

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**Faculté Des Sciences
Départements Des Sciences Agronomiques
N° :.....**



**DOMAINE : Science De La Nature Et De La Vie
FILIERE : Science Agronomiques
OPTION : Sciences des sols**

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

Présenté par :

CHEBABHA Elamira

KHEBAL Rachida

Thème

**Contribution à la connaissance des propriétés
physico-chimiques des eaux d'irrigation dans la
zone d'Ouanougha (wilaya de M'Sila)**

Soutenu devant le jury suivant :

Mm MEZRAG F	Président	MCA Université de M'Sila
Melle TIR Ch	Encadreur	MAA Université de M'Sila
Mr CHERIEF A	Co-encadreur	MAA Université de M'Sila
Melle BEDDAL D	Examineur	MAA Université de M'Sila

Année universitaire : 2017-2018

Dédicace

C'est avec une immense joie et un grand honneur, joignant toute la chaleur de mon cœur que je dédie ce modeste travail :

*A mes chers parents **Mohamed** et **Noura**, pour leurs sacrifices qui m'ont tout donné et offert leur amour, encouragement, soutien, aide, durant toutes mes études.*

*A mes chers frères : **Boubeker**, **Abdelrahmane**, **salim** et **Imade***

*A mes adorables sœurs : **Sabrina**, **fatima** et **Randa** et sa enfant : **Nada**, **Dido**, **Ala elrahmane** et **salsabile***

*Et mon binôme **lamria** et toute sa famille.*

A tous mes amis(es) sans exception pour leur aide et encouragement :

***Faiza**, **Nawal**, **Mériem**, **Asma**, **Aicha** et **Lamisse**...*

*A **Abdou** et sa famille*

A tous mes collègues

Rachida

Dédicace

C'est avec une immense joie et un grand honneur, joignant toute la chaleur de mon cœur que je dédie ce modeste travail :

*A mes chers parents **Aïssa, Nouara et Omi Abasse Rokaya** pour leurs sacrifices qui m'ont tout donné et offert leur amour, encouragement, soutien, aide, durant toutes mes études.*

*A mes chers frères : **Abdelmaleke, Adel et Mohamed elkhalil,***

*A mes adorables sœurs : **Soad et Aida***

*Et mon binôme **Rachida** et toute sa famille.*

A tous mes amis(es) sans exception pour leur aide et encouragement :

Messouda, Rania et Khaira

A tous mes collègues

Lamria

Remerciement

Je tiens à remercier en premier lieu Dieu le tout puissant de m'avoir guidé durant toutes ces années et m'a permis de réaliser ce travail en me donnant la force, la patience et la volonté.

Au terme de ce mémoire nous tenant à remercier vivement et profondément notre promoteur

***Melle Tir Chafia** et co-promoteur **Mr CHERJEF** pour leur aide, disponibilité, encouragement tout au long de différentes étapes de l'élaboration de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent à la présidente du jury **Mm Mezrage fadhila**, ainsi que*

***Mm Beddale Dalila** pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nous remercions l'ensemble des Enseignants du département des Sciences Agronomiques de l'Université de M'sila qui ont contribué à notre formation.

Ainsi que tout le personnel du laboratoire d'agronomie

Je remercie toutes les personnes qui nous ont soutenues dans la réalisation de ce travail



Sommaire

Liste des Abréviations

Listes des Tableaux

Listes des Figures

Listes des Annexes

Table de matières

Introduction générale.....	01
Première partie : Recherche bibliographique sur les eaux d'irrigation et leurs caractéristiques	
1. Introduction.....	03
2. Définition, avantages et inconvénients de l'irrigation.....	03
2.1. Définition de l'irrigation.....	03
2.2. Les avantages de l'irrigation.....	03
2.3. Les inconvénients de l'irrigation.....	04
3. Les ressources d'eau en Algérie.....	04
3.1. Les ressources en eau de surface	04
3.2. Les ressources en eau souterraine	05
4. L'irrigation en Algérie.....	05
5. Propriétés des eaux d'irrigation.....	06
5.1. Paramètres physiques.....	06
5.1.1. La conductivité électrique(CE).....	06
5.1.2. La température.....	06
5.1.3. Le débit.....	07
5.1.4. Le pH	07
5.1.5. La Dureté.....	07

5.1.6. Détermination de la densité de l'eau.....	07
5.1.7. Oxygène dissous.....	07
5.1.8. oxygène DBO, DCO et oxydabilité.....	07
5.1.9. Résidu sec.....	08
5.2. Paramètres chimiques.....	08
5.2.1. Les cations.....	08
5.2.1.1. Calcium et magnésium.....	08
5.2.1.2. Le sodium.....	08
5.2.1.3. Le potassium.....	09
5.2.1.4. Les matières Azotées	09
5.2.1.5. Matières en suspension(MES).....	09
5.2.2. Les anions.....	09
5.2.2.1. Les chlorure.....	09
5.2.2.2. Les sulfates.....	10
5.2.2.3. Les carbonates et les bicarbonates.....	10
5.2.2.4. Les nitrates.....	10
6. Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation.....	10
6.1. La salinité.....	10
6.2. Toxicité.....	11
6.3. Risques liés à la composition ionique des eaux d'irrigation.....	11
6.3.1. Risques liés au sodium.....	11
6.3.2. Risques liés aux bicarbonates.....	12
6.3.3. Risques liés aux chlorures.....	12

6.3.4. Risques liés au bore.....	12
6.3.5. Risque de colmatage des réseaux d'irrigation.....	12
7. Classification de l'eau d'irrigation	13
7.1. Classification basée sur la salinite.....	13
7.2. Classification basé sur la conductivité électriques(CE).....	14
7.3. Classification des eaux d'irrigation en fonction de l'alcalinité.....	15
7.4. Classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, calcium et du magnésium.....	15
7.5. Classification des eaux par méthode de Wilcox.....	15
7.6. Classification des eaux d'irrigation en Afrique du Nord selon DURAND.....	16
8. Conclusion.....	16

Deuxième partie : Matériels et méthodes d'étude

Chapitr1 : Etude de milieu physique

1.1. Présentation de la zone d'étude.....	17
1.2. Répartition de la superficie totale de la commune d'Ouanougha.....	18
1.3. Population et ressources humaines.....	19
1.4. Le relief.....	19
1.5. Contexte climatologique de la région du Ouanougha	19
1.5.1 facteurs climatiques de la région d'Ouanougha.....	19
A. Précipitation.....	20
B. Température.....	21
C. Vent.....	21
D. Humidité Relative.....	22

1.6. Calcule de l'ETP suivant la formule de C.W.THORNTHWAITE.....	23
1.7. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	24
1.8. Classification climatique.....	24
1.8.1. Etude de climat de la zone d'Ouanougha.....	24
a. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnoles.....	24
b. Climagramme D'EMBERGER.....	25
c. Indice d'Aridité de D.Martonne.....	27
d. Méthode de THORNTHWAITE.....	28
d.1. Bilan hydrique.....	29
1.9. Hydrologie.....	30
1.9.1. Les ressources eaux de la zone d'Ouanougha.....	30
A. Eaux surface.....	30
B. Eaux souterraines.....	30
1.10. Géologie de la zone d'étude.....	31
1.11. Conclusion.....	32

Deuxième partie : Milieu physique et méthodes d'étude

Chapitre 2 : Méthodes d'étude

2.1. Introduction.....	34
2.2. Choix de la région d'étude.....	34
2.3. Echantillonnage.....	35
2.3.1. Techniques d'échantillonnage et conservation	35
2.4. Méthodes d'analyse	36
a. La température (°C)	37
b. Potentiel hydrogène (pH).....	37
c. La conductivité électrique (CE).....	37
d. Détermination du résidu sec (RS).....	37
e. Alcalinité (TA, TAC)	38

f.	Dosage de carbonates et bicarbonates.....	38
g.	Détermination des chlorures(Cl-).....	39
h.	Sulfates (SO ₄ ⁻)	40
i.	Nitrate (NO ₃ ⁻)	40
j.	Dosage des ions nitrites(NO ₂ ⁻)	41
k.	Dosage du calcium (Ca ²⁺)	41
l.	Magnésium (Mg ²⁺)	42
m.	Détermination de la dureté totale (T.H)	42
n.	Sodium et du potassium.....	43

Troisième partie 03 : Résultats et discussions

1.	Introduction.....	45
2.	Caracteristiques physico-chimique des eaux d'irrigation des forages de la zone d'Ouanougha.....	45
2.1.	Température (T°)	47
2.2.	Le pH.....	47
2.3.	La conductivité électrique.....	48
2.4.	Les anions.....	49
2.4.1.	Chlorures.....	49
2.4.2.	Les sulfates.....	50
2.4.3	Nitrite et les Nitrates.....	51
2.4.4.	Carbonate et les bicarbonates.....	52
2.5.	Les cations.....	54
2.5.1.	Calcium.....	54
2.5.2.	Magnésium.....	54
2.5.3.	Sodium.....	55
2.5.4.	Potassium.....	56
2.6.	La dureté totale (T.H)	57
2.7.	Résidu sec (R.S)	57

3. Classification des eaux d'irrigation de la zone de Ouanougha.....	58
3.1. Indice d'échange de base (i.e. b)	58
3.2. Les faciès chimiques.....	59
3.2.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux étudiée (Ouanougha).....	59
3.2.1.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux analysées sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	59
3.2.1.2. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux analysées sur le diagramme de Piper.....	65
3.3. Classification des eaux des forages analysées selon le diagramme de Richards.....	67
3.4. Classification des eaux des forages analysées selon le diagramme de Wilcox.....	70
3.5. Conclusion.....	72

Conclusion générale

Référence bibliographique

Annexe

Liste des tableaux

Tableau 01 : Répartition spatiale des eaux de surface de l'Algérie.....	4
Tableau 02 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord d'Algérie.....	5
Tableau 03 : Répartition des superficies irriguées selon la spéculation.....	6
Tableau 04 : Les échelles de valeur fréquemment rencontrées pour Oxygène, DBO, DCO et Oxydabilité.....	8
Tableau 05 : Tolérance des cultures au Sodium.....	12
Tableau 06 : Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différent sources.....	14
Tableau 07 : Répartition de la superficie totale de la zone d'étude (DSA ,2016 et 2017)	18
Tableau 08 : Répartition de la superficie irrigue de la zone d'étude (DSA, 2016-2017).....	18
Tableau 09 : La population dans les monts des Ouanougha.....	19
Tableau 10 : Calcul de l'ETP de la station d'Ouanougha selon C.W.Thornthwaite).....	24
Tableau 11 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de De Martone..	27
Tableau 12 : Bilan hydrique de la station Ouanougha (méthode de Thornthwaite).....	29
Tableau 13 : Caractéristique des forages du Ouanougha (S1, S2, S3,S8).....	35
Tableau 14 : Conditions de conservation de prélèvement d'eau à analyser.....	36
Tableau 15 : Résultats des paramètres sur terrain.....	45
Tableau 16 : Résultats d'analyse des paramètres mesurés au laboratoire	46
Tableau 17 : Résultat d'indice d'échange de base (i.e.b) des eaux de forage de la zone d'étude	59
Tableau 18 : Faciès chimique de eaux des forages analysés selon Schoeller-Berkaliff.....	60
Tableau 19 : L'agressive et l'incrustante.....	65
Tableau 20 : Classification des eaux souterraine analysée selon Piper.....	65
Tableau 21 : Résultats obtenus après utilisation, du diagramme de Richards.....	68
Tableau 22 : Résultats trouvés par l'utilisation du diagramme de Wilcox.....	70

Liste des figures

Figure 01 : Localisation de la commune Ouanougha (par rapport à la wilaya de M'sila) (Google, 2017)	17
Figure 02 : Carte pluviométrique de la zone de Hodna (tout en précisant la zone d'Ouanougha)	20
Figure 03 : Précipitation moyenne mensuelle au (mm) de la région Ouanougha (1988-2017) (après extrapolation des données)	21
Figure 04 : Température Moyennes de Ouanougha en 1988-2017.....	22
Figure 05 : Variations des vitesses moyennes mensuelles de vent en (m/s) de la région d'Ouanougha durant la période (1988-2017)	22
Figure 06 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région d'Ouanougha durant la période 1988-2017.....	23
Figure07 : Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gausse d'Ouanougha.....	25
Figure 08 : Climagramme d'EMBRGER avec représentation de la zone d'étude....	26
Figure 09 :Diagramme de D. MARTONNE avec représentation de la zone d'étude.	28
Figure 10 : Bilan hydrique de la station Ouanougha selon Thornthwaite.....	29
Figure 11 : Carte géologique du Hodna (avec précision des formations de la région d'Ouanougha)	32
Figure 12 : Localisation des stations prospectées (et de prélèvement) au niveau de la zone d'Ouanougha	34
Figure 13 : Variation de la température des eaux des forage analysées de la zone d'Ouanougha (Avril 2018)	47
Figure 14 : Variation du pH des eaux de la zone d'Ouanougha (Avril 2018)	48
Figure 15 : Variation de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude (Avril 2018)	49
Figure 16 : Variation des concentrations en Chlorure des eaux de la région d'étude (Avril 2018)	50
Figure 17 : Variation des sulfates des eaux de la région d'étude (Avril 2018)	51
Figure 18 : Variation des nitrates dans les eaux de la zone d'Ouanougha (Avril 2018).....	52
Figure 19 : Variation des nitrites dans les eaux des forages analysés d'Ouanougha (Avril 2018)	52

Figure 20 : Variation des concentrations des carbonates des eaux de la région d'étude (Avril 2018)	53
Figure 21 : Variation des concentrations des bicarbonates dans les eaux de la région d'étude (Avril 2018)	53
Figure 22 : Variation des concentrations en calcium des eaux de la région d'Ouanougha (Avril 2018).....	54
Figure 23 : Variation des concentrations du magnésium des eaux de la région d'Ouanougha (Avril 2018).....	55
Figure 24 : Variation du sodium pour les eaux de la région d'Ouanougha (Avril 2018)	56
Figure 25 : Variation des concentrations en potassium des eaux de la région d'étude (Avril 2018).....	56
Figure 26 : Variation de la dureté totale des eaux de la zone d'Ouanougha.....	57
Figure 27 : Variation du Résidu sec des eaux des forages analysés de la région d'étude (Avril 2018).....	58
Figure 28 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F1 et F2 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	61
Figure 29 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F3 et F4 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	62
Figure 30 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F5 et F6 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	63
Figure 31 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F7 et F8 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	64
Figure 32 : Classification des eaux d'irrigation des forages F1 –F2 – F3 – F4 d'Ouanougha Selon le diagramme de Piper.....	66
Figure 33 : Classification des eaux d'irrigation de F5 –F6 – F7 – F8 (Ouanougha) Selon le diagramme de Piper.....	67
Figure 34 : Classification des eaux d'irrigation d'Ouanougha selon le diagramme de Richards.....	69
Figure 35 : Classification des eaux d'irrigation de la région d'Ouanougha selon Diagramme de Wilcox.....	71

Liste d'abréviations

A. N.R.H.: Agence Nationale des Ressources Hydriques

AgNO₃: Nitrate d'Argent

B : Bore

CAS : Coefficient d'absorption du Sodium

Cl⁻ : Chlorure

CNES : Centre Nationale d'Etudes Spatiales

CE : Conductivité électrique

DSA : Direction des Services Agricoles

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

EDTA : Ethylène Diamine Tetraacetic Acide

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

FAO : Food Agriculture Organisation

°F : Degré français

F : Forage

GPI : Grands Périmètres d'Irrigation

H : Humidité relative

HCO₃⁻ : Bicarbonate

H% : Taux d'humidité

Ha : Hectare

HS : Hydrogène sulfaté l'hydrogène sulfaté (HS)

HT : Dureté total

I : Indice d'aridité de Martonne

i.e.b : Indice d'échange de base

$KMnO_4$: Permanganate de Potassium

K^+ : Potassium

MES : Matière en suspension

Mg^{++} : Magnesium

MDT : Matières dissoutes totales

mS : MiliSiemence

MDT : Matière Dissous Totale

$\mu mhos/cm$: Micromohs par centimètre

meq/l: milli équivalent par litre

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rurale

mmhos/cm : milli-mohos par centimètre

NTK : Azote total

NO_2^- : Nitrite

NO_3^- : Nitrate

Na^+ : Soduim

OMS : Organisation mondiale de la santé

PP : Poids Plain de la capsule

PMH : Petite et Moyens Périmètres

PV : Poids à Vide de la capsule

P : Précipitation (mm)

pH : Potentiel hydrogène

Q : quotient pluviothermique

RFU : Réserve Facilement Utilisable

Rs : Résidus secs

R.O.R: Rapport d'orientation, Règlement

S : Station

So₄⁻²: Sulfate

SAR : Taux du sodium en solution

SAU : Surface Agricole Utile

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

T : Température(°C)

T moy : Température moyenne

Tu : Turbidité

Vm : Vitesse moyenne de vent

Introduction générale

Introduction générale

En Algérie, la zone aride présente près de 95% du territoire nationale dont 80% dans le domaine hyper aride (**Halitim, 1988**).

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 améliorer la production afin d'assurer les besoins alimentaires d'une population de plus en plus importante.

Selon l'**AFO (2001)**, 35 à 40 % de la nourriture produite au monde provient des 15 % des terres arables cultivées en irrigué. La croissance projetée de la population mondiale pendant les 30 prochaines années exigera une augmentation d'au moins 20 % de la production agricole dans les pays développés et 60% dans les pays en voie de développement pour maintenir les niveaux actuels de consommation alimentaire.

Ainsi, les ressources hydriques sont soumises à plusieurs contraintes, la rareté et l'irrégularité temporelle, la mauvaise répartition spatiale et la grande vulnérabilité à la sécheresse.

Toutefois, la sécheresse des années successives accompagnant la rareté et l'irrégularité des apports annuels aussi bien en eaux superficielles qu'en souterraines retardent le développement et posent un sérieux problème de gestion de ces ressources.

Ajoutant aussi que, la pratique de l'irrigation même avec une eau faiblement salée, mais dans la répétition des rapports, sans lessivage et drainage, peut entraîner, par concentration sous l'effet de l'évaporation ; une salinisation progressive du milieu (**Cherbuy, 1991**).

M'Sila, est une zone semi-aride à aride du centre du pays. Cette région réputée d'être une zone pastorale ou l'agriculture était une activité secondaire. Mais avec l'accroissement démographique cette activité ou ce secteur (agricole) commence d'avoir de plus en plus d'attention

Notre présent travail s'inscrit dans une perspective d'évaluer la qualité physique et chimique des eaux souterraine destinées en irrigation dans la zone Ouanougha.

Pour bien mener à nos objectifs souhaités, la présente étude est subdivisée ou organisée en trois parties :

La première, c'est basé sur une recherche ou synthèse bibliographie concernant l'eau d'irrigation et sa qualité.

La deuxième, est concerné à la représentation détaillée du milieu physique d'étude, ainsi que les méthodes d'analyses utilisées sur terrain et au laboratoire.

La troisième, consacrée à la détermination et l'exposition des résultats trouvées pour les eaux des stations étudiées.

Et en fin, une conclusion récapitulative.

Première partie

*Recherche bibliographique sur les eaux
d'irrigation et
leurs caractéristiques*

Première partie : Recherche bibliographique sur les eaux d'irrigation et leurs caractéristiques

1. Introduction

L'eau constitue à la fois un élément essentiel et un facteur stratégique à l'aménagement du territoire ; sa disponibilité conditionne de manière déterminante la répartition des populations, de l'urbanisation et des activités économiques.

L'irrigation a permis de contribuer substantiellement à satisfaire les besoins alimentaires croissants de la population, d'une part, et de promouvoir un développement économique et social autour des périmètres irrigués, d'autre part. En zone aride et semi-aride, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants de l'expansion de la production agricole, tant dans le sens de l'intensification des cultures, que de l'extension des surfaces irriguées (**Achit et al, 2003**).

Conduisant parfois à la baisse de leur qualité en matière de fertilité, de productivité et de qualité environnementale mettant en jeu ainsi la durabilité de la ressource.

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau et le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce que l'on appelle irrigation (**Yelle, 2003**).

2. Définition, avantages et inconvénients de l'irrigation

2.1. Définition l'irrigation

Selon **El- Asslouj et al, (2007)**, l'irrigation est une opération à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe en particulier dans les zones arides et semis -arides.

2.2. Les avantages de l'irrigation

Selon **Plauchu, (2004)**, l'irrigation augmente les rendements et les régularise dans bien des régions du monde.

Elle n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration

du niveau de vie de l'agriculteur, mais aussi se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie.

2.3. Les inconvénients de l'irrigation

Selon **Bouaroudj, (2011)**, l'irrigation est une grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions, elle absorbe plus 85% de l'eau maîtrisée par l'homme. L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout : (le sodium, le calcium et le magnésium).

Il y a d'autres inconvénients aussi bien sur le sol (destruction de structure, diminution de la stabilité structurale ...) que sur les végétaux.

3. Les ressources d'eau en Algérie

Le pays est divisé en cinq grands bassins hydrographiques regroupant les 17 bassins versants. 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 et eaux souterraines) (**ANRH, 2003**).

3.1. Les ressources en eau de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit des eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares)

D'après **CNES, (2000)**, la répartition des eaux de surface en Algérie est résumée dans le tableau n°1.

Tableau n°01 : Répartition spatiale des eaux de surface de l'Algérie.

Bassin Hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chéllif Zahrez	Algérois Soumam Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	Sahara	Total
Ressources potentielles (Hm³/an)	1025	1840	4380	4500	600	12345
Pourcentages (%)	8.30	14.90	35.48	36.45	4.86	99.99

Source : CNES, 2000

3.2. Les ressources en eau souterraine

On entend par « eau souterraine », l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (**Myrand, 2008**).

Le niveau de l'eau souterraine, au-dessous duquel les roches ou sédiments sont saturés, est appelé nappe phréatique. On trouve aussi de l'eau au-dessus de la nappe phréatique, dans la zone non saturée, par exemple sous forme d'eau du sol, mais cette eau n'est normalement pas exploitée par l'homme et on ne pas la considérée comme une eau souterraine.

Au nord d'Alger, les eaux souterraines sont réparties comme montre au tableau n°2.

Tableau n° 02 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord de l'Algérie.

Bassin Hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chellif Zahrez	Algérois Soumam Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	Total
Ressources potentielle (Hm³/an)	375	231	745	28.9	1379.9
Pourcentages (%)	27.17	16.74	54	2.09	100

Source : CNES, 2000

4. L'irrigation en Algérie

Selon les recherches de **Messahel et al, (2003)**, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 420.000 ha dont 100000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.666.715 ha soit près de 5% de la surface agricole utile (SAU).

Les 320.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 4,6% de la SAU) (**Benblidia, 2011**).

En Algérie, les zones irriguées sont classées en :

1. Grands périmètres d'irrigation (GPI), infrastructure moderne d'irrigation, desservis essentiellement par de grands barrages, de taille supérieure à 3000 ha environ.
2. Petite et moyens hydraulique (PMH) d'irrigation, s'étendant entre la centaine et quelques milliers d'ha, avec des réseaux modernes ou traditionnels d'irrigation, desservis à partir de petits barrages, dérivations d'oueds ou des forages.

3. Les secteurs d'irrigation individuelle, desservis à partir de puits, de sources ou par épandage de crue.

La répartition des superficies irriguées selon la spéculation est résumée tableau n°3

Tableau n°03 : Répartition des superficies irriguées selon la spéculation

Spéculations	Superficie en Ha 1999-2000	Superficie en Ha 2000-2002
Céréales	60240	72470
Cultures fruitières	179430	189900
Cultures maraichère	193380	198710
Cultures industrielles	25510	23980
Vignes	3220	5750
Divers	27310	21890
Totale	489090	512700

Source : MADR, 2003

5. Propriétés des eaux d'irrigation

La qualité des eaux d'irrigation peut-être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants :

5.1. Paramètres physiques

Il s'agit de, (la conductivité électrique (CE), la température, le débit, le pH, la dureté, détermination de la densité de l'eau, oxygène dissous, oxygène DBO, DCO et oxydabilité et résidu sec).

5.1.1. La conductivité électrique

Selon **Bouaroudj, (2011)**, cette mesure est très importante car elle donne directement une estimation de la minéralisation totale de l'eau.

La conductivité électrique est naturellement également influencée par le pH, la valence des ions et leur degré d'ionisation.

5.1.2. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précipitation. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. La température des eaux superficielle est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (**Becissa, 2011**).

5.1.3. Le débit

D'après **Ladjel, (2009)**, 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 >>.

5.1.4. Le pH

Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés, des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac (**Bouarudj, 2011**).

5.1.5. La Dureté

Dans une eau, la dureté (TH) représente la somme des actions alcalino-terreux. Étant donné que le strontium et le baryum sont souvent présents dans l'eau sous forme de traces, la dureté totale se réduit à sa concentration en ions calcium et magnésium (**Derwich et al, 2010**).

5.1.6. Détermination de la densité de l'eau

Selon **Rodier et al, 1996 et Mohand, (2001)**, la masse spécifique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Par définition, celle de l'eau 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 la même condition.

5.1.7. Oxygène dissous

Selon **Le Impecs et al, (2002)**, 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 (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau (la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'altitude augmentent).

5.1.8. Oxygène, DBO, DCO et oxydabilité

Selon **Laos, 1995 in Zerouak, (2014)**, la 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 communément utilisés sont 5 jours (on peut donc avoir une dégradation partielle) à l'abri de la lumière et de l'air (on parle alors de DBO).

Tableau n° 04 : Les échelles de valeur fréquemment rencontrées pour Oxygène, DBO, DCO et oxydabilité

Situation	<i>DBO₅</i> (mg /d'O ₂)
Eau naturelle pure et vive	<1
Rivière légèrement polluée	1 < Concentration < 3
Egout	100 < Concentration <400
Rejet station d'épuration	20 < Concentration <40

Source : (Laos, 1995 in Zerouak, 2014)

5.1.9. Résidu sec

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

Exprimés comme suite :

$$RS = (PP - PV) \times 10 \times 100$$

→ PP : Poids plein de capsule
→ PV : Poids vide de la capsule

5.2. Paramètres chimiques

La qualité de l'eau peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire. D'après (Baza, 2006; Abdellaoui et Ben Chenit, 2012)

L'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée. Le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne. Cette cohésion est due à des forces interatomiques (liaisons chimiques fortes, covalentes, électrovalences ou ioniques) et intermoléculaires (liaisons de cohésion entre molécules, du type liaisons hydrogène et liaisons de Van Der Waal). La solubilité des gaz, des liquides et des solides est principale cause de pollution des eaux.

5.2.1. Les cations

5.2.1.1. Calcium et magnésium

Le calcium Ca²⁺ et le magnésium Mg²⁺ sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentantes dans la plupart des eaux (Guillemin et Roux, 1992).

5.2.1.2. Le sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le sodium est considéré comme un des facteurs importants de la qualité

de l'eau, notamment en raison de son action sur le sol. Il exerce ses principaux effets sur le sol, puis un effet secondaire sur la croissance des végétaux, imputable à la dégradation des conditions physiques du sol (**Berthomie et al, 2003**).

L'étude des terrains salés a montré qu'il existait une relation entre le taux de sodium échangeable d'un sol en équilibre avec sa solution saline et celui de cette solution (**Aubert, 1976**).

5.2.1.3. Potassium

Minéral blanc argenté, alcalin, radioactif, très réactif à l'eau, se trouve dans la nature sous la forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite (très minéralisée en contact avec certaines évaporites) et se trouve également dans les centres des Végétaux sous forme de carbonate; le potassium provient de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'Azote, potasse et Phosphore) retrouvés dans les eaux usées agricoles (**Mebarkia, 2001**).

5.2.1.4. Les matières Azotées

Selon **Deronzier et al, (2012)**, les formes l'azote sont l'azote total (NTK), les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-). En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation.

5.2.1.5. Matières en suspension (MES)

C'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau. Les MES sont responsable d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution de l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton (**Gomelle et Guerree, 1978**).

5.2.2. Les anions

5.2.2.1. Chlorures

Les ions chlorure réagissent avec les ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble précipitation quantitativement. Durent le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5, afin de permettre la précipitation (**Ladjel, 2009**).

L'ion Cl^- est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (ou le Cl^- est très présent). Ainsi que le phénomène d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible (**Bremond et al, 1973**).

5.2.2.2. Les sulfate

D'après **Hceflcd, (2004)**, les sulfates (SO_4^{-2}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries. Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfaté (HS) toxique en sulfatés.

5.2.2.3. Les bicarbonate (HCO_3^-) et les carbonates

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

5.2.2.4. Les nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et ils se trouvent naturellement dans les eaux de surface ainsi que dans les eaux souterraines (**Rejsek, 2002**)

6. Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation

6.1. La salinité

Les sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de : (Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Chlorure, Sulfate, Bicarbonate).

D'après **Yelle, (2003)**, une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en milli siemens/centimètre (m S /cm). L'ancien nom de cette unité est mhos. Un mmhos /cm est l'équivalent de m S/cm qui est l'équivalent de 1 de siemens par mètre (d S/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (**Yelle, 2003**).

D'après **Abdelhafidi, (2005)**, la salinité provoque une augmentation de la pression osmotique des solutions du sol empêchant l'absorption racinaire. En effet, les plantes absorbent l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de solution du sol.

Solen **Abdelhafidi, (2005)**, les expériences ont montré qu'il existe cinq (05) groupes en fonction de leur sensibilité à la salinité.

-Plantes très sensibles : haricots

-Plantes sensibles : poirier, pommier, vigne, cerisier, tabac, fraisier, maïs.

-Plantes moyennement sensibles : tournesol, pois, soja, patate douce, agrumes, abricotier, amandier.

-Plantes résistants : asperges, épinards, cotonniers, riz, radis, orge, tomate.

-Plantes très résistants : palmier dattier, triplex.

6.2. La toxicité

Les problèmes de toxicité sur viennent lorsque certaine constitution du sol ou de l'eau sont assimilés par les plantes et s'accumulent pour atteindre des concentrations préjudiciables aux récoltes et aux rendements, la brûlure des feuilles constitue en général le premier symptôme. Le chlorure, le sodium et le bore constituent les principaux ions, les problèmes de toxicité peuvent survenir même lorsque ces ions présentent une faible concentration.

Selon **Abdelhafidi, (2005)**, la toxicité peut ainsi se produire en irrigation par aspersion à partir d'une absorption directe par les feuilles des ions toxiques.

6.3. Risques liés à la composition ionique des eaux d'irrigation

6.3.1. Risques liés au sodium

Selon **Abdelhafidi, 2005 et Benarfa, (2005)**, la toxicité due au sodium n'est pas aussi facilement identifiable que celle relative au chlore, mais certains cas ont permis de mettre en évidence très clairement des concentrations excessives de sodium dans l'eau (Na ou SAR élevé).

Selon **Abdelhafidi, 2005 et Berkani et al, (2005)**, les symptômes caractéristiques sont la brûlure foliaire, et la nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Une teneur en sodium dans le tissu foliaire supérieur à 0.25 – 0.50% (sur la base du poids sec) est souvent en arboriculture d'une toxicité par le sodium.

D'autre problèmes, pour les récoltes, provoquées par un excès de Na, sont la formation de lit de croute de graines, une saturation temporaire la surface du sol, un pH élevé et une possibilité accru de présence de maladies, des herbes, d'érosion des sols, de manque d'oxygène et de disponibilité nutritive insatisfaisante (tableau 05).

L'eau recyclée peut être une source d'excès en Na dans le sol par rapport à d'autre cations (Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) et donc elle devrait être convenablement contrôlée.

Tableau n° 05 : Tolérance des cultures au Sodium

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

Sources : Extrait à partir des directives australiennes de qualité de l'eau pour les eaux fraîches et marines (ANZECC, 2005)

6.3.2. Risques liés aux bicarbonates

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

On considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieur à 2,5 méq/L. Par contre, si la concentration est en dessous de 1,25 méq/L, l'eau est probablement sécuritaire (**Nancy, 1997**).

6.3.3. Risques liés aux chlorures

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, cet élément (chlorure) contribue à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels. Heureusement, les sels de chlorure sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien (**Nancy, 1997**).

6.3.4. Risques liés au bore

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

6.3.5. Risques de colmatage des réseaux d'irrigation

Le colmatage d'un réseau d'irrigation est le bouchage d'eaux de précipitation des sels minéraux de l'eau d'irrigation, ce bouchage n'apparaît pas brutalement mais au cours des

compagnes d'irrigation. Ces précipités sont dans la plupart du temps du carbonate de calcium.

D'après **Chaussat, (2005)**, la mise à l'aire libre des eaux riches en gaz carbonique et en calcium provoque au niveau des sorties des distributeurs le dégazage du CO₂ et le dépôt localisé de CaCO₂ (c'est le même phénomène qui se produit dans les sources dites pétifiantes). On trouve également des précipités de fer sous forme ferrique (de couleur brune rouge) et rarement des précipités de sulfates.

7. Classification de l'eau d'irrigation

Selon **Berkani et Benarfa, (2005)**, tous les eaux naturelles utilisées pour l'irrigation contiennent des sels minéraux en solution, provenant des roches ou des matières solides à travers les quelles sont filtrées. Les matières dissoutes les plus communes sont les chlorures, les sulfates, les bicarbonates de (Ca^{++} et Mg^{++}) et de Na^+ . La concentration de ces éléments détermine l'aptitude de ces eaux à irrigation. Les caractéristiques chimiques qui conditionnent le choix de la qualité des eaux d'irrigation sont : la teneur totale en sels, la composition ionique et la présence d'oligo-éléments. C'est ainsi qu'on trouve plusieurs classifications des eaux d'irrigation dont on peut citer :

7.1. Classification basée sur la salinité

Les schémas de classification qui ont essayé de définir le danger de salinité pour une eau d'irrigation donnée sont tous basés sur de larges généralisations concernant la croissance des cultures, le climat, l'aménagement de l'irrigation, les propriétés du sol, etc (**Anonyme, 1978**). Des exemples typiques de classification suggérées par différents auteurs sont présentés dans le tableau suivant (tableau 06)

Tableau n° 06 : Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différentes sources

	Classe de salinité				
	C1	C2	C3	C4	C5
US Salinity Laboratory de Riverside 1954 CE ds/m	0.1 à 0.25	0.25	0.75	> 2.25 à 2.5	/
Thorn and Peterson 1954 CE ds/m	<0.25	0.25 à 0.75	0.75 à 2.25	2.25 à 4.0	4.0 à 6.0
Carter 1969 CE ds/m	< 0.4	0.4 à 0.75	1.2 à 2.25	3.0 > 4.0	/
Ayers and Westcot 1976 CE ds/m	< 0.75	0.75 à 1.2	1.5 à 2.25	2.25 à 2.5	/

Sources:(Anonyme, 1978)

- **C1:** satisfaisante pour toutes les cultures excepté les cultures très sensibles
- **C2:** généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles soient affectées
- **C3:** satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats
- **C4:** normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées les lessivages et les drainages sont impératifs (**Anonyme, 1978**).

7.2. Classification basée sur la conductivité électrique (CE)

- CE 25°C < 250 µmhos /cm; eaux salines.
- 250 < CE 25°C < 570 µmhos/cm eaux à salinité moyenne.
- 570 < CE 25°C < 2250 µmhos/cm; eaux fort salinité.
- 2250 < CE 25°C < 5000 µmhos/cm; eaux à très fort salinité.
- A salinité excessive 5000 < CE 25°C < 20 000 µmhos /cm eaux.

La limite des 20 000 µmhos/cm a été retenue en tenant compte de la tolérance du palmier dattier et de la concentration que subit l'eau d'irrigation dans le sable en climat aride. Les eaux dont la CE (à 25° C) dépasse 20 000 µmhos /cm sont inutilisables pour l'irrigation pour l'irrigation. En effet, la qualité d'une eau d'irrigation ne peut être établie qu'en fonction du sol irrigué et la culture à cultiver à pratiquer (**Durand, 1984**).

7.3. Classification des eaux d'irrigation en fonction de l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates, de Carbonates et d'hydroxydes. La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux Ph 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (Rodier et al, 2005).

7.4. Classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, calcium et du magnésium

Parmi les sels dissous dans l'eau, le sodium (Na^+) requiert plus d'attention. De hautes concentrations en sodium peuvent être dommageables pour les cultures en modifiant les conditions physiques du sol.

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

Le sodium agit au niveau de la défloculation du sol argileux ce qui entraîne une diminution de la macro – porosité (air) et du taux d'infiltration de l'eau. Cette action sur la structure du sol est particulièrement néfaste pour les cultures.

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

- Classe S1 SAR de 10 et moins bas taux de sodium
- Classe S2 SAR de 10,1 à 18 taux moyen de sodium
- Classe S3 SAR de 18,1 à 26 haut taux de sodium
- Classe S4 SAR au-dessus de 26,1 très haut taux de sodium

7.5. Classification des eaux par la méthode de wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de wilcox fondée sur la conductivité électrique et teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation. Le $\text{Na}^+\%$ est défini par la relation :

$$\text{Na}^+\% = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \times 100$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l (Aggouni et al 2012).

7.6. Classification des eaux d'irrigation en Afrique du Nord selon DURAND

Proposée une classification pour l'Afrique du Nord ; basée sur la limite supérieure tolérée de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation exprimée en mmhos/Cm pour trois groupes de la végétation et cinq groupes de sol, en supposant que les conditions d'irrigation et de drainage est bonne.

Cette description montre que cette classification se fonde non seulement sur la teneur en sel de l'eau d'irrigation, mais également sur d'autres facteurs qui conditionnent les possibilités d'utilisation ; tel que le sol et les cultures. Il existe une autre classification ; c'est celle proposée par le salinity laboratory des Etats –Unis (**Berkani et Richards**).

8. Conclusion

L'irrigation est pour l'agriculture un facteur de production dont les coûts monétaires doivent être compensés par un accroissement de la valeur de la production et se traduire pour l'exploitation par une augmentation de la marge nette (**Rapport CGGREF – Irrigation durable, Février 2005**).

Cette partie a porté sur plusieurs des informations concernant la détermination et la présentation générale et parfois détaillée des caractéristiques et propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux d'irrigation, les méthodes de classement ainsi que leur qualité ; comme étape primordiale pour la caractérisation des eaux d'irrigation de notre zone étudiée (Ouanougha).

Deuxième partie

Matériels et méthode d'étude

Chapitre 1
Etude du milieu physique

Deuxième partie : Matériels et méthode d'étude

Chapitre 1 : Etude du milieu physique

1.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de M'sila avec une superficie de 18.175 Km² est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, elle fait partie de la région du houât plateaux. Elle est comprise géographiquement entre les parallèles 34° 10' et 36° de latitude Nord et entre les méridiens de longitude 3°20' et 5°20' à l'Est de GREENWICH (DSA, 2011).

Elle est limitée au Nord par la wilaya de Bouira, Bordj Bou arreridj et Sétif, à l'Est par Batna et Biskra, au Sud par Biskra, Djelfa et Médéa et à l'ouest par les wilayat de Djelfa et Médéa.

D'après DSA, (2011), administrativement la wilaya est comprimée de 15 daïras et de 47 communes, que la commune de Ouanougha étudiée fait partie.

La commune de Ouanougha, dans ces limites actuelles (figure n°1) se trouve dans une position de retrait dans la partie Nord de sa Daïra et de sa wilaya, et compte une superficie de 16720 hectares pour une population totale de 16545 habitants. Elle compte trois (03) principales agglomérations y compris le chef-lieu (A.C.L) (voir figure n°1)

- ✚ Melouza A.C.L
- ✚ El mekmene A/ S
- ✚ Ahl – El –Oued A/S

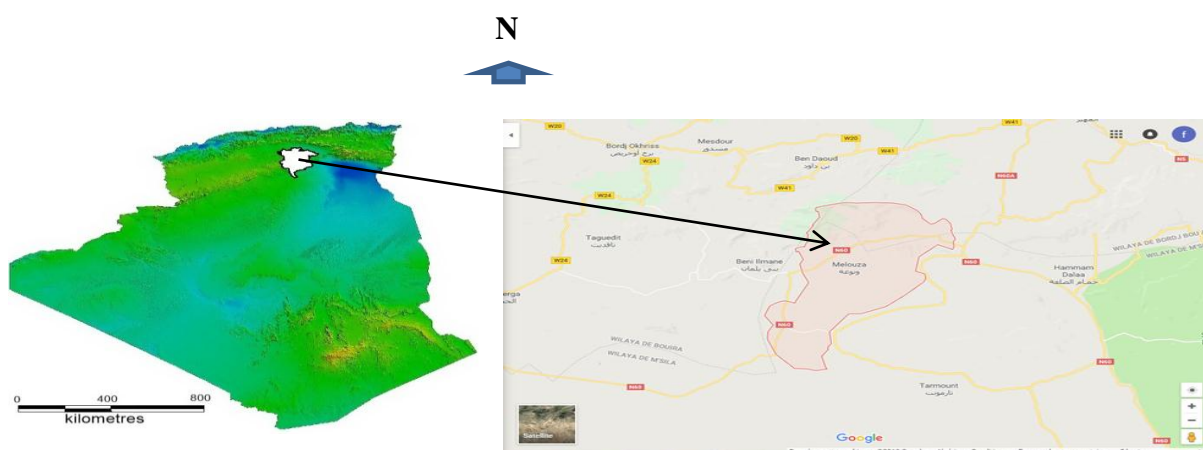


Figure n°01 : Localisation de la commune d'Ouanougha (par rapport à la wilaya de M'Sila)
(google 2017)

Comme nous montre la figure n° 1, la commune de Ouanougha est délimitée :

- Au nord, par la wilaya de Bordj Bou Arreridj

- À l'est, par la commune de Hammam Dhalaa.
- Au sud, par les communes de Tarmount et Sidi Hadjeres.
- À l'ouest, par la commune de Beni Ilman

1.2. Répartition de la superficie totale de la Commune d'Ouanougha

- Superficie totale de la commune (16495 Ha), cette superficie totale est subdivisée en terres agricole (Irrigüe, Non irrigüe) et terre non agricole.

Tableau n° 07 : Répartition de la superficie totale de la zone d'étude

Terre agricole	La surface par Ha
Terrains improductifs non affectés à l'agriculture (terre non agricole)	990
SAT (superficie agricole total)	11981
SAU (superficie agricole utile)	2640
Superficie des parcours	9221
Superficie forestière	3124
Superficie des terrains improductifs	120
Superficie des terrains alfatières	400

Source:(DSA, 2016 et 2017)

Tableau n°08 : Répartition de la superficie irriguée de la zone d'étude

	Surface (Ha)
Surface agricole utile	2640
Terres agricole irrigue	214
Irrigué par goutte-à-goutte	0
Irrigué par aspersion	0
Irrigué par submersion	214

Source : (DSA, 2016 et 2017)

1.3. Population et ressources humaines

Tableau n°9 : La population dans les monts d'Ouanougha

Population totale	16585	Taux d'activité	27.42%
Population active	4 547	Taux d'occupation	56.63
Population occupée	2 575	Taux charge	6.44 personnes

Source : ROR, 1994

1.4. Le relief

On peut dire que le relief de ces deux communes BENI ILMENE ainsi que Ouanougha se présentent sous un double aspect.

1^{er} Aspect :

Cet aspect se présente par une région montagneuse au relief accidenté caractérisé par des ruptures de pentes.

Ce massif montagneux est découpé, en crêtes (1200 mètres d'altitude) et versantes par les nombreux affluents des oueds.

2^{eme} Aspect :

Cette partie se caractérise par une amorce de dépressions dont le réseau hydraulique très dense, représenté par les petites vallées de Sud (OUED TERGA-OUED SIDI AISSA).

Cet ensemble qui forme l'Aire d'étude est sillonné par un réseau naturel très chahuté par le nombreux ravinement qui séparent les deux sont d'un chef-lieu.

- Principaux Oueds existants dans l'aire d'étude intercommunal.

- Oued Terga
- Oued Beden
- Oued Areb
- Oued Sidi-Aissa

1.5. Contexte climatologique de la région d'Ouanougha

1.5.1. Facteurs Climatiques de la région d'Ouanougha

D'après **Laffont, (2015)**, le climat est un ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent pendant une longue période, l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné.

Les facteurs climatiques pris en considération dans notre étude sont, la température, les précipitations, le vent et l'humidité relative.

Tout en prenant en considération la différence d'altitude entre la zone d'étude et la station météorologique de M'Sila (par utilisation de la méthode d'extrapolation pour la température et précipitation (**voir annexe n°1**).

A. Précipitation

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

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

Selon **Ramade, (2003)**, les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale et la répartition des écosystèmes terrestres, mais aussi pour certains écosystèmes.

D'après la figure n°2, nous remarquons que la quantité pluviométrique est répartie d'une manière relativement hétérogène pour les périodes pluvieuses. Les précipitations mensuelles dans le mois d'Octobre représentent une forte valeur (33.8 mm) c'est le mois la plus pluvieux, Alors que le mois le plus sec est celui de Juillet avec une basse valeur (5.7 mm).

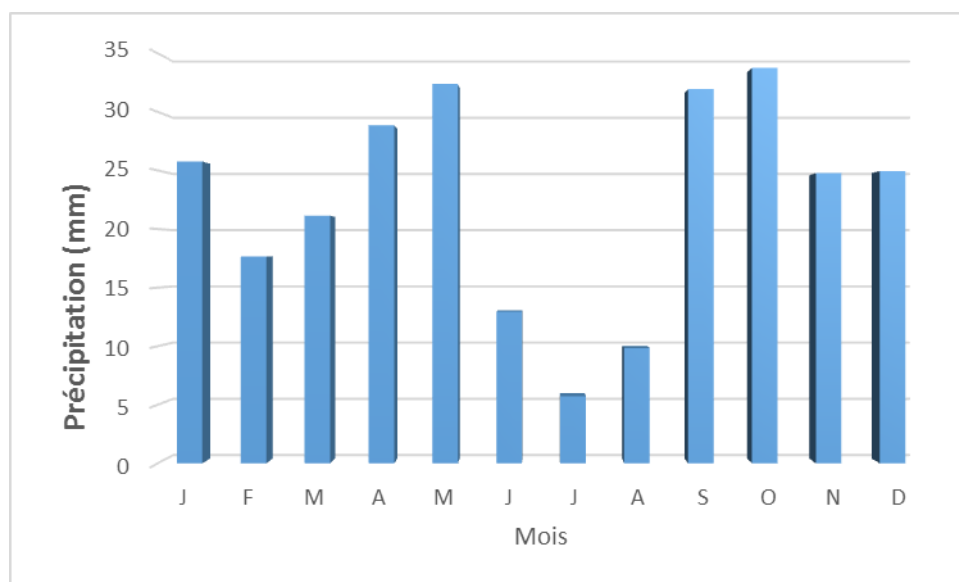


Figure n °2 : Précipitations Moyennes mensuelles en (mm) de la région Ouanoouga en 1988-2017 (après extrapolation des données)

B. Température

Les températures, comme les précipitations, connaissent d'importantes fluctuations tout au long de l'année et en fonction de la latitude, de l'altitude et de l'exposition. Elles sont souvent élevées avec une très forte amplitude qui augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral (Ayad, 2017).

La figure n°3 montre que la température maximale est enregistrée au mois de Juillet avec 29.82c°, alors que la température minimale est enregistrée au mois de Janvier avec 6.9c°.

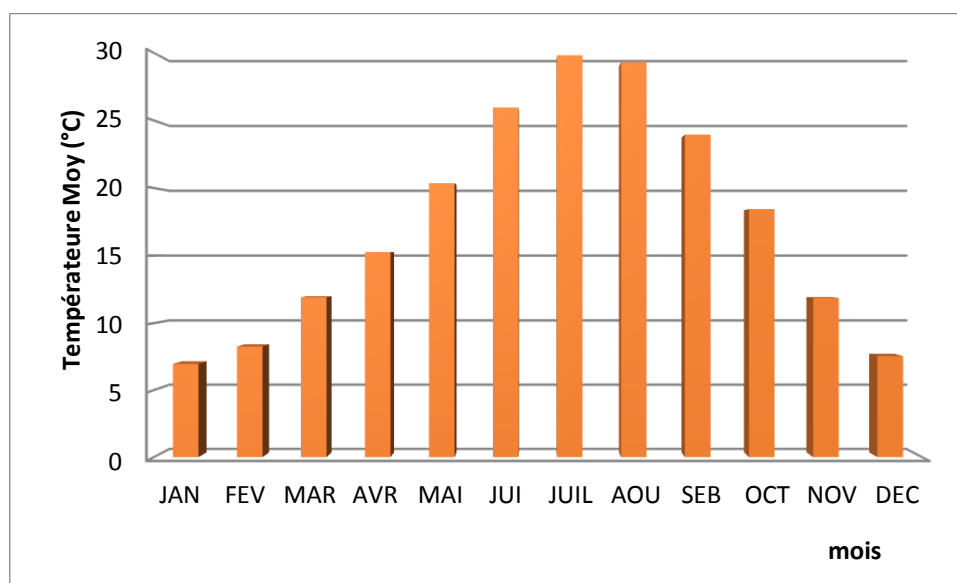


Figure n°3 : Température Moyennes d'Ouanougha en 1988-2017

C. Vent

Le vent est influé sur la température, l'humidité et l'évaporation. La direction, la fréquence et la vitesse des vents sont variables au cours de l'année (Mebarkia, 2011).

Selon Dubief, (1953), le vent est un phénomène continuél au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuse qu'il transporte.

D'après la figure n 4 la vitesse du vent est relativement variable au cours de l'année. Elle varie de 4m/s au mois d'Octobre à 5 au mois du mars.

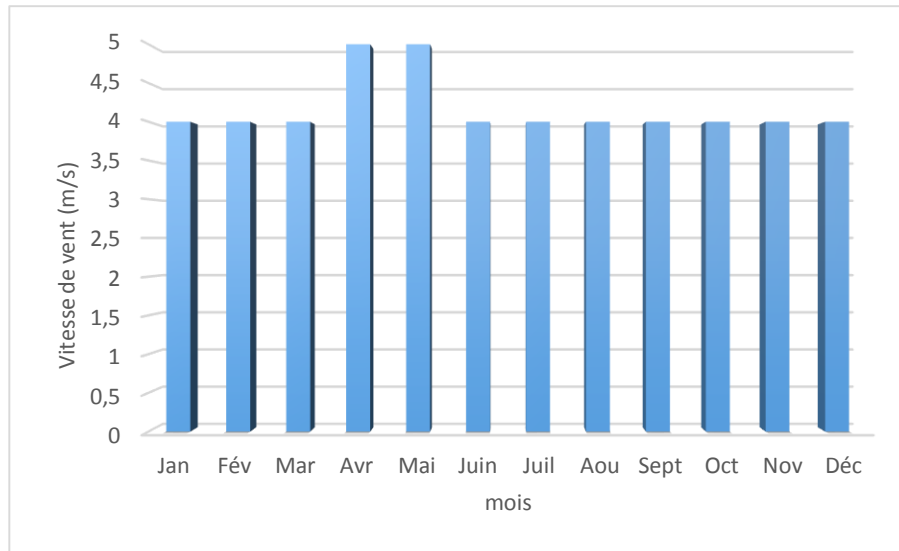


Figure n° 4 : Variations des vitesses moyennes mensuelles de vent en (m/s) de la région d'Ouanouga durant la période 1988-2017.

D. Humidité Relative

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

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

Suit à l'observation de la figure n°5, on déduit que le mois de Décembre est le plus humide avec 74.6% par contre le taux d'humidité le plus faible est 34.6% au mois de Juillet.

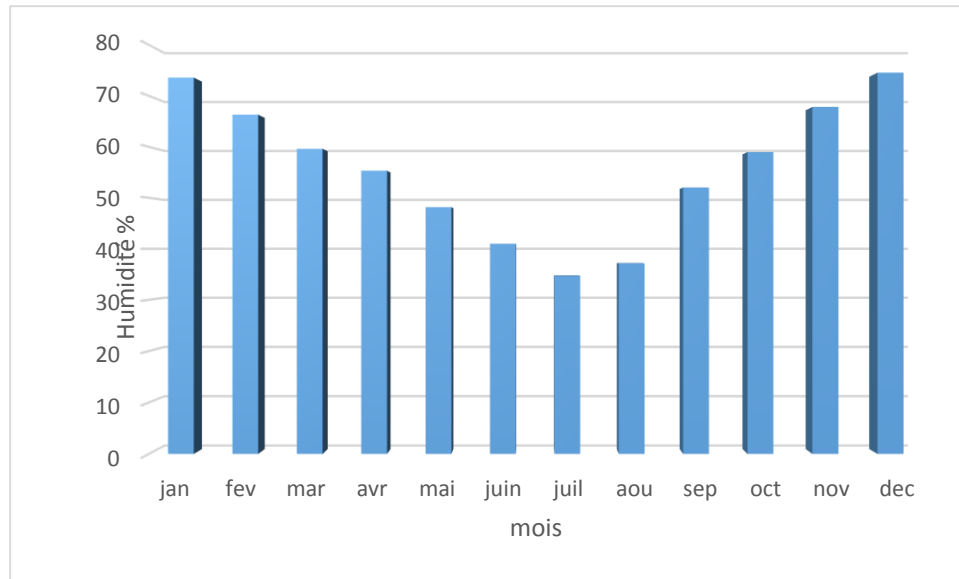


Figure n° 5 : Humidité moyennes mensuelles en (%) de la région d'Ouanougha durant la période 1988 - 2017.

1.6. Calcul de l'ETP suivant la formule de C.W. THORNTHWAITE

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W THORNTHWAITE tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

La formule de l'ETP est la suivante :

$$ETP = 16(10T/I)^a * K \quad (\text{en mm})$$

Où :

ETP: Evapotranspiration mensuelle non corrigée, (en mm)

T: Température moyenne mensuelle, (en °C).

I: Indice thermique annuel, $I = \sum i$

i : Indice thermique mensuel, détermine par l'expression suivante : $i = (T/5)^{1.5}$

a : Coefficient de calculé par la formule suivante : $a = 1.6*(I/10) + 0.5 = 2.09$

K : Coefficient de correction, qui dépend du temps et de latitude.

Les résultats de calcul de l'ETP par méthode de C. W. Thornthwaite sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 10 : Calcul de l'ETP de la station de Ouanougha selon C.W.Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O	Total
T(°C)	23.9	18.4	11.9	7.6	6.9	8.2	11.9	15.2	20.3	25.9	29.3	29.3	17.47
I	10.5	7.1	3.7	1.9	1.6	2.1	3.7	5.3	8.2	11.8	14.7	14.2	I=84.64
ETP (calculée)	140.1	81.1	32.6	12.8	10.4	14.9	32.6	54.4	99.6	165.7	214.4	214.4	1073
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	
ETP(Corrigée)	144.3	78.7	28.0	10.9	9.0	12.7	33.6	59.3	120.5	200.5	236.7	248.7	1209.7

1.7. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons la méthode de TURC Cette relation est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \quad (\text{en mm})$$

Où :

P : Précipitations moyennes mensuelles, en mm.

L = $300 + 17.5T + 0.05(17.5)^3$: Pouvoir évaporant de l'atmosphère.

T : Température Moyenne mensuelle, en °C.

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle, en mm.

P = 269.72 mm ; T = 17.5°C ; L = 1005.72

Donc : ETR = 141.96 mm.

1.8. Classification climatique

1.8.1. Etude du climat de la zone d'Ouanougha

a. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnoles

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnoles est une méthode graphique qui permet de définir les périodes et humides de l'année, ou sont portés en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec $P = 2T$. Gaussen considéré le climat d'un mois comme sec si les précipitations exprimées en mm sont inférieures au double de la température moyenne en °C.

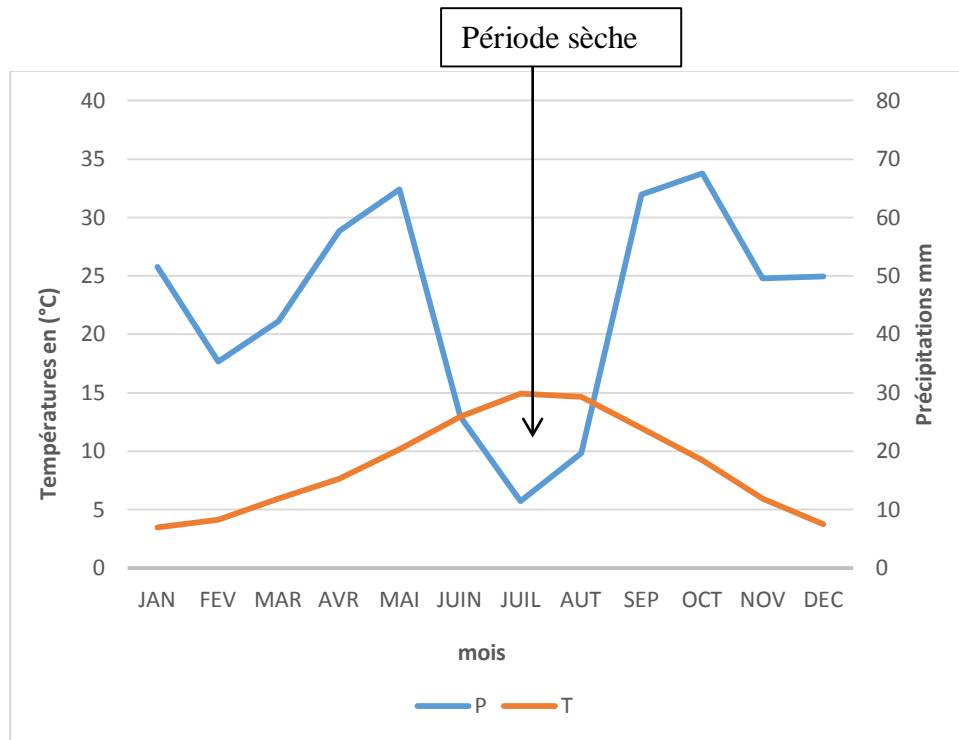


Figure n° 6 : Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gausсен de la région d'Ouanougha

Le diagramme Ombrothermique précise les périodes sèches et humides.

Durant l'année, on observe l'existence d'une période sèche entre le mois Juin et Aout, et d'une période humide qui s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai.

b. Climagramme D'EMBERGER

Le diagramme d'Emberger permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans étage bioclimatique.

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

$$Q_2 = 2000 \frac{P}{M^2 - m^2}, \text{ Avec :}$$

Q₂: Le quotient pluviométrique d'Emberger.

P: Précipitation annuelle en mm.

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimé en degré absolu (°K).

Sachant que le passage de la température °C en °K se fait selon la formule suivante :

$$T \text{ °K} = T \text{ °C} + 273$$

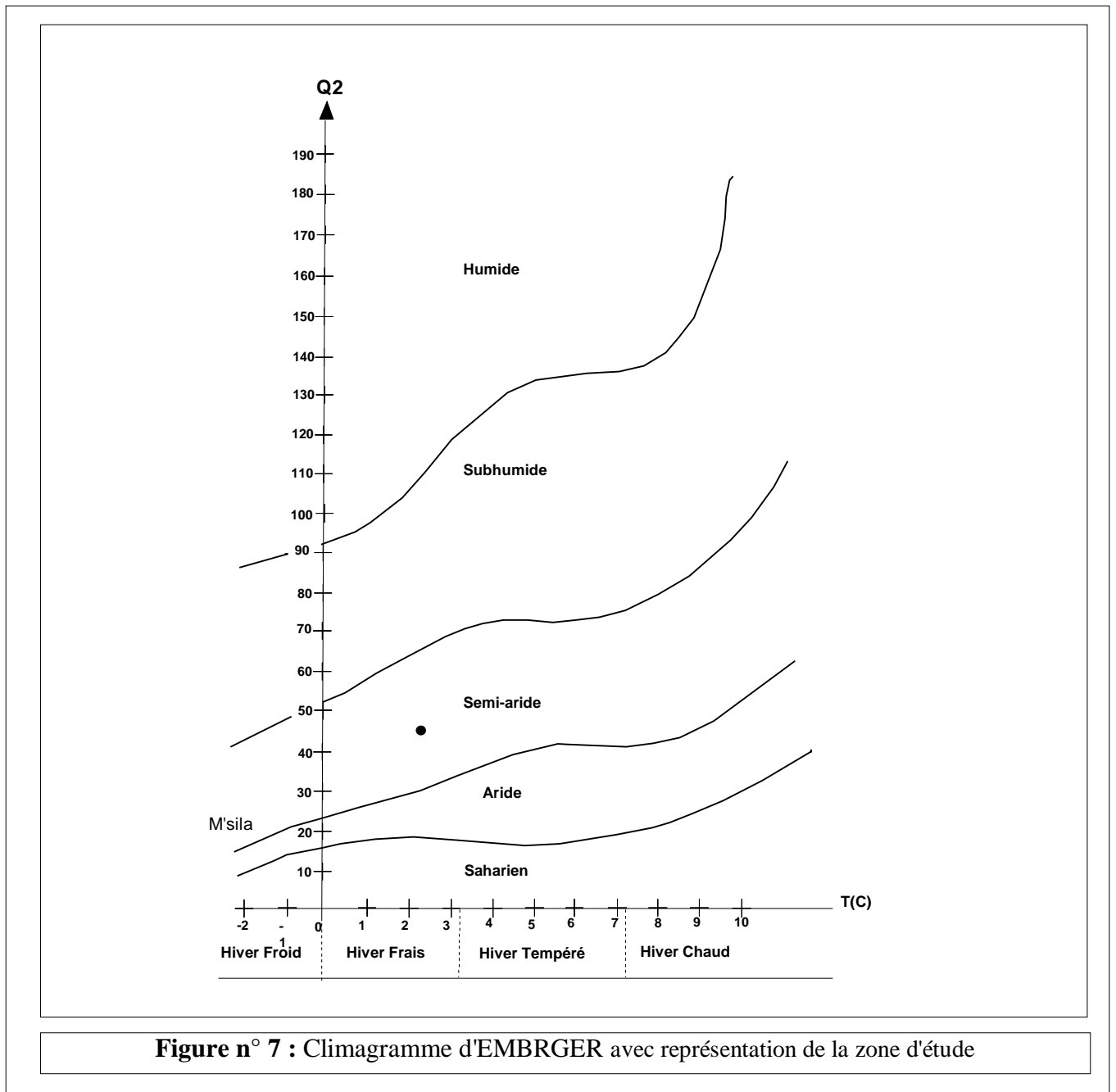


Figure n° 7 : Climagramme d'EMBRGER avec représentation de la zone d'étude

D'après la figure n° 7, on remarque que la région d'Ouanougha est semi-aride avec un hiver frais.

c. Indice d'Aridité de D. Martonne

Ce géographe a proposé une formule climatique basée sur le calcul d'un indice d'aridité selon de D. Martonne est exprimé comme suite :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec:

P : La précipitation moyenne mensuelle en mm.

T : La température moyenne mensuelle en °C.

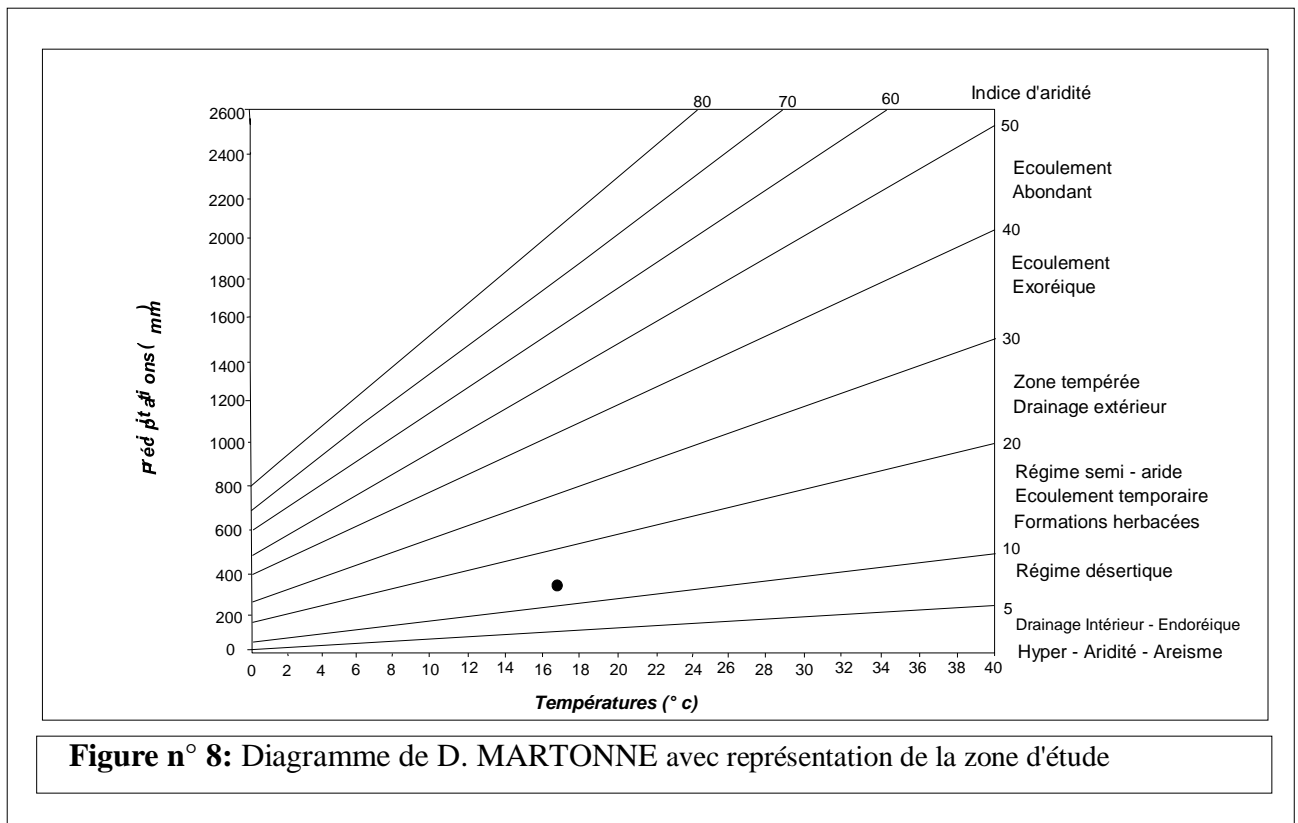
$$\text{Donc : } I = 269.72 / 17.5 + 10 = 10$$

L'application numérique permet de voir que cet indice est égal à 10

Pour cette méthode est compris entre 5 et 10, on est dans un régime à écoulement temporaire, ce qui est le cas pour la station de Ouanougha (**Figure 9**) et (**Tableau n°11**).

Tableau n° 11: Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de D. Martonne.

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < I < 5	Hyper aride
5 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi – aride
20 < I < 30	Semi – Humide
30 < I < 55	Humide



d. Méthode de THORNTHWAITE

Pour établir le bilan hydrique il faut d'abord calculer la RFU qui est la réserve facilement utilisable.

Cette **RFU** est nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes. Thornthwaite, dans ces calculs utilisait une valeur moyenne de la RFU=100mm, en 1954

Hallaire, a proposé une méthode permettant d'améliorer la connaissance de la réserve en eau du sol qui est donnée par la relation suivante:

RFU = (C-F/100) *h*D+30 mm Où **RFU**: Réserve facilement utilisable en mm, **C** : Capacité au de rétention

F: Capacité au point de flétrissement des plantes ; c'est la limite inférieure de l'eau absorbable par les plantes. **h** : Profondeur du sol en (mm), **D** : Densité apparente du sol (Hallaire propose de prendre **D** =1).

Les 30 mm supplémentaires correspondant au déracinement capillaire.

- Haillaire propose :**
- C - F=05% —> pour un sol sablo-limoneux
 - C - F=10% —> pour un sol limoneux
 - C - F=20% —> pour un sol argilo-limoneux

Nous avons pris C-F=10% et nous pris h= 400 mm (profondeur moyenne d'enracinement des cultures de la région).

La **RFU** calculée donne une valeur égale à 70 mm.

d.1.Le bilan hydrique

Le tableau n°12 résume le calcul de bilan hydrologique pour la station de Ouanougha à partir de la pluviométrie et des températures mensuelles.

Tableau n°12: Le bilan hydrique de la station d'Ouanougha (méthode de Thornthwaite)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O	Total
P	31.9	33.7	24.76	24.9	25.76	17.65	21.13	28.8	32.38	12.95	5.7	9.84	269.47
ETP	112.9	65.5	25.7	11	9.7	12.1	31	51.9	98.1	153.8	202.2	184.1	958.03
P-ETP	- 81	-31.8	-0.94	13.9	16.1	5.5	-9.8	-23.1	-65.7	-	-	-	-688.6
										140.8	196.5	174.3	
RFU	0	0	0	13.9	70	70	60	36.9	0	0	0	0	250.8
ETR	16.8	17.7	13.0	13.1	13.7	9.3	11.1	15.2	61.5	24.6	2.9	5.18	204.1
I + R	0	0	0	0	16.1	5.5	0	0	0	0	0	0	21.6

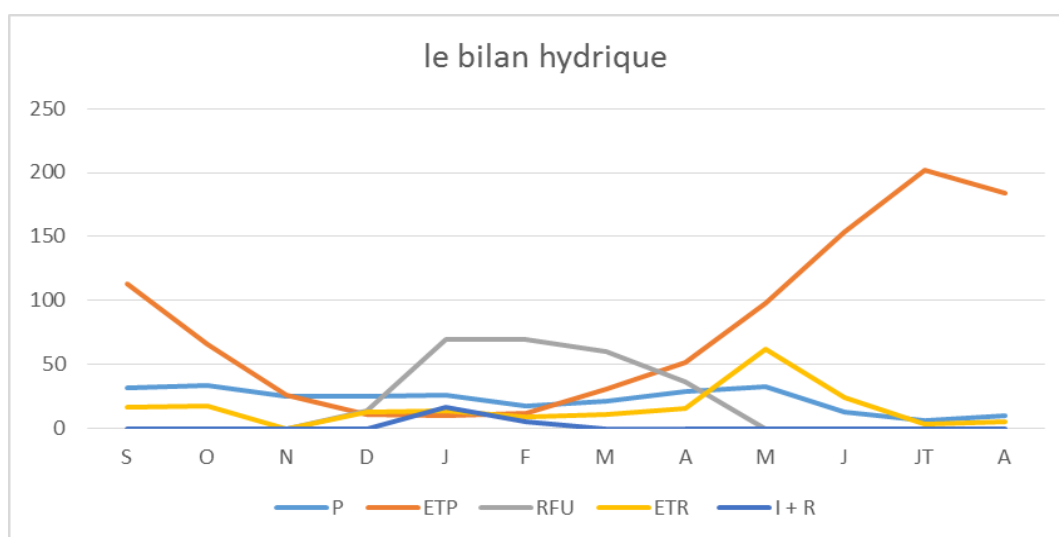


Figure n°09 : Bilan hydrique de la station d'Ouanougha selon Thornthwaite

Les calculs du bilan hydrique de la zone d'Ouanougha nous permet de faire les observations suivantes :

Les précipitations sont inférieures à l'ETP ($P < ETP$) dans les mois (Septembre, Octobre, Novembre, Avril, Mai, Joint, Juillet et Aout) ce qui implique que les réserves du sol sont presque nulles (pas de reconstitution des réserves de sol).

Les précipitations sont supérieures à l'ETP ($P > ETP$) dans le mois (Décembre, Janvier, Février et Mars), les réserve du sol sont élevée (présence des réserves dans le sol).

A l'échelle mensuelle, la température est moyenne.

1.9. Hydrologie

1.9.1. Les ressources en eaux de la zone d'Ouanougha

A. Eaux de surface

La commune d'Ouanougha est traversée par un réseau hydrographique peu développé avec principaux Oueds existants :

- Oued Terga
- Oued Beden
- Oued Areb
- Oued Sidi-Aissa

B. Eaux souterraines

Dans la commune d'Ouanougha on trouve plusieurs forages dans des régions différente de la commune qu'on peut citer :

- ✚ Forage Oued Taayachat
- ✚ Forage Rebib
- ✚ Forage Elgtaf
- ✚ Forage Elbihira
- ✚ Forage Elbore
- ✚ Forage El byadrania
- ✚ Forage Ain-Eljdrade

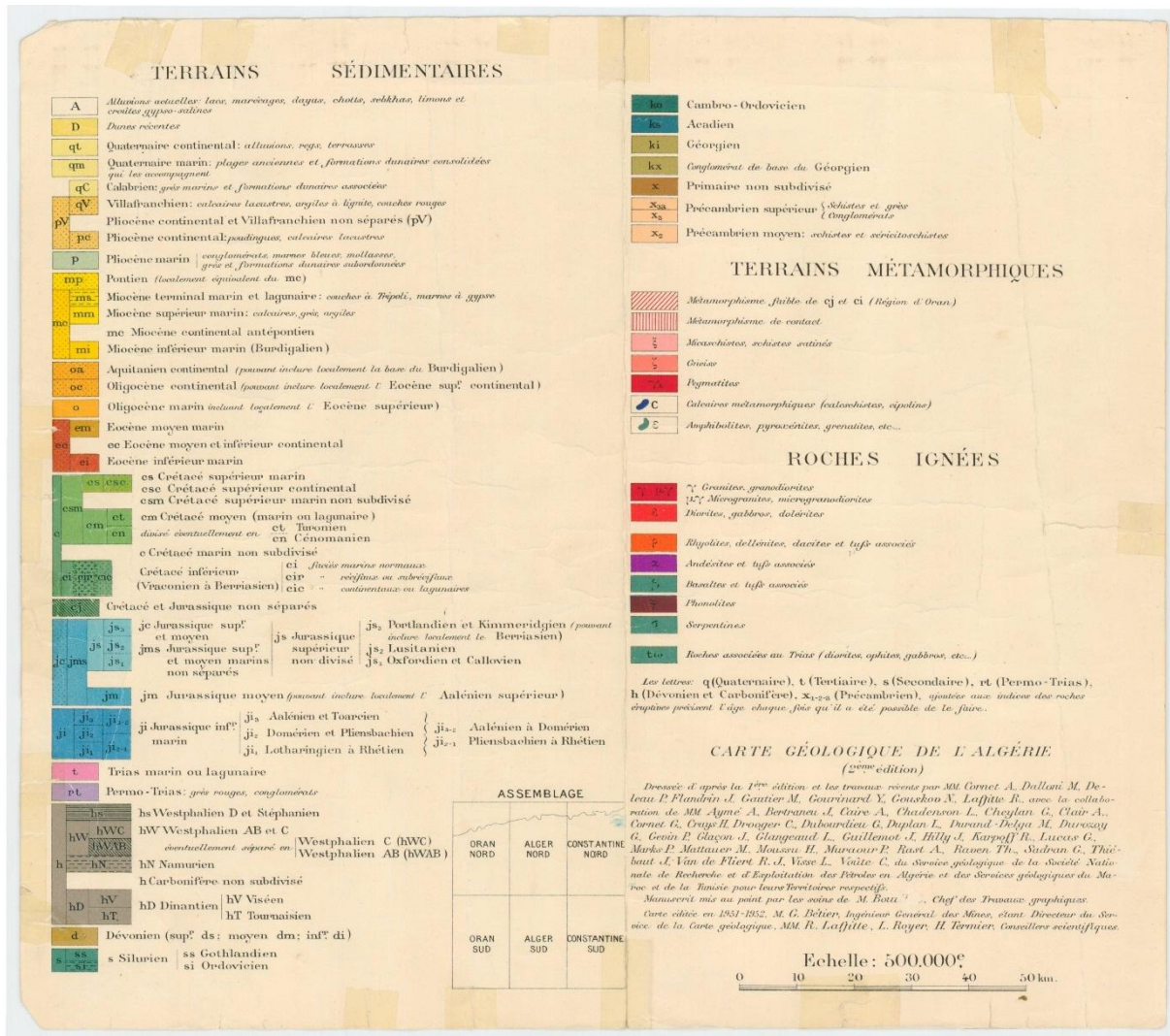


Figure n° 10 : Carte géologique du Hodna (avec précision des formations de la région d'Ouanougha)

1.11. Conclusion

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

- Des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 269.47 mm/an.
- Des températures moyennes 17.47°C.
- La station de la zone d'étude se situe dans la zone climatique semi-aride.

Une formation géologique de type la zone d'étude se caractérise par la présence des formations suivantes :

- * **em** : Eocène moyen marin.
- * **mi** : Miocène inférieur marin Burdigalien

* **pc** : Pliocène continental : poudingues, calcaire, lacustres.

* **oa** : Aquitanién continental.

* **cs** : Crétacé supérieur marin.

* **cm** : Crétacé moyen (marin ou lagunaire)

Deuxième partie

Matériels et méthode d'étude

Chapitre 2
Méthodes d'étude

Chapitre 2 : Méthodes d'étude

2.1. Introduction

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets (Kirkpatrick et Fleming, 2008). Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (Henri, 2012).

Les ressources hydriques sont soumises à plusieurs contraintes, la rareté, l'irrégularité temporelle, la mauvaise répartition spatiale et la grande vulnérabilité à la sécheresse. La zone d'étude ne fait pas exception avec ces ressources en eau, autant souterraines que superficielles.

Dans cet partie, nous allons présenter les méthodes utilisées sur les terrains et au laboratoire afin de déterminer la qualité de l'eau d'irrigation approuvé par des analyses physico-chimiques.

2.2. Choix de la région d'étude

Pour la détermination des caractérisations des eaux d'irrigation dans la zone d'étude, nous avons réalisé plusieurs échantillons provenant de différentes stations de 08 forages et ce durant le mois d'Avril 2018.

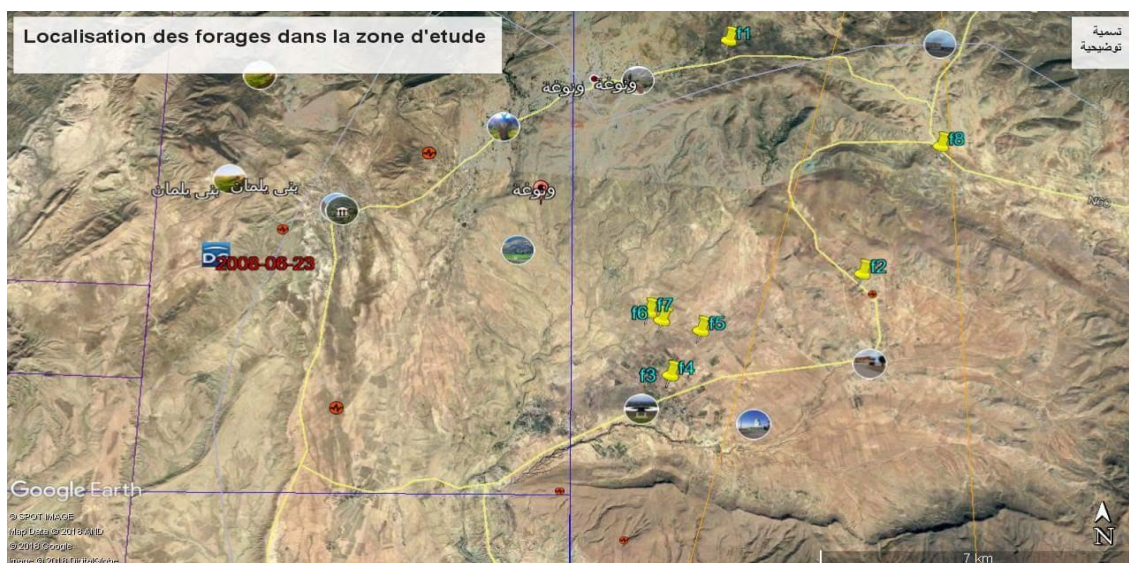


Figure n°12: Localisation des stations prospectées (et de prélèvement) au niveau de la zone d'Ouanougha

Tableau n°13: Caractéristique des forages prospectés (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8)

Points des mesures	Coordonnées Géographiques
Forage 1	N 35° 59min 17,3S E 004°13min17,7S
Forage 2	N35° 55min 45,8S E004° 15min16,7S
Forage 3	N35° 54min 18,4S E004°12min 15,8S
Forage 4	N35° 54min28,3S E004° 11min28,9S
Forage 5	N 35°54min 56,4S E 004°12min44,2S
Forage 6	N35° 55min 5,5S E004° 12min 8,5S
Forage 7	N35° 55min 12,4S E004°11min 56,7S
Forage 8	N35° 57min 39,2S E004° 16min37,8S

2.3. Echantillonnage

2.3.1. Techniques d'échantillonnage et conservation

Selon **Rodier et al, (2005)**, les prélèvements d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui on sera donnée. Un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultats analytique significatif, il tout aussi important de connaitre le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire.

Les échantillons d'eau nécessaires à l'analyse physico-chimique ont été prélevés selon la méthode décrite par **Rodier et al, (2009)**, dans des flacons jetables en matière plastique et conservés à 4°C, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent (pour certains paramètres) Dans notre cas, notre échantillonnage a été effectuer le 24/04/2018, On a effectué notre échantillonnage, on a pris 08 récipient de 1 litre de plastique, puis on a mesuré le pH, la CE et la température de l'eau de prélèvement.

Les conditions de conservation, le volume minimum de prélèvement ainsi que les délais d'effectuation des analyses sont résumés au tableau 14.

Tableau n°14: Conditions de conservation et prélèvement d'eau à analyser

Caractéristiques à Analyser	Volume minimum du prélèvement (ml)	Température de conservation à (°C)	Effectuer la mesure avant
Potentiel hydrogène	100	4	/
CE	100	4	24H
O ₂	300	4	24H
Résidu sec	500	4	/
Matière en suspension	500	4	48H
Carbonates et Bicarbonates	500	4	24H
Nitrates	250	4	24H
Nitrites	200	4	24H
TA-TAC	200	4	24H
Dureté totale	100	4	1 mois
Calcium	100 – 500	4	Plusieurs mois
Magnésium	100-500	4	Plusieurs mois
Sodium	100-500	4	Plusieurs mois
Potassium	100-500	4	Plusieurs mois
Chlorure	100-500	4	1 mois
Sulfates	200	4	1 mois

Source : (Rodier et al ; 2009).

2.4. Méthode d'analyses

Les paramètres étudiés sont les suivants : la température (T), potentielle d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la dureté totale (TH), le calcium, le magnésium, les chlorures (Cl⁻) et les nitrites (NO₂⁻), les nitrates (NO₃⁻), les sulfates (SO₄⁻²), résidu sec, Alcalinité (TA, TAC), Sulfates (SO₄⁻), carbonates et bicarbonates.

a. La température (°C)

D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques (**Dib, 2009**) et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (**Rodier et al, 2005**).

La mesure de la température s'effectue sur terrain et au laboratoire (**Rodier et al, 1996**).

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels (**Rodier et al, 2005**).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (**OMS, 1994**). Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (**Rodier et al, 2009**).

b. Potentielle hydrogène (pH)

Les législations algériennes et européennes précisent comme niveau guide du pH les valeurs comprises entre 6,5 et 9 (**JORA, 2011 et Rodier et al, 2009**).

Selon **Bouaroudj, (2011)**, mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre de terrain équipé d'une électrode verre calomel, préalablement étalonné à l'aide des pH étalons 7 et 4. On utilise la valeur du pH pour établir l'état des équilibres de dissolution et ainsi connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau (particulièrement par les carbonates). Comme la variation de pression des gaz (CO₂, O₂) modifie le pH, il est important de le mesurer directement lors de la prise d'échantillon.

c. La conductivité électrique (CE)

D'après **Rodier et al, (2009)**, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, celle-ci augment avec la température et la concentration en sels dissous, et s'exprime en µs/cm.

d. Détermination résidu sec

Selon **Rodier, (1996)**, la détermination du résidu permet d'estimer la teneur en matières et en suspension d'une eau. En effet à 100 à 105°C, une partie ou la totalité tant de l'eau interstitielle que l'eau de cristallisation de certains sels peut s'évaporer.

D'après Rodier, (2009), la méthode de mesure du résidu sec consiste à évaporer une certaine quantité d'eau dans une capsule tarée, le résidu desséché est ensuite pesé.

Evaporer progressivement au bain-marie dans un bécher tarée 100ml d'eau. Le bécher n'étant rempli qu'à mi-hauteur. Après évaporation totale de l'eau, porte le bécher à l'étuve à 105°C pendant 1heurs et laisser refroidir un quart d'heure, peser immédiatement et rapidement.

Soit P le poids du bécher, la pesée obtenue par la méthode différentielle.

e. Alcalinité (TA, TAC)

Lors de notre analyse on n'a pas trouvé de TA.

La détermination de titre alcalimétrique complète de l'eau est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide fort dilué, en présence d'un indicateur coloré méthyle orange (**Rodier et al, 2009**).

Pour la détermination du titre alcalimétrique complet on procède comme suit :

- Prendre 50ml d'eau analyser
- Ajouter 3gouttes de méthylorange
- Titrer avec HCl à N/0,1 jusqu'à coloration rose

$$\text{TAC } (^{\circ}\text{F}) = V_{\text{HCl}} (\text{ml}) \times 5$$

f. Dosage des carbonates et bicarbonates

Selon **Rodier et al, (2009)**, les carbonates n'existant qu'à pH>8.3 et les bicarbonates si le pH est compris entre 4.4 et 8.3.

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

- Prendre 20 ml d'eau à analyser
- Ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine, s'il y a une coloration rose, donc il y a les carbonates.
- Titrer avec l'acide chlorure (HCl) jusqu'à la disparition de la couleur rose.
- S'il n'y a pas une coloration de la solution →→ il y a les bicarbonates.

- Ajouter des gouttes (3-4) de l'indicateur coloré méthyle orange et titrer avec l'acide HCl jusqu'à l'apparition de la coloration orange (changement de coloration jaune à orange).
D'où :

X : volume de l'acide HCl utilisé.

Y : volume de la solution de l'eau (Y=20ml).

$$\text{Les bicarbonates (mg /l)} = (2 \times X \times N \times 1000) / \text{PE}$$

g. Détermination des chlorures (cl-)

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels, par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl) (**Saoud, 2014**).

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 (**Rodier et al, 1996**).

Pour détermination des chlorures on doit :

- * Prépare solution du chromate potassium.
- * Prépare solution d'argent.
- Prendre 5ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de K₂CO₄ (coloration jaunâtre).
- Titrer avec nitrate d'argent (AgNO₃ à 0.01) a coloration brunâtre.

La concentration des chlorures dans l'eau et donnée par la formule suivante :

$$Cl^- (\text{mg / l}) = V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times 1000 \times M_{Cl} / \text{PE}$$

V_{AgNO₃}: Volume d'AgNO₃.

N_{AgNO₃}: Normalité d'AgNO₃

M_{Cl} = 35.5 g

PE : Prise d'essai.

h. Sulfates (SO_4^-)

Selon **Rodier et al, (1996)**, les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état du sulfate de Baryum qui est stabilisé à l'aide d'une solution de tween 20 ou de polyvinylpyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à $\lambda = 650$ nm.

C'est ainsi qu'on doit :

- Prendre 50 ml d'eau analyser.
- Ajouter 2ml gouttes HCl.
- Chauffant quelque minute.
- Ajouter 2ml de chlorure de baryum.
- Séchage les papier filtre dans l'étuve.
- Poser les poids du sulfate.

$$mSO_4^{2-} (mg / l) = \frac{m \times (M(SO_4))}{(M(Ba SO_4))}$$

i. Nitrate (NO_3^-)

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (**Rodier et al, 1996**).

Selon **Rodier, (2009)**, les étapes à suivre sont :

- Prendre 5ml d'eau analyser.
- Ajouter 0,5 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie à $75 - 88^\circ C$ (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 1 ml. $H_2 SO_4$ laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 7,5 l'eau distillée.
- Ajouter 7,5 ml tartrate double de sodium et de potassium.
- Passer au spectro au 415 nm le résultat est donné en mg/l.

j. Dosage des ions nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (pH =1.9) avec le réactif Amino-4benzène sulfonamide ($NH_2 C_6H_4SO_2NH_2$) en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino -1,2 éthane ($C_{12}H_{16}C_{12}N_2$) qui est dosé spectrométriquement à la longueur d'onde $\lambda=450$ nm .La méthode est applicable à des concentrations des ions nitrites jusqu'à $QN= 0,25$ mg / l de NO_2 a des concentrations plus élevées, on (**ISO 6777, 1994**).

Pour détermination des nitrites NO_2^- on doit :

- Prendre 25ml d'eau à analyser.
- Ajouter 0,5 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 mn.
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .
- Passer au spectro au 543 nm. Le résultat est donné en mg/l.
- Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

k. Calcium (Ca^{2+})

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

On doit suivre les étapes suivantes :

- ✚ Préparer une solution d'E.D.T. A ($N= 1/50$ N).
- ✚ Préparer une solution d'hydroxyde de sodium (Na OH) 2N.
- Prendre 50ml d'eau à analyser.
- Ajouté 2 ml de Na OH à 2N.

- Titrer avec l'E.D.T. A jusqu'à virage (violet), puis noté (V_n) (**Briki, 2010**).

$$\text{Ca}^+ (\text{mg/l}) = \frac{V_{\text{E.D.T.A}} \times N_{\text{E.D.T.A}}}{\text{PE}} \times 1000$$

l. Magnésium (Mg^{++})

C'est un des éléments les plus répandus dans la nature, il donne un goût désagréable à l'eau (**Rodier et al, 2009**).

Selon **Nouayti et al. (2015)**, la source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

D'après **Rodier et al, (2009)**, le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates.

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

Pour calculer la concentration du magnésium (Mg^{2+}) danc:

$$\text{TH meq/l} = (X_{\text{Ca}^{2+}} + X_{\text{Mg}^{2+}})$$

$$X_{\text{Mg}^{2+}} \text{ meq/l} = (\text{TH meq/l} - X_{\text{Ca}^{2+}} \text{ meq/l})$$

m. Détermination la dureté total (T.H)

La dureté totale est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (**Hakmi, 2006**).

Ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère (**Ghazali et Zaid, 2013**).

Les eaux provenant de terrains calcaires ou surtout de terrains gypseux, peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1g de CaCO_3 .L-1 (**Rodier et al, 2005, Figarella et Leyral, 2002**).

Les valeurs de la dureté des eaux de la zone étudiée ont été calculées et sont exprimées en meq/l. Basée sur le principe que, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont titrés par complexométrie avec une solution de l'E.D.T. A à un pH de 10. Le mordant noir est utilisé comme indicateur qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence de ces ions. L'E.D.T. A réagit avec les ions Ca^{2+} et

Mg^{2+} libres puis au point d'équivalence, avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} combinés avec l'indicateur qui vire de la couleur violette à bleu (**ISO 6059, 1984**).

D'après **Rodier, (2009)**, pour déterminer la (TH) on doit :

- Prendre 50ml d'eau analyser.
- Ajouter 2ml de solution tampon (pH=10).
- Ajouter une pincée de noir eriochrome .
- Et titrer avec l'E.D.T. A N/50 jusqu'à virage (bleu).

$$TH \text{ méq/l} = (XCa^{2+} + XMg^{2+})$$

$$XMg^{2+} \text{ meq / l} = (TH \text{ meq / l} - XCa^{2+} \text{ meq / l})$$

n. Sodium et potassium

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles, d'analyse du sodium et du potassium sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions, on les passant au spectrophotomètre à flamme. Les résultats sont donnés directement en mg/l (**ISO9964/3, 1990**).

On doit :

- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton "fuel" jusqu'à ce que la couleur devienne bleu violacé.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na^+ ou du K^+ mg/l.
- Optimiser à 10mg /l à l'aide du bouton " FINE".

- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10)
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.

A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

Troisième partie
Résultats et discussion

Troisième partie : Résultats et discussion

1. Introduction

Cette partie est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau que nous avons prélevés de la région d'étude (Ouanougha). Il s'agit de huit (8) points d'eau souterraines (Forages ; F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8).

Tout en essayant de définir le faciès chimique de chacun d'eux (forage) et de voir la qualité de ces eaux souterraines vis-à-vis de l'irrigation.

L'étude hydro chimique a porté sur l'analyse et l'interprétation d'une seule campagne hydro chimique (Avril 2018). Les éléments dosés ont été portés essentiellement sur les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- et NO_3^-).

2. Caractéristiques physico-chimique des eaux d'irrigation des forages de la zone d'Ouanougha

Les résultats des analyses de nos eaux d'irrigation durant la campagne d'Avril 2018, sont résumés aux tableaux 15 (pour les paramètres mesurés sur terrain) et 16 (pour les paramètres mesurés au laboratoire).

Tableau n° 15 : Résultats des paramètres mesurés sur terrain

Forages	Paramètres	T (°C)	Le pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
F1		14.5	8.7	1939
F2		24.3	7.6	2020
F3		21.1	7.54	4290
F4		19.35	7.63	5500
F5		20,2	7,66	9090
F6		19,9	7,9	6500
F7		22	8,17	5910
F8		25,3	8,09	2710

Tableau n°16: Résultat d'analyse des paramètres mesurés au laboratoire

Les forages		F 1	F 2	F3	F4	F5	F6	F7	F8		
Paramètres											
T (°C)		14.5	24.3	21.1	19.35	20.2	19.9	22	25.3		
LepH		8.7	7.6	7.54	7.63	7.66	7.9	8.17	8.09		
CE (µS/cm)		1939	2020	4290	5500	9090	6500	5910	2710		
Anions	Cl^-	mg/l	220	319.5	1043.7	1242.5	220	120.7	142	35.5	
		méq/l	6.20	9	29.4	35	6.20	3.4	4	1	
	SO_4^{2-}	mg/l	115.4	8.2	65.9	156.6	444.9	337.9	255.5	74.2	
		méq/l	2.40	0.17	1.37	3.26	9.27	7.04	5.32	1.54	
	NO_3^-	mg/l	8	5.89	6.70	10.8	0.86	1.79	1.37	1.68	
		méq/l	0.13	0.09	0.11	0.17	0.13	0.03	0.02	0.03	
	HCO_3^-	mg/l	200	152	176	168	120	32	240	104	
		méq/l	3.17	2.41	2.71	2.66	1.90	0.11	3.81	1.65	
	NO_2^-	mg/l	0.12	00	00	00	00	00	00	00	
		méq/l	0.003	00	00	00	00	00	00	00	
	CO_3^{2-}	mg/l	40	00	20	00	00	32	48	40	
		méq/l	0.61	00	0.32	00	00	0.52	0.8	0.7	
	Cations	Ca^{2+}	mg/l	14.4	8.4	24	36	104	46.4	4	7.2
			méq/l	0.72	0.42	1.2	1.8	5.2	2.32	0.2	0.36
Mg^{2+}		mg/l	36.9	38.2	31.2	24.5	66.2	44.2	112.8	48.5	
		méq/l	3.08	3.18	2.6	2.04	5.52	3.68	9.4	4.04	
Na^+		mg/l	9.6	9	43.4	55.7	81.7	66.2	59.6	22.3	
		méq/l	0.42	0.39	1.89	2.42	3.56	2.88	2.59	0.97	
K^+		mg/l	0.43	0.43	4.72	13.29	19	16.4	13.29	1.86	
		méq/l	0.01	0.01	0.12	0.34	0.49	0.41	0.34	0.1	
TAC		30	33	32	28	53	32	26	53		
Résidu sec		0.25	6	2.45	2.7	4.6	3.8	4.05	1.1		
Dureté totale		47.5	45	43.5	48	134	75	120	55		
SAR		0.30	0.29	1.37	1.75	1.52	1.66	1.18	0.65		

2.1. La température

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité.

La figure n°13 montre que les valeurs de température mesurées des différents points d'eau de la zone d'étude varient entre 14.5°C (F1) et 25.3°C (F8).

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 le forage F8.

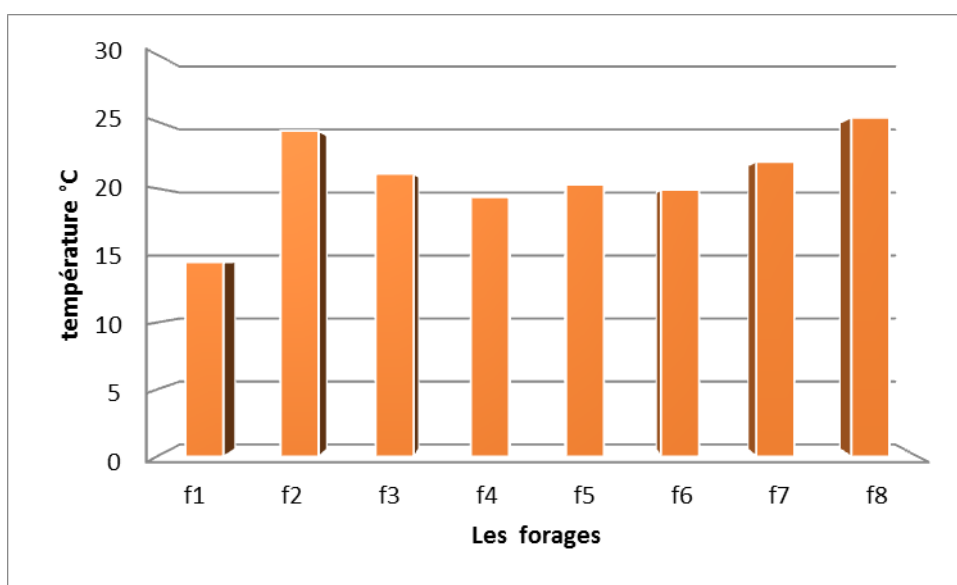


Figure n°12 : Variation de la température des eaux des forage analysées de la zone d'Ouanougha (Avril 2018)

2.2. Le pH

La valeur moyenne du pH mesuré sur le terrain et au laboratoire au niveau des forages sur 8 échantillons est de 7.85, avec un minimum de 7.54 au forage F3, et un maximum de 8.17 au forage F1 (voir tableau n°16 et figure n°14) ce qui reflète un caractère légèrement basique des eaux de la région étudiée.

Selon les normes du grille standard à multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux (annexe n°5), le pH est supérieur à 7,5 (pour tous les échantillons exceptés celui de F7). Les valeurs trouvées paraissent adaptées à l'irrigation.

Selon **Dussart, 1996; Bermond et Vuichard, (1973)**, le pH des eaux d'irrigation est influencé par la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé.

Dans notre cas la légère alcalinité remarquée dans les eaux de station (excepté celui de F7) est peut-être due à la nature géologique de la zone d'étude.

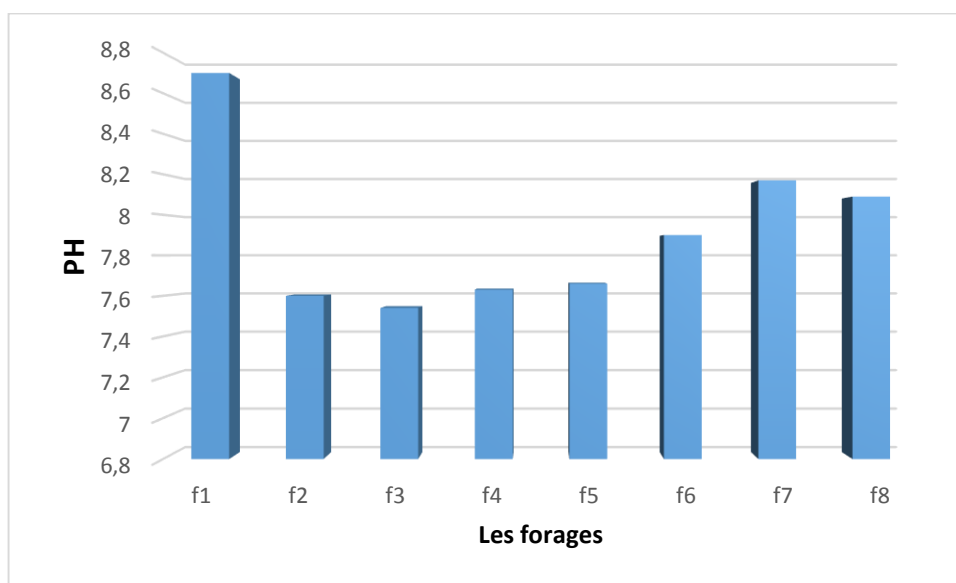


Figure n° 13 : Variation du pH des eaux de la zone d' Ouanougha (Avril 2018)

2.3. La conductivité électriques (CE)

D'après (**Hceflcd, 2006**), la conductivité électrique donne une idée sur la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de son origine.

La teneur minimale de la conductivité électrique est de 1939 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (enregistrée au forage F1) et la teneur maximale est enregistrée au forage F5 avec une valeur de 9090 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, les eaux de la quasi-totalité de la région) sont d'une mauvaise qualité (l'annexe 5)

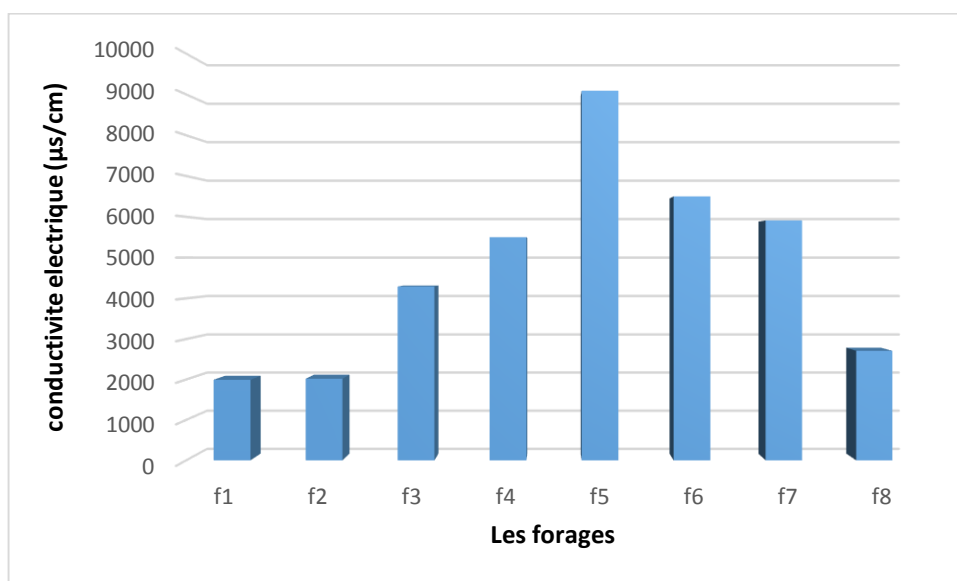


Figure n°14 : Variation de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude (Avril 2018)

2.4. Les anions

2.4.1. Chlorures

Les valeurs de Cl^- varient entre 35.5mg/l (F8) et 1242.5mg/l (F4) (Voire tableau n°16 et figure n°16).

D'après les travaux de **Bremond et al, (1973)**, la source principale des chlorures dans les eaux est due à la dissolution des roches sédimentaires qui se sont déposés en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées. Et c'est le cas de notre zone d'étude (voir figure n° 11).

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, les eaux des forages (F6, F7 et F8) sont d'une très bonne qualité, les forages (F1, F5) présentent des eaux de moyenne qualité, alors que les eaux des forages F2, F3 et F4 sont de mauvaise à très mauvaises qualité (l'annexe 5).

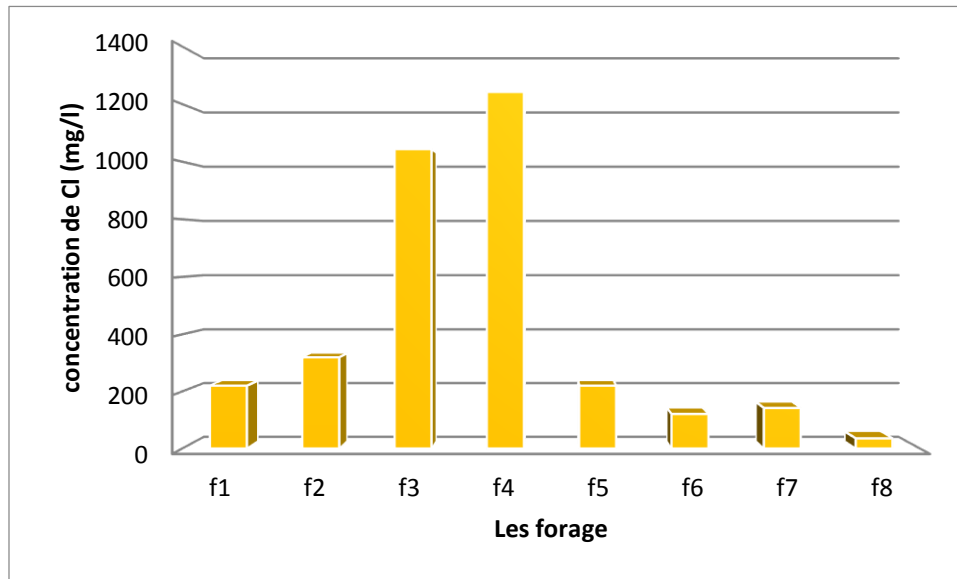


Figure n°15 : Variation des concentrations en Chlorure des eaux de la région d'étude (Avril 2018)

2.4.2. La sulfates (SO_4^{2-})

Selon (Hceflcd, 2006), les sulfates (SO_4^{2-}), proviennent du ruissellement ou l'infiltration dans les terrains à gypse.

Les résultats des analyses chimiques, donnent des valeurs qui varient entre 8,2 mg/l au forage F2 et 444.9 mg/l au forage F5 (Figure n°17).

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau les forages (F1, F2, F3, F4 et F8) inférieur (≤ 200) sont des très bonnes qualités et le forage (F7) est moyenne qualité (200-300), et le forage (F5) supérieur (> 400) la qualité est très mauvaise, (F6) supérieur moyenne qualité (voire l'annexe 8).

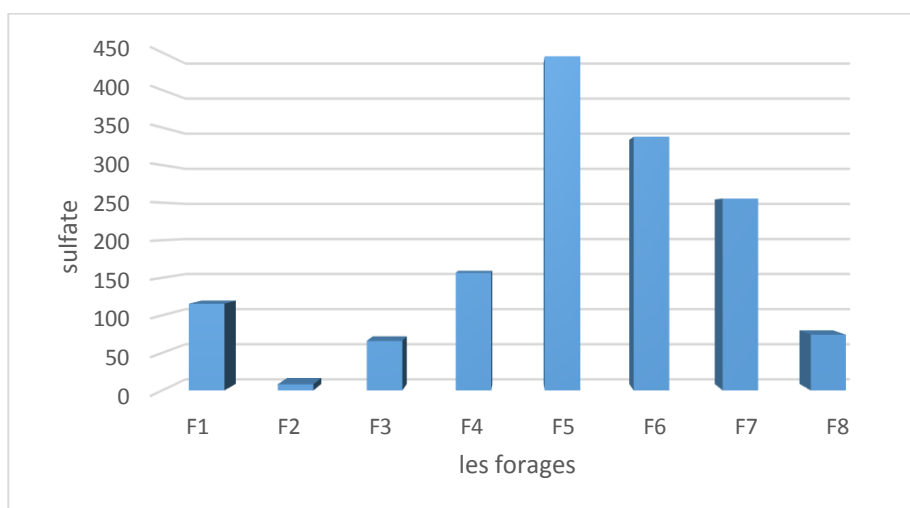


Figure n°16 : Variation des sulfates des eaux de la région d'étude (Avril 2018)

2.4.3. Nitrates et nitrites (NO_2^- et NO_3^-)

Selon les résultats représentés à la figure n° 18 et au tableau n°18 , les valeurs des nitrates varient entre un minimum de 0,86 mg/l au forage (F5) et un maximum de 10.81 mg/l au forage (F4).

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, les eaux des forages (F5, F6, F7 et F8) sont d'une très bonne qualité, alors que ceux des forages (F1, F2, F3 et F4) présentent une bonne qualité.

D'après (**Samak, 2002**), les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits dans le sol, par décomposition des matières organiques, des engrais de synthèse ou naturels.

Ce qui indique que pour la zone d'étude, les agriculteurs utilisent les engrais mais avec de faibles quantités.

Pour les nitrites, les valeurs enregistrées (tableau n°16 et figure 19), sont nulle dans la totalité des forages à l'exception de F1 qui présente une valeur de 0.12mg/l. Indiquant que nos eaux sont de très bonne qualité sauf pour F1 qui présente une qualité bonne (voir annexe n°5) .

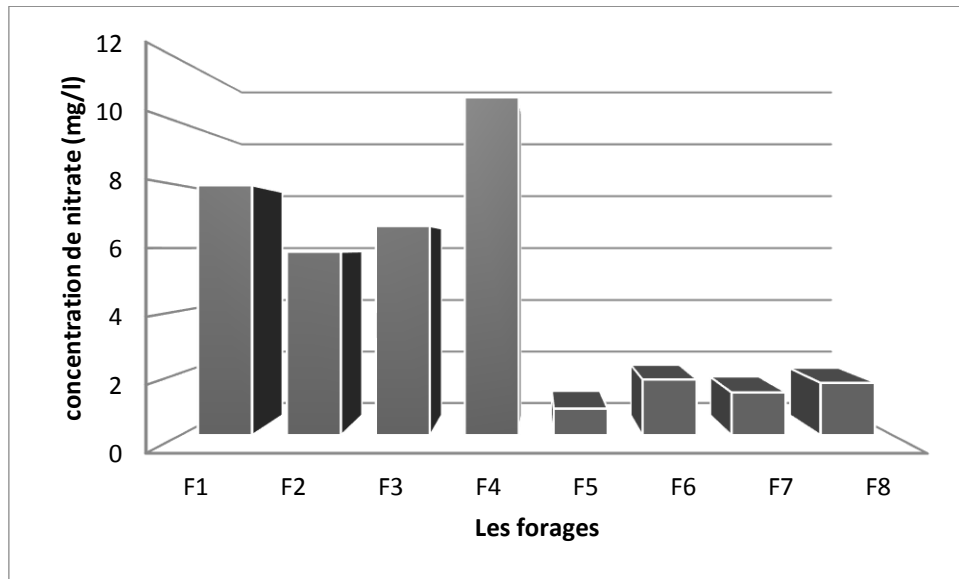


Figure n°17 : Variation des nitrates dans les eaux de la zone d'Ouanougha (Avril 2018)

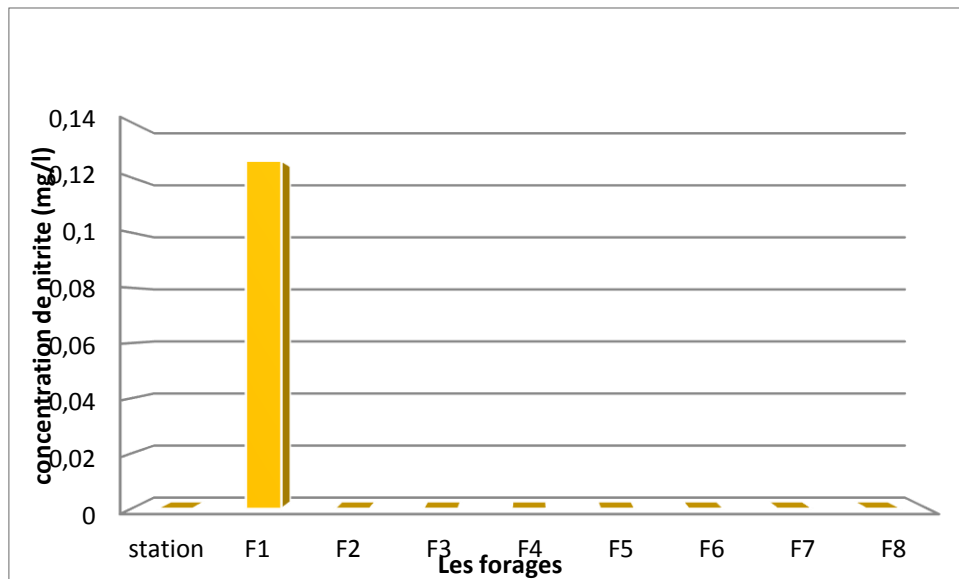


Figure n° 18 : Variation des nitrites dans les eaux des forages analysés d'Ouanougha (Avril 2018)

2.4.4. Carbonates et bicarbonates

La teneur minimale du carbonate est enregistrée au les forages (F2, F4 et F5) avec 0 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F7 avec 36 mg/l (tableau n°16 et figure 20).

Les teneurs des eaux dans la région d'Ouanougha en bicarbonates varient entre 18.3 mg/l au F7 et 152,5 mg/l à F1 (figure 21).

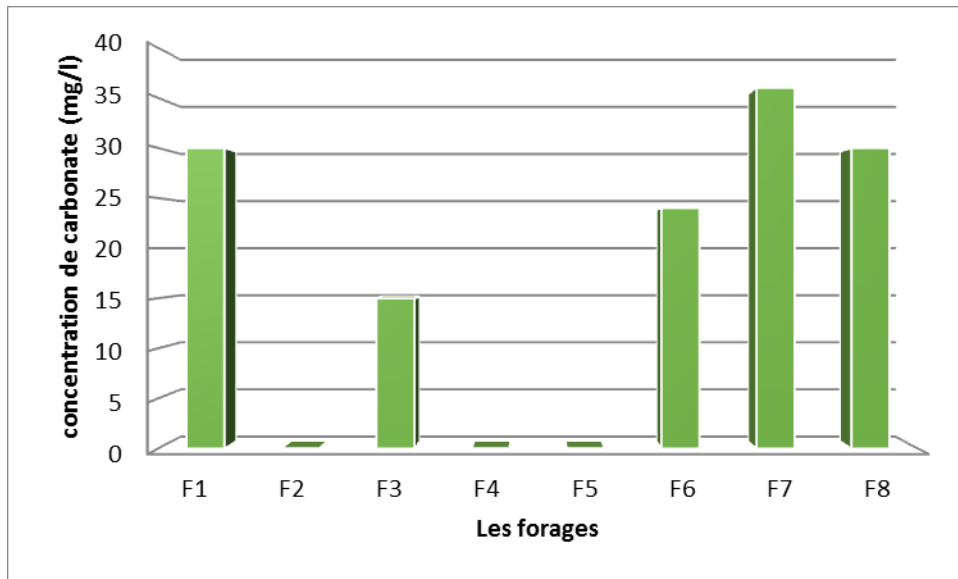


Figure n°19 : Variation des concentrations des carbonates des eaux de la région d'étude (Avril 2018)

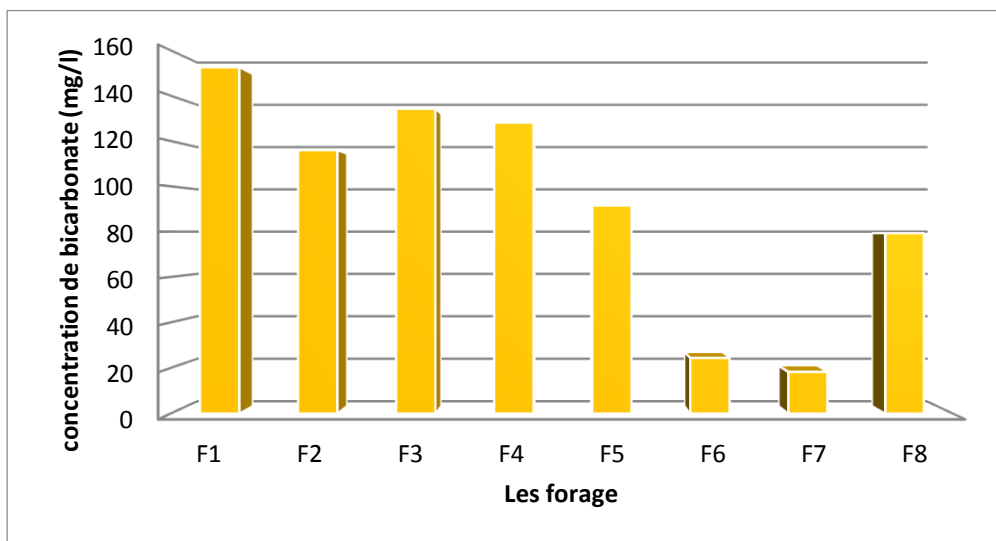


Figure n°20 : Variation des concentrations des bicarbonates dans les eaux de la région d'étude (Avril 2018)

2.5. Les cations

2.5.1. Calcium

Selon **Guillemin et Roux, (1992)**, le calcium varie comme le magnésium et sa concentration dans l'eau dépend aussi du substrat géologique traversé.

Selon les résultats représentés à la figure n°22 et au tableau n°16, les valeurs du calcium varient entre un minimum de 4 mg/l au forage (F7) et un maximum de 104 mg/l au forage (F5).

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, les eaux des forages (F1, F2, F3 et F4, F5, F6, F7 et F8) sont d'une très bonne qualité vis-à-vis du paramètre calcium.

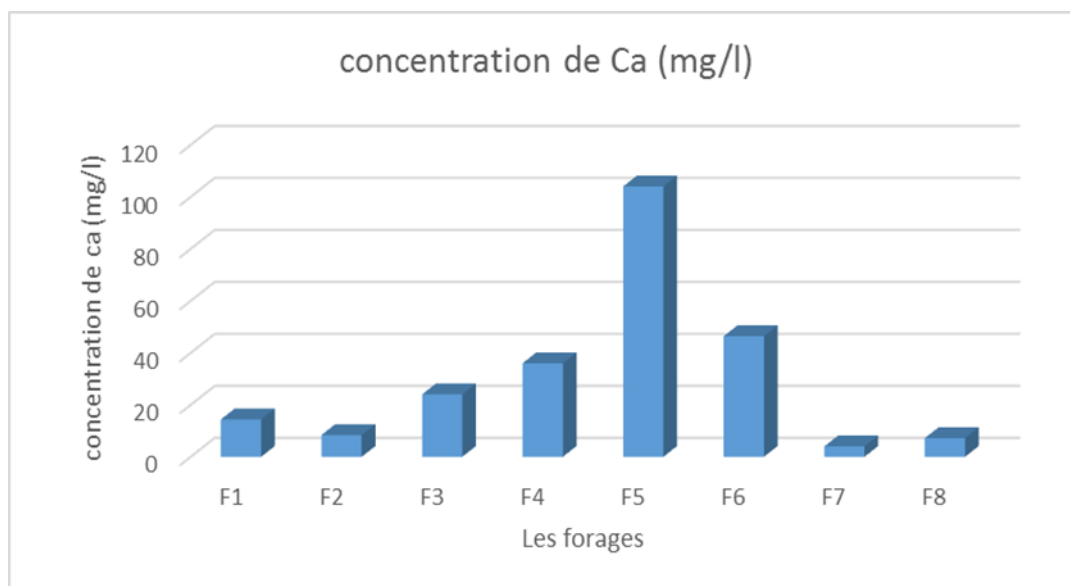


Figure n°21 : Variation des concentrations en calcium des eaux de la région d'Ouanougha (Avril 2018)

2.5.2. Magnésium

La solubilité du magnésium influence la composition chimique des échantillons des eaux (**Guillemin et Roux, 1992**).

Dans notre région d'étude, la teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F4 avec 24.5 mg/l et la teneur maximale est enregistrée au forage F7 avec 112.8 mg/l (voir tableau 16 et figure 23)

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, les eaux des forages (F1, F2, F3, F4, F6 et F8) sont d'une très bonne qualité, du forage (F5) présentent une bonne qualité, alors que celles du F7 sont de mauvaise qualité.

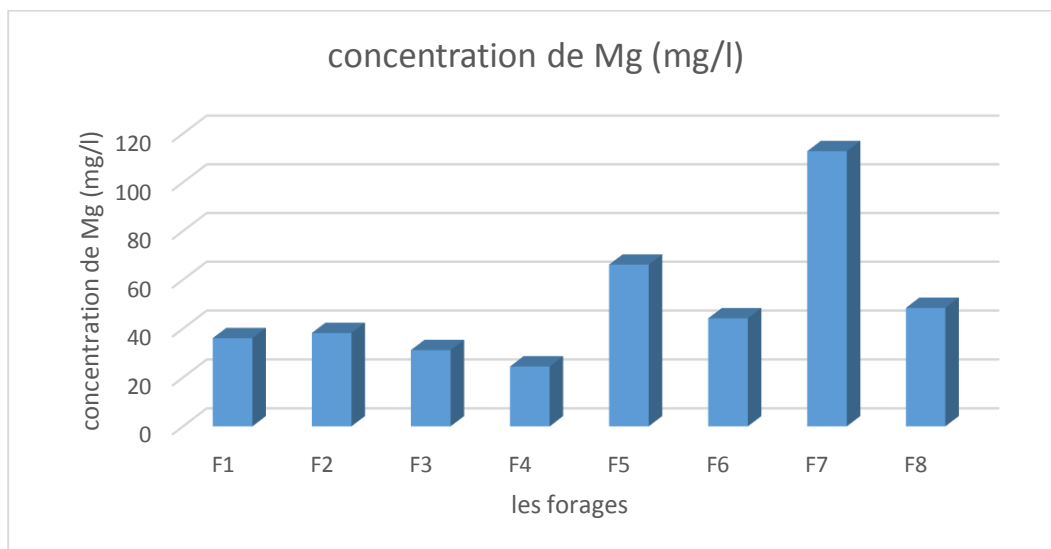


Figure n°22: Variation des concentrations du magnésium des eaux de la région d'Ouanougha (Avril 2018)

2.5.3. Sodium

Les concentrations du sodium des eaux de la région prospectée d'Ouanougha varient entre 9 mg/l au forage (F2) et 81.2 mg/l au forage (F5). Avec des valeurs de 9.6, 9, 43, 4, 55.7, 81.2, 66.2, 59.6 et 22.3 respectivement pour F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8 (voir figure n° 24 et tableau n°16).

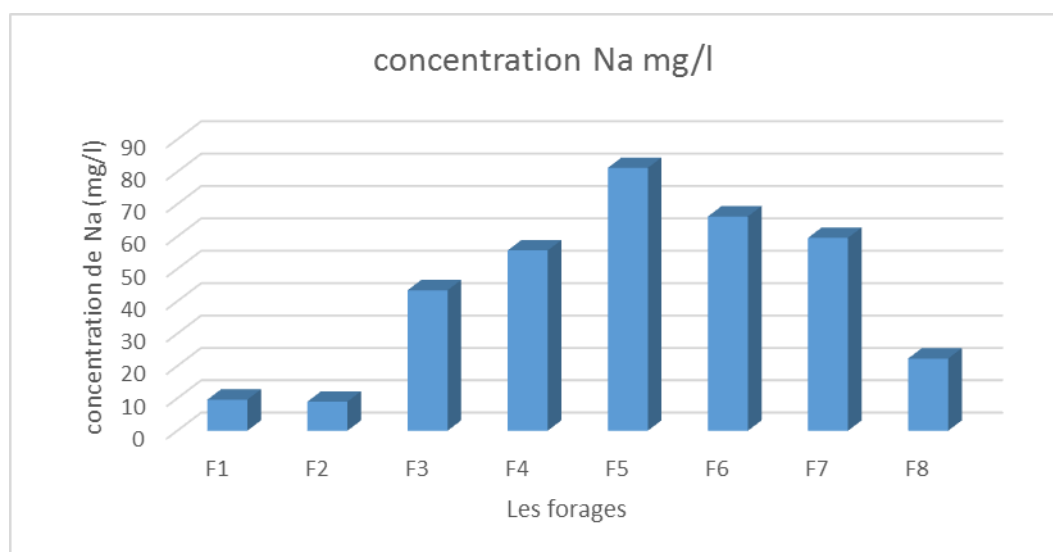


Figure n°23 : Variation du sodium pour les eaux de la région d'Ouanougha (Avril 2018)

2.5.4. Potassium

Les teneurs en potassium montrent un maximum au forage (F5) avec 19 mg/l et un minimum au les forages (F1, F2) avec 0,43 mg/l (tableau 16 et figure 25).

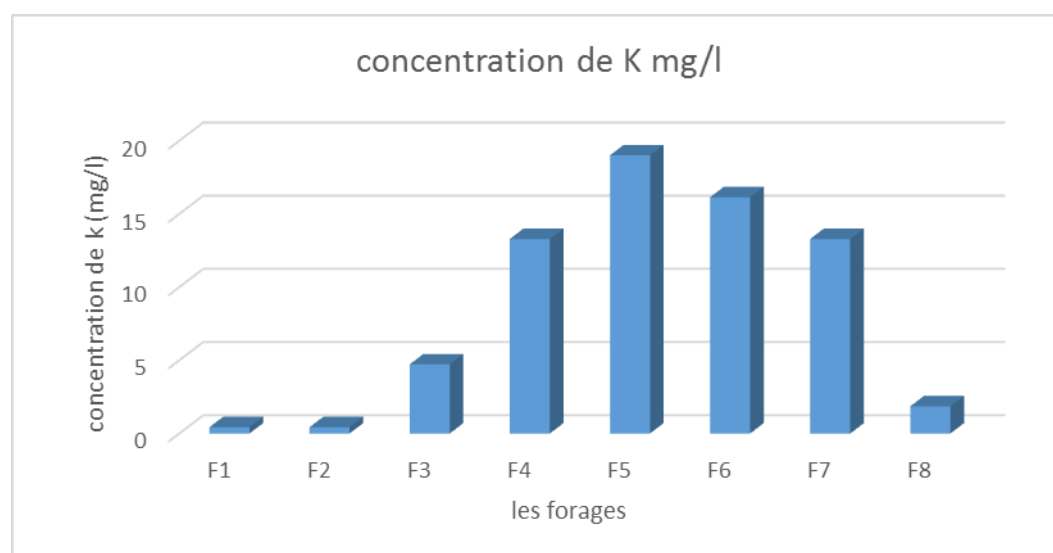


Figure n°24 : Variation des concentrations en potassium des eaux de la région d'étude (Avril 2018)

2.6. La dureté totale (T.H)

La dureté résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses (Chossat, 2007).

Selon les résultats représentés à la figure n° 26 et au tableau n°16, les valeurs de la dureté enregistrées dans la zone d'étude varient entre un minimum de 43.5 (°F) au forage (F3) et un maximum de 134 (°F) au forage (F4).

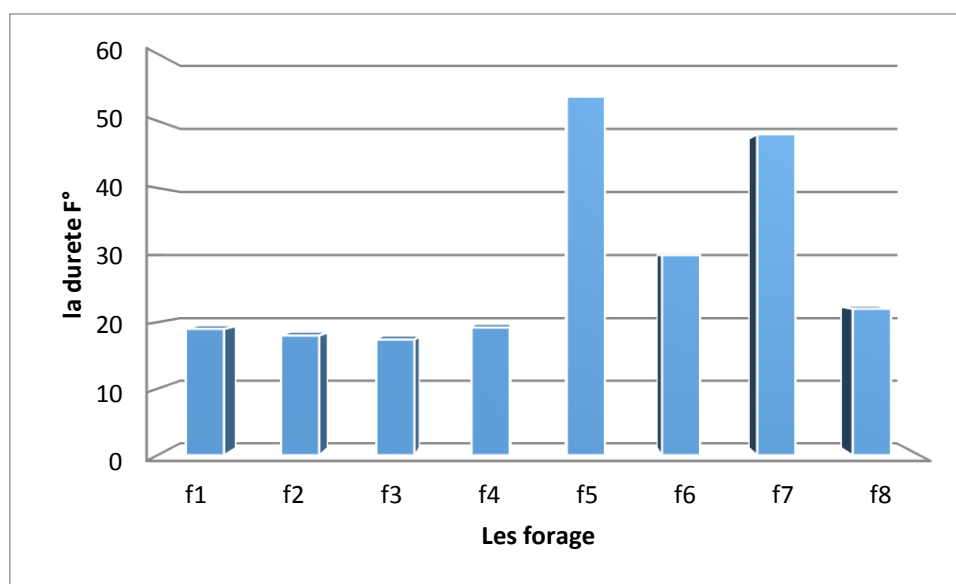


Figure n°25 : Variation de la dureté totale des eaux de la zone d'Ouanougha

2.7. Résidu sec (R.S)

Les résultats du résidu sec de nos eaux indiquent des concentrations qui comprises

entre 6mg/l au forage F2 et 0.25mg/l au forage F1.

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, les eaux des forages (F1, F2, F3 et F4, F5, F6, F7 et F8) sont d'une très bonne qualité.

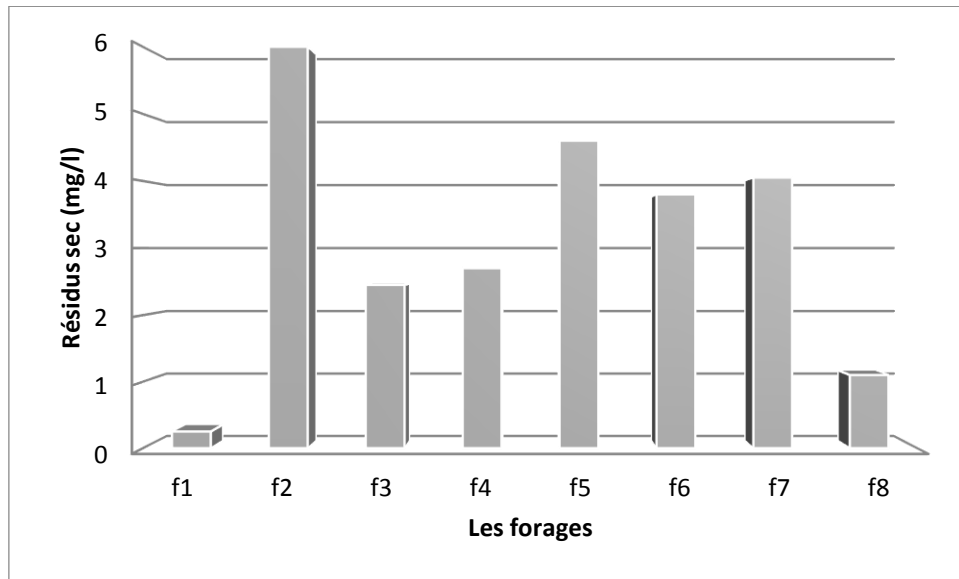


Figure n°26 : Variation du Résidu sec des eaux des forages analysés de la région d'étude (Avril 2018)

3. Classification des eaux d'irrigation de la zone Ouanougha

3.1. Indice d'échange de base (i. e. b)

L'indice d'échange de base défini par SCHOELLER en 1934 est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante :

$$\text{i.e.b} = \frac{(r \text{Cl}^- - r(\text{Na}+\text{K}^+))}{r \text{Cl}^-}$$

L'utilisations de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son parcours souterrain

Si l'indice d'échange de base est négatif, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes. Par contre si l'i. e. b est positif, les ions K^+ et Na^+ de l'eau sont remplacés par les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations des encaissantes.

Le tableau résumée les résultats d'indice d'échange de base i.e.b comme suit (tableau n° 17)

Tableau n° 17: Résultat d'indice d'échange de base (i.e.b) des eaux de forage de la zone d'étude

Les Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
i.e.b	0.63	0.76	0.44	0.34	-0.27	-0.91	-0.13	-0.62

Le calcul de cet indice a montré que 50% des points d'eau ont un i.e.b positif donc le sodium de l'eau est remplacé par les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} du terrain ; et 50% ont un i.e.b négatif c'est -à- dire que le calcium de l'eau est échangé contre le sodium du terrain.

3.2. Les faciès chimiques

3.2.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de la zone d'étude (Ouanougha)

Les classifications les plus utilisées sont celles de Piper et Schoeller-Berkaloff, c'est pour cela qu'on a utilisé ces deux derniers

3.2.1.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux analysées sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^-).

Ce type de diagramme permet de déterminer le pH d'équilibré ($\text{pH}_{\text{équilibre}}$) qui donne une idée sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau.

Les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons. Et ce graphique permet de visualiser le faciès de l'eau concernée.

Les diagrammes logarithmiques (figures n°25, 26, 27et 28) ont permis d'identifier les grandes familles chimiques suivantes (tableau n° 18)

On a remarqué une dominance des chlorurée avec 50% de l'ensemble des points d'eau, en deuxième position les sulfates avec 37.5% et en dernière position les bicarbonatée avec 12.5%.

Tableau n°18: Faciès chimique des eaux des forages analysés selon Schoeller-Berkaloff

Campagne chimique	Faciès chimique		Nombre de forages	Pourcentage %
Avril 2018	Famille des eaux Chlorurée	Chlorurée magnésienne	4 (F1, F2, F3et F4)	50%
	Famille des eaux Sulfates	Sulfates magnésienne	3(F5, F6 et F7)	37.5%
	Famille des eaux Bicarbonatée	Bicarbonatée magnésienne	1(F8)	12.5%

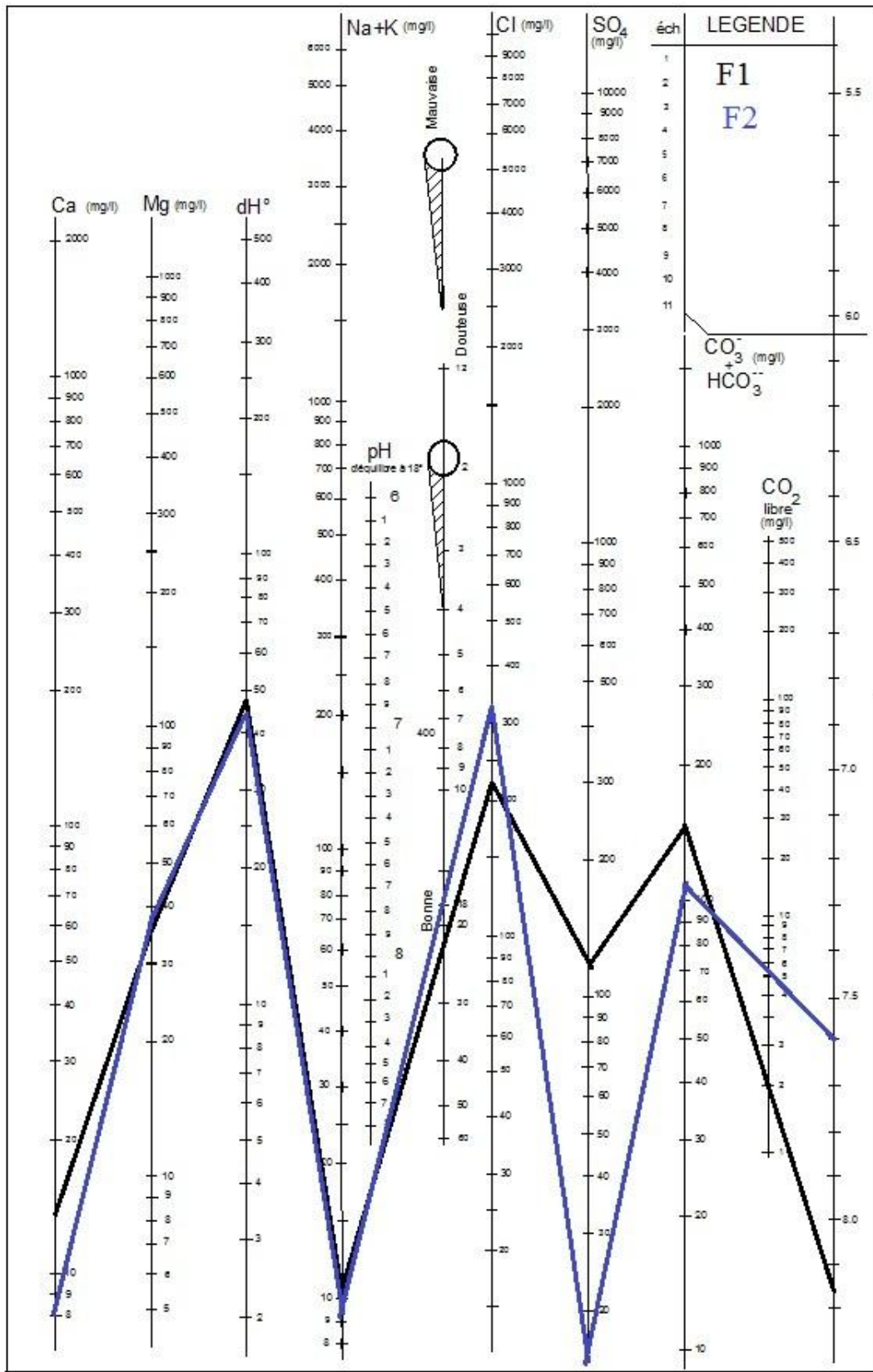


Figure n°27: Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F1 et F2 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

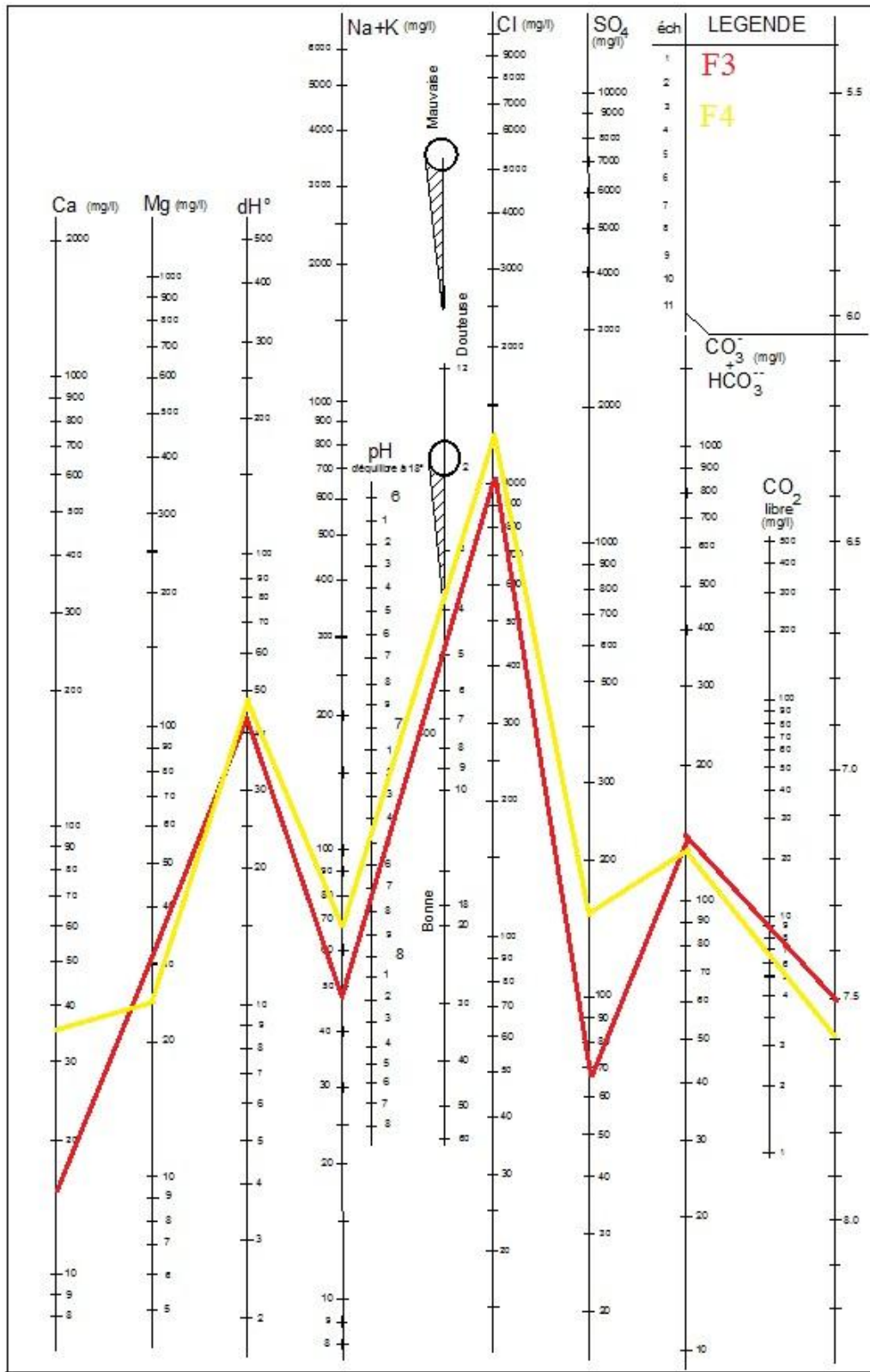


Figure n°28 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F3 et F4 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

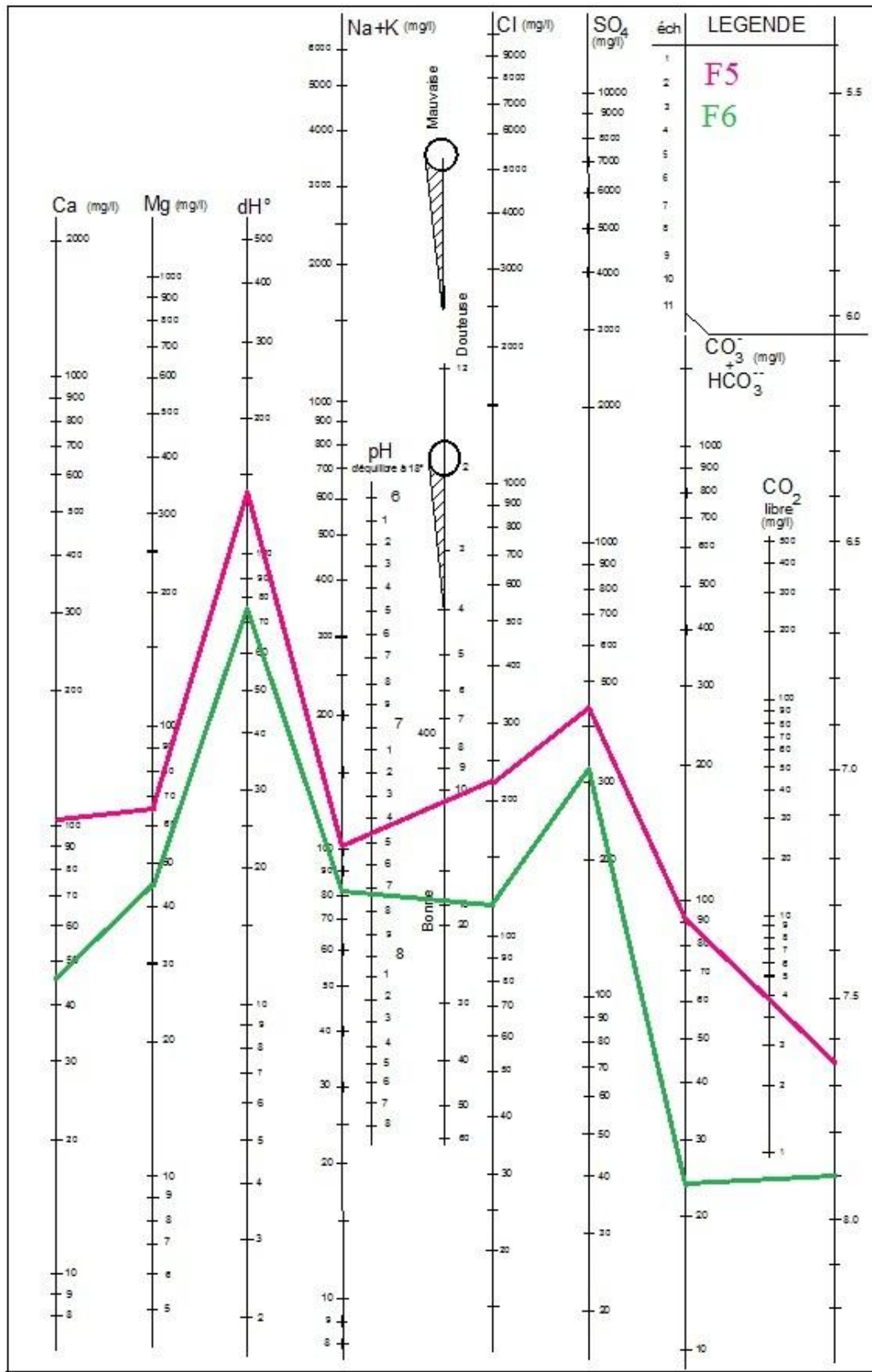


Figure n°29 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F5 et F6 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

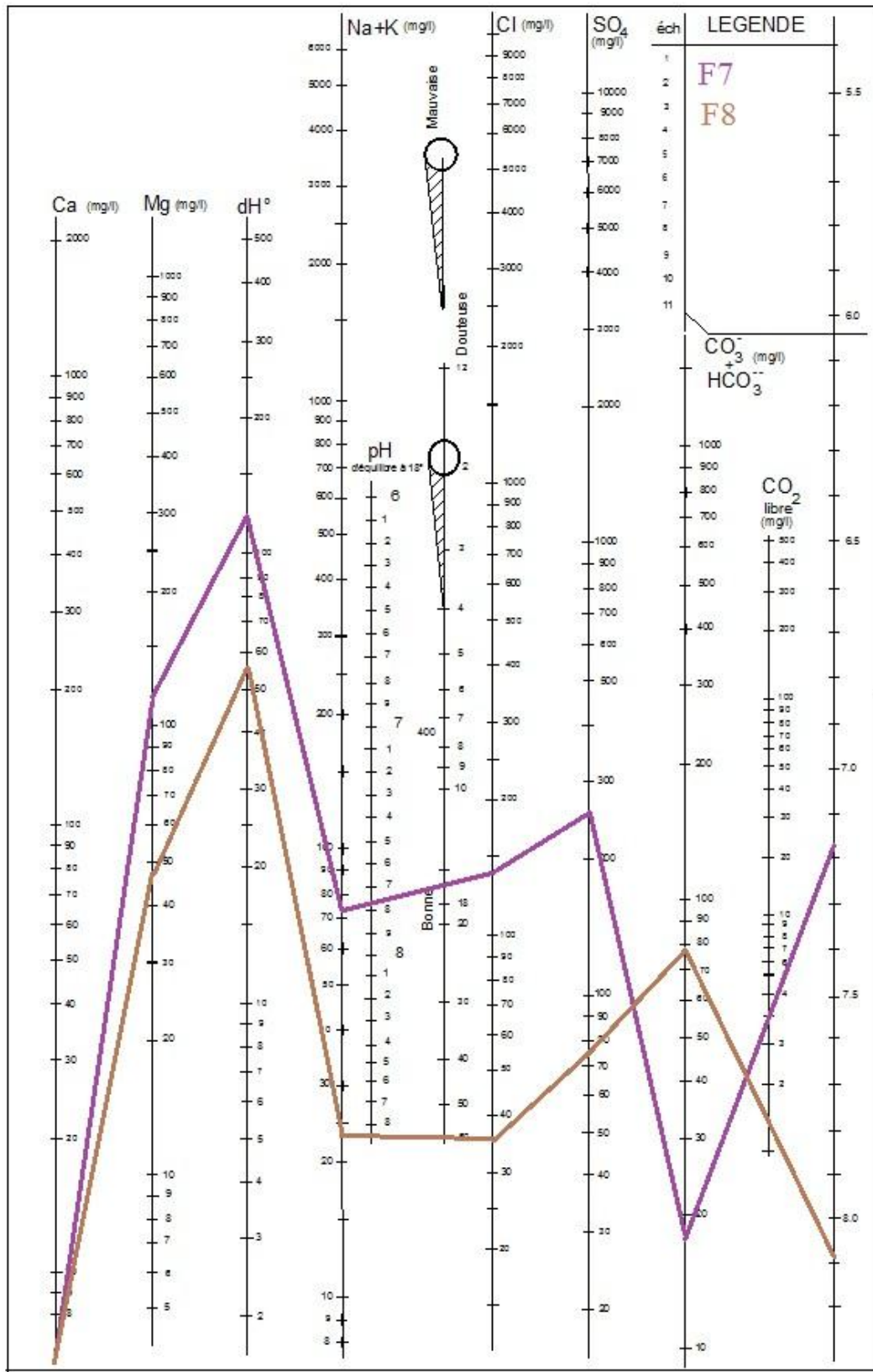


Figure n°30 : Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux de F7 et F8 sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

En se référant au diagramme de Schoeller-Berkaloff (tout en prenant en considération si le $pH_{mesuré} > pH_{équilibre}$ l'eau est incrustante, si le $pH_{mesuré} < pH_{équilibre}$ l'eau est agressive, si le $pH_{mesuré} = pH_{équilibre}$ l'eau est neutre ou équilibrée) on déduit que la majorité des points d'eau de la campagne d'Avril 2018 sont caractérisés par une eau agressive avec 37% et incrustante avec 37% et 25%.

Ceci c'est traduit par moyenne corrosion du tubage des forages (voir tableau n°19).

Tableau n°19: L'agressivité ou l'incrustante

Avril 2018	Pourcentages des points d'eau
Incrustante	37%
Agressive	37%
Neutre ou équilibrée	25%

3.2.1.2. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux analysées sur le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est une des façons les plus classiques et les plus utilisées pour déterminer la composition chimique en élément majeurs d'une eau.

Il permet la représentation des ions et des cations sur deux triangles spécifiques, dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions.

$$r \% x^+ = (100 r^+) / (\sum r^+)$$

$$r \% x^- = (100 r^-) / (\sum r^-)$$

Après calculs, les résultats trouvés (des échantillons de la zone d'étude) sont résumés au tableau n° 19.

Tableau n°20: Classification des eaux souterraine analysée selon Piper

Famille des eaux	Pourcentage%
Chlorurée et Sulfatée calcique et magnésienne	87.5
Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique	12.5

Le tableau n° 19 montre que les eaux de la région d'Ouanougha présente une dominance totale de la famille : Chlorurée et Sulfatée calcique et magnésienne avec 87.5% (à l'exception du forage F4, qui présente la famille Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique).

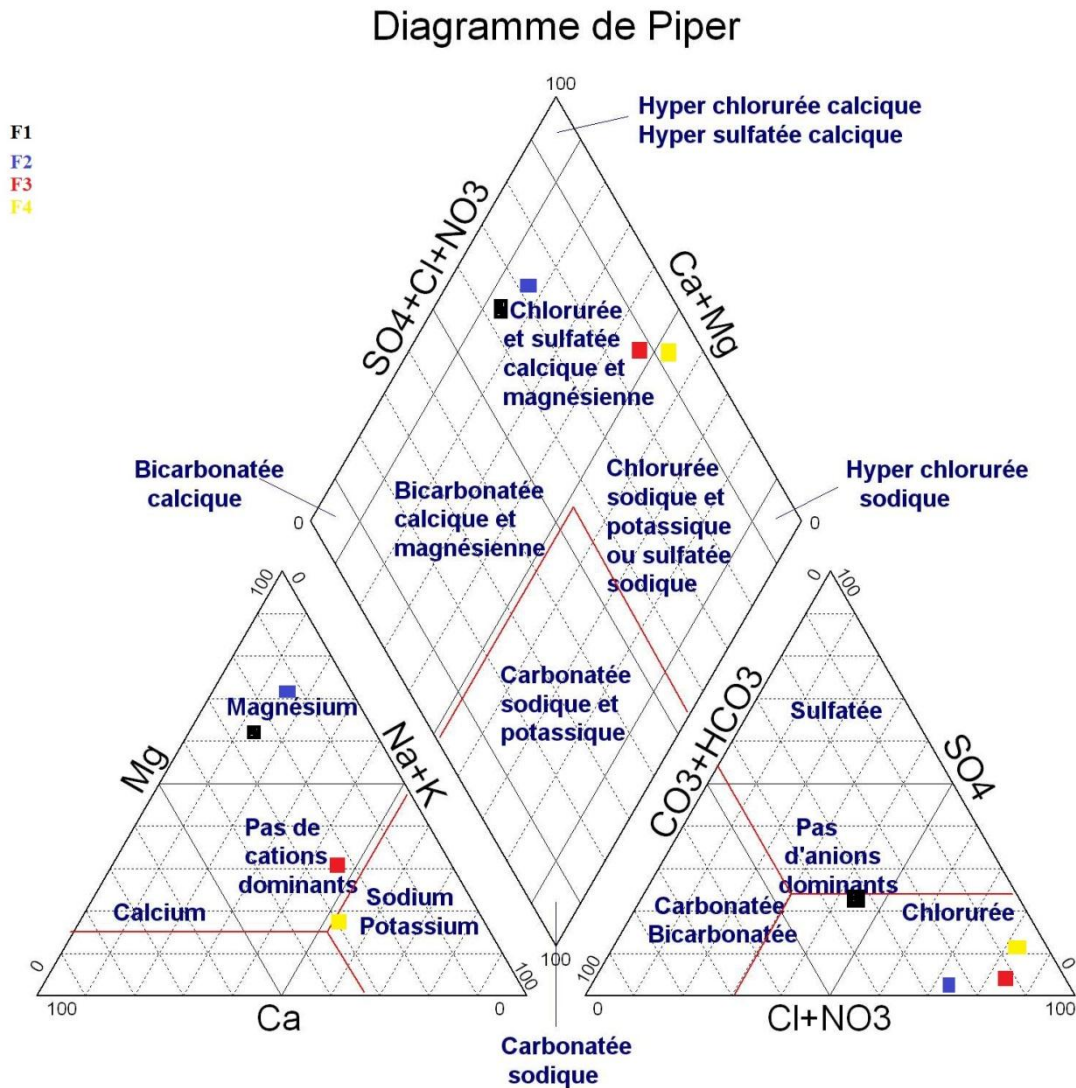


Figure n°31: Classification des eaux d'irrigation des forages F1 –F2 – F3 – F4 d'Ouanougha Selon le diagramme de Piper

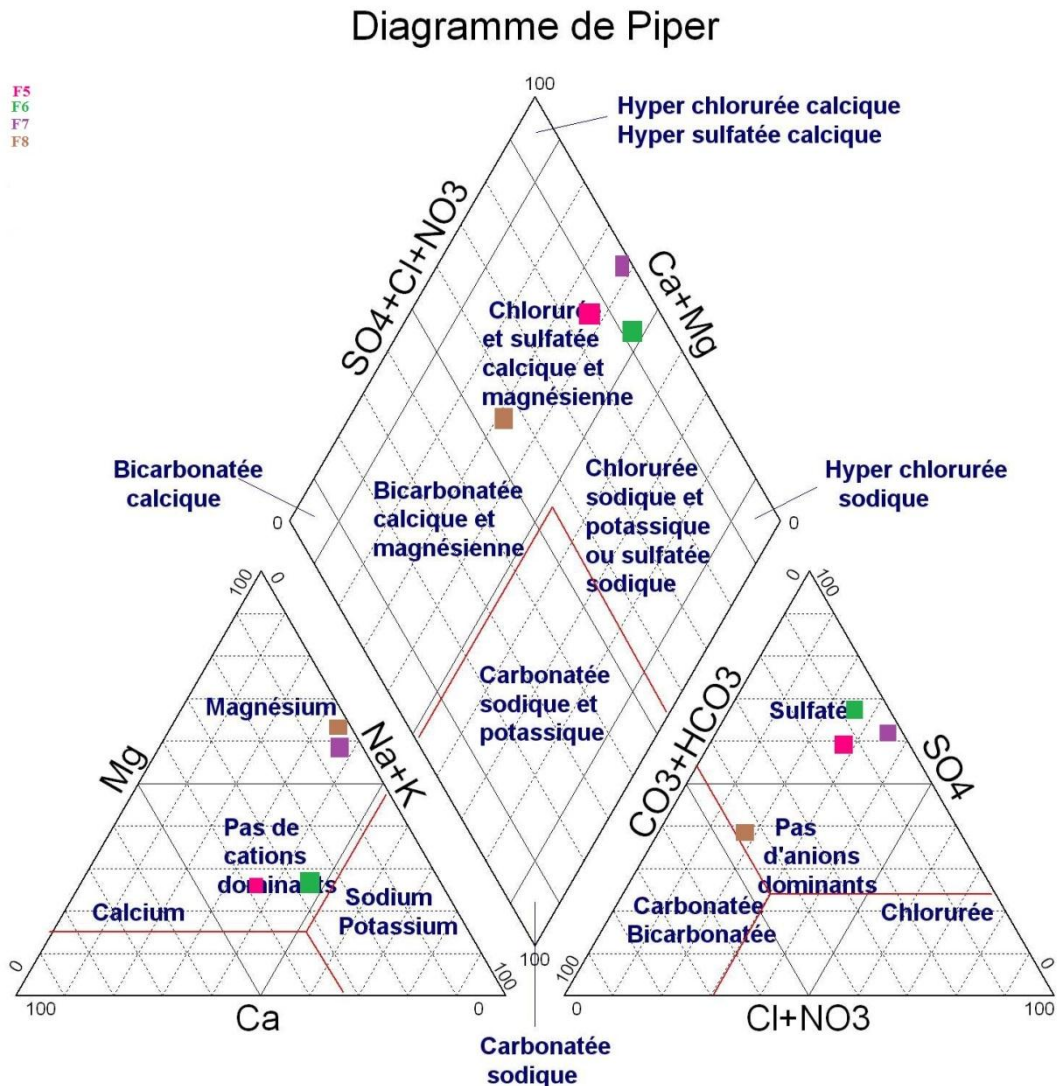


Figure n° 32 : Classification des eaux d'irrigation de F5 –F6 – F7 – F8 (Ouanougha)
Selon le diagramme de Piper

3.3. Classification des eaux des forages analysées selon le diagramme de Richards

Selon **Aggouni et al, (2012)**, c'est une des méthodes les plus couramment employées pour évaluer le potentiel du risque de salinité ou alcalinité par détermination de coefficient d'absorption de sodium (SAR).

Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad \text{ou tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

Après calculs, les résultats obtenus sont résumés au tableau n°21

Tableau n°21: Résultats obtenus après utilisation du diagramme de Richards

Classe		Pourcentage de point d'eau%
Admissible	C3 S1(F1et F2)	25
Médiocre	C4 S1(F3, F4, F5, F6, F7 et F8)	75
Mauvaise	C4 S2	0
Momentanée	C4 S3	0

Sachant que:

Pour les forages F3, F4, F5, F6, F7 et F8 on les classe dans **C4S1**, ce qui indique que nos eaux sont médiocres avec un faible risque d'alcalinité et un risque très élevé de salinité (voir figure 34)

Pour les forages F1et F2, ils appartiennent à la classe **C3S1**, avec des eaux admissibles (un faible risque d'alcalinité et un risque élevé de salinité) (voir figure 31)

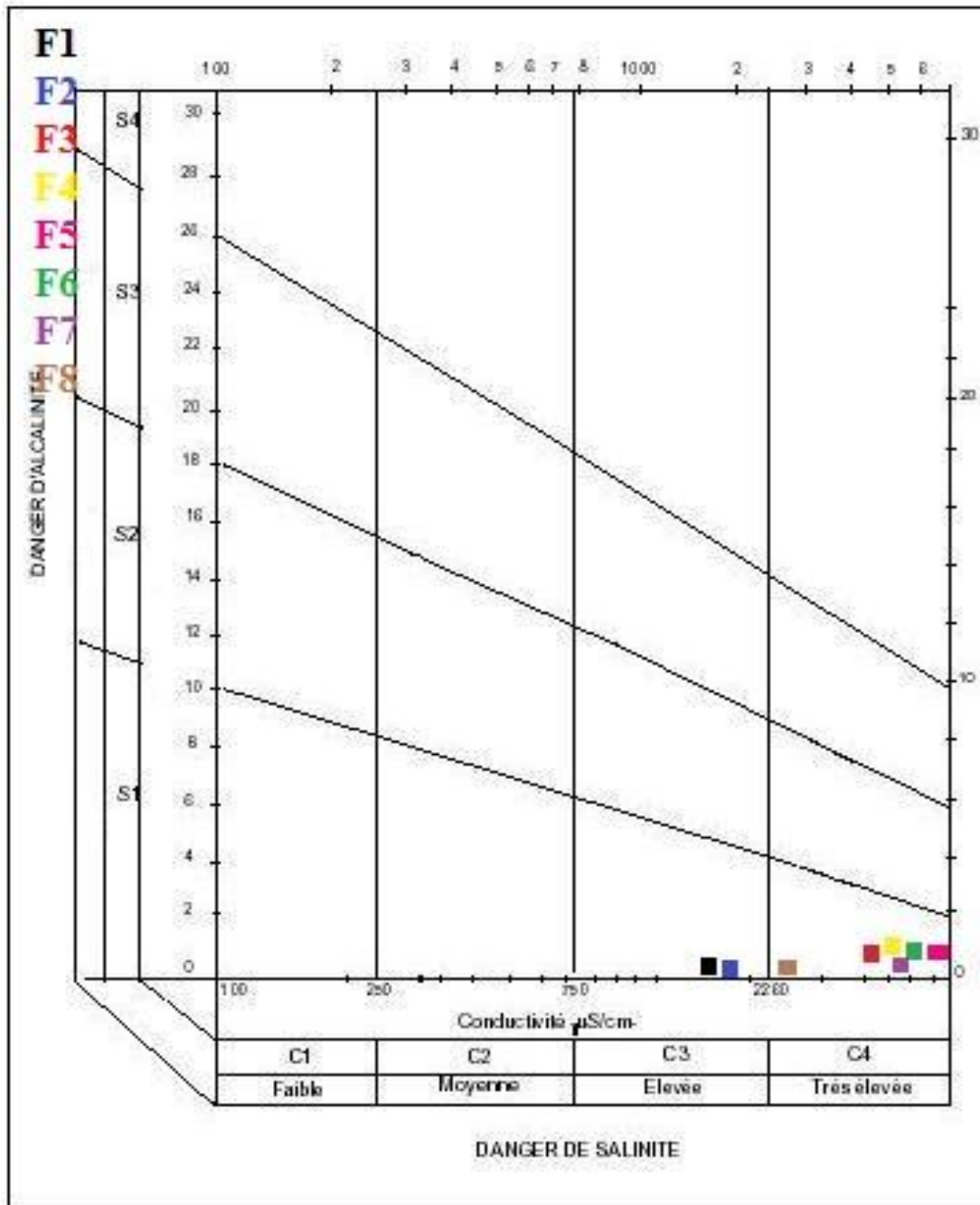


Figure n° 33: Classification des eaux d'irrigation d'Ouanougha selon le diagramme de Richards

3.4. Classification des eaux des forages analysées selon le diagramme de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium.

La classification de Wilcox est fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, elle est définie par la formule suivante:

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

Cette classification définit cinq classes d'eau (Excellente, Bonne, Admissible, Médiocre, Mauvaise).

L'utilisation du diagramme de Wilcox a fait ressortir les classifications des eaux analysées résumées au tableau n°22 et figure n°35.

Tableau n°22: Résultats trouvés par l'utilisation du diagramme de Wilcox

Classes	Pourcentage %
Excellente	0
Bonne	12.5 (F1)
Admissible	0
Médiocre	25 (F2 et F8)
Mauvaise	62.5 (F3, F4, F5, F6 et F7)

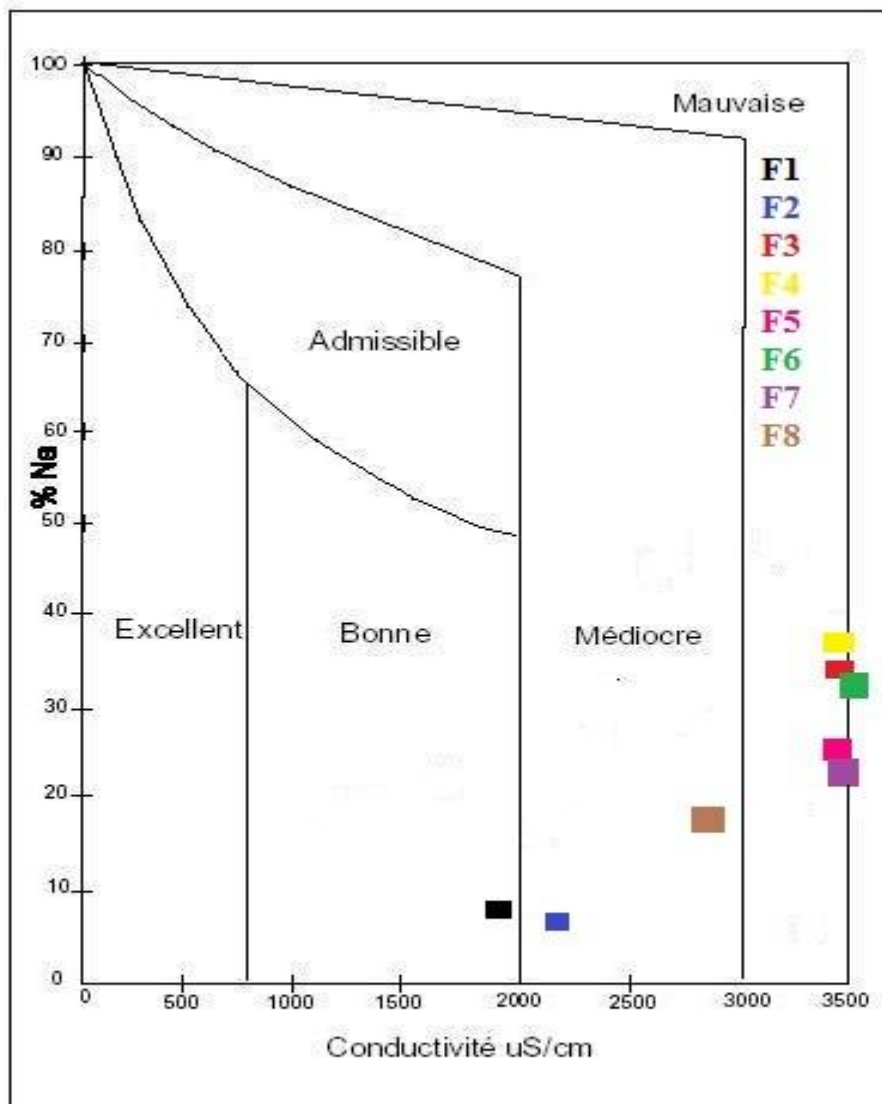


Figure n° 34 : Classification des eaux d'irrigation de la région d'Ouanougha de selon Diagramme de Wilcox

3.5. Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation de la zone d'étude relèvent que :

Le pH indique un caractère alcalin dans les forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F8) et un caractère neutre dans le forage (F7).

Les valeurs de la conductivité électrique indiquent une forte salinité.

Les concentrations des anions et les cations dans la zone d'étude (sulfates, nitrates) sont optimales selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de qualité des eaux.

Selon le diagramme de Piper on remarque une dominance totale de la famille Chlorure et Sulfaté calcique et magnésium.

Les valeur du SAR sont inférieur à 10; ce qui traduit un risque alcalin faible.

Selon le diagramme de Richards, nos eaux appartiennent à la classe C4S1 pour la quasi-totalité des échantillons (indiquant une qualité médiocres avec un faible risque d'alcalinité et un risque très élevé de salinité) à l'exception des échantillons des forages F1 et F2 (avec un faible risque d'alcalinité et un risque élevé de salinité ; C3S1).

Conclusion générale

Conclusion générale

La commune d'Ouanougha, dans ces limites actuelles se trouve dans une position de retrait dans la partie Nord de sa Daïra et de sa wilaya, et compte une superficie de 16720 hectares pour une population totale de 16545 habitants. Elle compte trois (03) principales agglomérations y compris le chef-lieu (A.C.L).

- ✚ Melouza A.C.L
- ✚ El mekmene A/ S
- ✚ AHL –El-Oued

La contribution que nous avons entre prise dans la région d'Ouanougha, nous a permis d'approfondir la connaissance des paramètres physicochimiques des eaux d'irrigation souterraines (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8) à la fin à évaluer la qualité de ces eaux et les risques de leur utilisation.

Le secteur d'étude est caractérisé par un climat semi-aride avec des précipitations moyennes de l'ordre de 269.62 mm/an pour une température moyenne de 17.47 °C.

Les résultats ont trouvé montrent que :

Le pH est alcalin dans la majorité des eaux analysées

Une forte à très forte salinité est enregistrés pour presque la quasi-totalité des échantillons analysés

L'interprétations des diagrammes de PIPER et SCHOELLER-BERCKALOFF à montrer une dominant de Chlorurée et Sulfatée calcique et magnésienne

Le diagramme de Richards représente un faible risque d'alcalinité et un risque très élevé de salinité pour la totalité des échantillons (C4S1), à l'exception des échantillons des forages F1 et F2 représente un faible risque d'alcalinité et un risque élevé

Les valeurs du SAR sont inférieures à 10, ce qui traduit un risque alcalin faible.

En guise de recommandation, nous souhaitons :

Une surveillance permante de la qualité des eaux d'irrigation pour éviter l'effet de la salinité des sols.

Installation des réseaux de drainage pour évacuer l'eau saline en hors de la parcelle cultivée

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Abdllaoui F., Ben Chenit A., 2012-** Caractérisation des sols et des eaux d'irrigation dans deux stations Ben Srouer et Maadher (W-M'sila). Mémoire d'ingénieur, université de M'Sila, 41p.
- Abdelhafidi N., 2005-** Contribution à l'étude qualitative des ressources hydriques souterraines en zone semi-aride (cas de synclinal nord de Djelfa). Mémoire d'ingénieur, université de Djelfa ,77p.
- Achite M., Rezak S., Benbouali A., 2003-** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation en zone semi-aride. Cas des eaux souterraines de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss (Wilaya de Mascara). In 54th International Executive Council of ICID, 20th ICID European Conference, 88p.
- Amroune A., 2013-** Cours d'irrigation, qualité des eaux d'irrigation. 6 p.
- A.N.R.H., 2005-** Etude pédologique du Hodna (wilaya de M'sila). Rapport année 2004-2005. Alger, 41p.
- ANZECC., 2005-** Extrait à partir des directives australiennes de qualité de l'eau pour les eaux fraîches et marines, 32p.
- Anonyme., 1978-** Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale en Sels, selon différentes sources ,24-25p.
- Aggouni A., Debeche A et Demdoug F., 2012-** Etude de la qualité des eaux de surface dans la région septentrionale du bassin du Hodna. Cas du barrage du K'sob, M'sila –Algérie. Mém.Ing. Dép.Agro., Uni., M'sila, 87p.
- Aubert G., 1983-** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salssodiques. Cashier.ORSTOM. ser. Ped. Vol xxxn°1, pp 73-78.
- Ayad W., 2017-**Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-harrouch (wilaya de skikda), université badji mokhtar – Annaba,109p.

B

- Baza Y., 2006-** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi- aride, cas de la région d'Ain el Ibel. Mém. Ing, Uni., Djelfa. 92p.
- Becissa H., 2011-** Etude des caractéristiques physico-chimiques d'eau d'irrigation de barrage du K'sob (M'sila). Mémoire.Ing., Dép. Agronomie, Univ.M'sila,72p.

Benblida M., 2011- L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique, centre d'activités régionales PNUE/PAM, 24p.

Berkani I., Benarfa N., 2005- Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi arides, cas de la région de Deldoul (plain de Ouledtoba) wilaya de Djelfa.

Mémoire d'ingénieur, Université Djelfa .92p.

Boeglin J.C., 1998- Contrôle des eaux douces et de consommation humaine, réglementation française, décret 89.3 du 3 janvier 1998, Doc. P 42 et p,10.

Bouarouj S., 2011-Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Mémoire Magistère, Université Costantine.P3.

C

Chossat P., 2005- Souvenirs forme de dictionnaire amoureux,43p.

CNES., 2000- L'eau en Algérie : le grand défi de demain.

D

Darwich E, Benaabidate L, Zian A,Sadki O et Belghity D., 2010- Caractérisation physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oueds Fes ,Larhyss /Journal n°08, 24p.

Degremont G., 2005- Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et doc, PP : 3- 38.

Dib I., 2009- L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydrotechnique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.

Dubief J., 1953. Le vent et les déplacements du sable au saha. Inst. Rech. Sah.Alger. Pp 26 - 103p.

Durand J.H., 1984. Les sols irrigables, étude pédologique. Ed. S.E.S. Alger.189p.

E

EL ASSLOUJ J., E KHOLTEI S., EL AMRANI N et HILALI A., 2007- Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique SCIENCE 03(1), Pp : 109- 122.

EURL (T.A.D : Territoire. Aménagement. Développement), Juin 2008- Etude relative à la caractérisation et à la délimitation des zones de montagne et des massifs montagneux (massif du Hodna). Bureau d'Ingénierie et d'études Techniques

F

FAO., 1989- Qualité de l'eau. Dosage de la somme du calcium et du magnésium. Méthode Titrimétrique à la l'EDAT .NA 752, ISO 6059-3. Ed. INAPI. Edition et diffusion. Alger,5p.

FAO., 1994- Qualité de l'eau. Dosage Des nitrates. Méthode par spectromètre d'absorption moléculaires. NA 165è, ISO 6777. Ed. INAPI. Edition et diffusion. Alger,4p.

FAO., 1990- Qualité de l'eau. Dosage du sodium et du potassium. Méthode par spectromètre d'émission à flamme .NA 1653, ISO 9964-3. Ed. INAPI. Edition et diffusion. Alger,4p.

G

Ghazali D, Zaid A., 2013- Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes –Maroc), Larhyss journal 12, Pp : 25-36.

Gregorio et Pierre-Marie, 2007- Gregorio C., Pierre-Marie B., 2007- Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : Procédés, Presses Univ. Franche-Comté, 356 p.

H

Halitim A., 1988- Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U ,384p.

Hakmi A., 2006- Traitement de l'eau de source Bousfer Oran, Mémoire de licence traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie, Oran, 48 p.

Hceflc D., 2006- Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar Chafaal, cercle d'Elbrouge, Province de Settat, 201p.

Henri., 2012- Evaluation de la qualite physico-chimique et bacteriologique des eaux souterraines : cas des puits de la region d'el-harrouch (wilaya de skikda).

Hireche A., 2007- Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides Algériennes, Pp : 315_ 320.

I

ISO., 1994- Qualité de l'eau. Dosage des nitrates. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire .NA 1657, ISO 6777. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger,4p.

ISO., 1990- Qualité de l'eau. Dosage du sodium et du potassium. Méthode par spectromètre d'émission à flamme.NA 1653, ISO 9964-3.Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger,4p.

L

Ladjel S., 2009- Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage T7. Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi Ouzou,101p.

Laffont C., 2015- Contrôler le climat pour conservation des collections sur support papier, Pp :1-3.

Loucif S., 2003- Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur Algerie Revue H.T.E, n° .125, Pp : 94-101.

Larpent J. P., 1997- Microbiologie alimentaire : Technique de laboratoire. Ed.Technique et documentation-Lavoisier, Paris, Pp: 10-73.

M

Madr., 2003- Recensement général de l'agriculture 2001. Rapport général des résultats définitifs P 44.

Maton L., 2006- Représentation simulation des pratiques des pratiques culturelles des agriculteurs l'échelle régionale pour estimer la demande en d'irrigation. Application à un bassin versant maïsicole du sud-ouest de la France. Thèse de doc. INP-Toulouse, France, 223p.

Messahal M., Boudjadja A et Pauc H., 2003- Ressourcés hydriques en Algérie du Nord Assument of water Resources in Northern Alegria. Revue des sciences de l'eau, Vol, 16, N.3, Pp 285- 304.

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 Ing., Uni.Baji Mokhtar-Annaba, 209p.

Mohanad S, 2001-Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Ed O.P.U. Alger, 156p.

Myrand D., 2008- Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.

N

Nancy M., 1997- La qualité de l'eau d'irrigation : un facteur à ne pas négliger, Pp33-34.

O

OMS., 1994- Les valeurs guides sont données d'après les "Directive de qualité pour l'eau de boison ", 2éme édition, Edi. Eyrolles. Paris, 535p.

OMS., 1994- Normes international applicables à l'eau, p33.

P

Plauchu., 2004- Economie de l'environnement.

K

Kirkpatrick k., Fleming E., 2008- La qualité de l'eau, ROSS TECH 07/47, 12p.

R

Ramade., 2003- Eléments d'écologie, 3ed. Dunod, paris, 690p.

Rejsek F., 2002- Analyse de l'eau : Aspects réglementaire et technique. Ed CRDP d'Aquitaine, France, 358p.

R.O.R. 1993-1994- Intercommunal (Ouanougha – Beni- Ilmen) commune de Ouanougha Réalise par le B.E.T URTO, division urbanisme 6, Bd STITI Ali TIZI- OUZOU.

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} .paris, Pp: 13-84.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsau R H et Rodi L., 2005- L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, Pp : 13-84p.

Rodier L., 2005- L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, interprétation des résultats, p 57.

Rodier j., Leube B., Merlet N., Chomobon P et coll., 2009- L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, dunod, 9^{ème}, paris, Pp : 15-26.

Rodier et al., 1996., Mohand., 2001- Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Ed. O.P.U, Alger, 156 p.

S

Saadali B., 2007- Etude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental), Mémoire de magister en géologie, Géosciences, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 110p.

Schoeller H., 1962- Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642p.

Satin M., Selmi B., 1999- Guide technique de l'assainissement, 2eme édition : Moniteur, 75p.

Y

Yelle, Paul Emile., 2003- Propre et salée, qualité de l'eau d'irrigation, Agri-vision 2003. MAPAQ St- Rémi 10p.

Z

Zerouak S., 2014- Caractérisation physico-chimique de qualité des eaux d'irrigation dans la zone Est Sud de Chott El Hodna- Wilaya de Msila-(Cas de la région de M'sif), 82p.

Annexe

Annexe 1 : Méthode détaillée d'extrapolation des données climatique pour la région d'étude

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

- ✓ L'altitude de la région de M'sila est : 441 m.
- ✓ L'altitude de la région d'étude (Ouanougha) est 797.75 m.

On calcule la différence d'altitude : $797.75 - 441 = 356.75$ m.

1.1. La température

Selon **SELTZER (1946)**, la température maximale diminue d'environ $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour chaque 100 m d'altitude et la température minimale diminue d'environ $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour chaque 100 m d'altitude.

- ✓ Températures maximales:

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

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} \longrightarrow 356.75\text{ m}$$

$$T^{\circ} = (0.7 \times 356.75) / 100 = 2.49$$

Donc, chaque valeur de la T° max mensuels de station de M'sila à 441 m diminue de $2.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivement pour détermine les valeurs de la T° mensuelles de la région de Ouanougha à 797.75 m.

- ✓ Températures minimales:

$$0.4\text{ }^{\circ}\text{C} \longrightarrow 100\text{ m}$$

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} \longrightarrow 356.75\text{ m}$$

$$T^{\circ} = (0.4 \times 356.75) / 100 = 1.427$$

Donc, chaque valeur de la T° min mensuelles de station de M'sila à 441 m diminue $1.427\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivement pour détermine les valeurs de la T° mensuelles de la région de Ouanougha à 797.75 m.

Tableau n°1 : Température mensuelle ($^{\circ}\text{C}$) moyenne, minimale et maximale d'Ouanougha 1988-2017.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aut	Sep	Oct	Nov	Dec
Min	2,19	2,89	6,14	9,35	14,57	19,42	23,06	22,74	17,97	13,18	7,07	3,06
Max	11,73	13,62	17,67	21,17	26,13	32,48	36,57	35,91	29,92	23,69	16,63	12,03
T° Moy	7	8.2	11.91	15.3	20.4	25.9	29.8	29.3	23.9	18.4	11.9	7.6

1. 2. Les précipitations:

Selon **DJEBAILI (1984)**, les précipitations augmentent de 20 mm tous les 100 m d'altitude.

La moyenne des précipitations annuelles de la région de Ouadah :

20 mm \longrightarrow 100 m

P \longrightarrow 356.75 m

$$(20 \times 356.75) / 100 = 71.35 \text{ mm}$$

La moyenne annuelle des précipitations de la station de M'sila est : 198.27

Donc, les précipitations annuelles de la région d'étude :

$$198.27 + 71.35 = 269.62$$

Le coefficient de correction :

$$K = P (\text{moyennes annuelles à } 797.75) / P (\text{moyennes annuelles à } 441)$$

$$K = 269.62 / 198.27 = 1.35$$

Tableau n°02 : Pluviométrie mensuelle (mm) d'Ouanougha 1988-2017.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
P (mm)	25.76	17.65	21.14	28.84	32.38	12.95	5.73	9.84	31.94	33.76	24.77	24.95	269.62

Annexe 02 : Données climatiques générales de la région d'Ouanougha

Tableau n°01 : Représentation des données climatiques de la région d'Ouanougha (après extrapolation par rapport aux données de la station météorologique de M'Sil)

Paramètre Mois	TM (°C)	P(mm)	V (m/s)	H (%)
J	7	25.7	4	73.6
F	8.2	17.6	4	66.3
M	11.9	21.1	4	59.6
A	15.3	28.8	5	55.3
M	20.4	32.4	5	48.1
J	25.9	12.1	4	40.9
JT	29.8	5.7	4	34.6
A	29.3	9.8	4	37.1
S	23.9	31.9	4	52.0
O	18.4	33.8	4	58.9
N	11.9	24.8	4	67.8
D	7.6	24.9	4	74.6
MOY	17.5	269.62	5.42	55.7

Annexe 03 : Données détaillées des paramètres étudiés pour le climat de la région d'Ouanougha (après extrapolation)

Tableau n°1 : Précipitation moyennes mensuelles en (mm) d'Ouanougha

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Précipitation (mm)	25.7	17.6	21.1	28.8	32.4	12.1	5.7	9.8	31.9	33.8	24.8	24.9

Source : Station météorologique de M'sila 1988-2017

Tableau n°2 : Températures moyennes en (°C) de la station d'Ouanougha

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Températures Moyennes	7	8.2	11.9	15.3	20.4	25.9	29.8	29.3	23.9	18.4	11.9	7.6

Source : Station météorologique de M'sila 1988-2017

Tableau n° 3 : Vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région d'Ouanougha durant la période 1988 – 2017.

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Vitesse de vent (m/s)	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4

Source : Station météorologique de M'sila 1988-2017

Tableau n°4 : L'humidité moyennes mensuelles en (%) de la station d'Ouanougha durant la période 1988 – 2017.

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Humidité %	73.6	66.3	59.6	55.3	48.1	40.9	34.6	37.1	52.0	58.9	67.8	74.6

Source : Station météorologique de M'sila 1988-2017

Annexe 4 : Caractéristiques détaillée des forages de la zone d'Ouanougha

Tableau n°1 : Les caractéristiques des forages de la zone d'Ouanougha

Les forages Caractère	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Nom la zone	Tayachat	Rbibe	Elctaf	Elbhiara	Elbhiara	Elbour	Elbyadrania	Ain Eljdrade
L'année	2010	2003	2017	2016	2015	2016	2016	2015
Surfaces des parcelles	3H	3H	4H	11.5H	3H	4.5	2H	2H
T (°C)	14.5	24.3	21.1	19.35	20.2	19.9	22	25,3
CE (µS/ cm)	1939	2020	4290	550 0	9090	6500	5910	2710
Le pH	8.17	7.60	7.54	7.63	7.66	7,9	8.17	8,09

Annexe 5 : Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux

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

Classes	Très Bonne 1A	Bonne 1B	Moyenne 1	Mauvaise 3	Très Mauvaise HC
Paramètres					
Conductivité à 20% °C (cm)	≤ 400	400 - 750	750-1500	1500-3000	-
Temperature (°C)	< 20	20 -22	22-25	25 - 30	
Le pH	6.5 – 8.5	6.6 - 8.5	6 – 9	5.5-9.5	-
MES (mg /l)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30-70	
Résidu sec (mg/l)	≤ 500	500- 1500	1500-2500	2500-3500	-
O2 (mg/ l)	> 7	5 – 7	3-5	< 3	
Oxydabilité (mg / l)	< 3	3-5	5 – 8	-	-
SO₄⁻² (mg /l)	≤ 200	-	200- 300	300-400	-
Cl⁻ (mg /l)	≤ 150	-	150- 300	300-400	> 400
Mg⁺²	≤ 50	50- 75	75 – 100	100-400	>
Ca⁺²	≤ 160	160-230	230 – 300	300-500	-
NH₄⁺ (mg/l)	≤ 0,1	0,1-0,5	0,5- 2	2-8	> 8
NO₃ (mg/l)	≤ 5	5 -25	25 -50	50-80	> 80
NO₂⁻ (mg/l)	≤ 0,1	0,1-0,3	0.3 – 1	1-2	> 2

Annexe 6 : Résultats de pH équilibre et Co₂ de la région d'Ouanougha

Tableau n° 1 : Résultats de pH équilibre et Co₂ de la région d'Ouanougha

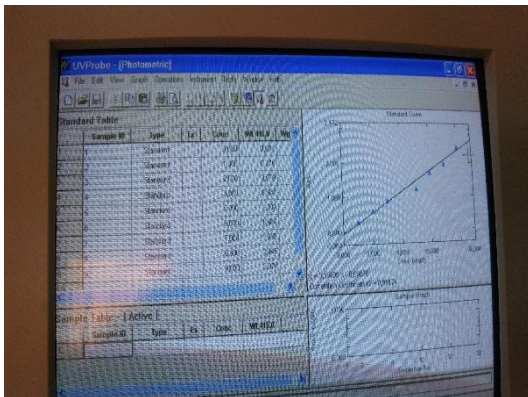
Forages	pH équilibre	Co ₂
F1	≥9	3
F2	7.7	7
F3	7.7	9
F4	7.5	6.5
F5	7.5	4
F6	7.7	0
F7	7.8	3.5
F8	8.8	1.5

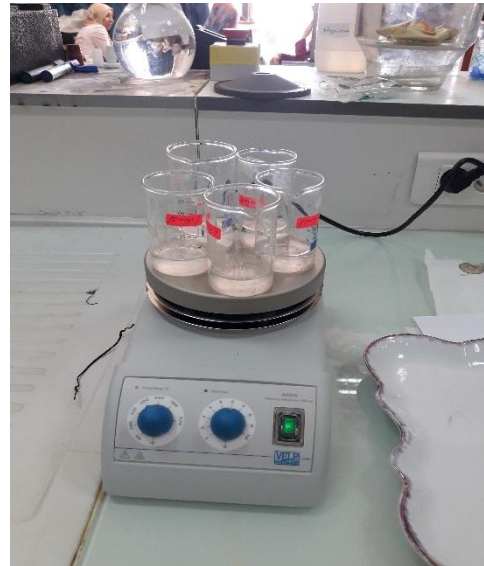
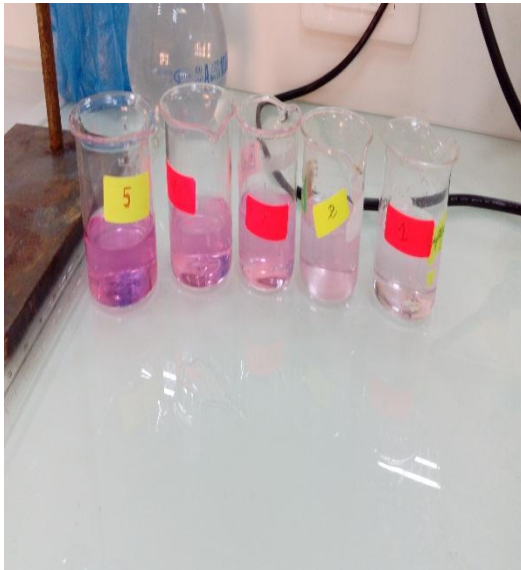
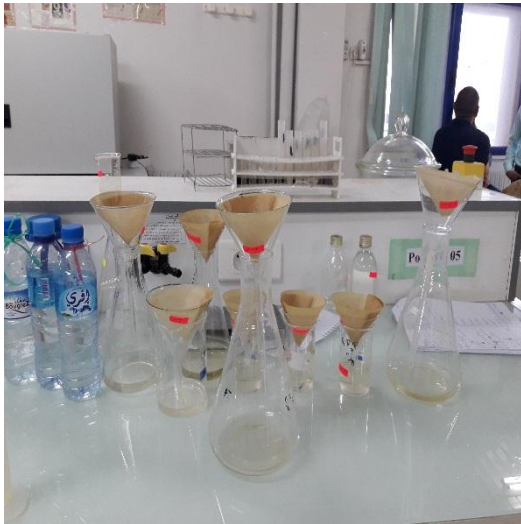
Annexe n°7 : Les photos sur terrain et laboratoire

1. Les photos sur terrain



2. Les photos au laboratoire





ملخص:

مساهمة في معرفة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الري لمنطقة ونوغة ولاية المسيلة

تهدف هذه الدراسة الى معرفة خصائص مياه الري الجوفية لمنطقة ونوغة ولاية المسيلة خلال شهر أفريل 2018 بتحليل عينات 8 آبار.
بينت النتائج أن:

- درجة الحموضة تشير إلى أن مياه المنطقة قاعدية.
 - تميزت نفاط المياه بقيم أقل من 10 بالنسبة SAR .
 - غالبية الكلورير والكبريت والمغنزيوم.
- هذا يقودنا الى الحكم على أن المياه الجوفية لدينا لا تشكل أي خطر على غالبية المزروعات.
كاقتراح : نقترح تركيب شبكة صرف لإخراج المياه المالحة خارج الاراضي المزروعة.
الكلمات المفتاحية: خصائص – مياه الري – ونوغة – المسيلة .

Résumé

Contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation de la zone d'Ouanougha wilaya de M'Sila.

Cette étude a pour objectif la caractérisation des eaux souterraines destinées à l'irrigation dans la zone d'Oaunougha (w. M'Sila), durant le mois d'Avril 2018 sur 8 échantillons des forages.

Les résultats montrent que :

-Le PH indique un caractère basique des eaux de la région.

-Le SAR présente des valeurs inférieures à 10; ce qui traduit un risque alcalin faible. -Dominance de Chlorurée et Sulfatée calcique et magnésienne.

Ce qui nous amène à juger que nos eaux d'irrigation sont globalement acceptables et ne présentent pas de risques pour la majorité des cultures.

Comme suggestion, on propose l'installation de réseau de drainage pour évacuer l'eau saline en dehors des parcelles cultivées.

Mots clés: Caractérisation. eaux d'irrigation, Ouanougha, M'Sila

Abstract:

Contribution to the knowledge of the physicochemical properties of irrigation water in Ouanougha wilaya of M'Sila.

The purpose of this study is to characterize groundwater for irrigation in Oaunougha area (M'Sila), during the month of April 2018, using 8 drill samples.

The results show that

Le PH indicates a basic character of the waters of the région

SAR has vailles less than 10; which reflects a low alkaline risk

-Dominance of chloride and sulphate calcium and magnesian This leads us to judge that our irrigation water is globally acceptable and does not present risks for the majority of cultures

As a suggestion, it is proposed to install a drainage network to evacuate saline water outside cultivated plots

Key words: Characterization, irrigation water, Ouanougha, M'Sila