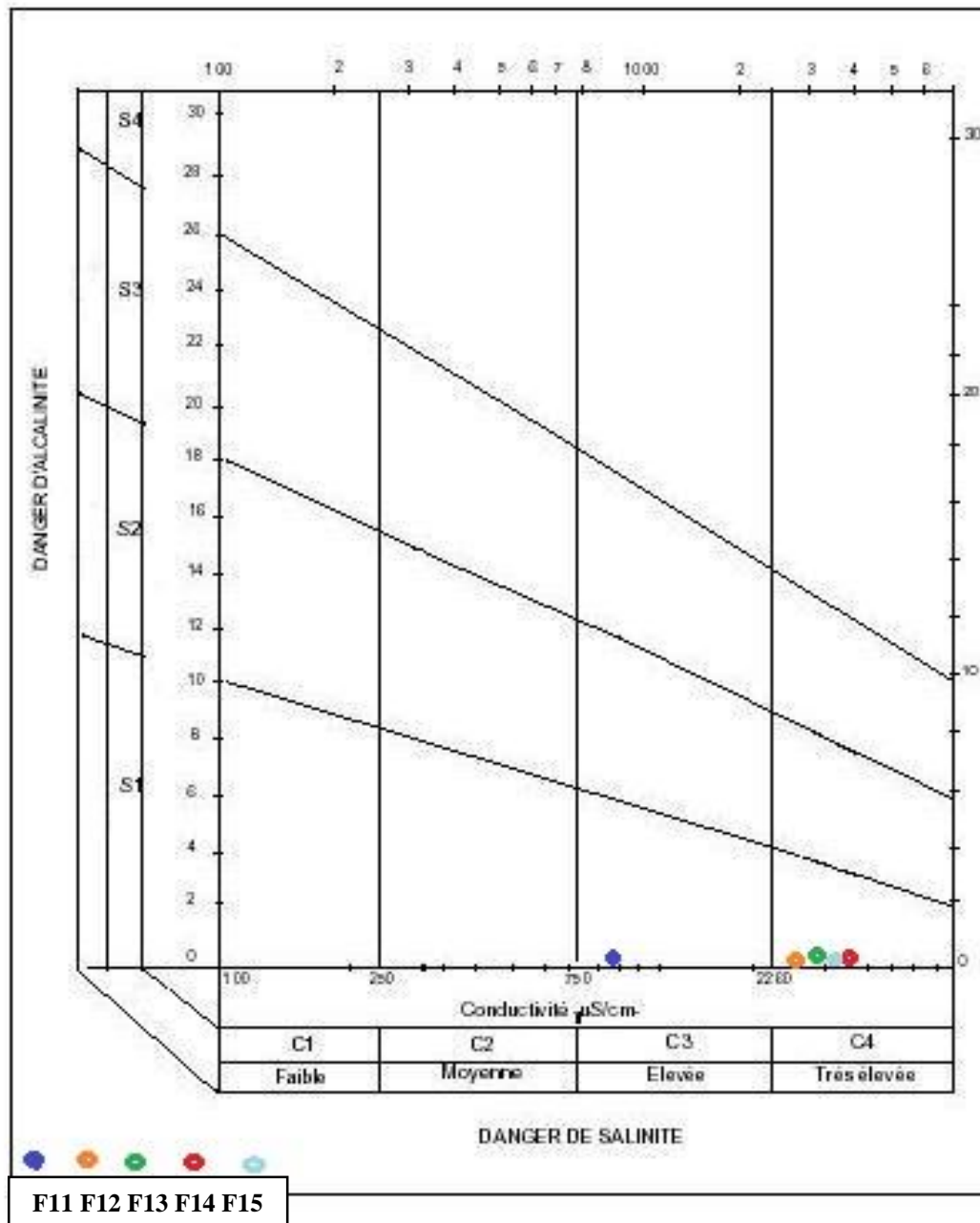


Figure n°60 : Classification des eaux d’irrigation des forages n°11, 12, 13, 14 et 15 de la région de Hammam Dalaa selon diagramme de Richards.

2.5. Classification des eaux d'irrigation de la région d'étude selon le diagramme de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau, est définie par la formule suivante :

$$Na^{+}\% = \frac{Na^{+}}{\sum r^{+}} \times 100 = \frac{Na^{+}}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+}} \times 100$$

Tous les éléments sont exprimés en meq/l.

Cette classification définit cinq classes d'eau : Excellent, Bonne, Admissible, Médiocre et Mauvaise (voir les figures n°61, 62 et 63). Les résultats du pourcentage du sodium obtenu sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau n°24 : Résultats de l'utilisation du diagramme de Wilcox.

Classes	N° de forage	Pourcentage
Excellente	Fn°8	6.67%
Bonne	Fn°2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 11	53.33%
Médiocre	Fn°12, 13, 14 et 15	26.67%
Mauvaise	Fn°1 et 3	13.33%

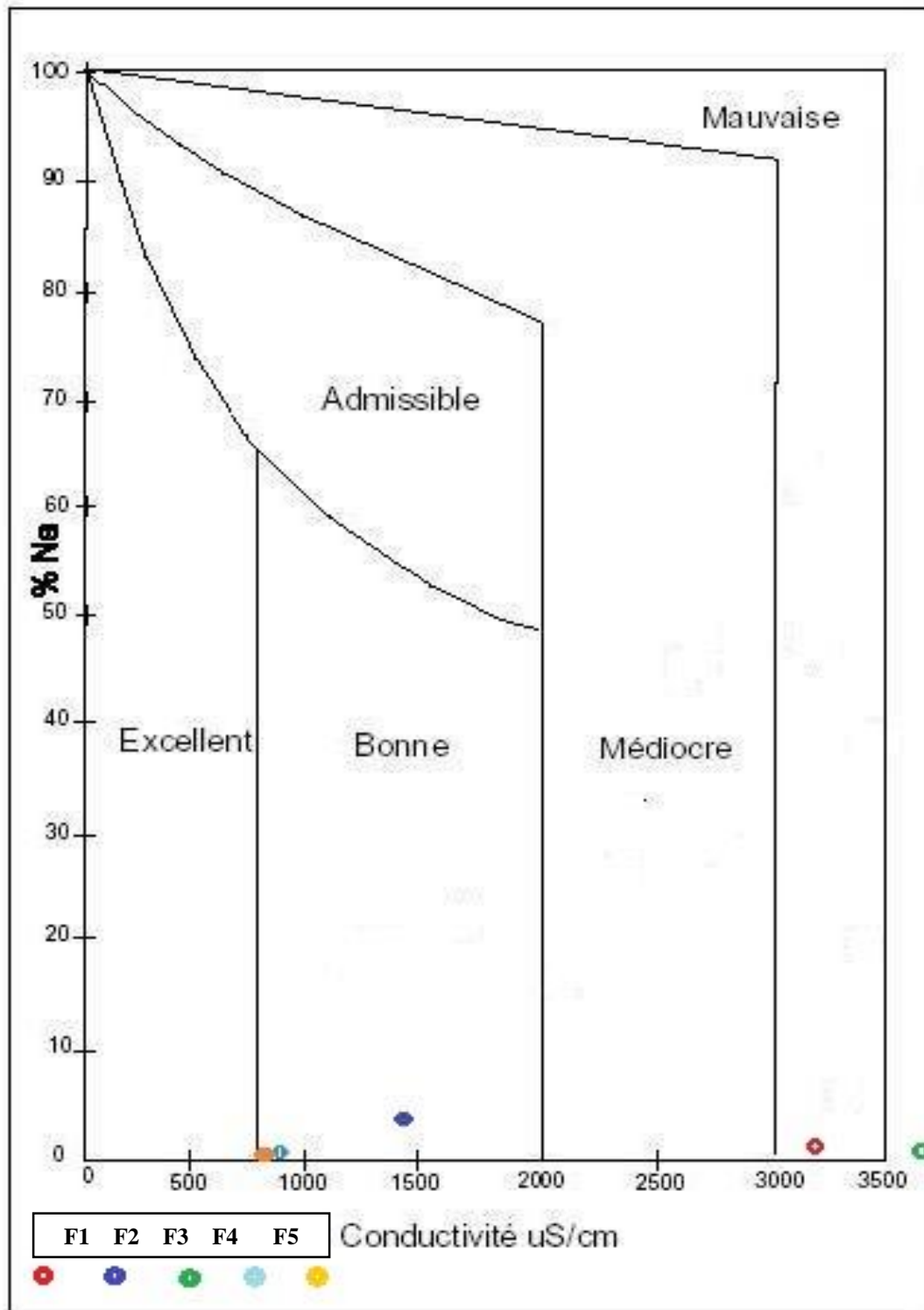


Figure n°61 : Classification des eaux d'irrigation des forages N° 1, 2, 3, 4 et 5 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Wilcox.

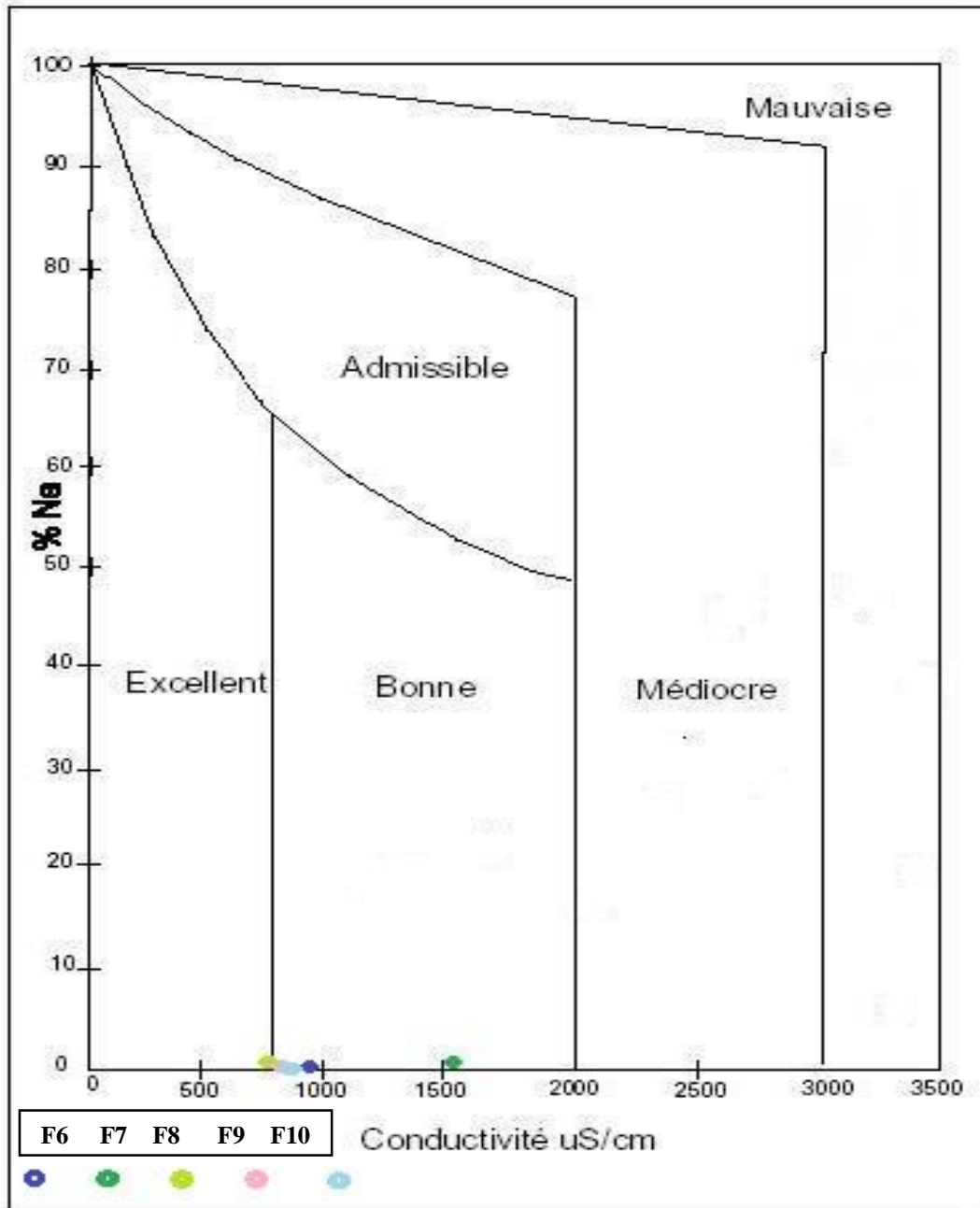


Figure n°62 : Classification des eaux d'irrigation des forages N° 6, 7, 8, 9 et 10 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Wilcox.

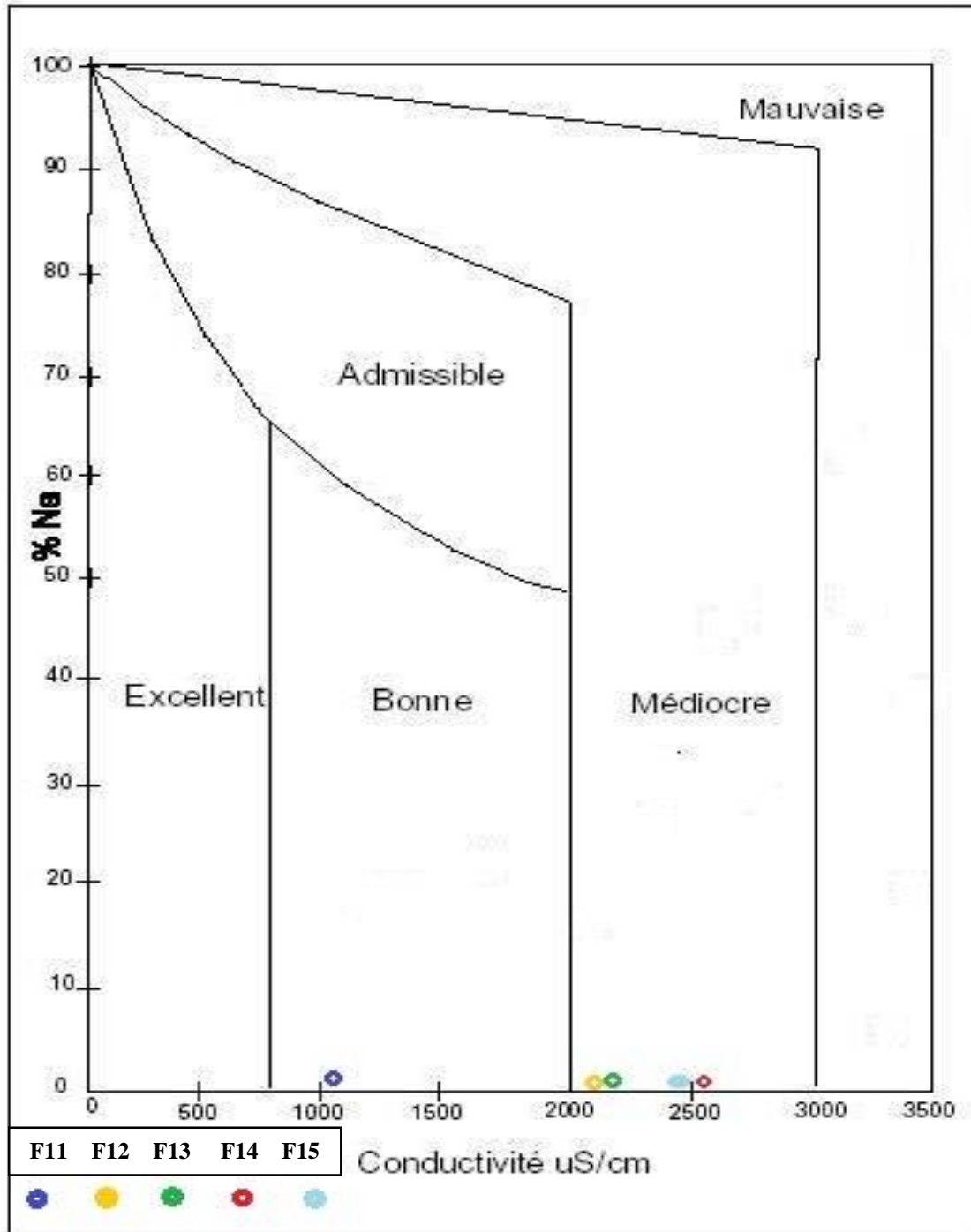


Figure n°63 : Classification des eaux d'irrigation des forages N° 11, 12, 13, 14 et 15 de la région de Hammam Dalaa selon le diagramme de Wilcox.

D'après le tableau n°24 et les figures n°61, 62 et 63, 6.67% les eaux de la région d'étude sont de qualité excellent, 53.33% des eaux de bonne qualité, 26.67% des eaux de qualité médiocre et 13.33% des eaux de mauvaise qualité.

3. Aptitude à l'irrigation

Pour estimer l'influence des eaux d'irrigation de notre zone d'étude sur le sol et sur certaines cultures pratiquées, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela nous avons utilisé plusieurs méthodes afin de les classer.

3.1. Salinité

D'après **Ayers et Westcot (1988)**, quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (tableau n°17) montre que :

- Si la salinité exprimée par la conductivité en $\mu\text{s/cm}$ est inférieure à **700 $\mu\text{s/cm}$** , il n'y aucune restriction pour l'irrigation ;
- Si la conductivité varie entre **700 et 3000 $\mu\text{s/cm}$** , la restriction pour l'irrigation est légère ; et
- Si elle est supérieure à **3000 $\mu\text{s/cm}$** , la restriction pour l'irrigation est forte.

L'examen du tableau n°25, montre que la majorité des eaux d'irrigation de la région d'étude représentent une restriction légère avec **86.67%**, et une forte restriction avec **13.33%**. Dans ce cas (irrigation avec ces eaux chargées en sels) on peut s'attendre à des chutes de rendements de certains cultures pratiquées au niveau de notre zone d'étude (tableau n°26).

Tableau n°25 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Salinité).

Restriction pour l'irrigation	CE ($\mu\text{s/cm}$)	N° de forage	Pourcentage
Aucune	<700	0	0%
Légère	700-3000	Fn° 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15	86.67%
Forte	>3000	Fn° 1 et 3	13.33%

Tableau n°26 : Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation.

		Conductivité électrique en (µs/cm)			
Cultures	Orge	5300	6700	8700	12000
	Blé	4000	4900	6400	8700
Chute de rendement en %		0	10	25	50

(Ayers et Westcot, 1988).

3.2. Etude de la toxicité des végétaux

La toxicité se manifeste dans les végétaux suite à l'absorption et à l'accumulation de certains substances contenues dans l'eau d'irrigation. Ces substances toxiques provoquent l'échec de la récolte comme le cas du sodium.

3.2.1. Sodium

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaitre dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigation (Ayers et Westcot, 1988).

L'interprétation des analyses (tableau n°37) permet de dire que :

-Tous les forages des eaux d'irrigation ne présentent aucune restriction pour l'irrigation.

Tableau n°27 : Directives concernant la qualité des eaux d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions).

Restriction pour l'irrigation	Na^+ (meq/l)	N° de forage	Pourcentage
Aucune	<3	Tous les forages	100%
Légère	3-9	0	0%
Forte	>9	0	0%

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été mené dans la zone de Hammam Dalaa dans le but de contribuer à la connaissance des principales propriétés physico-chimiques des eaux destinées à l'irrigation (eaux souterraines, de quelques forages) et leur probable influence sur le bon développement de l'agriculture dans cette région.

Les résultats trouvés montrent que :

26,67% des forages ont un caractère alcalin, cette légère alcalinité ne pose pas de problème de point de vue qualité des eaux destinées à l'irrigation, et **73,33%** des forages neutres.

Concernant la dureté totale, les eaux de notre région d'étude sont dures à très dure, sauf l'eau du forage N°2 est une eau douce.

Les valeurs de conductivité électrique reportées sur le diagramme de Richards indiquant des eaux jugées dans leur majorité comme utilisable à l'irrigation.

La majorité des forages de la région d'étude représentent une restriction légère (en fonction de la conductivité électrique) avec **86.67%**, et une restriction forte comprenant **13.33%** des forages, car en cas d'irrigation avec ces eaux chargées en sels, on peut s'attendre à des chutes de rendements de certaines cultures au niveau de Hammam Dalaa ;

Il est recommandé dans ce cas d'utiliser ces eaux pour des cultures tolérantes en sels, de pratiquer des cultures sur les sols légers (sableux), de faire des apports d'eau supplémentaires et faire de drainage ;

La concentration de Na^+ dans les échantillons est inférieure à **70mg/l** indiquant qu'il n'y'a aucun problème de toxicité par cet élément.

La concentration de Cl^- dans les forages N° 1, 3, 4, 12, 13, 14 et 15 dépassent **300mg/l**, donc il y'a un risque potentiel.

La distribution du S.A.R dans l'ensemble des échantillons d'eau analysée représente un faible risque d'alcalinité à **100%**, et un risque de salinité moyenne avec **13.33%**, et risque élevé avec **46.67%** et un risque de salinité très élevé avec **40%**.

D'après le diagramme de Piper, les eaux de la région de Hammam Dalaa se présentent sous trois familles :

- ✓ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne ;
- ✓ Bicarbonatée calcique et magnésienne ; et
- ✓ Hyper chloruré calcique Hyper sulfatée calcique.

Les résultats mentionnés dans le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF montrent que toutes les eaux des forages de la région d'étude durant la campagne Avril 2019 sont de caractère agressif avec 100%.

En guise de recommandations, nous souhaitons :

- Pour les zones dont l'eau présente une salinité excessive on propose le contrôle des doses d'irrigation toute en prenant en considération les saisons.
- Les doses d'engrais en eau d'irrigation apportées aux cultures devraient être calculées ;
- Une surveillance permanente de la qualité des eaux d'irrigation pour éviter l'effet de la salinité des sols ;
- L'installation des réseaux de drainage pour l'évacuation des sels en dehors des parcelles cultivées.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- 1-Abdelhamid, K. (2016).** Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnant- Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Doctorat en sciences. Université de Batna 2 ; 160P.
- 2- Abdelmadjid Madhi, A. (2016).** La gestion du logement collectif entre les procédures légales et la réalité du terrain (étude de cas : Hammam Dalaa). Mémoire master académique ; Université Mohammed Boudiaf, M'sila ; 114P.
- 3-Aggouni, H.et Safer, A. (2007).** Etude de l'état d'environnement d'Oued K'sob de la région de Bordj Bou Arreridj (Qualité de l'eau- Flore et faune). Mémoire ingénieur ; Département des sciences biologiques ; Université Mohammed Boudiaf, M'sila ; 79P.
- 4-A.S.M, (2014).** Annuaire Statistique de M'sila ; 130P.
- 5-Ayers, R.S. et Westcot, D.W. (1988).** *La qualité de l'eau en agriculture*. ED : FAO ; Rome ; 81P.
- 6- Badraoui, M., Goumari, A., Lahlou, M., Soudi, B. et Tessier, B. (2002).** Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. *Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation* ; France ; 19P.
- 7- Baouch, Z.et Zid el khir, F. (2016).** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation les paramètres physico-chimiques en zone semi-aride, Cas des eaux souterraines de l'aquifère Moi-Plio-Quaternaire de la plaine de M'sila. Master académique en science agronomique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, 107P.
- 8- Baza, Y. (2006).** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi-arides cas de la région d'Ain El Ibel. Mémoire d'un ingénieur, Université de Djelfa ; 97P.
- 9-Ben Hlima, Z. (2015).** L'importance du réseau de transport urbain dans la distribution et la planification de l'utilisation des terres urbains (étude de cas : Hammam Dalaa). Mémoire de master académique ; Département des sciences agronomiques ; Université Mohammed Boudiaf, M'sila ; 145P.
- 10- Bensaïssa, M. et Boukhane, E. (2015).** Etude du réseau d'assainissement de village El Dbil (Wilaya de M'sila). Mémoire de master en hydraulique ; Université Abderrahmane MIRA de Bejaia ; 69P.
- 11-Benzaria, M. (2008).** Approche méthodologique pour les projets de réutilisation des eaux usées en irrigation ; Université du Québec, Montréal ; 85P.

- 12- Berrouche, H. (2011).** Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saâda (Région du Haouz). Mémoire de licence en Eaux et Environnement ; Université de Marrakech, Maroc ; 55P.
- 13- Bouaroudj, S. (2012).** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Mémoire de magistère en Ecologie ; Université Mentouri Constantine ; 52P.
- 14- Brouwer, C. (1990).** Méthodes d'irrigation. *Gestions des eaux en irrigation*, vol n° 5. Italie ; 65P.
- 15-Cheverry, C. et Robert, M. (1996).** Sécurité alimentaire : les enjeux .Les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir. *Cahier Agriculture*, vol n° 5 : 243-248P.
- 16-Cheverry, C.et Robert, M ; (1998).** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. *Etude de gestion des sols*, vol n° 5,4 : 217-226P.
- 17- Coulibaly, K. (2005).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. Thèse de docteur en pharmacie, Université de Bamako ; 69P.
- 18- Couture, I. (2004).** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. Agri- Vision ; 8P.
- 19- Debieche, T-H. (2002).** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat en science de la terre ; Université de Constantine, Algérie ; 199P.
- 20- Dekhil, S. (1991).** L'eau et le développement de l'irrigation en Algérie. *MEDIT*, vol n° 1-2 : 34-38P.
- 21- El-Amrani, N., El-Asslouj, J., Hilali, A. et Kholtei, S. (2007).** Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. *Afrique science* ; vol 03(1) : 109-122P.
- 22-FAO, (2003).** L'Irrigation avec des eaux usées traitées : manuel d'utilisation ; 68P.
- 23-Guide de la fertilisation. (2005).** Guide de la qualité de l'eau ; 35-43.
- 24-Hadfi, A. (2012).** Evaluation du pouvoir entartrant des eaux du secteur agricole du grand Agadir et mise en évidence de l'effet inhibiteur des quelque engrais phosphatés ; Mémoire de Doctorat ; Université d'Agadir ; 141P.
- 25-Halitim, A. (1988).** Les sols des régions arides d'Algérie. ED : O.P.U ; 384P.
- 26-ISO. (1984).** Qualité de l'eau. NA 1657, ISO 6777 ; ED : INAPI. Edition et diffusion ; Laboratoire d'Alger, 50P.

- 27- Keddal, H. et Yao N'dri. (2007).** Impact de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Revue HTE n°138 : 13-29P.
- 28- Lachache, A. et Boudjenah-Haroun. S. (SD).** Etude de la qualité chimique des eaux d'irrigation : Cas de la région de Ouargla ; *Ressources et potentialités agrobiologiques des sols sahariens* ; Algérie ; 9P.
- 29-Laffont, C. (2015).** Contrôler le climat pour conservation des collections sur support papier, 1-3P.
- 30- Mebarkia, A. (2011).** Etudes des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Ain Zada Wilaya de Bordj Bou-Arredj, (Nord-Est algérien). Mémoire de magistère, Université de Bordj Badji Mokhtar, Annaba ; 209P.
- 31-MEDDE. (S D). Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie,** Le cycle de l'eau, France ; 4P.
- 32- Mohand, S. (2001).** Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Ed O.P.U ; Algérie ; 156P.
- 33- Mouhouche, B. et Guemraoui, M. (2007).** Réhabilitation des grands périmètres d'irrigation en Algérie. Actes du séminaire « Modernisation de l'Agriculture Irriguée » ; Algérie ; 13P.
- 34- Nechad, I., Fadil, F. et Fadil, K. (2014).** Qualité physico-chimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Boualidans la région de Séfrou (Moyen Atlas, Maroc) ; *Larhyss Journal*, vol n° 20 : 127-146P.
- 35- Ollier, Ch.et Poiree, M. (1986).** *Irrigation : les réseaux d'irrigation théorie. Technique et économie des arrosages.* Ed : EYROLLES ; Paris ; 503P.
- 36-PNUD (2009).** **Le Programme des Nations Unies pour le Développement. (2009).** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. 19P.
- 37- Rieul, L. et Ruelle, P. (2003).** *Irrigation.* Ed n°3, Cemagref ; Paris ; 343P.
- 38-Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P et Rodi. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ; Dunod, 8^{ème} ED ; Paris ; 13-84P.
- 39- Rodier, J., Leube, B., Merlet, N. et Coll. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed n° 9, DUNOD ; Paris ; 1526P.
- 40-Subdivision Agricole de Hammam Dalaa. (2018).** Aperçu sur le secteur agricole dans la subdivision de Hammam Dalaa ; 11P.
- 41- UN. (2015).** Nations Unies. L'eau, source de vie ; Paris ; 17P.

42- Vilaginès, R. (2010). *Eau, environnement et santé publique, Introduction à l'hydrologie.* Edition n°3 ; Lavoisier ; France ; 217P.

43-Zedam, A. (2015). Etude de la flore endémique de la zone humide de Chott El Hodna (inventaire-préservation) ; Doctorat ; Université de Sétif ; 138P.

44-Zella, L. (2015). *Irrigation, Eau, Sol et Plante.* Edition: 2.02.5556; Ben Aknoun, Alger; 388P.

45- Zerrouak, S. (2014). Caractérisation physico-chimique de quelques eaux d'irrigation dans la zone Est-Sud de Chott El Hodna- wilaya de M'sila- (cas de la région de M'cif). Mémoire d'Ingénieur d'état en agronomie ; Université de M'sila ; 102P.

46-<https://www.google.com/search?q=syst%C3%A8me+d%27irrigation>

Annexes

Annexe n°1

Tableau : Moyenne mensuelle des températures maximales en °C pendant la période (1993-2017) de la région de M'sila.

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
1993	36.6	32.6	22.1	20.5	16.5	17.7	25.6	29	37.8	43.7	45.3	42.4
1994	37.1	34.6	24.6	18.6	18.8	23.6	27	29	43.6	43	43.6	43.4
1995	39	28	24.7	19.9	19	23.6	26	26.7	35.8	40.1	41.8	43.1
1996	37.3	30.7	27.5	18.8	20.3	17.7	28.2	27.9	35.6	38.8	43.2	42.2
1997	36.5	30.5	26	23.3	19	24.4	25.5	29.3	37.5	43.7	45.2	43.5
1998	38.5	32.4	22.5	17.2	18.7	21.8	26.5	31.4	32	42.5	44.2	42.2
1999	42.2	29.6	26.6	20	18.3	22.7	25.5	34.1	41.7	43.3	43.3	44.7
2000	37.4	31.8	25.7	19.6	20.2	21.7	24.9	35.7	36.4	42.9	43.9	42
2001	41.2	30.2	25.8	20.3	18.6	21.4	33.8	31.6	38.2	41	43	41.7
2002	39.2	34	26.1	20.7	21.2	22.8	28.5	33.8	39.4	41.3	45.6	41.7
2003	36.2	34	26.1	18.5	20	17.8	24.8	36.8	35.7	42.6	45.2	42.8
2004	40.4	39.3	28.6	18.4	18.8	24.7	25.6	26.8	30	41.5	43.1	43.6
2005	39.2	34.5	24.7	21.5	20.2	21.4	32.8	33	37.2	41.9	46.2	44
2006	36.4	36.3	30.8	19.5	16.4	17.8	28.9	32.8	39.7	44.2	43.8	42.1
2007	36.8	34.7	21.4	20.8	22.6	22.3	27.7	28.8	36.9	44.1	42.2	42.2
2008	39.5	29.3	21.4	17	19.2	23.4	30.5	34.4	36.2	40.7	45.7	45
2009	40.8	32.7	27	22.8	18.3	18	25.4	28.7	37	39.8	45.2	43.4
2010	36.7	35	23.3	22.1	20	28.7	28.2	30.2	34	42.6	45.3	42.7
2011	41	30.9	22.6	18.8	20.3	20.4	25.6	33	36.1	41.3	43.6	44.6
2012	38.5	36	28.1	19.3	18.4	21.5	26.1	31.7	36.4	43.3	46.2	44.8
2013	33	29.6	18.9	14.2	21.3	19.6	26.8	34.1	27.4	34.1	38	36.1
2014	41.4	37.2	26.1	18.5	18.8	25.4	23.6	33.3	36.6	39.4	43.3	44.3
2015	39.4	34.3	24.2	20.4	20	17.7	29.4	34.4	41.3	40.2	44.2	45.3
2016	37.4	34	27.4	22	22.4	23.7	32.7	32.4	43.2	40.3	43.2	43.4
2017	37.4	34	27.4	22	12.3	17.8	22.4	25.8	32.9	37.1	40.4	39.9
Moyenne	38.36	33.05	25.18	19.79	19.18	21.5	27.28	31.39	36.74	41.34	43.79	42.84

Annexe n°2

Tableau : Moyenne mensuelle des températures minimales en °C pendant la période (1993-2017) de la région de M'sila.

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
1993	15.1	6.5	2.0	0.2	-2.3	-0.3	-3.2	3.2	8.0	18.8	18.9	18.9
1994	11.1	6.4	1.6	-0.2	-0.3	1.0	4.0	2.3	8.0	13.8	20.7	20.7
1995	12.2	11	3.2	-2.7	-1.3	-1.6	3.3	2.8	8.9	12.9	18	18
1996	12	9.2	2.4	0.9	3.8	2.2	1.8	3.9	6.9	12.4	16.5	16.5
1997	11.5	6.5	1.0	-1.1	-0.6	0.7	3.0	4.9	6.8	12.7	17	17
1998	14	6.9	-2.0	-1.9	-3.3	-1.0	1.9	4.0	6.8	14	18.9	18.9
1999	16	6.0	0.6	-3.0	0.2	-0.5	1.6	4.4	11.2	16.8	21.2	21.2
2000	14.2	12	-0.2	-0.2	-2.8	-0.8	3.2	3.0	13	12.8	17.2	17.2
2001	12.6	8.3	1.0	-1.0	-0.9	0.2	1.9	5.0	8.4	16	21	21
2002	15.6	13	3.4	-1.4	-1.8	-0.8	4.8	6.8	8.0	12.8	16	16
2003	13.9	8.6	3.2	1.6	1.0	-0.2	4.2	5.2	9.3	18.2	20.8	20.8
2004	15.4	9.0	4.5	-2.3	-1.6	-3.8	0.2	4.1	4.7	13.4	19.5	19.5
2005	11.2	7.3	1.2	-2.8	-7.1	-0.2	-2.4	3.1	9.5	13.7	15.3	15.3
2006	11.9	10	-1.9	-3.0	-3.8	-0.2	1.4	4.7	13	7.7	17.6	17.6
2007	11.5	11	4.8	-0.9	-0.3	-0.1	-0.6	4.2	9.1	12.2	19.3	19.3
2008	12.2	8.2	2.0	-0.8	-2.0	-1.5	-0.9	4.0	8.4	13.2	18.7	20.5
2009	13	6.8	2.4	0.5	00	-2.0	0.5	2.2	7.0	15.2	22	18.8
2010	12.3	4.1	2.0	-4.1	-2.2	-2.8	1.5	6.8	6.8	15.3	19.9	21.6
2011	16.4	8.4	5.4	-0.3	-3.4	-1.9	0.7	7.0	9.4	13.5	18.3	19.8
2012	14.4	4.6	2.4	-1.2	-2.9	-5.0	2.2	4.0	8.8	18.9	17.9	20.8
2013	20.4	17.7	7.9	3.3	-1.2	-3.2	-1.7	3.6	13.5	18.2	23.5	21.9
2014	15.8	7.6	5.7	-0.6	0.1	-1.8	1.0	5.3	8.6	13.8	19.7	19.9
2015	13.9	8.9	1.7	0.4	-1.0	-1.5	1.6	4.6	8.8	15.6	20.8	18.6
2016	12.8	8.5	2.5	0.2	-0.3	-0.4	0.4	4.2	5.7	12.8	13.6	18.7
2017	12.8	8.5	2.5	0.2	2.8	6.3	7.7	11.6	18.1	22	24.6	25.7
Moyenne	13.69	8.6	2.37	-0.81	-1.25	-0.77	1.52	4.60	9.07	14.67	19.08	19.37

Annexe n° 3

Tableau : Moyenne mensuelle des températures moyenne en °C pendant la période (1993-2017) de la région de M'sila.

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
1993	26.2	19	13.3	9.1	6.8	8.8	12.2	16	22.1	29.3	31.2	31.2
1994	24.9	20.5	13.2	9.3	9.2	10.3	15.7	15	25	28.9	32.5	33.5
1995	25.3	18.9	13.8	8.9	8.2	12.7	12.5	15.7	23.2	26.8	32	29.8
1996	23.5	20	13.4	10.6	10.4	8.5	12.6	16	20.9	25.1	30.3	29.6
1997	23.5	17.6	13.5	10.6	9.7	12.3	13.7	16.5	23.5	29.3	31.3	30.3
1998	24.5	19.2	12.3	9.4	8.9	10.8	13.3	16.8	19.6	28.8	32.4	30.5
1999	26.1	17.3	13.1	8.3	8.8	8.8	13.3	18.2	26.1	30	31.9	33.8
2000	26.4	22.2	12.7	8.7	6.0	10.4	14.8	17.9	25	28	32.4	31
2001	26.2	18.5	13.9	10.1	8.9	10	17.5	17.6	22.3	29.7	32.6	32
2002	26	23.5	13.2	8.0	7.9	11.2	15.4	18.3	23.3	29.7	31.5	30
2003	25.3	20.6	14	10.6	8.6	8.6	14	18.1	23.3	30	33.9	31.8
2004	25.2	20.5	13.6	8.4	8.4	11.1	13.9	15.5	18	26.9	31	31.6
2005	25.1	21.5	12	9.3	6.2	7.3	14.7	17.9	25.6	29.2	33.4	30.7
2006	24.4	22.5	14.6	9.6	7.1	8.3	14	19.7	24.8	29	31.7	30.7
2007	25.1	20.1	11.6	8.9	8.9	11.6	12.1	16.7	21.8	29	31.7	31.3
2008	25.6	18.7	11.5	7.4	9.1	11.6	13.1	18.4	22.6	27.5	32.7	31.8
2009	25.2	19.9	13.8	10.5	8.5	8.2	12.6	13.1	23.2	28.9	31.9	31.6
2010	25.8	19.1	13.2	9.2	9.7	11.2	14.1	17.9	20.2	27.6	32.6	31.6
2011	27.7	19.4	13.8	9.5	9.1	9.3	13	19	22.3	27.1	32	31.8
2012	26.6	20.8	14.5	9.2	8.0	6.6	13.7	16.3	24.1	31.3	33.9	33.7
2013	30	26.7	23.9	12.9	8.8	8.0	14	18.4	21	26.9	32	34
2014	28.1	22.1	15.4	9.1	9.6	11.5	12.8	19.7	23.2	27.6	31.8	32.5
2015	25.9	19.5	13.6	8.8	8.2	8.5	13.9	20.3	25.2	27.9	32.8	31.4
2016	25.9	21.8	13.5	9.0	10	11.4	13	19.2	22.9	28.7	32	30.8
2017	25.6	19.5	12.6	8.8	7.6	12.1	15.1	18.7	25.5	29.5	32.5	32.8
Moyenne	25.76	20.38	13.76	9.37	8.50	9.96	13.8	17.48	22.99	28.51	32.16	31.59

Annexe n°4

Tableau : Pluviométrie mensuelle en mm pendant la période (1993-2017) de la région de M'sila.

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	totale
1993	1	3	35	14	NT	16	9	5	30	NT	NT	NT	113
1994	18	NT	41	20	14	26	15	6	NT	NT	NT	14	154
1995	45	44	9	4	11	7	40	7	NT	3	NT	1	171
1996	16	7	11	35	62	26	32	23	46	6	7	3	274
1997	3	NT	6	24	30	7	5	40	36	8	1	33	193
1998	61	33	50	13	10	18	10	46	60	8	NT	2	311
1999	39	6	9	5	52	6	16	12	1	21	NT	12	179
2000	31	47	26	58	NT	NT	5	3	25	2	2	2	201
2001	54	15	7	31	25	2	5	25	NT	NT	NT	5	169
2002	45	17	15	18	11	6	1	5	5	NT	2	16	141
2003	7	13	26	13	73	11	2	17	29	28	1	3	223
2004	47	83	29	25	5	5	31	36	75	10	2	29	377
2005	11	8	11	29	1	18	6	6	NT	7	3	3	103
2006	20	NT	29	22	26	50	1	14	26	3	29	5	225
2007	23	10	5	NT	5	12	17	80	26	6	NT	4	188
2008	35	57	10	26	5	5	6	NT	16	6	2	3	171
2009	23	4	6	19	31	17	5	34	2	8	1	3	153
2010	4	11	8	3	7	32	21	21	3	3	2	6	121
2011	19	26	12	11	3	8	8	21	13	40	2	5	168
2012	59	27	9	9	NT	2	31	21	4	1	1	4	168
2013	6	38	29	28	15	10	21	27	14	NT	5	7	200
2014	13	2	27	13	20	7	19	NT	50	11	6	2	170
2015	27	51	NT	NT	12	25	13	6	6	3	NT	16	159
2016	5	9	16	14	5	8	12	50	22	NT	14	NT	155
2017	1	13	8	3	72	1	2	6	13	18	4	1	142
Moyenne mensuelle	24.52	20.96	17.36	17.48	19.8	13	13.32	20.44	20.08	7.68	3.36	7.16	185.16

Annexe n°5

Méthode d'extrapolation des données (Pour la zone de Hammam Dalaa)

- L'altitude de la région de M'sila : **441m**.

- L'altitude moyenne de la région d'étude (Hammam Dalaa) : **816,71m**.

La différence d'altitude : **816,71-441= 375,71m**.

a. Température :

❖ Les températures maximales décroissent de **0,7°C** avec l'élévation de **100m** d'altitude.
Dans notre zone d'étude :

0,7°C→100m

X°C→ 375,71m

Donc :
$$T^{\circ}C = \frac{375,71 \times 0,7}{100} = 2,63^{\circ}C$$

Donc, chaque valeur de la **T°C** max mensuelle de station de M'sila à **441m** d'altitude diminue de **2,63 °C** respectivement pour déterminer les valeurs de **T°C** max mensuelles de la région de Hammam Dalaa à **816,71m**.

❖ Les températures minimales décroissent de **0,4 °C** pour **100m** d'altitude.
Dans notre zone d'étude :

0,4→100m

X°C→375,71m.

Donc :
$$T^{\circ}C = \frac{375,71 \times 0,4}{100} = 1,50^{\circ}C$$

Donc, chaque valeur de la **T°C** minimale mensuelle de station de M'sila à **441m** d'altitude diminue de **1,50°C** respectivement pour les valeurs de **T°C** minimales de la région de Hammam Dalaa à **816,71m**.

❖ Les températures moyennes décroissent de **0,55°C** pour une hausse de **100m** d'altitude.
Dans notre zone d'étude :

0,55°C→100m

X°C→375,71m

Donc :
$$T^{\circ}C = \frac{375,71 \times 0,55}{100} = 2,07^{\circ}C$$

Donc, chaque valeur de la $T^{\circ}\text{C}$ moyenne de la station de M'sila à **441m** d'altitude diminue de **2,07 $^{\circ}\text{C}$** respectivement pour les valeurs de $T^{\circ}\text{C}$ moyenne de la région de Hammam Dalaa.

b- Précipitation :

Les précipitations augmentent de **20mm** pour une élévation de **100m** d'altitude.

Dans notre zone d'étude :

20mm→**100m**

P mm→**375,71m**

Donc :
$$P = \frac{375,71 \times 20}{100} = 75,142\text{mm} \quad ; \text{ et}$$

La moyenne annuelle des précipitations de la station météorologique de M'sila : **185,16mm**

Donc, les précipitations annuelles de la région d'étude = **75,142+185,16= 260,302mm**

Le coefficient de correction (K) :

$$K = \frac{P(\text{moyenne annuelle de région d'étude à } 816,71\text{m})}{P(\text{moyenne annuelle de la région de M'sila à } 441\text{m})}$$

Donc :
$$K = \frac{260,302}{185,16} = 1,41$$

Annexe n°6

Méthode d'extrapolation des données (Pour la zone de Tarmounte)

- L'altitude de la région de M'sila : **441m**.

- L'altitude moyenne de la région d'étude (Tarmounte) : **696m**.

La différence d'altitude : **696-441= 255m**.

a. Température :

❖ Les températures maximales décroissent de **0,7°C** avec l'élévation de **100m** d'altitude.
Dans notre zone d'étude :

0,7°C→100m

X°C→ 255m

Donc :
$$T^{\circ}C = \frac{255 \times 0,7}{100} = 1,79^{\circ}C$$

Donc, chaque valeur de la **T°C** max mensuelle de station de M'sila à **441m** d'altitude diminue de **1,79 °C** respectivement pour déterminer les valeurs de **T°C** max mensuelles de la région de Tarmounte à **696m**.

❖ Les températures minimales décroissent de **0,4 °C** pour **100m** d'altitude.
Dans notre zone d'étude :

0,4→100m

X°C→255m.

Donc :
$$T^{\circ}C = \frac{255 \times 0,4}{100} = 1,02^{\circ}C$$

Donc, chaque valeur de la **T°C** minimale mensuelle de station de M'sila à **441m** d'altitude diminue de **1,02°C** respectivement pour les valeurs de **T°C** minimales de la région de Tarmounte à **696m**.

❖ Les températures moyennes décroissent de **0,55°C** pour une hausse de **100m** d'altitude.
Dans notre zone d'étude :

0,55°C→100m

X°C→255m

Donc :
$$T^{\circ}C = \frac{255 \times 0,55}{100} = 1,40^{\circ}C$$

Donc, chaque valeur de la $T^{\circ}\text{C}$ moyenne de la station de M'sila à **441m** d'altitude diminue de **1,40 $^{\circ}\text{C}$** respectivement pour les valeurs de $T^{\circ}\text{C}$ moyenne de la région de Tarmounte.

b- Précipitation :

Les précipitations augmentent de **20mm** pour une élévation de **100m** d'altitude.

Dans notre zone d'étude :

20mm→**100m**

P mm→**255m**

Donc :
$$P = \frac{255 \times 20}{100} = 51\text{mm} \quad ; \text{ et}$$

La moyenne annuelle des précipitations de la station météorologique de M'sila : **185,16mm**

Donc, les précipitations annuelles de la région d'étude = **51+185,16= 236,16mm**

Le coefficient de correction (K) :

$$K = \frac{P \text{ (moyenne annuelle de région d'étude à 696m)}}{P \text{ (moyenne annuelle de la région de M'sila à 441m)}}$$

Donc :
$$K = \frac{236,16}{185,16} = 1,28$$

Annexe N°7

Tableau : Caractéristiques des forages de prélèvement

N° de forage et l'année	Nom de site de forage	Coordonnées géographiques	Altitude (m)	Profondeur (m)	surfaces irriguée (ha)	Type de culture	Système d'irrigation	T (°C)	pH	Débit Q (l/s)	CE (µs/cm)
Fn°1 2014	Houacha (H.D)	N35°56'12,0'' E004°24'49,7''	743	73	15	-Céréales -Arbres fruités -Olivier	Irrigation de surface	20.2	8.12	3	3170
Fn°2 1970	Oued Dalaa (H.D)	N35°55'38,3'' E004°23'28,2''	758	30	18	-Arbres fruités -Olivier	Irrigation de surface	18.2	8.5	1.27	1940
Fn°3 1981	Oued Dalaa (H.D)	N35°55'43,7'' E004°23'25,3''	765	20	12	-Arbres fruités -Olivier -Cultures maraichères	Irrigation à la raie	19.4	9.04	7	4140
Fn°4 2005	Sidi Omar (H.D)	N35°58'29,0'' E004°23'48,2''	922	225	25	-Olivier	Irrigation de surface	24.4	7.65	36	910
Fn°5 2016	Haourane Djdid	N35°56'46,5'' E004°24'12,5''	837	232	/	/	/	21.1	7.67	/	840
Fn°6 Année inconnue	Haourane (H.D)	N35°56'33,8'' E004°24'13,1''	797	180	/	/	/	20.1	7.94	/	930
Fn°7 1990	Bouira (H.D)	N35°57'30,0'' E004°19'16,2''	895	200	15	-Arbres fruités -Culture maraichères -Céréales	Irrigation à la raie	20.6	7.64	9.39	1520
Fn°8 2015	Om chouachi (Tarmounte)	N35°50'29,9'' E004°13'5,3''	851	147	/	/	/	25.1	7.5	6	738
Fn°9 2012	Om chouachi (Tarmounte)	N35°50'51,2'' E004°13'21,2''	664	147	/	/	/	24.9	7.47	8	761
Fn°10 2015	Tarmounte (H.D)	N35°50'26,6'' E004°14'16,0''	641	320	7	-Cultures maraichères	Irrigation de surface	25.4	7.78	8.26	770
Fn°11 2008	Tarmounte (H.D)	N35°50'15,6'' E004°14'35,8''	628	300	11	-Céréales	Irrigation de surface	24.4	7.75	7	1085
Fn°12 1998	Glalba (Ouled manseure)	N35°44'02,3'' E004°22'40,8''	477	200	13	-Céréales -Olivier	Irrigation de surface	24	7.75	6	2360
Fn°13 2007	Glalba (Ouled manseure)	N35°44'33,2'' E004°22'43,8''	499	150	15	-Céréales	Irrigation de surface	22.6	8.13	4	2380
Fn°14 1997	Ouled moussa	N35°43'34,4'' E004°24'01,2''	484	150	10	-Céréales	Irrigation de surface	24.7	7.74	1	2520
Fn°15 1997	Ouled moussa	N35°43'31,5'' E004°23'53,9''	481	150	8	-Céréales	Irrigation de surface	24.4	7.77	6.5	2410

Annexe N°8

Méthode détaillée du dosage des Nitrates NO_3^- (Rodier et al, 2009) :

✓ Préparation des réactifs :

-Solution de salicylate de sodium à **0.5 %**

0.5 g de salicylate de sodium dans **100 ml** d'eau distillée.

-Solution d'hydroxyde de sodium **30 %**

30 g de NaOH dans **100 ml** d'eau distillée.

-H₂SO₄ concentré.

-Tartrate double de sodium et de potassium.

Hydroxyde de sodium Na OH **400 g.**

Tartrate de sodium et de potassium **60 g.**

Eau distillée **1000 ml.**

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

-Solution mère d'azote d'origine nitrique à **1000 mg/l.**

Nitrate de potassium anhydre **0.722 g.**

Eau distillée **1000 ml.**

Chloroforme **1 ml.**

-Solution fille d'azote d'origine nitrique à **5 mg/l.**

✓ Mode opératoire :

-Prendre **5 ml** de l'échantillon à analyser ;

-Ajouter **2à3** gouttes de NaOH à **30%** ;

-Ajouter **0,5 ml** de salicylate de sodium ;

-Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve **75 - 88° C.** (ne pas surcharger ni surchauffer très long temps) laisser refroidir ;

-Reprendre le résidu avec **1 ml.** H₂SO₄ laissé reposer **10 min** ;

-Ajouter **7,5 ml** d'eau distillée ;

-Ajouter **7,5 ml** de tartrate double de sodium et de potassium ;

-Passer au spectrophotomètre au **415 nm**. Le résultat est donné en **mg/l**

Annexe N°9

Méthode détaillée du dosage des Nitrites NO_2^- (Rodier et al, 2009) :

✓ **Réactifs mixtes :**

- sulfanilamide 40 g.
- Acide phosphorique 100 ml.
- N-1- Naphtyl éthylène diamine2 g.
- H₂O distillée 1000 ml.

✓ **Mode opératoire :**

- Prendre **50 ml** d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte, attendre **20min** ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- ;
- Effectuer la lecture à **540 nm**.

Annexe N°10

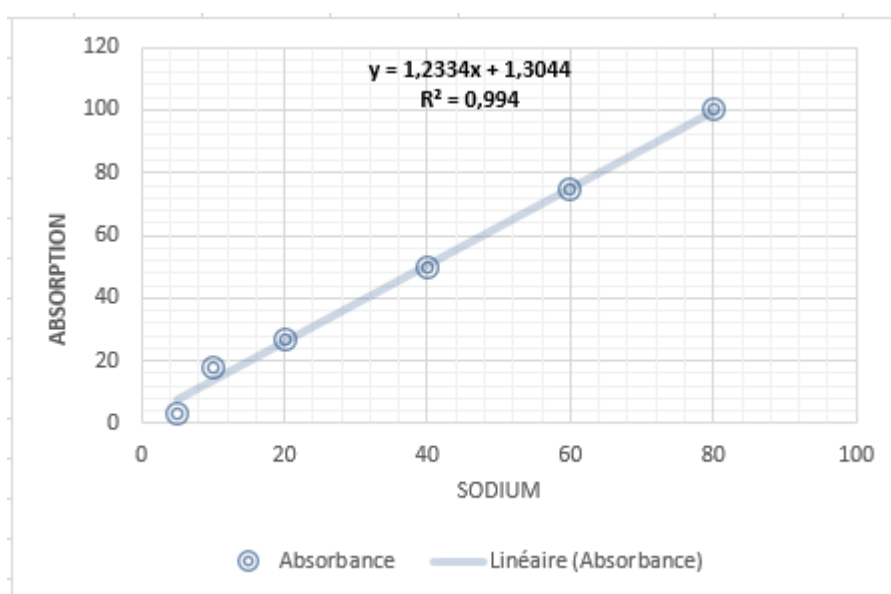
Dosage de Sodium

➤ Etablissement de la courbe d'étalonnage :

-Préparation de la solution mère :

Dissolution de **2,45 g** de NaCl dans **1000ml** de l'eau distillée.

Solution fille	80	60	40	20	10	5
Eau distillée	20	40	60	80	90	95
Absorption	100	75	50	27	18	3



Courbe d'étalonnage

➤ **Expression des résultats :**

Calculer les concentrations de sodium par la formule suivant :

$$y = 1,2334 x + 1,3044$$

Donc :

$$x = \frac{y - 1,3044}{1,2334}$$

[Na]= x

Annexe N°11

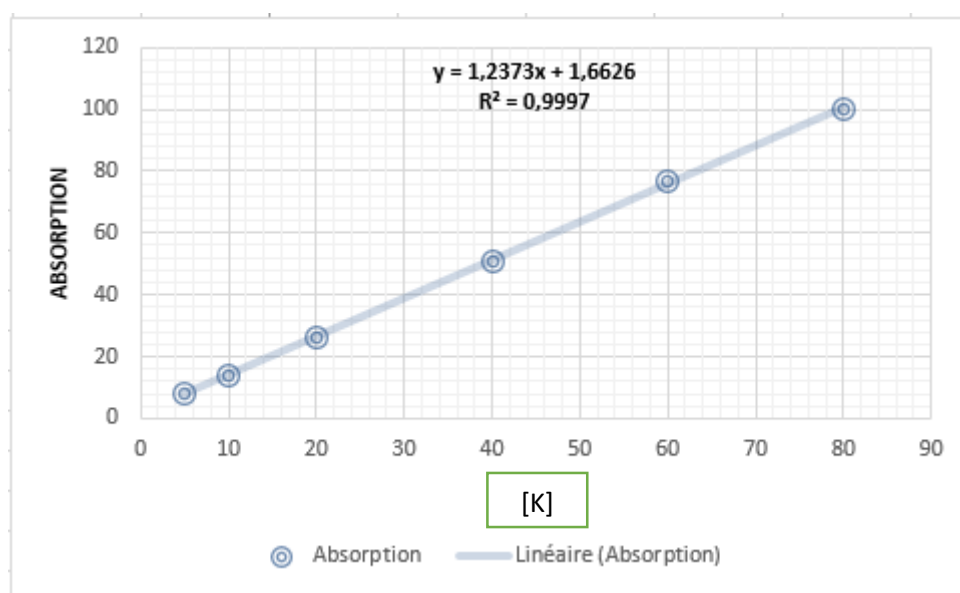
Dosage de Potassium

➤ Etablissement de la courbe d'étalonnage :

-Préparation de la solution mère :

Dissolution de **0,19 g** de KCl dans **1000 ml** de l'eau distillée.

Solution fille	80	60	40	20	10	5
Eau distillée	20	40	60	80	90	95
Absorption	100	77	51	26	14	8



Courbe d'étalonnage

➤ **Expression des résultats :**

Calculer les concentrations de sodium par la formule suivant :

$$y = 1,2373x + 1,6626$$

Donc :

$$x = \frac{y - 1,6626}{1,2373}$$

[K]= x

Annexe N°12**Méthode détaillée de la détermination de l'Azote ammoniacal (NH_4^+) :****✓ Réactifs :****Réactif I:**

- Acide dichloroisocyanurique **2 g.**
- Hydroxyde de sodium (NaOH) **32 g.**
- H₂O distillée **1000 ml.**

Réactif II (coloré) :

- Tricarbonate de sodium **130 g.**
- Salicylate de sodium **130 g.**
- Nitroprussiate de sodium **0.97 g.**
- H₂O distillée **1000 ml.**

✓ Mode opératoire :

- A prendre **40 ml** d'eau à analyser ;
- Ajouter **4 ml** du réactif I ;
- Ajouter **4 ml** du réactif II et attendre **1h 30** ;
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de NH_4^+ ;
- Effectuer la lecture à **655nm** ;

Le résultat est donné directement en mg/l.

Annexe N°13

Méthode détaillée du dosage de Fer (Fe^{+2}) :

✓ **Mode opératoire :**

- Prendre **20ml** de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter **0,5ml** de la solution chlorhydrate d'hydroxylamine (100g/l) ;
- Mélanger soigneusement ;
- Ajouter **1ml** de tampon acétate ;
- Ajouter **1ml** de solution de phénanthroline ;
- Compléter à **25ml** d'eau distillé ;
- Conserver les fioles à l'obscurité pendant **15min** ;
- Passer au spectrophotomètre à **510nm**.

Les résultats sont donnés directement en mg/l.

Annexe N°14

Tableau : Valeur indicatives limites concernant l'eau d'arrosage

Paramètres	Unités	1	2	3	4
CE	ms/cm	0.2	0.4	0.6	0.8
Acidité	pH	5.5-7.0	5.5-7.5	5.5-7.0	5.5-7.0
Chlorure	mg/l	<30	<60	<100	<200
Nitrate	mg/l	<10	<3	<30	<50
Sulfate	mg/l	<50-100	<100	<200	<250
Bicarbonate	mg/l	<90	<150	<250	<400
Calcium	mg/l	30-60	30-150	50-200	50-250
Potassium	mg/l	<5	<10	20	<40
Magnésium	mg/l	5-15	5-20	5-30	<5-35
Sodium	mg/l	<30-50	<60	<100	<150
Dureté totale	mg/l	<4	<10	<14	<18

Source : **Guide de la fertilisation (2005).**

- ✓ **1** : Cultures très sensibles : jeunes plantes de fougères, de broméliacées et d'archidées, semis, systèmes de culture en recyclage.
- ✓ **2** : Cultures sensibles : azalées, éricas, cymbidiums, fougères, primevères, boutures.
- ✓ **3** : Cultures moyennement sensibles : cyclamens, bégonias, arbustes en conteneurs, gerberas, frésias, rosiers, plants de légumes.
- ✓ **4** : Cultures peu sensibles : asparagus, chrysanthèmes, œillets, choux divers, plantes massifs, cultures de plein champ.

Annexe N°15

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

Classes Paramètres	Très bonne A1	Bonne B1	Moyenne 1	Mauvaise 3	Très mauvaise HC
CE à 20°C	≤400	400-750	750-1500	1500-3000	-
T°C	<20	20-22	22-25	25-30	-
pH	6,5-8,5	6,6-8,5	6-9	5,5-9,5	-
MES (mg/l)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30-70	-
R.S (mg/l)	≤500	500-1500	1500-2500	2500-3500	-
O ₂ (mg/l)	>7	5-7	3-5	<3	-
Oxydabilité (mg/l)	< 3	3-5	5-8	-	-
Sulfate (mg/l)	≤200	-	200-300	300-400	-
Chlorure (mg/l)	≤150	-	150-300	300-400	>400
Magnésium (mg/l)	≤50	50-75	75-100	100-400	>400
Calcium (mg/l)	≤160	160-230	230-300	300-500	-
Azote ammoniacal (mg/l)	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
Nitrate (mg/l)	≤5	5-25	25-50	50-80	>80
Nitrite (mg/l)	≤0,1	0,1-0,3	0,3-1	1-2	>2

Source : Agoun et Safer, (2007).

Annexe N°16

Tableau : Directives pour l'interprétation des qualités d'une eau d'irrigation et risques de toxicité par Cl^- et Na^+ .

Nature du problème	Degré restriction pour l'irrigation		
	Aucune	Légère à modérée	Forte
CE (ds/m)	<0,7	0,7-3	>3
SAR=0-3 et CE=	<0,7	0,7-0,2	<0,2
SAR=3-6 et CE=	<1,2	1,2-0,3	<0,3
SAR=6-12 et CE=	<1,9	1,9-0,5	<0,5
SAR=12-20 et CE=	<2,9	2,9-1,3	<1,3
SAR=20-40 et CE=	<5	5-2,9	<2,9
[Na] meq/l (irrigation de surface)	<3	3-9	>9
[Na] meq/l (irrigation par aspersion)	<3	>3	
[Cl] meq/l (irrigation de surface)	<4	4-10	>10
[Cl] meq/l (irrigation par aspersion)	<3	>3	
Bicarbonate	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH	Zone normale : 6,5-8,4		

Source : FAO (1985) in FAO (2003).

Annexe N°17

Tableau : Les pourcentages des cations et des anions.

N° de forage	% des cations				% des anions				
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	K^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{-2}	CO_3^-	HCO_3^-
Fn°1	58.69	38.88	1.21	1.21	46.66	0.061	12.32	0	40.93
Fn°2	53.50	40.76	4.78	0.96	14.82	0.09	7.84	18.53	58.68
Fn°3	99.09	0.33	0.17	0.41	76.53	2.19	1.93	0	19.35
Fn°4	45.15	54.18	0.08	0.56	99.64	0.36	0	0	0
Fn°5	52.04	47.09	0.04	0.87	17.94	0.03	8.13	0	73.88
Fn°6	51.70	46.26	0	2.04	21.69	0.85	0	0	77.46
Fn°7	85.86	12.57	0.21	1.36	21.58	0	2.88	0	75.54
Fn°8	56.86	42.03	0	1.11	46.97	0	10.63	0	42.40
Fn°9	57.07	42.02	0	0.91	41.59	0.09	11.03	0	47.26
Fn°10	54.21	44.93	0	0.85	36.06	0.04	13.52	0	50.37
Fn°11	68.20	30.09	0.20	1.50	35.03	0.30	17.33	0	47.34
Fn°12	62.40	36.13	0.59	0.88	66.81	0.27	4.86	0	28.06
Fn°13	67.32	31.36	0.60	0.71	66.76	0.50	7.71	0	25.03
Fn°14	53.1	45.23	0.64	1.03	65.12	0.85	3.17	0	30.86
Fn°15	48.07	50.16	0.68	1.1	75.79	0.18	4.57	0	19.47

Tableau : Classification de Stabler des eaux des forages de la région de Hammam Dalaa (Avril 2019).

N° de forage	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
	r % Cations	r % Anions	
Fn°1	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+ > K^+$	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Chlorurée calcique
Fn°2	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+ > K^+$	$HCO_3^- > CO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Bicarbonatée calcique
Fn°3	$Ca^{+2} > K^+ > Mg^{+2} > Na^+$	$Cl^- > HCO_3^- > NO_3^- > SO_4^{-2}$	Chlorurée calcique
Fn°4	$Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+ > Na^+$	$Cl^- > NO_3^- > SO_4^{-2} > HCO_3^-$	Chlorure magnésienne
Fn°5	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Bicarbonatée calcique
Fn°6	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$HCO_3^- > Cl^- > NO_3^- > SO_4^{-2}$	
Fn°7	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	
Fn°8	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Chlorurée calcique
Fn°9	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Bicarbonatée calcique
Fn°10	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	
Fn°11	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	
Fn°12	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Chlorurée calcique
Fn°13	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	
Fn°14	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	
Fn°15	$Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+ > Na^+$	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2} > NO_3^-$	Chlorurée magnésienne

ملخص

المساهمة في معرفة الخواص الفيزيائية والكيميائية لمياه الري في منطقة حمام الضلعة (المسيلة).

أجريت هذه الدراسة في منطقة حمام الضلعة خلال شهر افريل 2019، وهي تركز على الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الري (المياه الجوفية ل 15 بئر). وقد ابرزت الدراسة النتائج التالية:

-درجة الحموضة للعينات تشير الى ان المياه قاعدية بنسبة 26,67% ومياه معتدلة بنسبة 73,33%.

بنسبة 86.67 $\mu\text{s/cm}$ -يمثل خطر الملوحة نسبة 86.67% معتدل، وخطرا قويا يشمل 13.33% من الابار؛ ويمثل التوصيل الكهربائي الخفيف بين 700 و3000 بنسبة 13.33 % $\mu\text{s/cm}$ والتوصيل الكهربائي العالي أكبر من 3000

-بالنسبة لقيم S.A.R اقل من 3.

-وفقا لمخطط Richards تظهر مياه الري في الابار التي تمت دراستها في C2S1 ب 13.33%، C3S1 ب 46,67% و C4S1 ب 40%.

لذلك، لا تمثل المياه التي تم تحليلها أي خطر على الري خلال فترة الدراسة

الكلمات المفتاحية: الخصائص الفيزيائية والكيميائية، حمام الضلعة، مياه الري، المياه الجوفية.

Résumé

Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation de la région de Hammam Dalaa (M'sila).

Cette étude a été réalisée dans la région de Hammam Dalaa durant le mois d'Avril 2019, elle est basée sur la caractérisation des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation (eaux souterraines de 15 forages).

Notre travail a permis de ressortir les constatations suivantes :

- 26,67% des forages ont un caractère alcalin, cette légère alcalinité ne pose pas de problème de point de vue qualité des eaux destinées à l'irrigation, et 73,33% des forages neutres ;

-Concernant le risque de salinité, nos eaux représentent une restriction légère avec 86.67%, et une restriction forte comprenant 13.33% des forages.

-Le S.A.R marquent des valeurs inférieures à 3 ;

-Selon le diagramme de Richards, les eaux d'irrigation des forages étudiées appartiennent aux C2S1 à 13.33%, C3S1 à 46.67% et C4S1 à 40%.

Donc on ne peut juger que nos eaux analysées ne représentent aucun danger pour l'irrigation pendant la période d'étude.

Mots clés : caractéristiques physico-chimiques, Hammam Dalaa, eau d'irrigation, eau souterraine.

Abstract

The contribution to know the physical and chemical properties of water irrigation in Hamma Dalaa region (M'sila).

This study was conducted in the region of Hammam Dalaa during the month of April 2019. Our study is based on the study of the physical and chemical properties of water irrigation (in the case of groundwater of fifteen samples) .

The study has highlighted the following main findings:

-The PH of the samples of the analyzed waters indicates an alkaline character (26, 67%), and neuter character (73,33%);

-The risk of salinity represented a slight restriction with 86.67%, and a strong restriction including 13.33% of the drilling; and represents an electrical light conductivity between 700 and 3000 $\mu\text{s} / \text{cm}$ with 86.67% and high electrical conductivity greater than 3000 $\mu\text{s} / \text{cm}$ with 13.33%;

-For the S.A.R mark values lower than 3 ;

-According to the diagram of Richards the water irrigation of the studied drillings appear to the C2S1 to 13.33%, C3S1 to 46.67% and C4S1 to 40%.

Therefore, the analyzed waters do not represent any danger for irrigation during the study period.

Keywords: Physical and chemical characteristics; Hammam Dalaa, Irrigation water, Groundwater

