

Université Echahid Hamma Lakhdar
El-Oued Algérie



جامعة الشهيد حمه لخضر
الوادي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master Académique en Hydraulique

Option: Ouvrages Hydrauliques

THÈME

**Contribution à l'étude de la dureté des eaux des nappes souterraines
de la region d'El Oued (Souf) et les procédés d'adoucissement**

Présenté par :

- LAIB Houdaifa
- FERHAT Israa

Soutenue le : 03 Juin 2018

Devant les membres du jury

Président : Mr .OUAKOUAK Abdelkader
Examineur : Mr .GADIR OMAR Hassan
Encadreur : Mr .GUSSEIR Belgacem

Promotion : Juin 2018

Dédicace

Je remercie DIEU tout puissant de m'avoir donné le courage pour achever ce

Modeste travail que je dédie :

A mon maitre, mon guide, mon soutien ;

Mon livre dans la grande école de vie, toi mon adorable père.

Au grand cœur rempli d'amour de tendresse et de patience

Toi ma mère bien aimée

A qui je suis très reconnaissant pour leur esprit constrictif et qui représentent

Pour moi la source de confiance et tendresse,

*Mes très chers frères, surtout frère **Salah chems eddine** (La miséricorde de Dieu).*

*A toute la famille **L A I B , F E R H A T** petits et grands.*

Pour tous les amis

Et mes collègues groupent de hydraulique.

A hand holding a Nestlé Pureit water bottle against a blue sky background. The bottle is white with a blue label that says "Nestlé Pureit". The hand is positioned in the center of the frame, holding the bottle from the bottom. The background is a clear blue sky with some light clouds.

Remerciement

*D'abord, je remercie Fort Bien Dieu qui donne l'opportunité d'apprendre
langue différente de la mienne, qui m'a permis, de rédiger ce mémoire.*

*Je remerciement à tous les enseignants et les étudiants du département
hydraulique et de l'université*

*Surtout ma encadreur Monsieur **GUSSEIR BELGACEM***

*Sans oublier toute l'équipe d'**ADE D'EL OUED, DEBILJA, LABO 02 ST;***

*Mr. **OOUAKOUAK Abdelkader, SARL TAIBA EAU POTABLE.***

*En fin je remerciement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin
à l'élaboration de ce travail et ceux qui travaillent pour la science
et le pays.*

Résumé

Contribution à l'étude de la dureté des eaux des nappes souterraines de la région

d'El Oued (Souf) et les procédés d'adoucissement.

L'eau est considérée comme l'un des éléments les plus importants de la vie humaine qui est indispensable dans tous ses usages quotidiens : pour la boisson, l'industrie et l'agriculture.

Cependant, la dureté de l'eau est un problème majeur qu'on doit le résoudre pour avoir une bonne qualité d'eau potable notamment dans la région d'El Oued (Souf) où elle est excessivement élevée 80 - 270 °F qui est liée à l'origine géologique du terrain.

Parmi les traitements utilisés pour adoucir la dureté de l'eau il y a les échangeurs d'ions , l'adoucissement de l'eau par la décarbonatation au carbonate de sodium (Na_2CO_3) etc...

A cet effet , les résultats obtenus par ce traitement sont encourageants et ont conduit à un adoucissement de l'eau de la région testée . ce qui est bénéfique économiquement, sanitaire et qualitativement.

Mots clés: Oued souf, dureté, adoucissement, précipitation, carbonate de sodium.

Abstract

Contribution to the study of the hardness of groundwater aquifers of the region of d'El Oued (Souf) and softening processes.

Water is considered one of the most important elements of human life that is essential in all its everyday uses: for drinking, industry and agriculture.

However, water hardness is a major problem that must be solved in order to have a good drinking water quality in the region of El Oued (Souf) where it is excessively high 80 - 270 °F which is related to the geological origin of the terrain.

Among the treatments used to soften the hardness of water are ion exchangers, water softening by decarbonation with sodium carbonate (Na_2CO_3) etc ...

For this purpose, the results obtained by this treatment are encouraging and have led to a softening of the water of the region tested. which is beneficial economically, healthily and qualitatively.

Key words: Oued Souf, hardness, softening, precipitation, sodium carbonate.

المساهمة في دراسة عسر مياه الطبقات الجوفية في منطقة وادي سوف وطرق التليين

تعتبر المياه واحدة من أهم عناصر الحياة البشرية التي تعتبر أساسية في جميع الاستخدامات اليومية: للشرب والصناعة والزراعة.

ومع ذلك ، فإن عسر المياه مشكلة رئيسية يجب حلها من أجل الحصول على جودة مياه الشرب الجيدة في منطقة الوادي (سوف) حيث تكون عالية جداً 80 - 270 °F . التي ترتبط بالمنشأ الجيولوجي للأرض.

و من بين العلاجات المستخدمة في تليين عسر الماء هناك المبادلات الأيونية وتلين الماء عن طريق إضافة كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) الخ

لهذا الغرض ، فإن النتائج التي تم الحصول عليها من هذا العلاج مشجعة وأدت إلى تخفيف مياه المنطقة التي تم اختبارها. وهو مفيد اقتصادياً وصحياً ونوعياً.

كلمات مفتاحية : وادي سوف، عسر، تليين، ترسيب، كربونات الصوديوم.

Liste des abréviations

D.P.A.T : Direction de la Planification & de L'Aménagement du Territoire.

P.D.A.U: Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

D.P.S.B : Direction de La Programmation et du Suivi Budgétaires

M.N.T : Modèle Numérique du Terrain.

C.D.T.N : Centre de Développement des Techniques Nucléaires.

C.T : Complexe Terminal.

C.I : Continental Intercalaire.

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

D.H.W : Direction de l'hydraulique de la Wilaya

U.N.E.S.C.O : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

A.E.P : Alimentation en Eau Potable.

O.N.M : Office National Météorologique.

O.M.S : Organisation mondial de la santé

T.H : Titre Hydrotimétrique

C.E.E : Communauté économique européenne

P.H : Potentiel d'Hydrogène

A.D.E : Algérienne Des Eaux.

E.D.T.A : Acide éthylène diamine tétracétique

Liste des abréviations

Les Unités :

cm : Centimètre ;

°C : Degré Celsius ;

°F : Degré français ;

m : Mètre ;

meq/l : Milliéquivalent par litre ;

mg : Milligramme ;

mg/l : Milligramme par litre ;

g : Gramme ;

g/l : Gramme par litre ;

h : Heure ;

μS/cm : Micro siemens par centimètre ;

j : jour

L : litre

% : Pourcentage

N.T.U : Néphélométric turbidity unit

Km : Kilomètre

km² : Kilomètre carré

hab/km : Habitant par kilomètre

kg : Kilogramme



SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste des abréviations	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I-1- Intrduction.....	2
I-2- Situation géographique.....	2
I-3 - Répartition administratif et démographie	3
I- 4- Topographie.....	5
I- 5- Géologique de la région d'étude.....	6
I-5-1 Cadre stratigraphique	7
I-5-1-1 Formations de l'ère Secondaire	7
I-5-1-2- Formations de l'ère Tertiaire	8
I-6- Cadre hydrogéologique générale	9
I-6-1- Présentation des nappes aquifères de la région du Souf.....	9
a) Nappe Phréatique	10
b) Nappe du complexe terminal	12
c) Nappe du continentale intercalaire	12
I-7- Climatologie.....	14
I-7-1-Climat de la région d'étude	14
I-7-2-Etude des paramètres climatiques	15
➤ La temperature.....	15
➤ Les précipitations	16
➤ Humidité relative de l'air	17
➤ L'évaporation.....	18

➤ Les Vents.....	18
I-7-3-Synthèse climatique	19
I-7-3-1- Indice d'aridité.....	19
I-7-3-2- Diagramme pluviothermique	20
I-8-Conclusion.....	22

CHAPITRE II : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE CONCERNANT LA DURETÉ ET PROCÉDÉS D'ADOUCCISSEMENT DE L'EAU

II.1. Introduction.....	23
II.2. Principaux éléments responsables de la dureté	23
II.3. Normes et recommandations.....	24
II.4. Conséquences de la dureté.....	25
II.4.1. Conséquences pratiques et domestiques	25
II.4.2. Conséquences sanitaires	25
II.5- Procédés d'adoucissement.....	25
II.5.1. L'échangeurs d'ions :.....	26
II.5.2. L'Osmose inverse	27
II.5.3. Décarbonatations à la chaux	29
II.5.4. Décarbonatation au carbonate de sodium (Na ₂ CO ₃).....	30
II.6. Types d'adoucisseur d'eau	30
II.6.1. Adoucisseur d'eau au CO ₂	31
II.6.2. Adoucisseur d'eau sans électricité.....	32
II.6.3. Adoucisseur d'eau industriel	33
II.7.Conclusion.....	35

CHAPITRE III : MATÉRIEL ET MÉTHODES

III.1. Introduction	36
III.2.Choix des stations d'étude.....	36
III.3. Prélèvement des échantillons	36
III.4. Appareillages d'analyse.....	37
III.4.1. Mesure de la température	37
III.4.2. Mesure du pH	38
III.4.3. Mesure de la conductivité.....	39

III.4.4. Mesure de la turbidité.....	40
III.4.5 Dosage de la dureté totale.....	41
III.4.6. Dosage de calcium.....	42
III.4.7. Calcul du magnésium	43
III.4.8. Dosage de l'alcalinité	43
a) Détermination du titre alcalimétrique.....	43
b) Détermination du titre alcalimétrique complète.....	44
III.4.9. Calcul des bicarbonates	45
III.4.10. Dosage des sulfates	45
III.4.11. Dosage des chlorures.....	46
III.4.12. Dosage des nitrites.....	47
III.5.Conclusion	48

CHAPITRE IV : PARTIE EXPÉRIMENTALE

IV.1. Introduction.....	49
IV.2. Caractéristique chimique de l'eau.....	49
IV.2.1. But.....	49
IV.2.2. Eau des forages d' EL_OUED et Debila	49
IV.2.3. Discussion	51
IV.3. Analyse de la dureté.....	52
IV.3.1. Résultats	52
IV.3.2. Discussion	53
IV.4. Adoucissement des eaux des forages 19 mars par addition du carbonate de sodium.....	54
IV.4.1. Etude théorique	54
IV.4.1.1. Quantité de carbonate de sodium optimale	54
IV.4.1.2. Précipitation du carbonate de calcium.....	54
IV.4.2. Etude pratique	54
IV.5. Conclusion	56
Conclusion générale	57
Références Bibliographiques	58
Annexes	I , II

Liste des tableaux

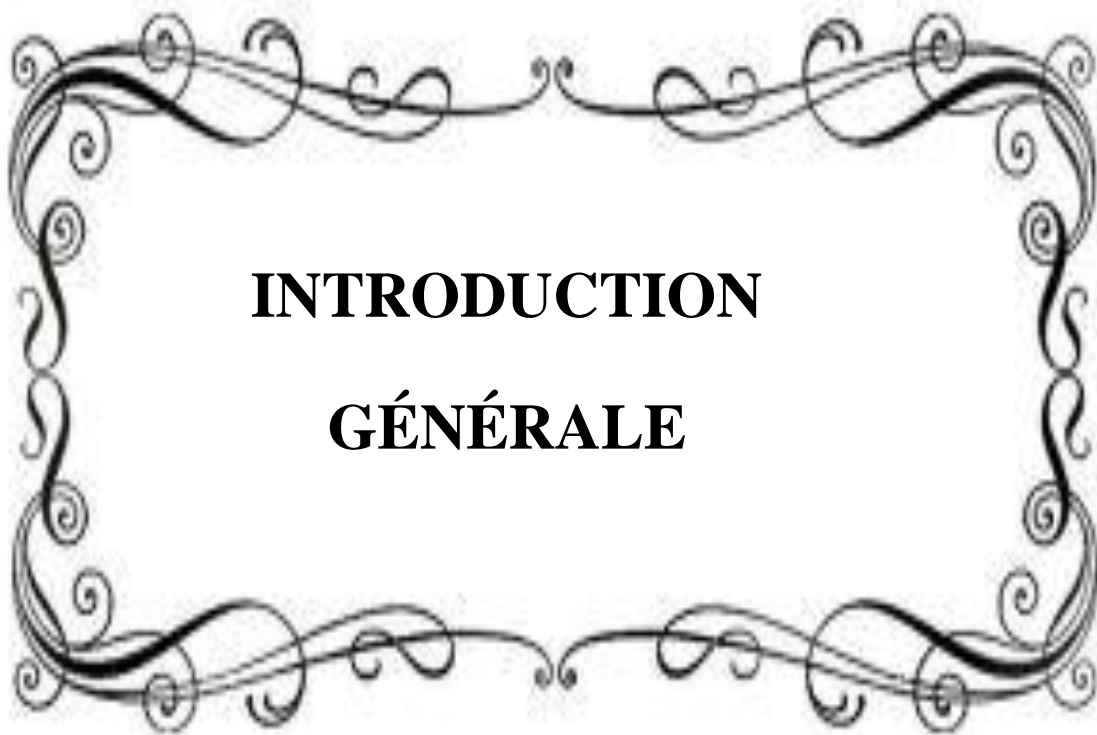
Tableau	Titre	Page
I.01	Répartition de la superficie ,du nombre d'habitants et de la densité apparente par commune de la wilaya d'El-Oued Souf (D.P.S.B., 2014).	4
I.02	Log stratigraphique et l'hydrogéologie de forage Barrémien dans la région du Souf (D.W.H., 2004).	13
I.03	Moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques Station météorologique de Guemmar Oued Souf (1978-2013)	14
I.04	Classement en fonction de l'indice d'aridité (selon De Martonne)	20
I.05	Couples température/ précipitation mensuelle interannuelle	21
II.01	Concentrations admissibles dans l'eau potable	24
IV.01	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des forages (A.D.E ,2018)	50
IV.02	Analyse de la dureté des différentes nappes aquifères de la zone d'El-Oued Souf (A.D.E ,2018)	52
IV.03	Classification d'une eau selon sa dureté totale	53
IV.04	Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars (C.T)	55
IV.05	Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars Albien	55

Liste des figures

Figure	Titre	Page
I.1	Situation géographique de la région d'El-Oued «P.D.A.U., 2005 »	3
I.2	Extrait de la carte topographique de la région d'El-Oued Souf (A. Brahim ; 2014)	5
I.3	Carte géologie locale d'après la carte dressée par : (Gousskov M.M.N ; 1948)	6
I.4	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après U.N.E.S.C.O., 1972)	10
I.5	Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement.	11
I.6	Histogramme des température moyennes mensuelles (T °C) (1978-2013)	15
I.7	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (P mm) (1978-2013)	16
I.8	Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelles (1978-2013)	17
I.9	Histogramme de l'évaporation moyennes mensuelles (EVAP mm) (1978-2013)	18
I.10	Histogramme des vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s) (1978-2013)	19
I.11	Diagramme pluviothermique de la station de Guemar (1978-2013)	20
II.1	Principe d'échange d'ions et la regeneration	27
II.2	Principe général de l'Osmose inverse	28
III.1	Carte de localisation montrant les Stations d'étude échantillonnés	37

Liste des photos

Photo	Titre	Page
II. 1	Photo d'un adoucisseur d'eau au CO ₂	32
II. 2	Photo d'un Adoucisseur d'eau sans électricité Waterclic Duplex	33
II. 3	Photo d'un adoucisseur d'eau industriel BERKOION TM gamme High Flow Duplex	34
III. 1	PH-mètre	38
III. 2	Conductimètre	39
III. 3	Turbidimètre Hatch utilisé	40



INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Pendant longtemps, l'eau a été considérée comme un bien naturel, un « don de dieu » gratuit, d'exploitation plus ou moins facile et, pour ainsi dire d'une grande valeur.

La dureté d'une eau, c'est à dire son degré d'hydrotimétrique dépend en grande partie de sa concentration en sels de calcium et de magnésium. Il semble qu'une eau dure présente des avantages plus ou moins pour la santé, car une partie des minéraux qu'elle renferme est probablement mieux assimilé par l'organisme. Une eau est dite «dure» lorsqu'elle est fortement chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). A l'inverse, elle est dite «douce» lorsqu'elle contient peu de ces ions. Cette dureté s'exprime en degrés français (°F). Un degré français de dureté correspondant à une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg de carbonate de calcium (CaCO_3) par litre.

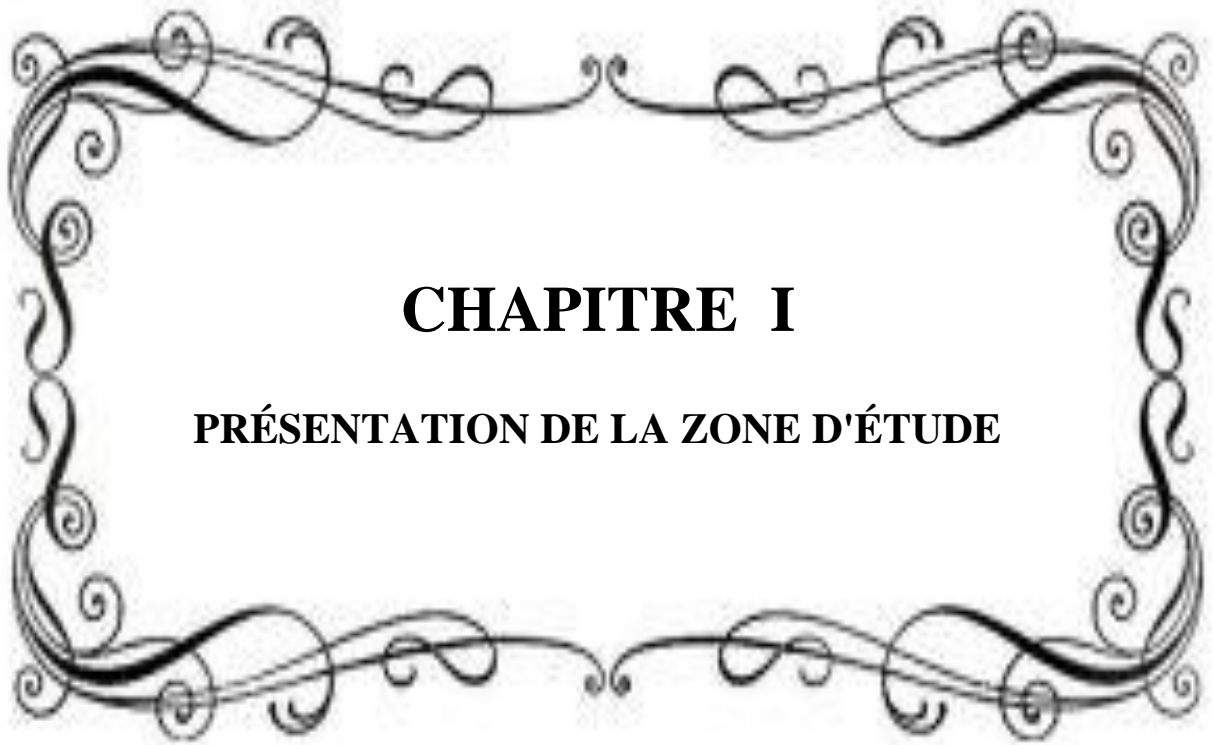
La dureté de l'eau résulte de son contact avec les formations rocheuses lors de son passage dans le sous-sol. Elle varie donc en fonction de la nature de celui-ci et de la région d'où provient l'eau.

Pour réduire la dureté de l'eau il y'a plusieurs méthode comme l'échange d'ion, l'osmose inverse et l'adoucissement par précipitation chimique.

L'objectif de ce mémoire basé sur « contribution à l'étude de la dureté des eaux des nappes souterraines de la region d'El Oued (Souf) et les procédés d'adoucissement ».

Le mémoire présente les chapitres suivants :

- **CHAPITRE I** : présentation de région d'étude dans son contexte géographique, secondée d'une étude climatique, géologique et hydrogéologique.
- **CHAPITRE II** : synthèse bibliographique concernant la dureté des eaux et les procédés d'adoucissement .
- **CHAPITRE III** : matériels et méthodes ; dans lequel nous avons exposé les méthodes mises en œuvre afin de réaliser ce travail.
- **CHAPITRE IV** : résultat et discussion ; dans ce chapitre nous avons exposé nos résultats .



CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I-1- Introduction

La wilaya d'El-Oued Souf est une région aride, fait partie du Sahara Septentrional partagé par la Tunisie, la Libye et l'Algérie. Elle est située au Sud-Est du Sahara Algérien.

La wilaya répartie en trois zones bien distinguées qui sont les suivantes (D.P.A.T ,2009) :

- La vallée de Souf ;
- La vallée d'Oued Rhig;
- La zone frontalière (Taleb Larbi).

La connaissance des caractéristiques hydro-climatiques est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car elles influent sur les apports souterrains, donc sur l'hydrodynamique des aquifères en particulier lors de l'établissement du bilan hydrique de ces derniers. En effet, Elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines (recharge) et d'autre part d'avoir une idée sur la variation climatique caractérisant la région d'étude.

Dans cette partie, nous mettrons en évidence la localisation géographique et les principales activités de la population dans la région d'El-Oued Souf, en exposant les paramètres climatiques importants et les différentes couches de formation géologique.

Nous vous présentons les trois types d'aquifères: la nappe phréatique, complexe terminal et le continental intercalaire dans la région Oued Souf.

I-2- Situation géographique

La wilaya d' El-Oued Souf (dont d'El Oued est le chef-lieu), l'une de principales oasis du Sahara septentrional algérien dans l'Erg Oriental. Elle est située au Sud-Est de l'Algérie à environ 700 Km au Sud-Est d'Alger et à 35 Km à l'Ouest de Gabes (Tunisie), au Nord-est du Sahara septentrional.

La wilaya couvre une superficie totale de 44586.80 km² .

La wilaya est limitée :

- ✓ au Nord par la wilaya de Khenchela,

- ✓ au Nord-Est par la wilaya de Tébessa,
- ✓ au Nord-Ouest par la wilaya de Biskra,
- ✓ A l'Ouest par la wilaya de Djelfa
- ✓ au Sud et à l'Ouest par la wilaya d'Ouargla
- ✓ A l'Est par la Tunisie.

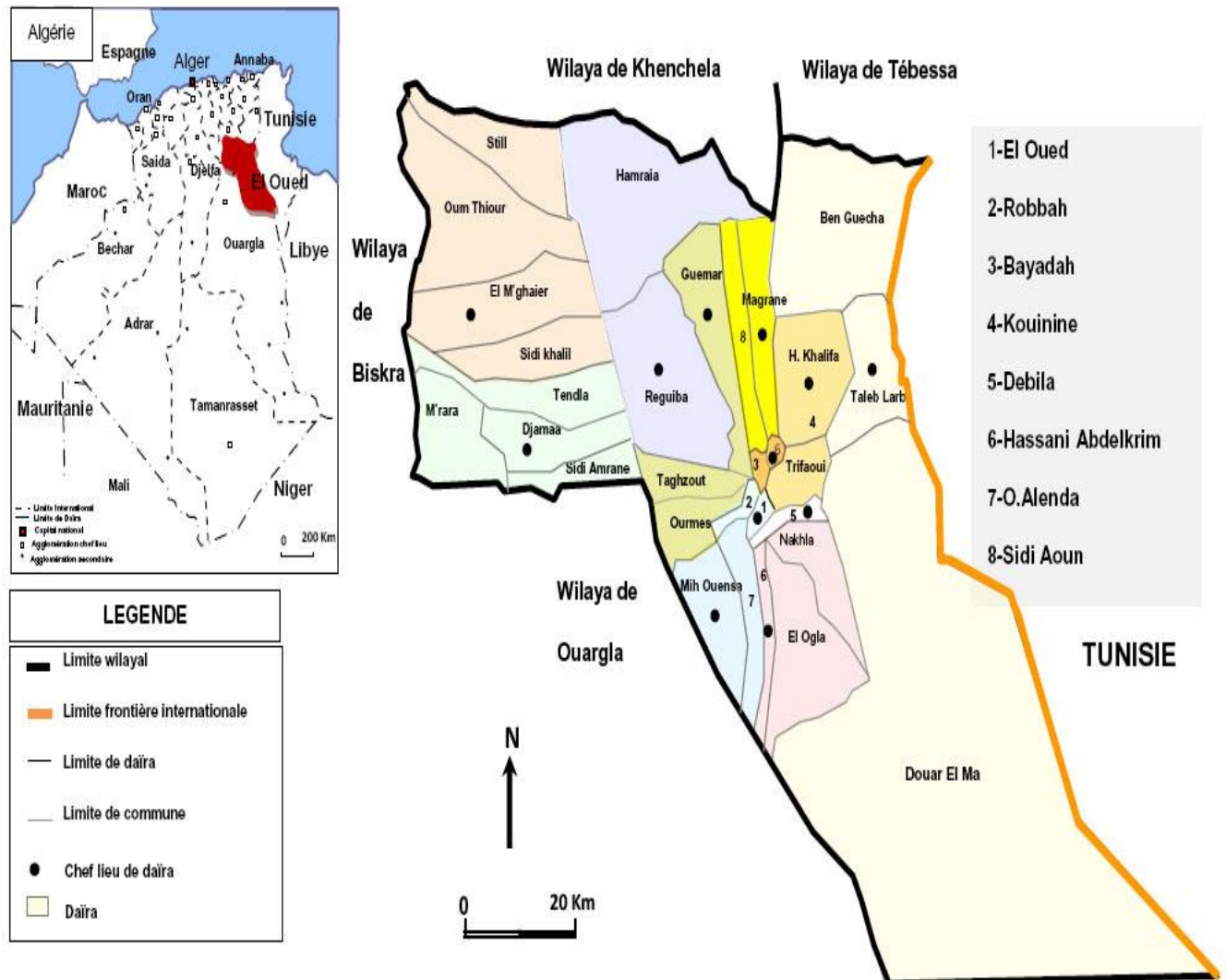


Figure I.1: Situation géographique de la région d'El-Oued «P.D.A.U., 2005 ».

I-3 - Répartition administratif et démographie

La région d'étude comprend 30 communes qui représentent une population de 771 900 habitants et une densité de 17.31 hab/km (d'après le recensement de D.P.S.B.,2014).

Tableau I.01: Répartition de la superficie ,du nombre d'habitants et de la densité apparente par commune de la wilaya d'El-Oued Souf (D.P.S.B., 2014)

N°	Communes	Population 2014	Superficie (km ²)	Densité (Hab/Km ²)
1	El-Oued	159735	77,2	2069,11
2	Kouinine	12260	116	105,69
3	Reguiba	49075	1965,6	24,97
4	Hamraia	6270	2444	2,57
5	Guemar	47905	1264,4	37,89
6	Taghzout	16285	539,2	30,20
7	Ourmes	6560	442,8	14,81
8	Débila	29355	78	376,35
9	Hassani Abdelkrim	27590	58	475,69
10	Hassi Khalifa	37360	1112	33,60
11	Trifaoui	9925	474	20,94
12	Magrane	28210	618	45,65
13	Sidi Aoun	14035	480	29,24
14	Robbah	25940	499,2	51,96
15	Nakhla	15465	700	22,09
16	El-Ogla	7285	1352	5,39
17	Bayadha	38160	138,8	274,93
18	Stil	6305	904,8	6,97
19	Ben Guecha	4610	2646	1,74
20	Douar El-Maa	7575	17813,6	0,43
21	MihOuansa	20030	1111,2	18,03
22	Oued El-Alanda	7675	712	10,78
23	El-Meghaier	57710	1532	37,67
24	Sidi Khalil	7440	840	8,86
25	Taleb Larbi	11305	1110	10,18
26	Oum Touyour	12100	2116	5,72
27	Djamaa	61735	780	79,15
28	Sidi Amrane	24135	552	43,72
29	M'Rara	9775	1132	8,64
30	Tendla	10090	978	10,32
Total wilaya		771900	44586,8	17,31

I- 5- Géologique de la région d'étude

Il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

Dans le cadre d'étude de la reconnaissance géologique du sud de l'Algérie, plusieurs auteurs ont étudié la région: Gouskov en 1948; Cornel en 1964; Bel et Cuhe en 1968; Busson en 1970. Parmi les études récentes, il y a celle réalisée par le C.D.T.N en 1991.

La région d'Oued Souf appartient au domaine de la plate-forme saharienne, elle est située dans le bas-Sahara Oriental.

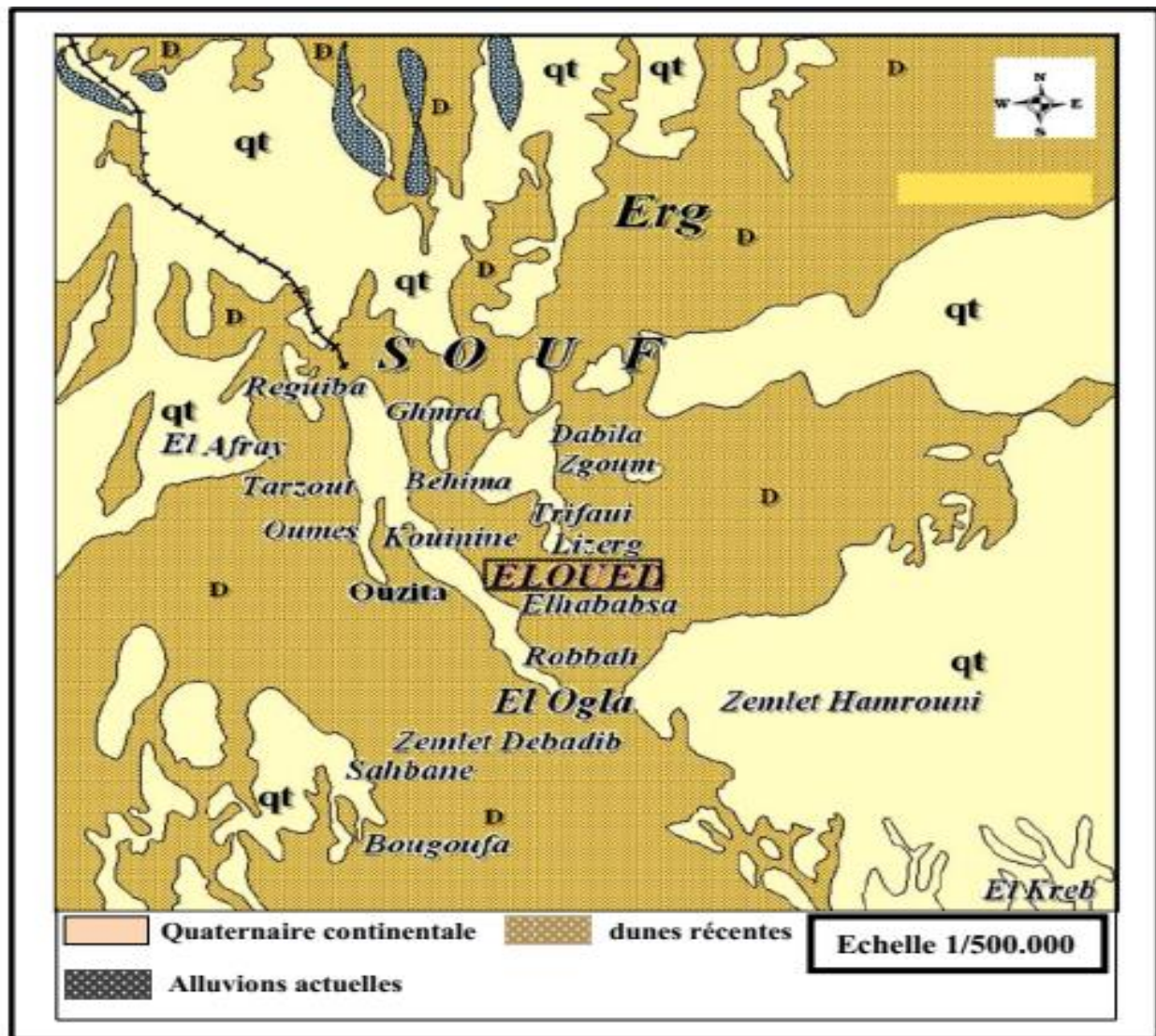


Figure I.3: Carte géologique locale d'après la carte dressée par : (Gouskov M.M.N ; 1948).

I-5-1 Cadre stratigraphique

I-5-1-1 Formations de l'ère Secondaire

Le Barrémien

Il présente une lithologie d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

Aptien

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations Dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

Albien

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres et dans certains endroits elle peut atteindre 200 mètres.

Vraconien

C'est une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté, constitué principalement par une alternance irrégulière de niveaux argilo-dolomitiques. L'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 m.

Cénomaniens

Le Cénomaniens est formé par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cette couche joue le rôle d'un écran imperméable.

Turonien

Cet étage représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonaté et composé par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois les 650 mètres.

Sénonien

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès :

➤ **Sénonien lagunaire** : Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout des bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres.

➤ **Sénonien carbonaté** : Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno-argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

I-5-1-2- Formations de l'ère Tertiaire

L'Eocène

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

Le Miopliocène

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

Quaternaire

Il est représenté par des dunes de sable récentes, on y trouve des grèbeiges ou blanchâtres, des sables fins à moyens de couleur beige et de paillettes de gypse, les terrains quaternaires

représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien.

I-6- Cadre hydrogéologique générale

Dans le Sahara Septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du Continental Intercalaire (C.I) et celle de Complexe Terminale (C.T).L'étude géologique du Sahara Septentrional montre que la dorsale du M'Zab orientée, Nord-Sud divise la plateforme en deux bassins hydrogéologiques:

- Le bassin Occidental (280 000 Km²) drainé vers le Sud.
- Le bassin Oriental (500 000 Km²) drainé vers le Nord (A.N.R.H., 2005).

Au niveau du bassin Oriental, le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal sont séparés par la transgression Cénomaniennne alors qu'au niveau du bassin occidental nous observons l'existence d'une relation directe entre les deux aquifères.

Le Continental Intercalaire s'étend sur une superficie de 600 000 Km² environ, il est limité à l'Ouest par la ligne (N-S) allant de Bechar au Touat, à l'Est-il s'étage jusqu'à la Libye, au Sud il est limité par les affleurements du primaire et du socle, et au Nord par l'accident Sud Atlasique. Le Complexe Terminal (C.T) s'étend sur une superficie de 350 000 Km².

Il regroupe les formations récentes déposées dans le bas de Sahara depuis le début du Tertiaire jusqu'au quaternaire; autrement dit, il comprend les formations de l'Eocène et du Miopliocène (D.H.W, 2005).

Les études géologiques réalisées dans le passer n'ont décelé aucune relation (communication) entre les deux principaux aquifères présents dans la zone d'étude.

I-6-1- Présentation des nappes aquifères de la région du Souf

La wilaya d'El Oued présente des potentialités en eau assez importantes, représentées par trois types d'aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique, les deux autres sont captifs,

correspondant aux nappes multicouche du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire.

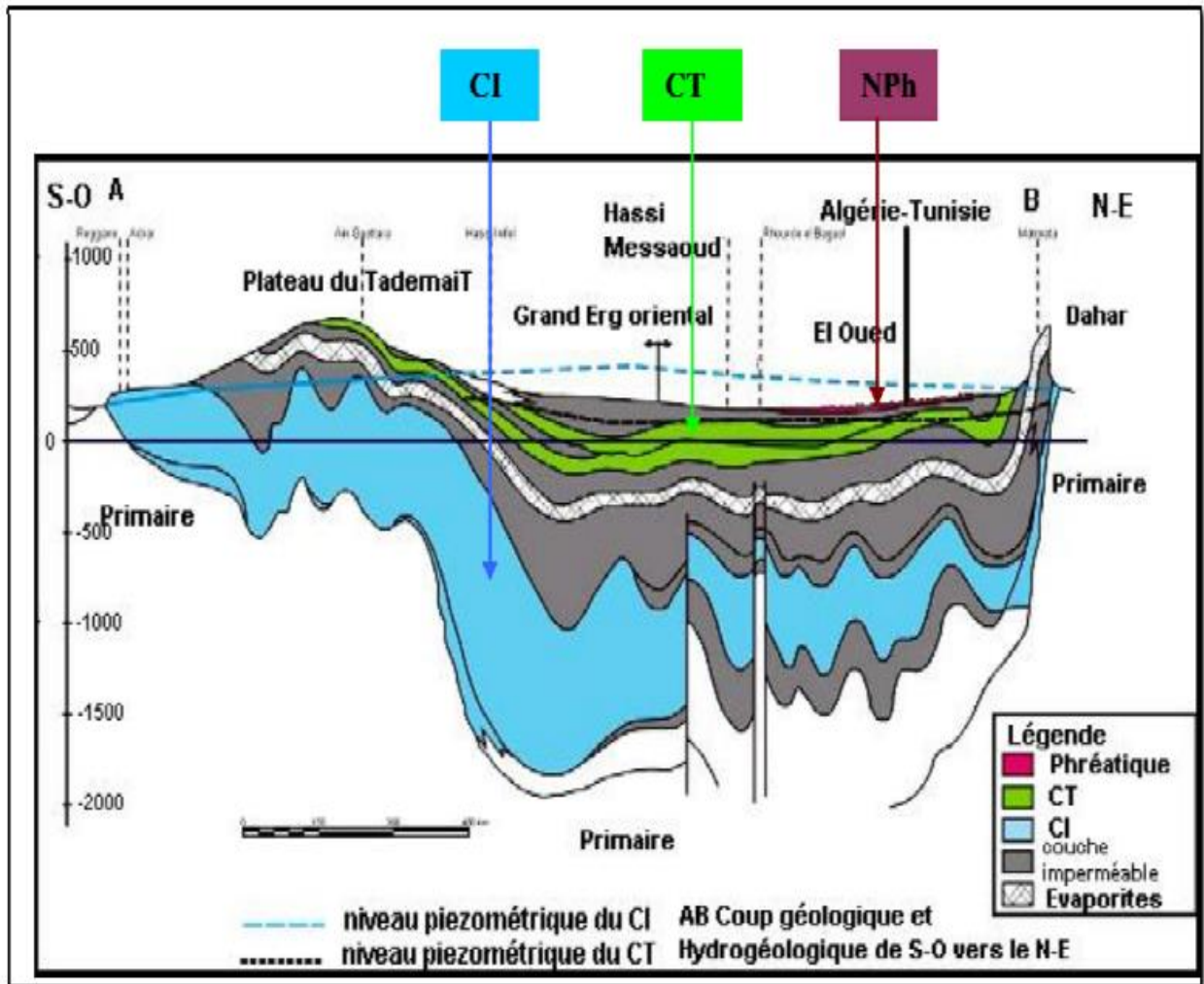


Figure I.4: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après U.N.E.S.C.O., 1972).

a) Nappe Phréatique

La nappe phréatique partout dans le Souf, repose sur le plancher argilo gypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface du sol, ne dépasse pas une profondeur moyenne de plus de 40 m de sable non aquifère (Voisin A.R., 2004), le réservoir s'étend sur environ 250.000 Km². Cette nappe compte près des 14.000 puits traditionnels (D.H.W, 2005).

L'alimentation de la nappe phréatique dans la zone d'étude est assurée par l'infiltration des eaux de forages profonds (C.T et C.I) et par les rares et faibles précipitations typiquement sahariennes.

Les études passées montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le bas Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe libre suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord (**Figure I.5**).

L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 m .Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 m de profondeur à l'extrémité Nord-Est de la région d'étude. Cette nappe a engendré un problème néfaste pour l'environnement dans certaines zones de la vallée. La nappe monte dans les zones de recharge, sous les agglomérations et baisse dans les zones irriguées à partir de la nappe phréatique.

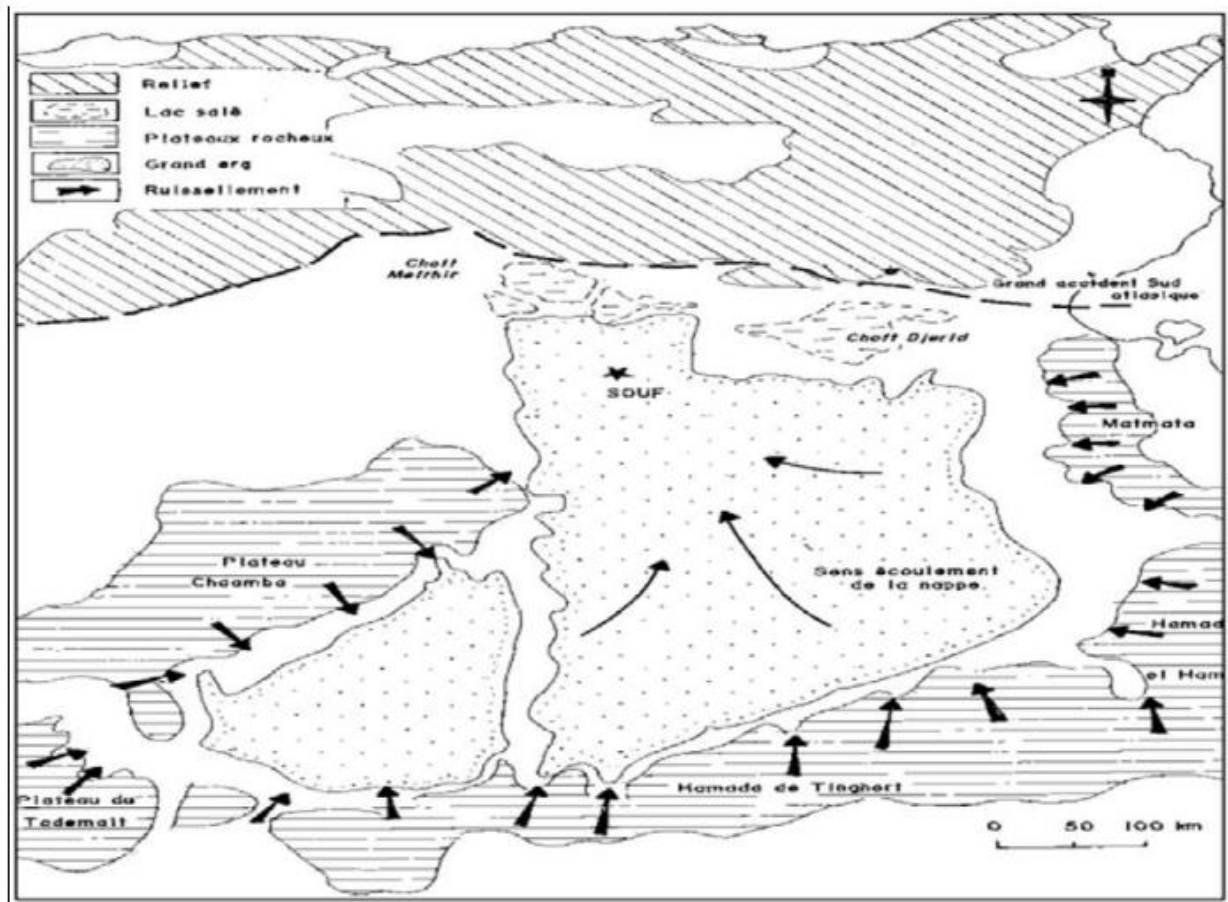


Figure I.5: Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement (A. Brahim ; 2014).

b) Nappe du complexe terminal

Le système aquifère du Complexe Terminal couvre la majeure partie du grand Erg Oriental du Sahara Septentrional sur environ 350.000 km².

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Miopliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Miopliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. En 2001, elle est exploitée par 83 forages dans la zone d'étude, 70 pour l'AEP, 12 pour l'irrigation et 1 mixte (irrigation et AEP).

Le débit total moyen mesuré en 2002 est de 3200 m³/h (0,9 m³/s). Selon une étude récente les prélèvements étaient de 16,3 m³/s pour le territoire algérien en 1998. Le niveau piézométrique est en baisse générale. Cette baisse deviendra catastrophique dans une trentaine d'années dans les zones les plus exploitées où elle pourrait dépasser 200 mètres d'après une simulation de la même étude.

c) Nappe du continentale intercalaire

Le terme "C.I", correspond ainsi aux formations continentales du crétacé inférieur, ne peut être que la période Continentale Intercalée entre deux cycles sédimentaires :

La régression marine suivit d'une transgression du crétacé supérieur.

Le Continental Intercalaire (C.I) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien.

Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est considérable du à son extension (sur plus de 600000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. L'intérêt majeur de ce système aquifère et qu'il est constitué par de grandes quantités d'eau, qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et peuvent être maintenant exploitées, il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisée par une alimentation,

un écoulement et une série d'exutoires, l'épaisseur totale du réservoir dépasse 250 mètres dans les plus grandes parties du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 mètres au Nord-Ouest.

Tableau I.2: Log stratigraphique et l'hydrogéologie de forage Barrémien dans la région du Souf (D.W.H., 2004).

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Étage	Ère	
Niveau perméable	Nappe phréatique	Sables	Quaternaire		
Niveau Imperméable		Argiles			
nappe des sables	Nappe Complexe Terminale	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi – perméable		Argiles gypseuses			
nappes des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Éocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur		
			Sénonien carbonaté		
Semi-perméable	Nappe continentale intercalaire	Évaporites, argiles	Sénonien lagunaire	Crétacé	Secondaire
Niveau imperméable		Argiles, marne	Cénomaniens		
Niveau perméable		Sables et Grés	Albien		
Semi-perméable		calcaire, marne	Aptien		
Niveau perméable		calcaire, sable	Barrémien		

I-7- Climatologie

L'état de l'atmosphère peut se caractériser par la mesure des différentes grandeurs physiques comme la température, les précipitations, l'humidité, le vent etc...

I-7-1-Climat de la région d'étude

La région d'étude a un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec dont la température peut atteindre 54°C, et un hiver doux jusqu'à 3°C.

Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence, connus sous le nom de "Chehili" ou le sirocco, ainsi que des vents de sables durant le printemps. Les données relatives aux différents paramètres climatiques (précipitations, température, humidité et évaporation...etc.) ont été recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM, 2013), enregistrées par la station météorologique de Guemmar (**Tableau I.3**).

Tableau I.3 : Moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques Station météorologique de Guemmar Oued Souf (1978-2013) (A. Brahim ; 2014).

Paramètre	Temperature			Precipitations	Evaporation	Humidité	Vent
	T _{min} °C	T _{max} °C	T _{moy} °C	(mm)	(mm)	(%)	(m/s)
Mois							
Septembre	26,2	31,8	28,44	5,94	184,20	46,93	2,20
Octobre	18,6	24,8	22,27	6,35	144,80	52,72	1,69
Novembre	12,4	25,1	15,75	7,86	105,20	60,04	1,60
Décembre	8,5	14,00	11,03	7,13	87,30	66,81	1,56
janvier	8,5	13,7	10,43	12,83	80,30	64,87	1,83
Février	10,8	15,6	12,81	6,93	93,10	56,22	2,34
Mars	10,25	18,9	16,38	12,97	167,70	49,49	2,85
Avril	10,9	29,9	20,19	7,90	203,00	43,43	3,08
Mai	22,00	28,7	25,28	4,14	288,50	38,50	3,07
Juin	20,3	39,3	30,09	1,84	337,70	34,74	2,92
Juillet	27,4	35,8	32,84	0,18	361,50	31,90	2,45
Août	30,8	34,7	32,78	1,71	321,30	34,63	2,17
Moyenne	17,22	26,02	25,12	75,78 cumulé	2374,60 cumulé	48,36	2.31

I-7-2-Etude des paramètres climatiques

➤ La température

L'étude hydrogéologique de la zone d'étude devrait comporter l'analyse du caractère thermique, car l'étude de l'évolution de la température est d'une grande importance dans l'estimation de l'évaporation et de l'évapotranspiration ce paramètre rend compte également de son apport d'énergie à la végétation, au pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées et enfin, il est à l'origine du fonctionnement du cycle de l'eau .

La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier de (10.43 °C) alors que la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de Juillet (32.84°C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 21.56°C.

Le tableau (I.3) ci-dessous donne les valeurs de la température moyennes mensuelles observées durant la période (1978-2013).

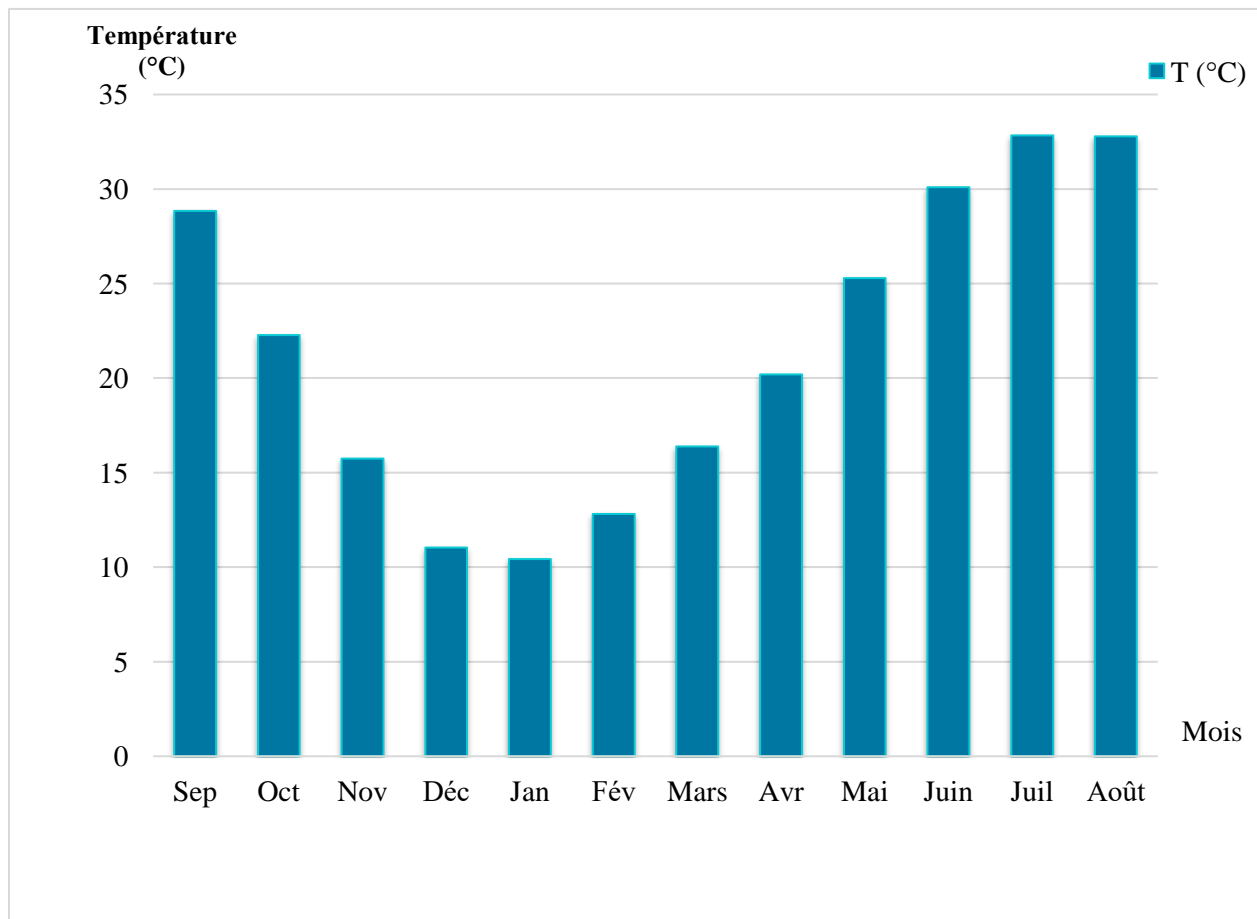


Figure I.6: Histogramme des température moyennes mensuelles (T °C) (1978-2013).

➤ Les précipitations

L'étude de la pluviométrie aura pour but d'évaluer la lame d'eau tombée sur l'ensemble de la région et son influence sur l'alimentation des nappes ainsi que son rôle dans le changement du comportement hydrodynamique et hydrochimique des eaux souterraines.

L'histogramme de variation des précipitations montre que ces dernières sont très rares et régulières (irrégularité mensuelle et annuelle), leur répartition est marquée par une sécheresse quasi-absolue du mois de Juin jusqu'au mois d'Août, et un maximum au mois de Mars avec 12.97 mm, tandis que le module pluviométrique interannuel est égale à 75.78 mm (**Figure I.7**).

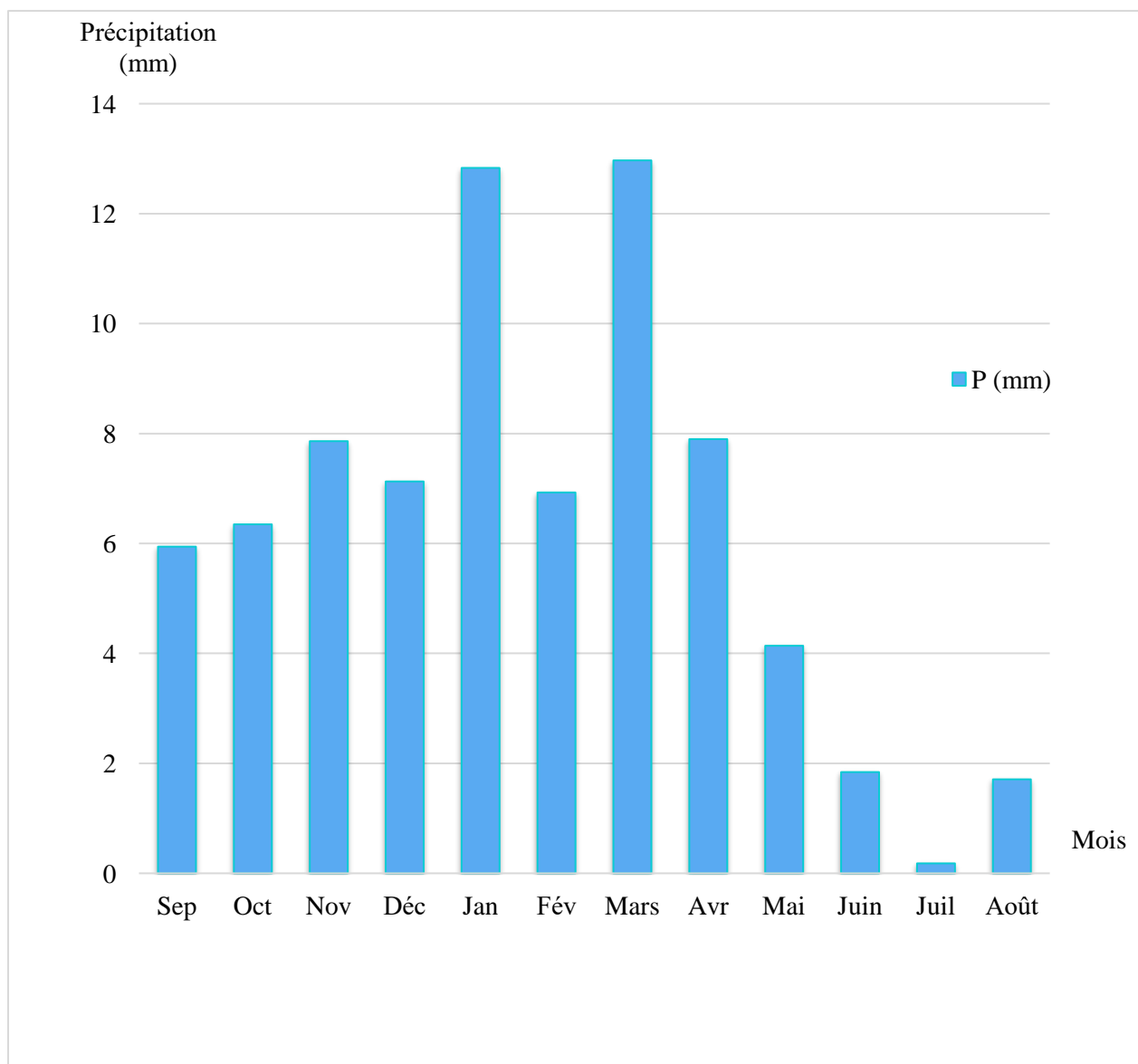


Figure I.7: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (P mm) (1978-2013).

➤ **Humidité relative de l'air**

Elle est conditionnée par la température et l'existence de l'eau, selon les données fournies par Station météorologique de Guemmar on peut dire que la variation de l'humidité est homogène avec des moyennes mensuelles variant entre 31.9% et 66.81% et une moyenne annuelle de l'ordre de 48.36%. (**Figure I.8**).

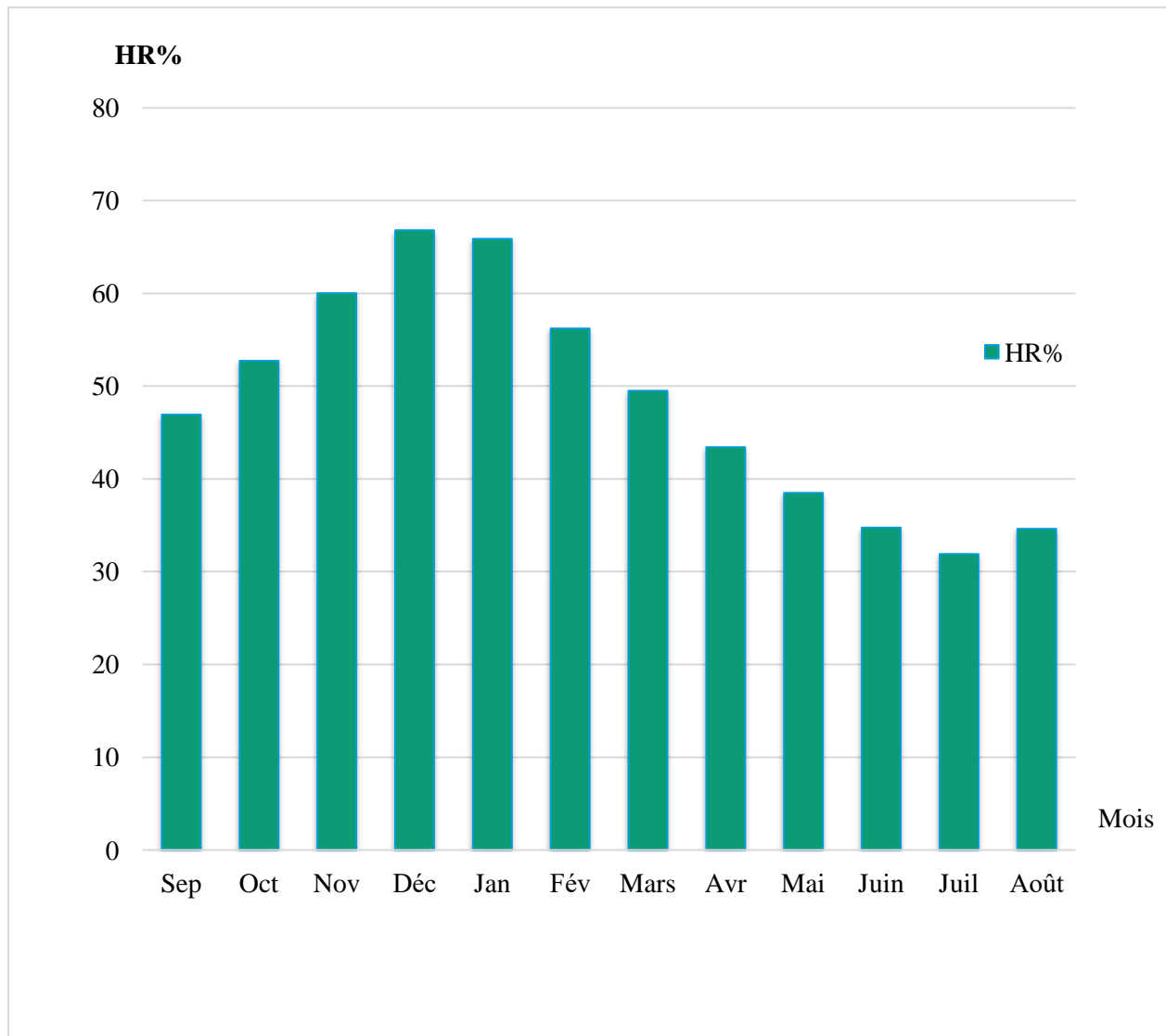


Figure I.8: Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelles (1978-2013).

➤ L'évaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de 2374.6 mm/ans avec un maximum mensuel de 361.5 mm au mois de Juillet et un minimum de 80.3 mm en Janvier (**Figure I.9**).

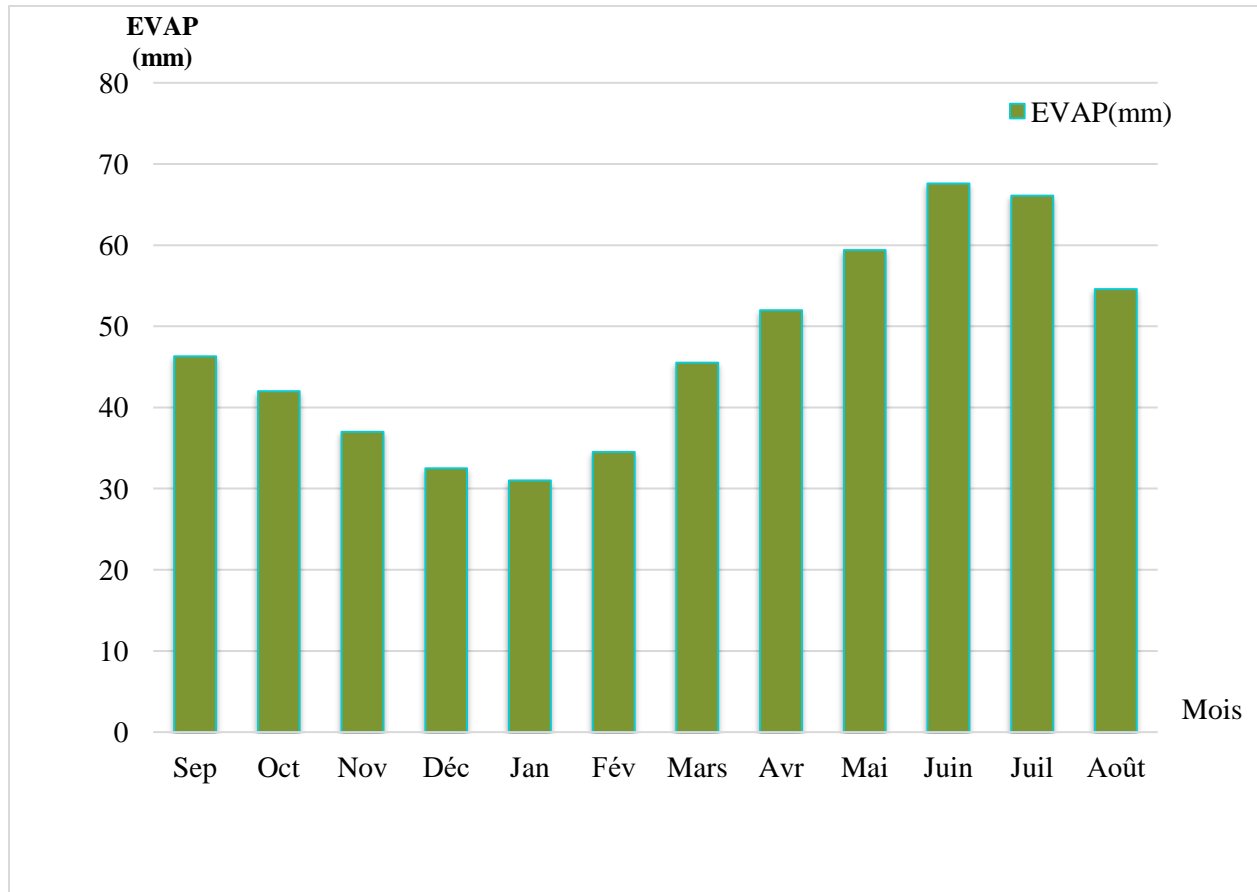


Figure I.9: Histogramme de l'évaporation moyennes mensuelles (EVAP mm) (1978-2013).

➤ Les Vents

D'après les observations notées au niveau de la station météorologique de Guemmar Oued Souf les vents ont une direction Est, Nord -Est, dites BAHRI, prédominant ; puis à degrés moindre ceux de direction Ouest et Sud –Ouest caractérisée par une température élevée (SIROCCO).

Généralement c'est au printemps que les vents sont les plus forts ,pouvant durer jusqu'à trois jours successifs avec une vitesse allant de 40 à 50 Km/h. le maximum est enregistré au mois d'Avril avec une vitesse de 3.08 m/s et le minimum en Décembre de 1.56 m/s.(**Figure I.10**).

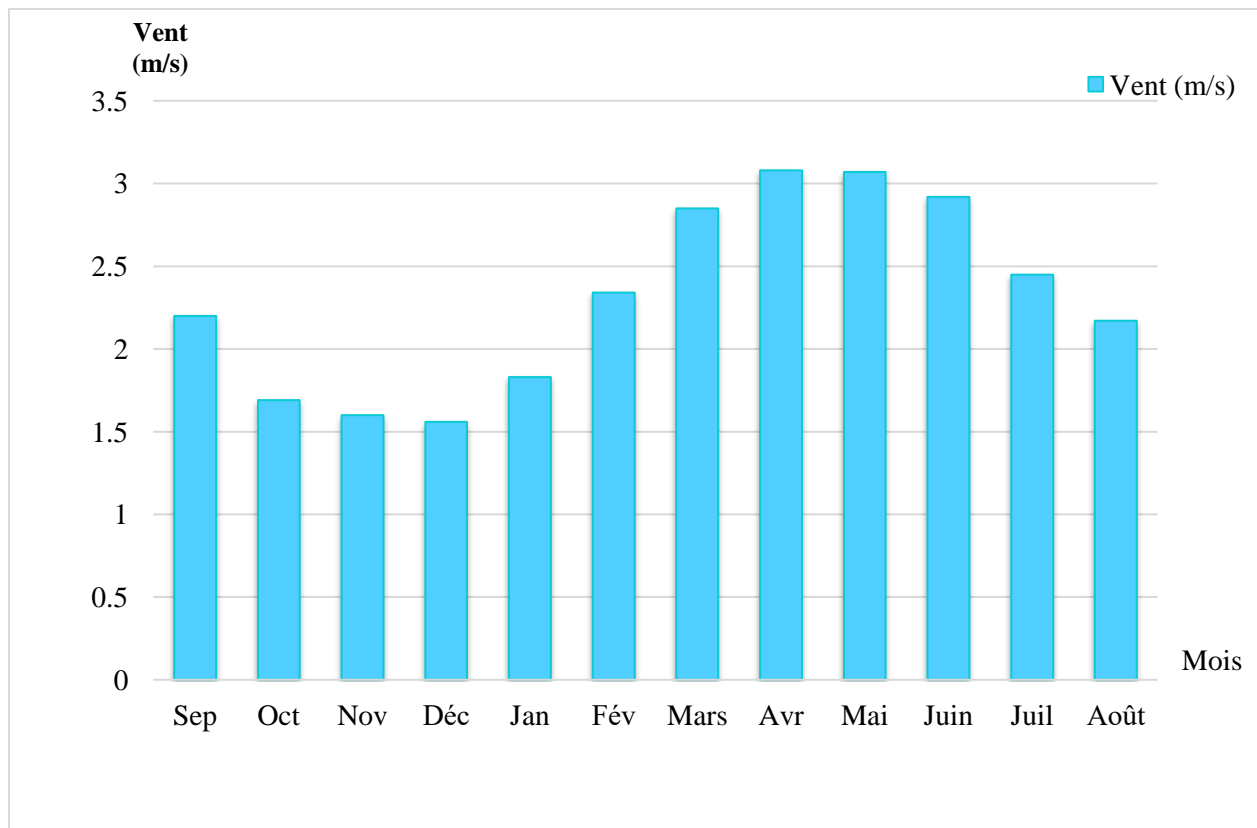


Figure I.10: Histogramme des vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s) (1978-2013).

I-7-3-Synthèse climatique

La combinaison des données des précipitations et celle des températures permet de mettre en évidence :

- ✚ le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger et/ou le calcul de l'indice d'aridité.
- ✚ les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviothermique de Gaussen.

I-7-3-1- Indice d'aridité

Cet indice permet d'identifier le type de climat dans la région d'étude à l'aide de la formule de MARTONE.

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

Avec :

I : indice d'aridité.

P : précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

Application numérique

$$P = 75.78 \text{ mm}$$

$$T = 21.56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Donc : } I = 2.40$$

Tableau I.04: Classement en fonction de l'indice d'aridité (selon De Martonne).

Classement de l'indice d'aridité	Type de climat
$I < 05$	Climat hyperaride
$05 < I < 07.5$	Climat steppique
$07.5 < I < 10$	Climat semi-aride
$10 < I < 20$	Climat hyperaride
$20 < I < 30$	Climat tempéré
30	Climat humide

$I = 2.40 < 05$, Ce qui confirme que la région d'El-Oued est caractérisée par un climat hyper aride.

I-7-3-2- Diagramme pluviothermique

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviothermique dont le but est de déterminer la période sèche et celle humide. Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne ($^{\circ}\text{C}$) du même mois.

Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations (in Baygnons). Lorsque les températures passent au dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau; et lorsque la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

Tableau I.5: Couples température/ précipitation mensuelle interannuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
2T °C	20,86	25,62	32,76	40,38	50,56	60,18	65,68	65,56	57,68	44,54	31,5	22,06
P (mm)	12,83	06,93	12,97	07,90	04,14	01,84	0,18	01,71	5,94	6,35	7,86	7,13

(O.N.M, 2014)

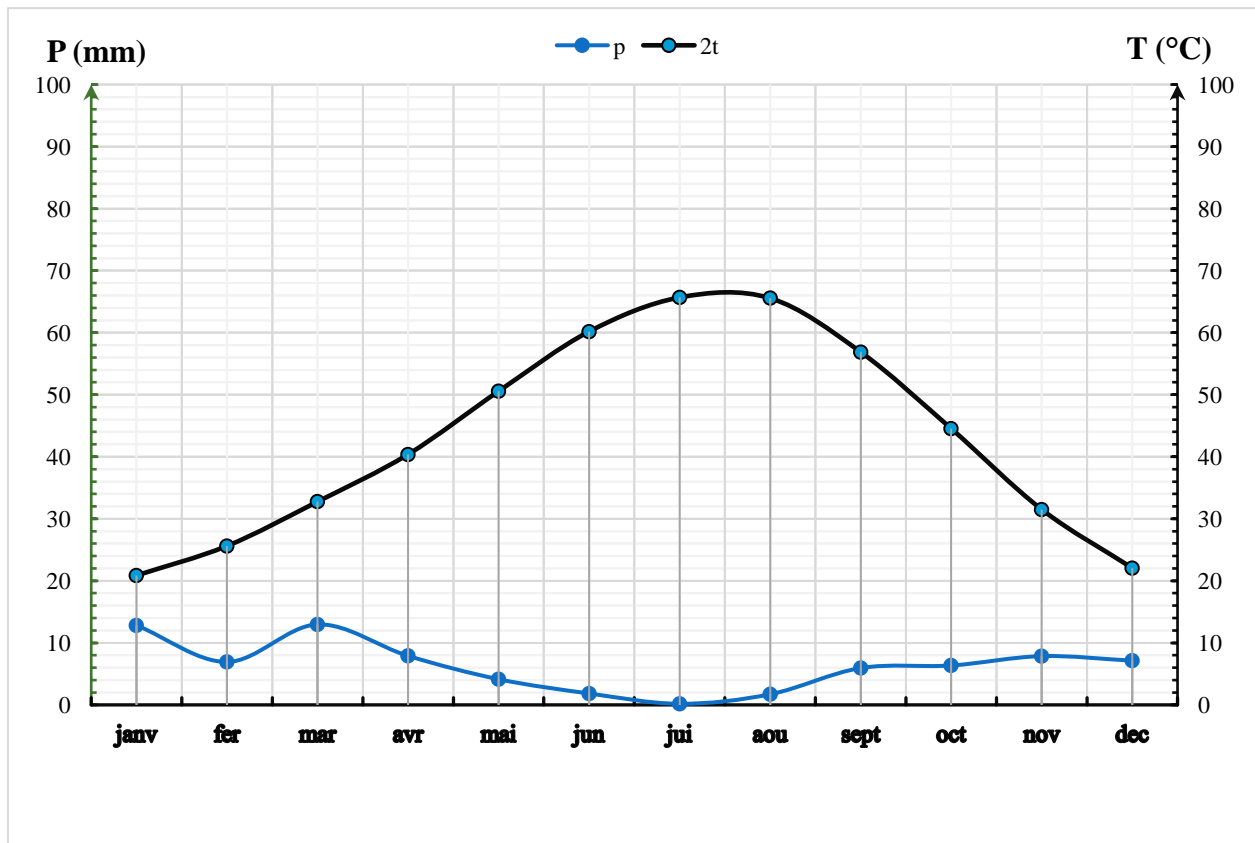


Figure I.11:diagramme pluviothermique de la station de Guemar (1978-2013).

A partir de ce diagramme, on constate que l'année hydrologique de la région d'étude est caractérisée uniquement par une période sèche et l'absence totale de la période humide, même pour le mois de janvier qui est marqué par la température la plus basse (10,43°C) et la précipitation la plus élevée (12,83 mm).

I-8-Conclusion

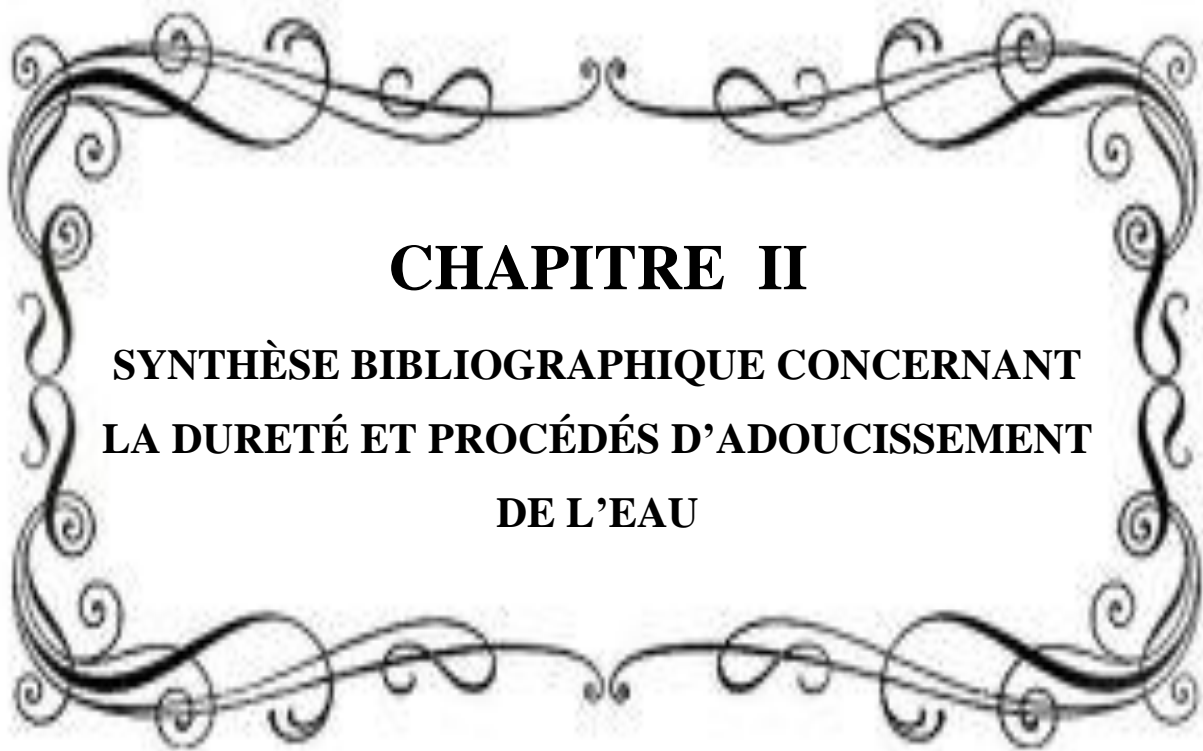
La wilaya d'El-Oued est située au Nord-Est de Sahara septentrional, elle occupe une superficie de 44586,80 km², avec une population de 771.900 habitants.

Le relief d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes une région sableuse, Une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression.

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau.

D'après l'étude hydrogéologique nous constatons que la région d'oued Souf est disposée d'une réserve hydrique très importante, présenté sous forme de **trois nappes souterraines** : la nappe phréatique, la nappe du complexe terminal (C.T) et la nappe du Continentale intercalaire (C.I).

Le climat de la région de **Oued-Souf** est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité n'est pas seulement due à la rareté de la pluie, mais aussi à la forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région.



CHAPITRE II

**SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE CONCERNANT
LA DURETÉ ET PROCÉDÉS D'ADOUCCISEMENT
DE L'EAU**

CHAPITRE II : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE CONCERNANT LA DURETÉ ET PROCÉDÉS D'ADOUCCISSEMENT DE L'EAU

II.1. Introduction

Une eau est dite "dure" lorsqu'elle est chargée en ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) et, par opposition, "douce" lorsqu'elle contient peu de ces ions. La dureté d'une eau s'exprime en degrés français ($^{\circ}\text{F}$). Un degré français correspond à une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg/l de CaCO_3 .

II.2. Principaux éléments responsables de la dureté

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} . Les plus abondants étant les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} . Les ions Fe^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

- **Le calcium** est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature. Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprissent entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'O.M.S recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/l.
- **Le magnésium** est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5 % dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'O.M.S recommande pour sa limite supérieure une teneur de 50 mg/l.

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à 1,5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles; dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'amenées. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage .

En pratique on considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et la dureté magnésienne: $\text{TH} = [\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}]$.

On distingue deux types de dureté, carbonatée ou temporaire et non carbonatée ou permanente.

L'eau peut être classée suivant son degré de dureté :

- ✓ Eau douce, de 0 à 60 mg/l de CaCO_3 ,
- ✓ Eau modérément dure de 60 à <120 mg/l de CaCO_3 ,

- ✓ Eau dure, de 120 à <180 mg/l de CaCO₃,
- ✓ Eau très dure, 180 mg/l et plus de CaCO₃.

Corrosion < 100 mg de CaCO₃ ou 10°F > entartrage

Origine : constitution géologique du sol : riche en roches sédimentaires et calcaires, pauvre en granite

II.3. Normes et recommandations

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et en outre répondre à des critères organoleptiques essentiels (incolore, insipide, inodore, fraîche) appréciés par le consommateur.

L'organisation mondiale de la santé a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson, qui comprennent un exposé général des normes bactériologiques, physiques, chimiques, biologiques et radiologiques.

Tableau II.01: Concentrations admissibles dans l'eau potable

Elément	Unité	O.M.S ,1993	C.E.E ,1998
pH	-	7-8,5	6,5-8,5
Conductivité	µS/cm	-	1250
dureté	°F	-	10-35
Ca ⁺²	mg/l	200	100
Mg ⁺²		150	50
Na ⁺		-	100
K ⁺		10	12
Al ⁺³		0,2	0,2
SO ₄ ⁻²		200	250
Cl ⁻		200	200
NO ₃ ⁻		50	50
NO ₂ ⁻		0,5	0,1
NH ₄ ⁺		< 0,2	0,5

II.4. Conséquences de la dureté

Il existe plusieurs conséquences dont :

II.4.1. Conséquences pratiques et domestiques

L'eau dure n'est pas mauvaise pour la santé. Au contraire, il semble que les populations alimentées en eau naturellement dure sont moins sujettes à l'infarctus du myocarde. En revanche, l'eau adoucie peut présenter certains inconvénients tels que pour des localités ayant des anciennes canalisations en plomb induit à la solubilité du plomb.

L'utilisation domestique des eaux dures pose les principaux problèmes suivants:

- ✓ L'eau dure mousse difficilement
- ✓ L'eau dure produit des dépôts calcaires qui rêche le linge, entartre la tuyauterie, les chaudières et les appareils électroménagers
- ✓ Elle durcit les légumes secs à la cuisson
- ✓ Goût désagréable au thé

II.4.2. Conséquences sanitaires

Le dépôt calcaire :

- ✓ favorise la multiplication bactérienne dans les installations
- ✓ augmente la fréquence des calculs urinaires
- ✓ effet laxatif en cas de fragilité intestinale
- ✓ la mortalité par maladies cardiovasculaires est moindre

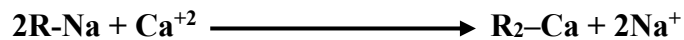
II.5- Procédés d'adoucissement

Les techniques d'adoucissement font appel à trois procédés, à savoir la décarbonatation qui n'élimine que les ions calcium et magnésium liés aux bicarbonates. Il s'agit alors d'un adoucissement partiel, et l'adoucissement total qui élimine l'ensemble des ions calcium et magnésium, mais sans modifier l'alcalinité de l'eau. Le troisième procédé est représenté par la nanofiltration qui élimine partiellement les ions calcium, magnésium et bicarbonates .

Parmi les procédés de décarbonatation, on trouve: la décarbonatation à la chaux; la décarbonatation à la soude; la décarbonatation sur résines échangeuses d'ions du type cationique carboxylique, régénérée par une solution de chlorure de sodium.

II.5.1. L'échangeurs d'ions :

C'est un procédé destiné à éliminer la dureté de l'eau par l'échange d'ions, l'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement saturé en sodium (Na), qui s'échange avec les ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}), responsables de la dureté de l'eau:



➤ Principe général

- ✓ Au départ la résine est saturée en ion sodium, elle est donc prête à l'emploi et peut adoucir l'eau dure.
- ✓ Au passage de l'eau dure, la résine va capter les ions calcium et magnésium (le calcaire) et les ions sodium sont libérés.
- ✓ Lorsque tous les ions sodium ont été consommés, la résine ne permet plus d'enlever le calcaire de l'eau.
- ✓ Pour adoucir l'eau de nouveau, il faut régénérer la résine, c'est-à-dire apporter des ions sodium provenant de la saumure contenue dans le bac à sel. La saumure est rejetée à l'égout avec le calcaire.

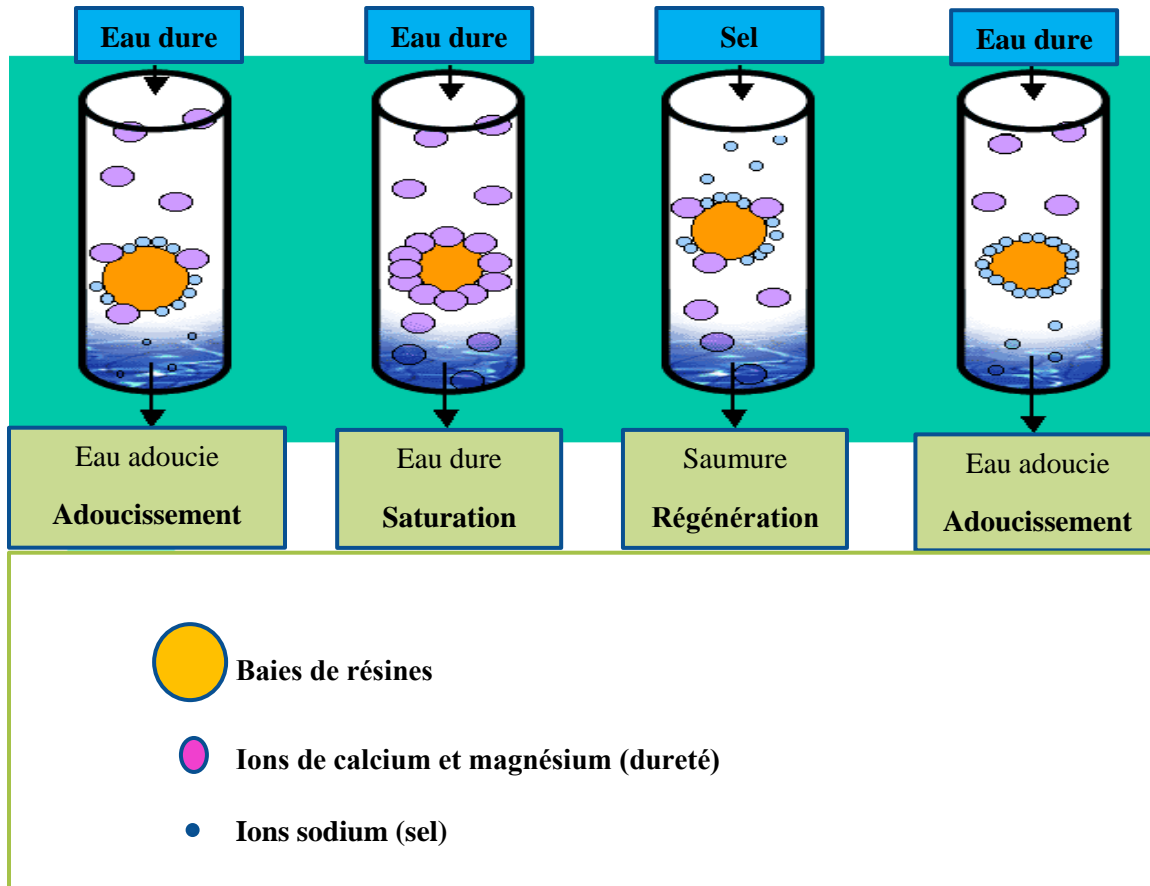


Figure II. 1: Principe d'échange d'ions et la regeneration.

II.5.2. L'Osmose inverse

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.

L'Osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression.

L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes:

❖ une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat).

❖ une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou rétentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

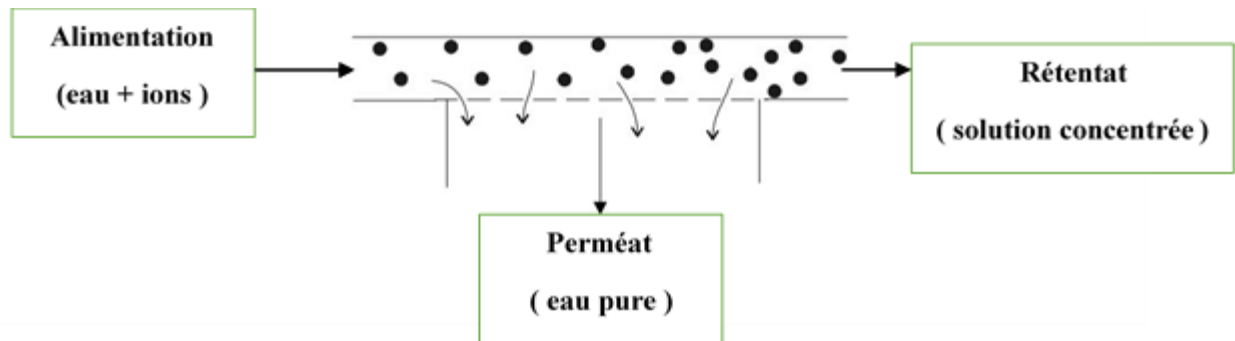


Figure II.2: Principe général de l'Osiose inverse.

La fraction de débit qui traverse la membrane est le taux de conversion Y défini par:

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

Le flux de matière intéressant est suivant les cas le perméat (cas de la déminéralisation d'eau) ou le concentrat (concentration de produits alimentaires). Le débit de la solution d'alimentation peut atteindre une valeur 500 fois supérieure à celle du débit de perméat.

Lors d'une filtration classique la suspension à traiter est amenée perpendiculairement au milieu filtrant; l'accumulation de matières forme une couche qui diminue la porosité et ainsi le débit de filtration. L'écoulement tangentiel permet au contraire de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière.

La sélectivité d'une membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir:

$$R = \frac{C_0 - C_p}{C_0} = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

où C_0 est la concentration de l'espèce à retenir dans la solution et C_p est la concentration de la même espèce dans le perméat.

L'Osmose inverse utilise des membranes denses sans porosité qui laissent passer le solvant et arrêtent les ions.

➤ Principe de l'Osmose inverse

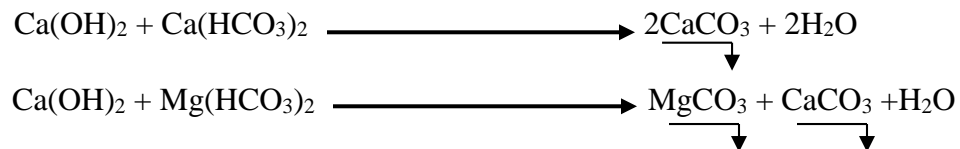
L'Osmose inverse est un phénomène observé quand deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane. Celle-ci laisse passer le solvant vers la solution la plus concentrée et arrête le soluté. L'égalité des potentiels chimiques ne pouvant se rétablir par diffusion du soluté vers le solvant, celle-ci va alors diluer la solution; la pression correspondante est appelée pression osmotique de la solution (π), le solvant passera du milieu le plus concentré au milieu le moins concentré, ce qui se traduit par une inversion du flux osmotique, d'où le nom d'osmose inverse.

Une membrane sélective, sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare.

II.5.3. Décarbonatations à la chaux

Ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement aux ions Ca^{2+} . Pratiquement, l'addition de chaux entraîne la précipitation du CaCO_3 (chaux seule) et $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (chaux en excès), suite à l'augmentation du pH.

La cinétique de cette réaction étant relativement lente, le procédé est accéléré soit par une re-circulation des boues dans lesquelles se trouvent des germes de cristallisation déjà formés, soit en ajoutant des cristaux sur lesquels le carbonate de calcium s'agglomère (sable par exemple).



L'addition de chaux nécessite de prendre plusieurs précautions pour sa mise en œuvre: l'eau ne doit pas contenir de colloïdes en suspension pouvant gêner la cristallisation. Il est donc parfois nécessaire d'ajouter un coagulant.

La décarbonatation doit comprendre une zone de clarification appropriée pour séparer les cristaux de CaCO_3 de l'eau.

Cette technique présente un inconvénient, à savoir la quantité de boues produites, mais celles-ci sont facilement déshydratées.

Cependant, il ne faut pas oublier les avantages de ce procédé : aisé à mettre en œuvre et ne nécessitant pas l'utilisation d'équipements spécifiques. De plus, il n'est pas contraignant en exploitation, si ce n'est les inconvénients inhérents à l'emploi de la chaux.

II.5.4. Décarbonatation au carbonate de sodium (Na_2CO_3)

Le carbonate de sodium a pour objectif de réduire la dureté permanente, c'est-à-dire, précipité le calcium et de magnésium lié aux chlorures et aux sulfates en solution.

II.6. Types d'adoucisseur d'eau

Outre l'adoucisseur d'eau à résines échangeuses d'ions, il existe d'autres alternatives aussi efficaces selon les budgets et les spécifications de la qualité de l'eau ciblée. En premier lieu, on peut citer l'osmoseur d'eau, dispositif d'ultrafiltration d'eau généralement sous pression basé sur le principe de l'élimination des «grosses» molécules minérales et organiques contenues dans l'eau du réseau au passage sur un filtre à pores extrêmement petits.

L'adoucisseur d'eau au gaz carbonique consiste à injecter sous forme de gaz du CO_2 dans les canalisations d'eau en amont des robinets d'arrivée de façon à solubiliser dans l'eau sous forme de bicarbonates de calcium et de magnésium le calcaire se déposant sur les parois autrement. Sur le même principe mais avec une méthode purement physique -c'est à dire sans ajout notamment de substances supplémentaires, la filtration magnétique empêche les particules de calcium ou de magnésium de se déposer sur les parois des canalisations en se positionnant grâce au champ magnétique au centre des canalisations.

L'univers des adoucisseurs d'eau est très vaste. Il existe une multitude de modèles d'adoucisseurs d'eau différents. Selon ses besoins, et son budget, ce ne sera pas le même adoucisseur qui nous correspondra. Choisir son adoucisseur d'eau demande de bien se renseigner au préalable. Ci-dessous, des exemples d'adoucisseurs d'eau qui sont commercialisés à l'échelle industrielle.

II.6.1. Adoucisseur d'eau au CO₂

C'est un adoucisseur qui permet, par injection de fines bulles de CO₂, d'adoucir l'eau que l'on reçoit chez soi. Il permet ainsi de transformer l'eau courante du robinet ou de la douche en eau douce beaucoup moins agressive pour la peau et surtout sans calcaire.

Ce type d'adoucisseur consiste donc à injecter une grande quantité de CO₂ dans l'eau avant son utilisation dans la maison. Le CO₂ est, quant à lui, stocké dans de grosses bouteilles de 10 kg.

Il est composé en tout de 3 modules indépendants. Il y a le module hydraulique qui comprend un compteur hydraulique mais également un manomètre. Il permet de favoriser l'ajout de CO₂ dans l'installation mais permet aussi de la sécuriser grandement.

Il y a aussi le module qui comprend la bouteille de CO₂. Il permet de réguler la pression en CO₂ et permet de doser la quantité de CO₂ envoyé dans l'installation à un instant. Il y a enfin un boîtier de contrôle qui gère l'ensemble de l'installation.

➤ **Avantages d'un adoucisseur d'eau au CO₂**

- ❖ Le gros avantage de ce type d'adoucisseur est le peu de place qu'il prend dans la maison. Même si il y a bien 3 modules bien distincts, il prend très peu de place dans la maison ;
- ❖ Également, le rendement de cette installation reste très bon en comparaison avec les autres adoucisseurs d'eau car il ne coûte finalement que le remplacement de la bouteille de CO₂ qui peut traiter jusqu'à 150 mètres cube d'eau.



Photo II. 1: Photo d'un adoucisseur d'eau au CO₂ .

II.6.2. Adoucisseur d'eau sans électricité

Ceci est un système qui fonctionne sans électricité et permet ainsi de faire des économies d'énergie et d'argent (il n'est pas cher). Ce type de système fonctionne tout simplement avec la pression de l'eau ou avec des piles. Le réglage est simple avec toutes les fonctions incorporées. Il faut simplement remettre le sel après quelques mois pour régénérer l'adoucisseur pour ceux qui fonctionnent avec la pression de l'eau. Son système électrique autonome permet de gagner en temps pendant l'installation et l'entretien annuel sert simplement à changer les piles.

Parmi les adoucisseurs sans électricité on peut citer : Adoucisseur d'eau **Waterclik Duplex** sans électricité : très économique en eau et en sel. Contient 2 modules de filtration, idéal pour alimenter une maison de deux salles de bains et plus.

Débit : 3000 Litres/heures

Régénération très économique : 2x 19 Litres d'eau, 2x 250g de sel, en 2x 12 minutes seulement. Chacun des 2 modules filtre l'eau en simultané.

Bac à sel : 35kg

L'avantage d'un adoucisseur d'eau sans électricité est son fonctionnement mécanique et en continu. Il n'a pas de composant électronique et il est rarement en panne. Il est donc, en moyenne, 25 % plus économique qu'un adoucisseur d'eau classique. De plus, grâce à son format compact et ses dimensions réduites, il peut être même placé dans des espaces très étroits (dans les placards ou sous les éviers par exemple).



Photo II.2: Photo d'un Adoucisseur d'eau sans électricité Waterclik Duplex.

II.6.3. Adoucisseur d'eau industriel

Comme chaque appareil, un adoucisseur d'eau industriel possède des caractéristiques qui lui sont propres. En ce sens, il peut avoir une capacité qui varie entre 42 à 1130 litres de résine. La vanne est un simple disque. Concernant la régénération, elle se fait à contre-courant. De plus, durant la régénération, le by-pass est automatique. Toutefois, l'adoucisseur d'eau industriel possède un système modulable. Comme la dureté de l'eau varie selon les régions, l'adoucisseur doit également être réglé selon les chiffres indiqués. Ainsi, il se règle entre 8° et 15°f, selon le ministère de la santé.

Parmi les adoucisseurs d'eau industriel on peut citer : L' Adoucisseur BERKOION TM gamme **High Flow Duplex** produit une eau adoucie de haute qualité pour les applications industrielles.



Photo II.3: Photo d'un adoucisseur d'eau industriel BERKOION TM gamme High Flow Duplex.

➤ **Avantages**

- ❖ Il protège les équipements contre les méfaits du tartre ;
- ❖ Il prolonge la durée de vie des tuyaux, des chaudières et de tout autre appareil.

➤ **Inconvénients**

- ❖ L'eau adoucie favorise la corrosion des installations.
- ❖ L'eau adoucie ne se destine pas pour un usage alimentaire.
- ❖ Nécessite des contrôles réguliers.

II.7. Conclusion

La dureté d'une eau est due à la présence d'ions métalliques bivalents Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , En pratique, on considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et de sa dureté magnésienne (dureté dues aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+}).

Les normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine suivant l'organisation mondiale de la santé (O.M.S,1993) et communautés européennes des eaux (C.E.E,1998).

Plusieurs procédés (physiques et chimiques) sont actuellement disponible pour résoudre le problème la dureté et parmi eux : l'échangeurs d'ions , l'osmose inverse , décarbonatations à la chaux , décarbonatation au carbonate de sodium (Na_2CO_3) et plusieurs types d'adoucisseur d'eau : adoucisseur d'eau au CO_2 , adoucisseur d'eau sans électricité , adoucisseur d'eau industriel.



CHAPITRE III

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE III : MATÉRIEL ET MÉTHODES

III.1. Introduction

Au cours de ce travail, nous avons procédé à la mesure des principaux paramètres physico-chimiques des eaux à savoir : la température, le pH, la conductivité, la turbidité, la dureté totale, le calcium, le magnésium, l'alcalinité (totale et taux en bicarbonates), les sulfates, les chlorures et les nitrites .

III.2. Choix des stations d'étude

Les choix des localités obéit aux critères suivants :

- ✓ à la source hydraulique : tous les échantillons qui ont subi l'analyse proviennent des 02 nappes aquifères respectives : pontienne et albiennne.
- ✓ à la distance : toutes les localités choisies sont à une distance de 1 à 3 km du chef de lieu et en plus munies de routes facilitant le travail.
- ✓ à la direction de la prise d'échantillon s'est effectué dans toutes les directions Nord ,Sud, Est – Ouest afin de voir s'il y a une influence de la situation géographique.

III.3. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'eau est manuel, l'échantillon est prélevé dans un flacon en plastique. Avant son remplissage, le flacon est rincé plusieurs fois avec de l'eau de forage.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau, avant et après traitement, ont été déterminés au laboratoire de l'algérienne des eaux (A.D.E).

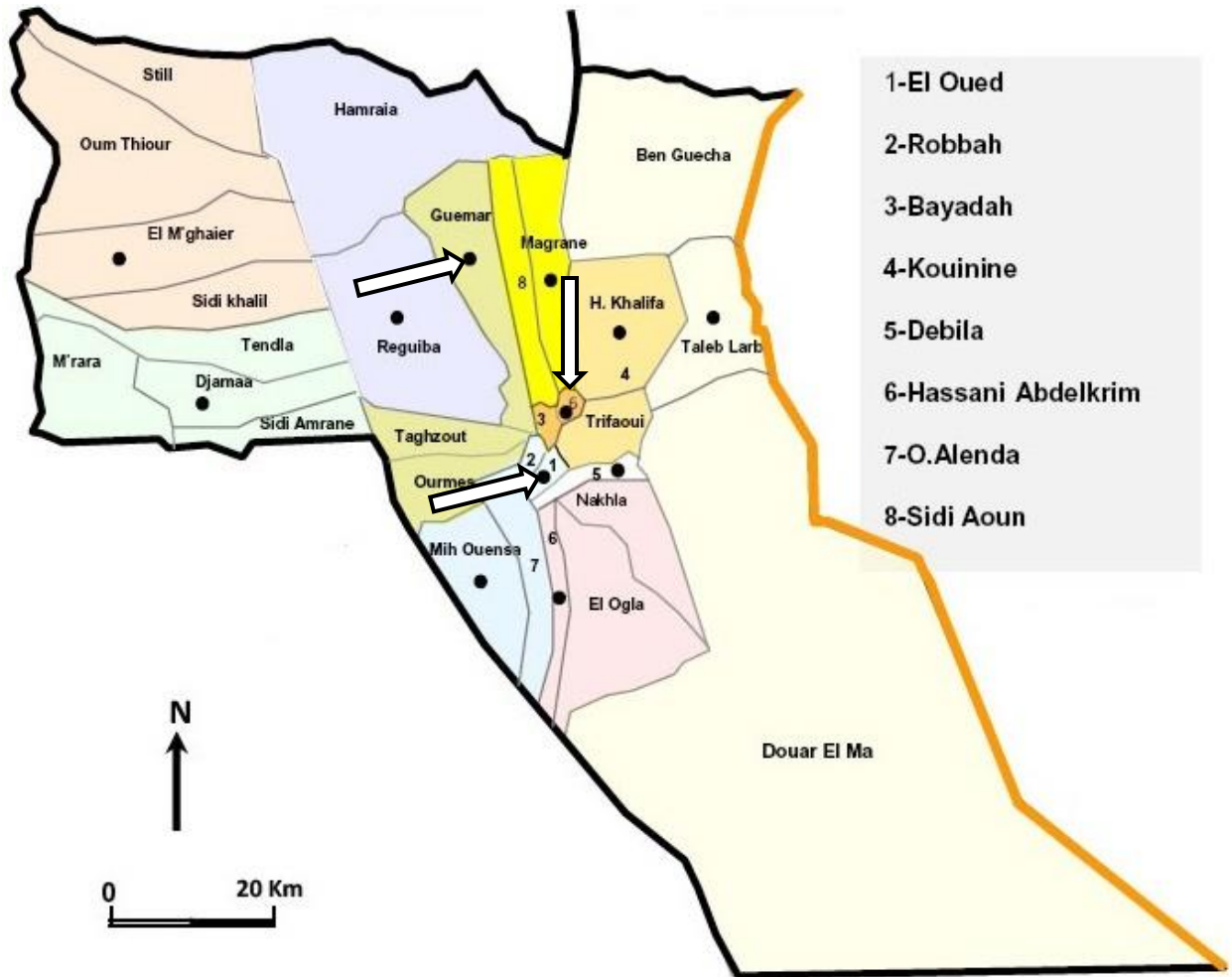


Figure III. 1: Carte de localisation montrant les Stations d'étude échantillonnées.

III.4. Appareillages d'analyse

III.4.1. Mesure de la température

La mesure de température doit être faite sur site, soit en utilisant un appareil électrométrique, soit un thermomètre. La lecture doit s'effectuer après 10 minutes de l'immersion de l'électrode.

La température est d'une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux.

Une eau de boisson est de bonne fraîcheur à la consommation lorsque sa température varie de 9 et 12 °C.

III.4.2. Mesure du pH

Parmi les paramètres les plus importants dans la qualité de l'eau c'est le pH qui est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. La mesure du pH a été effectuée par la méthode électrochimique en utilisant une électrode en verre. L'appareil (pH- mètre) permet de mesurer le pH de l'eau (**Photo III. 1**).

➤ **Mode Opérateur**

- ✓ Rincer l'électrode avec l'eau distille, puis une à 2 fois par l'échantillon à analyser ;
- ✓ Immerger l'électrode dans l'échantillon.
- ✓ La lecture après stabilisation du pH à une température donnée.



Photo III. 1: PH-mètre.

III.4.3. Mesure de la conductivité

La conductivité d'eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes en platine de 1 cm² de surface et séparé l'une de l'autre de 1 cm.

La mesure de conductivité permet d'évaluer la minéralisation de l'eau dont par exemple une eau déminéralisée sa conductivité est de l'ordre de 0 .042 $\mu\text{S}/\text{m}$. La mesure doit s'effectuer le plutôt possible.

➤ Principe

Le conductimètre possède une cellule désigné pour donner une lecture précise de la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ directement sur le cadran digital (**Photo III. 2**).

➤ Mode opératoire

- ✓ Régler l'appareille.
- ✓ On rince la cellule du conductimètre avec l'eau distillée puis avec l'échantillon.
- ✓ Immerger dans l'eau à analyser. Lire l'affichage de la conductivité et la température de l'échantillon.



Photo III. 2: Conductimètre.

III.4.4. Mesure de la turbidité

L'eau peut contenir des substances qui peuvent perturber la couleur transparente de l'eau, pour confirmer cette transparence de l'eau potable on doit mesurer la turbidité de cette eau.

- ✓ Si la turbidité ≤ 5 NTU, l'eau est claire.
- ✓ Si la turbidité est comprise entre 5 et 30 NTU, l'eau est légèrement trouble,
- ✓ Si la turbidité est supérieure à 50 NTU, l'eau est trouble

La turbidité se mesure à l'aide d'un appareil appelé turbidimètre (**Photo III. 3**).



Photo III. 3: Turbidimètre Hatch utilisé.

III.4.5. Dosage de la dureté totale

➤ Principe

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel di sodique de l'acide éthylène. La disparition des dernières traces d'éléments à doser est décelée par le virage d'indicateur spécifique en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation de Mg, cette méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

➤ Réactifs utilisés

- ✓ Solution d'EDTA 0.02 N
- ✓ Solution étalon de calcium à 0,4 g /l
- ✓ Solution tampon.

➤ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau, on chauffe avec un bain Marie à une température d'environ 60°C puis on ajoute 1 ml de la solution tampon (pH =9,5 – 10) et (3) gouttes d'indicateur coloré N.E.T. Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge au bleu vert.

➤ Expression des résultats

$$T.H = (N_{EDTA} \times V_{EDTA}) \times 1000 / V_0$$

T.H : c'est le titre hydrométrique en méq.g

$$T.H = (N_{EDTA} \times V_{EDTA}) \times 1000 / V_0 \times 5 (F^\circ)$$

III.4.6. Dosage de calcium

➤ Principe

Pour déterminer la dureté calcique, on utilise l'EDTA comme complexant. Auparavant on précipite le magnésium sous forme de $Mg(OH)_2$ vers $pH = 12$, par addition de la murixide qui répond à cette condition. Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, il est facile par différence de calculer la dureté magnésienne qui pour la plupart des eaux naturelles inférieure à la dureté calcique.

➤ Réactifs utilisés

- ✓ Solution d'EDTA 0.02 N
- ✓ Solution NaOH
- ✓ Murixide

➤ Mode opératoire

- ✓ Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser
- ✓ On ajoute 0,4 ml de la solution NaOH une pincée de muréxide puis verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rose au pourpre.

➤ Expression des résultats

$$Ca^{+2} = (N_{EDTA} \times V_{EDTA}) \times 1000 / V_0 \times 20 \text{ mg/l}$$

III.4.7. Calcul du magnésium

Pour calculer la concentration de magnésium, nous a utilisé la loi suivante :

$$[\text{Mg}^{+2}] = (\text{TH} - [\text{Ca}^{+2}]) / 20$$

Avec :

TH : La dureté total...(°F) $[\text{Ca}^{+2}]$: Concentration du calcium (mg/l)

III.4.8. Dosage de l'alcalinité

a) Détermination du titre alcalimétrique

➤ Principe

Cette détermination est basée sur neutralisation d'un certain volume d'eau. Un acide minéral dilué en présence de la phénophtaléine (p.p).

➤ Réactifs utilisés

- ✓ Acide chlorhydrique HCl 0.1N ou H₂SO₄.
- ✓ Solution Phénophtaléine

➤ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser, on ajoute 3 gouttes de la solution **P.P** une couleur rose doit se développer dans le cas contraire le TA est nul.

b) Détermination du titre alcalimétrique complète

➤ **But :** Le TAC mesure la teneur en hydrogénocarbonate dans l'eau.

➤ **Principe**

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par acide minéral dilué en présence du méthyle orange.

➤ **Réactifs utilisés**

- ✓ Acide chlorhydrique HCl 0.1N.
- ✓ Solution de méthylorange.

➤ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser on ajoute (02) goutte de la solution méthylorange ; on titre ensuite avec l'acide HCl 0.1 N jusqu'au virage du jaune au jaune orangé.

➤ **Expression des résultats**

- ✓ $TA = 00$
- ✓ $TAC = (N_{HCl} \times V_{HCl}) \times 1000 / V_0$

Avec :

V_0 : Volume de la prise d'essai (ml), TAC : Titre alcalimétrique complet en méq.g.

III.4.9. Calcul des bicarbonates

Pour calculer la concentration des bicarbonates, nous avons utilisé la loi suivant :

$$[\text{HCO}_3^-] = (\text{TAC} \times \text{M}) / 5$$

Avec :

TAC : titre alcalimétrique complet.

M : masse molaire HCO_3^- .

III.4.10. Dosage des sulfates

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

➤ Mode opératoire

- 1) Appuyer sur Programmes HACH sélectionner le programme 680 Sulfate appuyer sur démarrer.
- 2) Transférer 10 ml de l'échantillon dans une cuve ronde et propre
- 3) Transférer le contenu d'une pochette de réactif sulfate dans la cuve.
- 4) Appuyer sur l'icône représentant la minuterie ; appuyer sur OK.
- 5) Une période de réaction de 5 min va commencer ; ne pas remuer la cuve durant cette période.
- 6) Transférer 10 ml de l'échantillon (le blanc) dans une deuxième cuve ronde.
- 7) Lorsque la minuterie retentit ; essuyer l'extérieure du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve.
- 8) Appuyer sur Zéro ; l'indication suivante apparait à l'écran : 0 mg/l SO_4^{2-}

Dans les 5 min après le retentissement de la minuterie ;

- ✓ Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve ;
- ✓ Lire les résultats.

III.4.11. Dosage des chlorures

➤ Principe

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 .

➤ Réactifs utilisés

- ✓ Solution de chromate de potassium.
- ✓ Solution de nitrate d'argent à 0,1N.

➤ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, on prélève 10 ml d'eau à analyser on ajoute (03) goutte de chromate de potassium à 10% puis on titre ensuite avec le nitrate d'argent (AgNO_3 0.1 N) jusqu'au virage rouge brique.

➤ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 ml

$$\text{Cl}^- = (N_{\text{AgNO}_3} \times V_{\text{AgNO}_3}) \times 1000 / V_0 \times 35,45$$

III.4.12. Dosage des nitrites

Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux. L'acide nitreux est un acide instable de formule HNO_2 . La formule de l'ion nitrite est NO_2^- .

➤ **Mode opératoire**

Prélever V ml de la prise d'essai ; ajuster à 40 ml d'ED; ajouter 1ml du réactif coloré ; compléter d'ED. Lire l'absorbance après 20 min. Le blanc étant composé d'ED; traité de la même manière que les échantillons.

➤ **Expression des résultats**

Une coloration rose se développera en présence de nitrite.

III.5. Conclusion

Afin de concrétiser une étude se rapportant à l'hydrogéochimie des aquifères du C.T et C.I d'El Oued Souf, nous avons repéré dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région d'étude.

Des mesures in situ et des analyses au laboratoire ont été effectuées et ont porté sur un certain nombre de paramètres physicochimiques.



CHAPITRE IV

PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE IV : PARTIE EXPÉRIMENTALE

IV.1. Introduction

Dans cette partie, nous avons procédé à la caractérisation chimique de l'eau et par la suite aux analyses de la dureté et l'interprétation des résultats obtenus .secondé par un suivi du procédé d'adoucissement établi.

IV.2. Caractéristique chimique de l'eau

IV.2.1. But

Afin d'identifier notre eau on a procédé à l'analyse chimique complète et des duretés afin d'avoir l'ensemble de ses caractéristiques.

Afin de pratiquer de telles analyses on a choisi les localités suivantes : EL_OUED (19 Mars Albien) et DEBILA (C.T).

IV.2.2. Eau des forages d' El_Oued et Debila

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau des forages d' El_Oued (19 Mars Albien) et Debila (C.T) sont consignées dans le tableau **IV.1** suivant :

Tableau IV.1 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des forages (A.D.E ,2018)

Elément	Unité	Debila C.T	19 Mars Albien	Concentration admissible max la C.E.E 1998
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	264,528	240,48	100
Magnésium (Mg ²⁺)		106,942	109,372	50
NH ₄ ⁺		0,032	0	0,5
NO ₂ ⁻		0	0	0,1
Chlorure (Cl ⁻)		801,237	560,157	200
Sulfate (SO ₄ ²⁻)		361,21	236,42	250
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)		198,86	189,1	-
Dureté totale		1110	1050	350
TAC		163	155	30
pH	-	7,68	7,64	8,5
Conductivité	μS/cm	3960	2450	1250

C.E.E : Comité Européen des Eaux

En outre on croit qu'il est nécessaire de rappeler quelques définitions relatives duretés :

On appelle dureté totale ou titre hydrotimétrique (T.H) la somme des concentrations calciques et magnésienne.

- ✓ la dureté calcique est celle qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.
- ✓ la dureté magnésienne est celle qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium.
- ✓ la dureté permanente ou non carbonatée celle qui persiste après ébullition de l'eau .Elle correspond au sulfate de calcium et de magnésium.
- ✓ la dureté temporaire s'obtient par la différence entre la dureté totale et la dureté permanente.

IV.2.3.Discussion

D'après le tableau **IV.1** on voit que l'eau des deux nappes (C.T et C.I) de la région d'El-Oued Souf est :

- ✓ calcique
- ✓ magnésienne
- ✓ chloruré
- ✓ dure

Car les normes sont dépassées largement.

Les teneurs les plus élevées sont celles du calcium et des sulfates ceci s'explique peut-être par la richesse de ces régions en gypse ce qui conduit par conséquent à l'obtention d'eau très dure (dans notre cas c'est surtout la dureté permanente qui est trop forte).

Il est à signaler qu'au point de vue sanitaire ; la dureté n'a qu'une importance minime; on n'a pu constater jusqu'ici des dommages pour l'organisme qui auraient pour origine l'adsorption d'eau dure.

N'empêche que les taux excédentaires des sulfates et des chlorures les rendent très purgatives et que par ailleurs la cholique néphrétique est chose courante due l'excès des sels dans l'eau.

Expérimentalement, les analyses prouvant que l'eau de la région a une concentration en sels et dureté très élevée dans l'eau des nappes C.T et C.I .

IV.3. Analyse de la dureté

IV.3.1. Résultats

Les résultats obtenus des analyses des duretés des différents échantillons prélevés des différentes nappes aquifères de la zone d'El-Oued Souf sont énumérés ci-dessous :

Tableau IV.2: Analyse de la dureté des différentes nappes aquifères de la zone d'El-Oued Souf (A.D.E ,2018)

Lieu de Prélèvement	Nature de la nappe	la dureté (mg/l)
forage (Chouhada)	Complexe Terminal	2000
forage (Tiksebt)	Complexe Terminal	1030
forage (El oued)	Complexe Terminal	900
forage (Guemar)	Complexe Terminal	1420
forage (Debila)	Complexe Terminal	1110
forage(FOULIA (II))	Complexe Terminal	2700
forage (Daouia)	Complexe Terminal	1420
forage (19 Mars)	Complexe Terminal	1300
forage (Chouhada)	Continental intercalaire	1090
forage (19 mars)	Continental intercalaire	1050
forage (Route touggourt)	Continental intercalaire	800

IV.3.2. Discussion

L'examen des résultats indiqué sur le tableau **IV.2** montre que l'eau des forages présente la dureté totale évaluée à environs (80 - 270) °F le classe, selon le tableau **IV.3**, comme une eau très dure avec une potabilité mauvaise.

Le tableau (**IV.3**) présente une classification de l'eau en matière de sa potabilité selon sa dureté totale.

Tableau IV.3 :Classification d'une eau selon sa dureté totale

Eau	TH (°F)	Usage domestique
Eau très douce	0 à 7 °F	Sans saveur; goût fade
Eau douce	7 à 14°F	Bonne potabilité
Eau moyenne douce	14 à 22°F	Potabilité passable
Eau assez dure	22 à 32°F	
Eau dure	32 à 54°F	Potabilité mauvaise
Eau très dure	> 54°F	Potabilité mauvaise

La littérature rapporte qu'une dureté de 7 °F est optimale pour la saveur (le goût) alors qu'une dureté de 8 à 10 °F est meilleure pour l'utilisation générale de l'eau (alimentation, industrie).

Selon les normes américaines et de l'O.M.S. (1993) pour les eaux potables, les concentrations admises sont de 350 mg /l (qui est retenue pour notre étude) de la dureté pour les régions chaudes et de 500 mg/l comme teneur maximale pour les autres contrées à climat différent.

A cet effet, nous constatons que les concentrations en dureté obtenues dans les deux (02) nappes sont excessivement élevées et dépassant largement les normes de la qualité des eaux de boisson allant de 90 à 270 mg/l pour le C.T. et de 80 à 109 mg / l pour le C.I .

IV.4. Adoucissement des eaux des forages 19 mars par addition du carbonate de sodium

Cette partie de notre travail est réservée à l'étude de l'efficacité du carbonate de sodium sur l'amélioration de la dureté des eaux. Le procédé est basé sur la précipitation du calcium et du magnésium liées aux Cl^- et SO_4^{2-} .

IV.4.1. Etude théorique

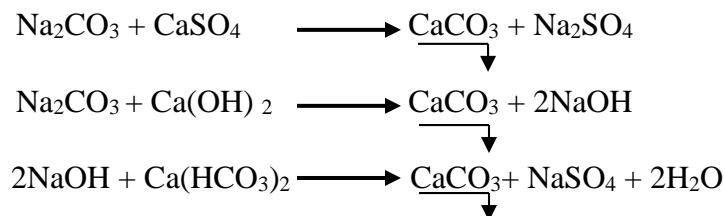
IV.4.1.1. Quantité de carbonate de sodium optimale

La quantité de Na_2CO_3 en mg/l de CaCO_3 nécessaire à l'élimination de la dureté non carbonatée associée au calcium et au magnésium, qui est égale à leur concentration résiduelle dans la solution (eau brute).

Le travail a été réalisé en condition batch. Dans des béchers de 300 ml d'eaux brutes du forage, on a ajouté 200 mg/l de carbonate de sodium aux solutions. Le mélange est mis en agitation pendant 60 min. après 20 min des analyses sur les solutions ont été réalisés.

IV.4.1.2. Précipitation du carbonate de calcium

La précipitation du carbonate de calcium est spontanée après l'addition du carbonate de sodium. Par ce procédé l'ensemble du calcium lié au chlorure et au sulfate sera précipité. Les réactions chimiques régissant ce phénomène sont les suivantes :



IV.4.2. Etude pratique

Après l'étude pratique par l'addition du carbonate de sodium, le tableau IV.4 et IV.5 donne les résultats d'adoucissement de l'eau par addition du carbonate de sodium.

Tableau IV.4 : Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars (C.T)

Eléments	Unité	Eaux Brutes	Eaux traitée par (Na ₂ CO ₃)	Les normes max la C.E.E.1998
Ca ²⁺	mg/l	240,48	60,12	100
Mg ²⁺		87,498	40,59	50
PH	-	7,15	7,95	8,5
Conductivité	μS / Cm	3560	4000	1250
Dureté	°F	96,57	31,94	35

Tableau IV.5: Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars Albien

Eléments	Unité	Eaux Brutes	Eaux traitée par (Na ₂ CO ₃)	Les normes max la C.E.E.1998
Ca ²⁺	mg/l	232,464	55,63	100
Mg ²⁺		102,081	42,16	50
PH	-	7,02	7,91	8,5
Conductivité	μS / Cm	2330	2780	1250
Dureté	°F	100,64	31,47	35

Le traitement avec le carbonate de sodium, montre des tableaux (IV.4 et IV.5) une très bonne efficacité d'adoucissement. Le rendement d'élimination de la dureté est supérieur à 66 %.

La dureté des eaux du forage 19 mars (C.T) devient après traitement de l'ordre de 31.94 °F soit inférieure à la valeur guide recommandée par C.E.E (35 °F).

La dureté finale de l'eau du forage 19 mars albiennes devient après traitement au carbonate de sodium de l'ordre de 31.47 °F soit.

D'autre part, nous notons à partir des tableaux (IV.4 et IV.5) que la concentration de calcium et de magnésium a très bien diminué et est conforme aux normes de C.E.E, tandis que la valeur du pH et la conductivité ont augmenté.

IV.5.Conclusion

Les résultats d'analyses physico-chimiques des forages montrent que les eaux des nappes continental intercalaire et complexe terminal de la région d'El-Oued Souf sont caractérisées par un pH neutre et une conductivité moyenne à élevés avec une grande augmentation de concentration de quelque éléments chimiques tels que : (Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} et Cl^-).

Les résultats de l'analyse ont montré que la dureté de l'eau dans la région d'El-Oued Souf est très élevée selon les normes européennes C.E.E.

Les résultats de l'utilisation de la méthode d'adoucissement avec du carbonate de sodium ont donné des valeurs très acceptables notamment pour réduire le degré de dureté de l'eau.

A decorative border consisting of intricate, symmetrical scrollwork and flourishes, framing the central text. The border is composed of multiple overlapping lines of black ink, creating a complex, ornate pattern.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le présent travail a abordé la problématique contribution à l'étude de la dureté des eaux des nappes souterraines de la région d'El-Oued Souf et les procédés d'adoucissement.

La dureté acceptable par le public peut varier considérablement d'une ville à l'autre, selon les conditions locales. On ne peut donc pas fixer de concentration maximale acceptable quant à la dureté. On considère généralement qu'une dureté comprise entre 80 et 100 mg/l (en CaCO_3).

Par contre, l'analyse des eaux des nappes souterraines de la région d'El-Oued Souf a prouvé des valeurs élevées de dureté, où les valeurs étaient limitées à 80 et 270 °F et sont des valeurs très élevées selon les normes européennes et l'organisation mondiale de la santé .

Le choix de la technique d'adoucissement la mieux adaptée à une eau donnée, se fait sur la base de nombreux critères, à savoir :

- nature et composition de la dureté ;
- coûts des réactifs ;
- conditions d'exploitation ;

L'étude expérimentale a montré que l'addition de carbonate de sodium peut donner des résultats très acceptables et des normes requises. Par conséquent, nous recommandons d'utiliser cette méthode, surtout si nous savons que l'eau traitée a une dureté inférieure à 32° F.

Références Bibliographiques

A.D.E :(Algérienne Des Eaux Wilaya d'El-Oued). Rapports sur l'analyse physico-chimique .

A.N.R.H :Note relative sur les ressources en eau de la wilaya d'EL-Oued.

D.P.A.T, (2009) : Annuaire statistique de la Wilaya d' El Oued.

D.H.W :(Direction d'Hydraulique de la Wilaya d'El-Oued), 2014 Ressources en eau de la région d'El-Oued.

O.N.M : données climatiques Station de météorologie de Guemmar.

Aya Brahim (2014) : Contribution à L'étude de la qualité physico-chimique des eaux Destinée à l'AEP de la ville D'EL-OUED. Mémoire de Master ; Université Hadj Lakhdar Batna. P131.

Ben Doyem Safia (2015) : Contribution à l'étude de l'hyperfluoruration des eaux souterraines de région d'EL-Oued (souf) et ses conséquences sur la santé humaine. Mémoire de Master ; Université Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued. P65.

Medfouni Samir (2007) : Adoucissement des eaux géothermales de L'Oued R'hir. Etude comparative de deux types de chaux (CaO et $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Mémoire de Magister ; Université Kasdi Merbah Ouargla. P62.

Diafi Radhwane (2015) : Etude expérimentale sur l'adoucissement de l'eau par précipitation chimique. Mémoire de Master ; Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. P71.

Tahraoui Belal , Obeidi Mohammed (2013) : Potabilité et aptitude à l'irrigation des eaux des nappes profondes cas du C.T et C.I de la vallée d'El Oued. Mémoire de Master ; Université Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued. P93.

Benaouda Anissa , Merabet Ibtissam (2015) : Rentabilité de réseau de drainage vertical : causes et solutions proposées (Cas de la ville d'El-Oued). Mémoire de Master ; Université Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued. P82.

Memotec n°6 : les procédés d'adoucissement en traitement de l'eau potable.

باوية قيس (2003): معالجة عسرة مياه طبقة الألبان. حوصلة تجريبية وإمكانية إستغلال النتائج في منطقة وادي ريغ . مذكرة الماجيستر : جامعة قاصدي مرباح ورقلة. ص 99.

<https://solucalc.com/autre/adoucisseur-au-co2/>

<https://www.lenntech.ae/>

Annexes

Annexe 01: Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars (C.T)
à la concentration **100 mg/l** de Na_2CO_3

Eléments	Unité	Eaux Brutes	Eaux traitée par (Na_2CO_3)	Les normes max la C.E.E.1998
Ca^{2+}	mg/l	240,48	175,44	100
Mg^{2+}		87,498	66,42	50
PH	-	7,15	7,56	8,5
Conductivité	$\mu\text{S} / \text{Cm}$	3560	3744	1250
Dureté	$^\circ\text{F}$	96,57	71,36	35

Annexe 02: Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars (C.T)
à la concentration **300 mg/l** de Na_2CO_3

Eléments	Unité	Eaux Brutes	Eaux traitée par (Na_2CO_3)	Les normes max la C.E.E.1998
Ca^{2+}	mg/l	240,48	59,67	100
Mg^{2+}		87,498	39,92	50
PH	-	7,15	8,12	8,5
Conductivité	$\mu\text{S} / \text{Cm}$	3560	4120	1250
Dureté	$^\circ\text{F}$	96,57	31,55	35

Annexe 03: Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars
Albien à la concentration **100 mg/l** de Na_2CO_3

Eléments	Unité	Eaux Brutes	Eaux traitée par (Na_2CO_3)	Les normes max la C.E.E.1998
Ca²⁺	mg/l	232,464	148,29	100
Mg²⁺		102,081	69,06	50
PH	-	7,02	7,48	8,5
Conductivité	μS / Cm	2330	2528	1250
Dureté	°F	100,64	65,34	35

Annexe 04: Résultats d'adoucissement des eaux au carbonate de sodium du forage 19 mars
Albien à la concentration **300 mg/l** de Na_2CO_3

Eléments	Unité	Eaux Brutes	Eaux traitée par (Na_2CO_3)	Les normes max la C.E.E.1998
Ca²⁺	mg/l	232,464	54,97	100
Mg²⁺		102,081	41,64	50
PH	-	7,02	8,06	8,5
Conductivité	μS / Cm	2330	2910	1250
Dureté	°F	100,64	31,09	35