

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de Sciences et Techniques



N° Ref :.....

Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master en hydraulique
Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Etude de la qualité des eaux de la nappe
phréatique utilisées en irrigation dans la région
d'Oued Souf (Sud-Est Algérien).**

Présenté par :

- M^{elle}. Akroum Ghouzlane
- M^{elle}. Benzahra Fatima

Dirigé par :

- M. Mehellou Ahmed

Soutenu devant le jury :

- M. Moussouni Abderzak **Président**
- M. Kabour Abdesselam **Examineur**

Année universitaire : 2020/2021

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إجراء توصيف فيزيو-كيميائي لمياه الطبقة الجوفية الفوقية المستخدمة في الري في منطقة واد سوف. و لهذا ، تم أخذ سلسلة عينات من 8 آبار ري لحقول زراعية مختلفة. أولاً ، تم قياس الـ pH ، الناقلية الكهربائية (CE) و نسبة الملوحة (TDS) لهذه العينات. في الخطوة الثانية قمنا بتحديد قلوية الماء (TA و TAC) و قساوته (TH) بواسطة المعايرة الحجمية. تم تخصيص الخطوة الأخيرة لتحليل أيونات النترات (NO_3^-) و الكلوريد (Cl^-) بواسطة القياس الطيفي المرئي للأشعة فوق البنفسجية ومقياس الضوء ذو المرشح على التوالي.

أظهرت النتائج المُحصَل عليها أن الـ pH يتراوح دائماً بين 6.8 و 7.1. هذه النتائج تتوافق جيداً مع المعايير الموصى بها. ومع ذلك ، فإن هذه المياه عالية التمعدن لأن ناقليتها الكهربائية أكبر من $3000 \mu\text{S.cm}^{-1}$. تتراوح نسبة الملوحة بين 2.33 و 3.97 g.L^{-1} و تزيد في نفس اتجاه تدفق المياه الجوفية. أظهرت هذه الدراسة أيضاً أن TA للماء يساوي صفر في جميع الحالات. في حين أن الـ TAC مرتفعاً نوعاً ما مما يعني أن تركيز أيونات HCO_3^- مرتفع كذلك. جميع المياه التي تم تحليلها قاسية للغاية لأن الـ TH دائماً يفوق 54°F . تراكيز بعض الأنواع الكيميائية كالـ NO_3^- و الـ Cl^- تتقدم قيماً مقبولة و أقل من المعايير القصوى المسموح بها.

و أخيراً ، و من حيث القساوة والملوحة يمكننا القول أن مياه الطبقة الجوفية الفوقية المستخدمة في الري في منطقة واد سوف لا تصلح لري الحقول الزراعية وتتطلب معالجة مناسبة.

Résumé

Le but principal de ce travail est de faire une caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe phréatique utilisées en irrigation dans la région d'Oued-Souf. Pour cela, une série de 8 prélèvements ont été effectués des puits d'irrigation de différents champs agricoles. Dans un premier temps, on a effectué la mesure du pH, de la conductivité électrique (CE) et du taux de salinité (TDS). Dans une seconde étape on a déterminé leur alcalinité (TA et TAC) et leur titre hydrotimétrique (TH) par titrimétrie. La dernière étape a été consacrée à l'analyse des ions nitrates (NO_3^-) et chlorures (Cl^-) par spectrophotométrie UV-Visible et par Photomètre à filtre respectivement.

Les résultats obtenus ont montré que le pH mesuré est toujours situé entre 6.8 et 7.1. Ces résultats sont en bon accord avec les normes recommandées. Néanmoins, ces eaux sont très minéralisées car leur CE est supérieure à $3000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Le TDS varie entre 2.33 et $3.97 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ et augmente dans le même sens d'écoulement de la nappe. Cette étude a montré également que le TA de l'eau est dans tous les cas nul. Cependant, le TAC est toujours assez élevé et par conséquent une concentration en ions HCO_3^- élevée. La totalité des eaux analysées sont très dures, car le TH est toujours supérieur à 54°F . Les teneurs en NO_3^- et Cl^- présentent des valeurs acceptables et inférieures à la norme.

En effet, en terme de dureté et de salinité on peut dire que les eaux de la nappe phréatique de la région de Souf n'est pas valable à l'irrigation des champs agricoles et nécessite un traitement adéquat.

Dédicace

Avec l'aide et la protection d'ALLAH.

Je tiens avec grande plaisir à dédier ce modeste travail aux personnes les plus chères de ma vie :

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chères Frères : FARID et SAMI et BILAL et mes très chères Soeurs: ILHAM et SAMIA.

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Et un merci spécial à ma défunte soeur BASMA.

Aux petits enfants : (rania, janañ, louay, roua , lin, yasser, rahaf)

A mes très chères cousins :

(raja ,mariem ,aïda ,marwa ,amani ,hadî,lamis, iman).

A toute la famille Benzahra .

A mes chères amies (MANEL, RANIA,GHEZLANE et INESS).

A toute la promotion d'hydraulique 2021.

*Tout et toute personne qui à rencontrer et aimer **FATIMA** un jour.*

Enfin, à celui qui lira ce document un jour.

FATIMA.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance, et bien au-delà, je le dois **à mon cher père** et **à ma douce mère** qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait,

je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots.

Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

A mes très chères Frères : *Kamal , Bilal*

A mes très chères Sœurs : *Chaïma , Nazîha , Rayan*

A toute ma famille.

Sommaire

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale **01**

Chapitre I : Présentation de la région d'étude (Oued-Souf)

Introduction	03
I. Présentation de la région d'étude	03
I.1 aperçu historique sur la région d'Oued-Souf	03
I.2 Situation géographique	04
I.3 Les peuplement du Souf	08
I.4 Cadre hydrogéologique	09
I.4.1 La Nappe Phréatique	10
I.4.2 Complexe Terminal (C.T)	10
I.4.3 Nappe du Continent Intercalaire (CI)	12
I.5 Cadre géologique de la région de Souf	13
I.5.1 Stratigraphie régionale	13
I.5.1.1 Formation de l'ère Secondaire	13
I.5.1.2 Formations de l'ère Tertiaire	18
I.5.1.3 Formation du Quaternaire	19
I.6 Aspect climatologique	20
I.6.1 Température	20
I.6.2 Les précipitations	22
I.6.3 Humidité	22
I.6.4 Les Vents	23
I.6.5 Insolation	24
I.6.6 La Courbe Pluviothermique	25
I.6.7 Climagramme d'Emberger	26

Chapitre II : Généralités sur l'irrigation et les eaux d'irrigation

Introduction	28
II.1 Généralité sur l'irrigation	28

II.1.1 Définition	28
II.1.2 Importance de l'irrigation	28
II.1.2.1 Apport sur le plan économique	28
II.1.2.2 La satisfaction	29
II.1.2.3 L'irrigation un rempart à la famine	29
II.1.3 Technique et modes d'irrigation	29
II.1.2.1 Irrigation surface (par gravité)	30
II.1.2.1.1 Irrigation par submersion ou inondation	30
II.1.2.1.2 Irrigation par infiltration	30
II.1.2.1.3 Irrigation par ruissèlement (rigoles)	30
II.1.2.2 Irrigation par aspersion	31
II.1.2.3 Irrigation localisée (goutte à goutte)	32
II.3 Qualité des eaux d'irrigation	33
II.4 Normes et qualité des eaux destinées à l'irrigation	35
II.5 L'irrigation en Algérie	36
II.5.1 Des grands périmètres irrigués (GPI)	37
II.5.2 De la « petite et moyenne Hydraulique » (PMH)	38
II.6 L'irrigation dans la région d'Oued-Souf	39
II.6.1 L'agriculture à Oued-Souf	39
II.6.2 Aperçu sur la qualité des eaux souterraines dans la région d'Oued-Souf	40
II.6.3 Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	40
II.6.4 L'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité	41
II.6.4.1 Les propriétés des eaux d'irrigations	41
II.6.4.1.1 Propriétés physiques	41
II.6.4.1.2 Propriétés chimiques	43

Chapitre III : Caractérisation des eaux de la nappe phréatique d'Oued-Souf

Introduction	48
III.1 Prélèvement et conditionnement des échantillons	48
III.2 Caractérisation des eaux de la nappe phréatique de la région d'Oued Souf	52
III.2.1 Paramètres physiques (pH, TDS et CE)	52
III.2.1.1 Le pH	53
III.2.1.2 La conductivité électrique (CE)	54
III.2.1.3 Le taux de salinité (TDS)	55

III.2.1.4 Analyse des résultats de la conductivité électrique et du taux de salinité	56
III.2.2 Paramètres chimiques (TA, TAC et TH)	57
III.2.2.1 Détermination du titre alcalimétrique (TA)	57
III.2.2.2 Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)	59
III.2.2.3 Détermination de la dureté ou du titre hydrotimétrique (TH)	61
III.2.3 Analyse de quelques espèces chimiques majeures	62
III.2.3.1 Analyse des ions nitrates (NO_3^-) par spectrophotométrie UV-Visible	62
III.2.3.2 Analyse des ions chlorures (Cl^-) par Photomètre à filtre	65
Conclusion	68
<i>Conclusion générale</i>	69
<i>Références bibliographiques</i>	70

Remerciements

Avant tout, Nous remercierons d'abord **Allah** pour nous avoir donné la force et le courage, la patience et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur **MEHELLOU Ahmed**, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour tous ses efforts, ses encouragements, ses précieuses orientations qu'il n'a cessé de prodiguer, c'est grâce à son infatigable dévouement que ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons à remercier très sincèrement Monsieur **Moussouni Abderzak**, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant la présidence de ce jury.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **KABOUR Abdesselem** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nous remercions également tous les enseignants de l'hydraulique.

En fin nous serons vraiment reconnaissant en vue tous ceux qui nous ont aidé de près ou loin dans la réalisation de ce travail

Sans oublier le remerciement de toute notre promotion de 2021.



Liste des figures

Figure N°	Titre de la figure	Page
Figure I.1	Situation géographique de la région d'El Oued (Larousse, 2009).	06
Figure I.2	Carte géographique de la région du Souf avec la situation des zones d'études.	07
Figure I.3	Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972).	09
Figure I.4	Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba et al., 2006).	11
Figure I.5	La litho-stratigraphique du forage F1, (ANRH, 1993).	16
Figure I.6	Carte géologique du Grand Erg Oriental (Atia et Zine, 2019).	17
Figure I.7	Carte géologique de la zone d'étude (Khachena, 2007).	18
Figure I.8	Histogramme des températures moyennes mensuelles (T °C) Durant la période (1978-2017).	21
Figure I.9	Histogramme des températures moyennes mensuelles (1978-2013).	22
Figure I.10	L'humidité relative mensuelle de la vallée du Souf (2008-2018).	23
Figure I.11	Vitesse moyenne mensuelle des vents de la vallée du Souf (2008-2018).	24
Figure I.12	Insolations moyennes mensuelles durant la période 2000/2015 (Salhi, 2016).	25
Figure I.13	Courbe pluviothermique (1978/2008).	26
Figure I.14	Position de la station de l'ONM: de Guemar sur le climagramme d'Emberger.	27
Figure II.1	Irrigation par ruissèlement (rigoles)	31
Figure II.2	Irrigation par aspersion.	32
Figure II.3	Irrigation localisée (goutte à goutte)	32
Figure III.1	Image Google de localités des points de prélèvement dans la zone d'étude.	50
Figure III.2	Carte des points de prélèvement dans la vallée d'Oued-Souf.	51
Figure III.3	Multimètre portatif utilisé (Marque Consort C3010).	52
Figure III.4	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) des eaux étudiées en fonction des points de prélèvements.	54
Figure III.5	TDS (g.L^{-1}) des eaux étudiées en fonction des points de prélèvements.	56
Figure III.6	Spectrophotomètre UV-Visible utilisé (JENWAY J305).	63

Figure III.7	Courbe détalonnage pour le dosage des ions nitrates.	64
Figure III.8	Photomètre à filtre utilisé (AQUALYTIC AL400).	66

Liste des tableaux

Tableau n°	Titre du tableau	Page
Tableau I.1	Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued . (d'après 2013)	08
Tableau I.2	Températures moyennes mensuelles durant la période (1978-2017).	21
Tableau I.3	Humidité relative moyenne mensuelle de la région du Souf durant l'année 2018.	22
Tableau I.4	Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de la région d'étude durant l'année 2018.	24
Tableau I.5	Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	25
Tableau II.1	Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.	36
Tableau II.2	Superficies des GPI équipée, irrigables et irriguée par grande région source.	37
Tableau II.3	Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation.	38
Tableau II.4	Evolution des surfaces irriguées de 2000 à 2008.	39
Tableau II.5	Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.	40
Tableau III.1	Les coordonnées des points de prélèvement.	49
Tableau III.2	Résultats du pH, de la CE et du TDS des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Souf.	53
Tableau III.3	Corrélation entre le degré de minéralisation et la CE et le pourcentage des points d'eau analysée dans chaque domaine de minéralisation.	55
Tableau III.4	Résultats du TAC et du TH des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Souf.	60
Tableau III.5	Dureté de l'eau en fonction de la valeur du TH.	62
Tableau III.6	Résultats des teneurs en nitrates (NO_3^-) des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Oued-Souf.	65
Tableau III.7	Résultats des teneurs en chlorures (Cl^-) des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Oued-Souf.	67

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, une ressource minérale indispensable pour toutes les créatures vivantes, c'est une nécessité pour la vie. Avec l'accroissement démographique, l'homme dure vivre loin des rivières et autres plans d'eau, par conséquent, d'autres sources comme l'eau souterraine furent découvertes (**Salhi, 2016**).

La demande en matière d'eau est en croissance continue alors que les ressources sont limitées, et parfois non renouvelables, et la parution des nouveaux modes de vie et des nouvelles industries ont abouti à la consommation excessive de l'eau. De même, le problème devient plus compliqué lorsqu'il s'agit des pays partageant la même ressource ou le même cours d'eau. La concurrence est de plus en plus rude entre la ville et la campagne ; entre le secteur industriel et le secteur touristique en matière d'eau, d'irrigation et d'eau potable (**Khechana, 2014**).

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigue et l'industrie (**Harrat et Achour, 2010**).

Malheureusement, dans plusieurs régions algériennes, surtout celles situées au Sahara, sont confrontées aujourd'hui à des problèmes liées à des aspects quantitatif et qualitatif des ressources en eau dues essentiellement à la remontée des eaux provenant des nappes phréatiques, qui sont néfastes pour les cultures et les habitations. D'une manière générale, les eaux destinées pour l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, ainsi que celles destinées pour les besoins industriels, proviennent surtout des eaux souterraines. De point de vue quantité, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, surtout au bas Sahara (Sahara septentrional); mais la qualité de cette eau, dans certaines régions est le plus souvent médiocre (**Khechana, 2007**).

La région d'El Oued fait partie d'un des plus grands déserts du monde, elle recèle d'énormes réserves d'eaux souterraines. Ces eaux se trouvent sous forme de nappes aquifères contenant dans des horizons géologiques de différentes profondeurs et épaisseurs. Dans le grand Sahara algérien, deux célèbres réservoirs rencontrés; de bas en haut nous avons, le Continental Intercalaire dit (CI) et le Complexe Terminal dit (CT). Ces deux systèmes aquifères renferment plusieurs nappes d'eaux superposées l'une sur l'autre (**Allag et Nacer, 2019**). Le principal

Introduction générale

l'objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité des eaux de la nappe phréatique utilisées en irrigation dans la région d'Oued Souf.

Dans ce cadre, plusieurs échantillons d'eau prélevés de différents sites de la région des eaux destinées à l'irrigation. Le présent travail est une contribution à la discussion de la qualité de ces eaux dans la région d'Oued-Souf. Ce travail est structuré en trois principaux chapitres :

- Le premier chapitre porte une présentation de la région d'étude (Oued-Souf).
- Le deuxième chapitre contient des généralités sur l'irrigation et les eaux d'irrigation.
- Le dernier chapitre est consacré à la caractérisation des eaux de la nappe phréatique d'Oued-Souf.

Chapitre I :

Présentation de la région
d'étude (Oued-Souf)

Introduction

Dans la région d'El-Oued (SE Algérie), la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux de complexe terminal et de continentale intercalaire augmentent chaque année (1134 Hm³ en 1999 à 1566 Hm³ en 2010). Les quantités d'eaux prélevées sont rejetées directement dans la nappe phréatique sans aucun traitement, avec l'absence de réseau d'assainissement et un exutoire naturel, le niveau piézométrique commence à monter jusqu'à la surface de sol ou à un niveau proche de la surface de sol. La région vivrait une catastrophe par la disparition quasi totale des Oasis ayant survécues en tant que bases de vie durant des milliers d'années et la contamination de la nappe phréatique. Cette étude réalisée au laboratoire de Géologie du Sahara, vise à déterminer les effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement, et pour but d'élaborer un plan de gestion adéquat sur les ressources hydrique dans la région d'El-Oued **(Bouselsal B ; Kherici N 2014)**

I. Présentation de la région d'étude

Pour mieux situer notre milieu d'étude, nous allons présenter la situation géographique de la région d'Oued Souf, plus précisément les sites d'étude (Debila et Guemar) et les facteurs écologiques qui caractérisent cette région.

I.1 aperçu historique sur la région d'Oued-Souf

Souf est un mot berbère qui a la même signification en arabe que le mot Oued. L'expression "Oued Souf" a donc la particularité de répéter deux fois le même terme mais en 2 dialectes distincts. Ces deux expressions signifient fleuve en français... Y aurait-il donc un fleuve dans cette région ensablée? La réponse est oui.

Il y a bien un fleuve mais il est souterrain. En effet, une nappe aquifère s'écoule lentement en remontant à la surface du Sud vers le Nord. Cette nappe phréatique est assez proche de la surface (entre 4 et 15 mètres de profondeur selon l'endroit) pour que les paysans souafas aient imaginés un système d'irrigation original. Au lieu d'irriguer en surface, ils vont à la rencontre de l'eau en creusant des palmeraies entonnoirs; ainsi les palmiers n'ont plus qu'à puiser l'eau d'eux mêmes au bout de leurs racines. Mais, si l'irrigation se fait toute seule, l'entretien des Ghouts (entonnoir) n'a

rien de facile. C'est une lutte sans fin contre le vent qui aurait tôt fait de combler le cratère et d'ensevelir les palmiers.

La région ayant une identité spécifique, mais dont l'histoire est très mal connue. Sa population métissée comprend des descendants d'ancêtres nomades de Troud et Adouane venus du Yemen mêlés à des populations Zénètes préexistantes. Le souf est aussi le pays des roses des sables, des fenecs et des tapis de haute laine ou en poil de chameau.

El Oued: la ville aux mille coupes, capitale du Souf, l'architecture s'y distingue de celle des autres villes sahariennes. Au lieu de terrasses, ce sont des coupes qui coiffent les maisons.

Mais ses efforts ne sont pas vains car le sol riche et l'ensoleillement maximal du Souf joignent leurs vertus à celle du Ghout pour produire des dattes qui, avec celles de la région de Biskra, sont parmi les plus réputées au monde. Nombre de palmeraies jouissant d'une eau douce peuvent se permettre de cultiver la variété "Déglà", exigeante mais lucrative car exportée. La seule connue en Europe est la Déglat-Nour (doigt de lumière).

D'autres variétés, plus rustiques, qui peuvent se contenter d'eau plus salée, alimentent les marchés locaux. Les Dattes-Ghars peuvent être compressées dans des sacs ou dans des jarres et être ainsi conservés très longtemps (jusqu' à 15 ans). Ce qui explique qu'elle est constituée au fil des temps, la base de la nourriture des nomades avec le lait. Au fond de l'entonnoir, le propriétaire réserve un périmètre, irrigué par la Khottara (puits à balancier) pour quelques primeurs (pastèques, melons, poivrons, navets, carotte, etc...). La culture du tabac à chiquer était très importante surtout dans la région de Guemar mais elle à été quasiment abandonné dans les années 60, sa culture étant trop ingrate (**Khechana, 2007**).

I.2 Situation géographique

La wilaya d'El-Oued est située au Nord-est de Sahara septentrional (Figure I.1), se trouve au Sud-est de l'Algérie, elle a une superficie de 54 573 km². Elle demeure une des collectivités administratives les plus étendues du pays. Sa population est estimée à 695 396 habitants et une densité de 13 hab./km², le taux d'accroissement de population égale à 3,4 ‰ selon le recensement de l'ONS de 2010 (**Besser et Benine 2016**).

Les limites de la Wilaya sont :

- □ A l'Est par la république Tunisienne ;
- □ Au Nord –Est par Tébessa ;
- □ Au Nord par Khenchla et Biskra ;

- □ Au Nord-Ouest par Biskra ;
- □ A l'ouest par Djelfa ;
- □ Au Sud-ouest et sud par Ouargla. (**Atia et Zine, 2019**).

Les coordonnées Lambert d'El Oued sont les suivantes :

$$X = 275\ 200 / 322\ 000,$$

$$Y = 3\ 665\ 000 / 3743\ 000.$$

El-Oued c'est la région du bas Sahara (Figure I.2), il est un petit morceau d'un immense territoire géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200000 km², constituée par les alluvions des oueds qui au cours de Quaternaire ont désagrégé les reliefs situés plus au Sud (massif central saharien) et ont épandu leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s'ouvrait en direction des chotts, ces matériaux sont remodelés inlassablement sur place par les vents sahariens, en dunes de types variés.

Les contraintes de l'erg sont grandes: pas d'eaux superficielles, pas de sources, difficultés de circulation. Pour le saharien, l'erg est le territoire le moins attractif, dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide. Cette région tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par les coupoles et par ses palmeraies plantées dans les ghouts (**Atia et Zine, 2019**).

Dans la partie nord d'El-Oued, le Grand Erg Oriental s'abaisse et perd de massivité avec la disparition des dunes qui cèdent la place à des plateaux couverts d'une maigre végétation qui se prolongent jusqu'aux chotts arides et dénudés (**Boulifa, 2012**).

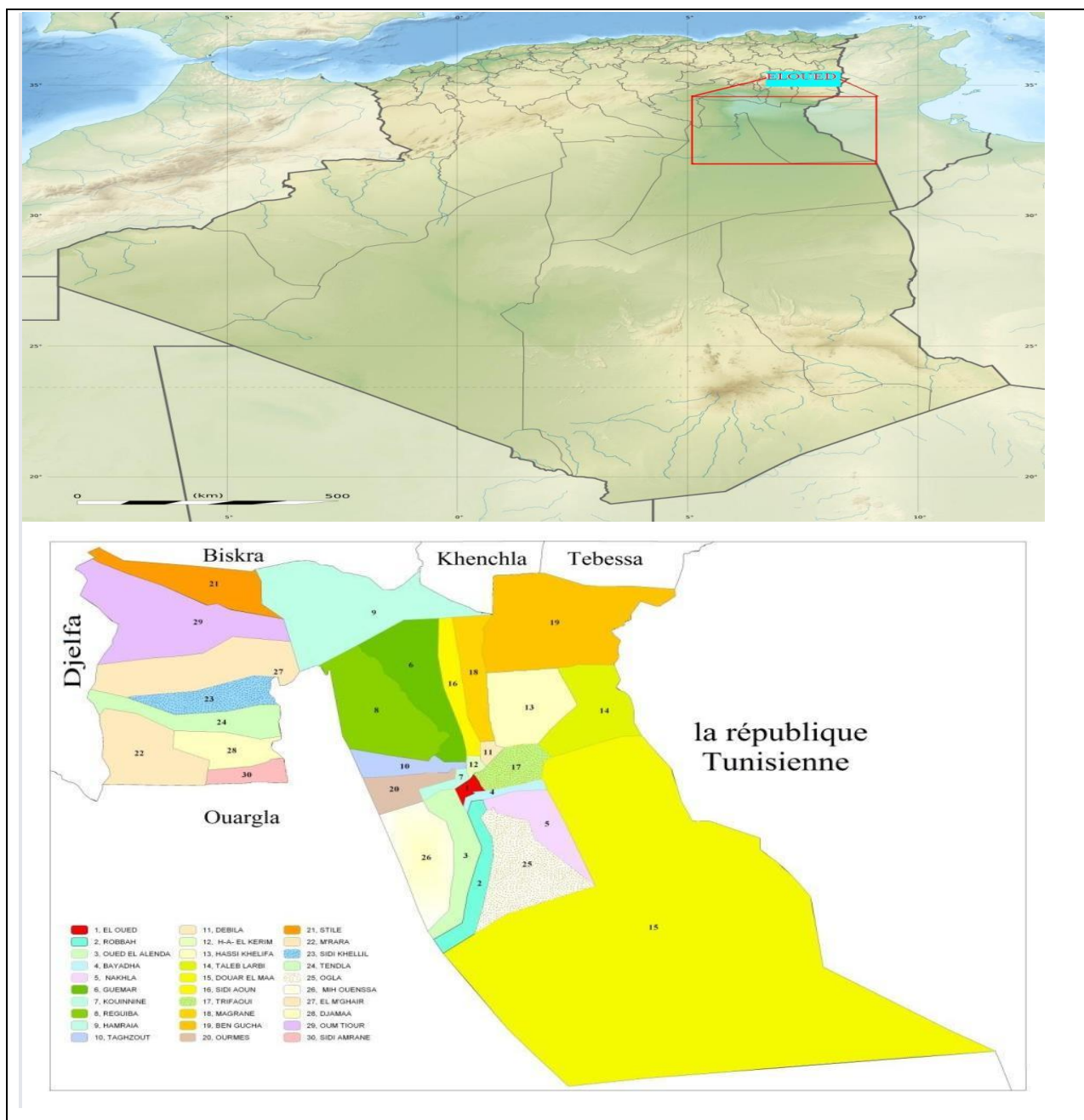


Figure I.1 : Situation géographique de la région d'El Oued (Larousse, 2009).

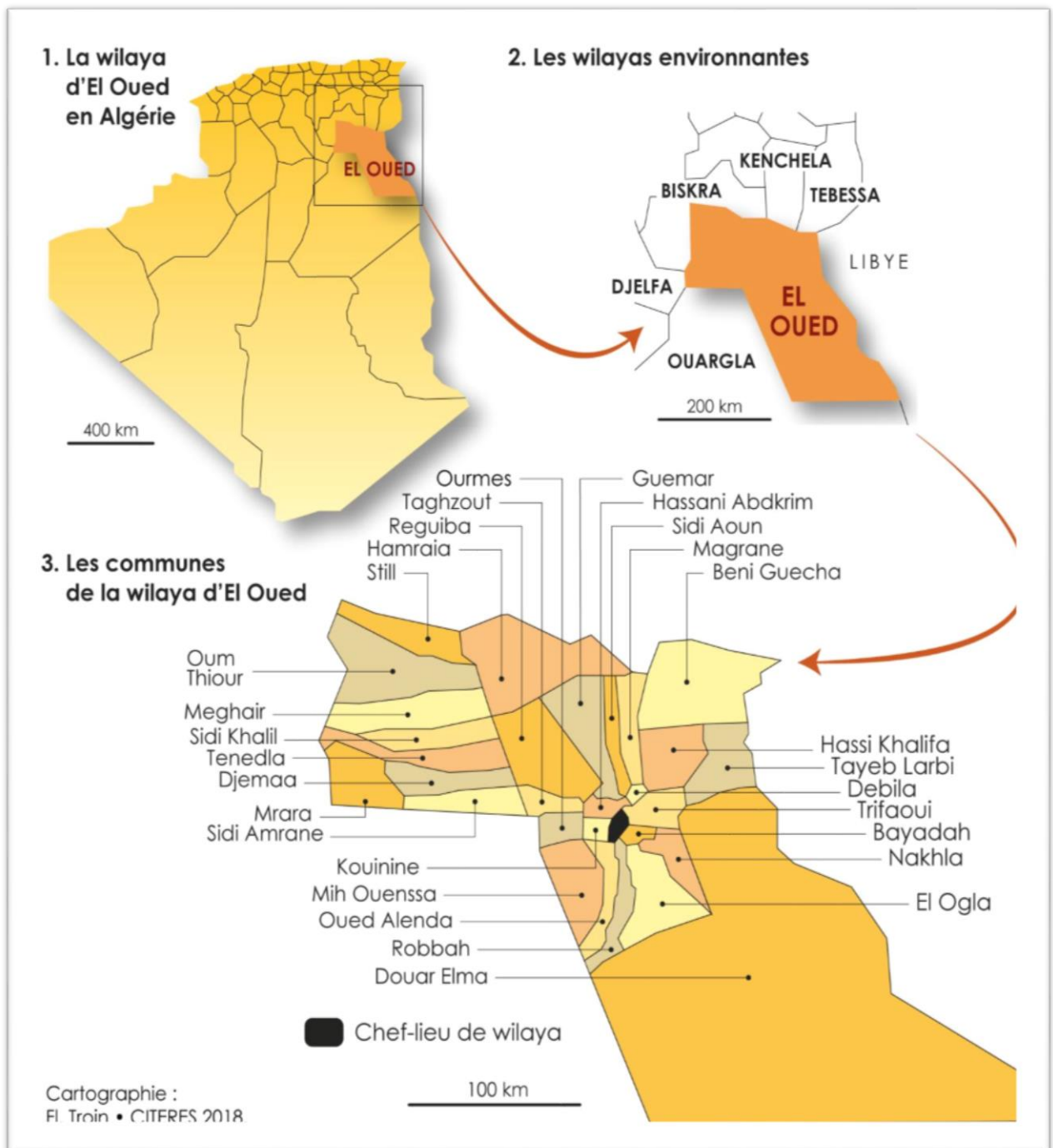


Figure I.2 : Carte géographique de la région du Souf avec la situation des zones d'études.

I.3 Les peuplement du Souf

Comme tout le Sahara, le Souf a été habité de temps immémorial. Il est certain que les cantonnements de populations se sont déplacés d'ici et là à travers les âges ; La région du Souf comprend 18 communes qui représentent une population totale de 566,245 habitants, répartie sur une superficie de 11251,51 Km². Montre la répartition des habitants de la région du Souf, ou nous remarquons que la commune la plus peuplée est celle d'El-Oued (Chef-lieu) 163,555 habitant avec une densité 2076,889 hab/Km², suivie par la commune de Reguiba de 50,460 habitants 485,60 hab/Km², par contre la commune d'El-Ogla (la plus faible densité de population 5,46 hab/km²).

Tableau I.1 : Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued . (d'après 2013)

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité (hab /km ²)	N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité (hab /km ²)
1	El Oued	155525	77.2	2014	16	Bayada	37320	138.8	268
2	Kouinine	11900	116	102	17	Oued el alenda	7480	712	10
3	Réguiba	47630	1965.6	24	18	MihOuansa	19380	1111.2	17
4	Guemar	46470	1264.4	36	19	Hamraia	6060	2444	2
5	Taghzout	15865	539.2	29	20	TalebLarbi	10510	1110	9
6	Ouermes	6450	443.8	14	21	Ben Guecha	4205	2646	1
7	Débila	28675	78	367	22	Doaur El Maa	7210	17813.6	0
8	Hassani abdelkarim	26775	58	461	23	El Meghaier	56380	1532	36
9	hassiKhalifa	36450	1112	32	24	Sidi Khalil	7225	840	8
10	Trifaoui	9605	474	20	25	Still	6065	904.8	6
11	Magrane	27625	618	44	26	Oum	11930	2116	5.64

						Touyour			
12	SidiAoun	13745	480	28	27	Djamaa	59865	780	76
13	Robbah	25290	499.2	50	28	SidiAmrane	23750	552	43
14	Nakhla	14950	700	21	29	Mrara	9480	1132	8
15	El ogla	7085	1352	5	30	Tendla	9940	978	10
						total	750840	44586.8	16

I.4 Cadre hydrogéologique

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois aquifères (Figure I.3) ; un aquifère libre, et deux aquifères captifs (le complexe terminal "CT" et le continentale intercalaire "CI"). L'aquifère libre est constituée de formations détritiques d'âge Quaternaire et Miopliocène représentées par les: sable, grés, sable argileux, et l'argile sableuse, alors que le substratum est constitué d'argile. La profondeur du substratum est comprise entre 50 et 90 mètres.

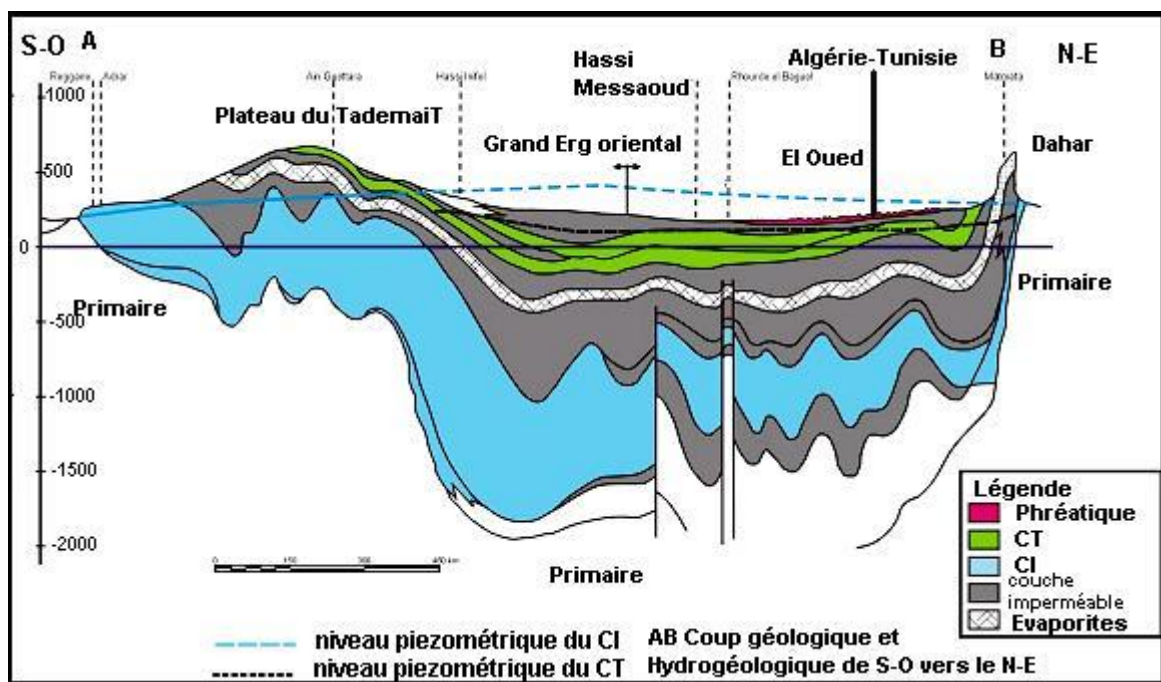


Figure I. 3 : Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972).

I.4.1 La Nappe Phréatique

C'est une nappe libre, contenue dans des sables fins, intercalées localement par des lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Elle repose sur un substratum argileux, imperméable, d'une épaisseur de 200 mètres (**Necib, 2001**).

La nappe phréatique s'étale sur presque la quasi-totalité du territoire de la vallée, elle est exploitée par environ 10.000 puits traditionnels, à une profondeur moyenne de 40m (**A.N.R.H., 2005**). Elle est comprise dans les dépôts sableux fins de type éolien, localement intercalés de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Elle est limitée par un substratum argileux imperméable. Son épaisseur est variable et peut atteindre localement une centaine de mètres (**DHW in Côte, 2001**) .

I.4.2 Complexe Terminal (C.T)

Le terme « Continental terminal » désignait les formations continentales, argileuses et sableuses du Miopliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966) : « La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Miopliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'elle est à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, celle du Continental Terminal, par opposition sur celle du Continental Intercalaire ».

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du «Complexe Terminal», appellation publiée pour la première fois par BEL et Cuhe (1969) : ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des Chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ces niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin (**Badi et Cherrad 2016**).

Les terrains constitutifs du Complexe Terminal s'étendent sur une superficie de 350 000 km² d'environ (Fig 19) en Algérie et en Tunisie couvrant ainsi essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional, depuis la Saoura à l'Ouest jusqu'au Graben

de Hun (et même jusqu'au Golfe de Syrte) à l'Est, depuis l'accident Sud-Atlantique au Nord jusqu'au flanc Nord des plateaux de Tademaït et du Tihert en Algérie, de Gargaf (Nord du Fezzan) en Libye. Son extension longitudinale est donc au moins égale à celle du Continental Intercalaire (1600 km), tandis que sa hauteur dans le sens Nord-Sud est plus réduite (600 km) (**Bri-Bneder, 1992**).

L'écoulement dans le bassin Occidental se produit dans des zones d'affleurement du piedmont vers le Sud (limite Sud du Grand Erg et zone d'affleurement du Continental Intercalaire). A l'extrême Ouest, une partie de cet écoulement est interceptée vers le sillon de la Saoura. Et à partir de la dorsale du M'Zab, l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des Chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental) (**Badi ; Cherrad, 2016**).

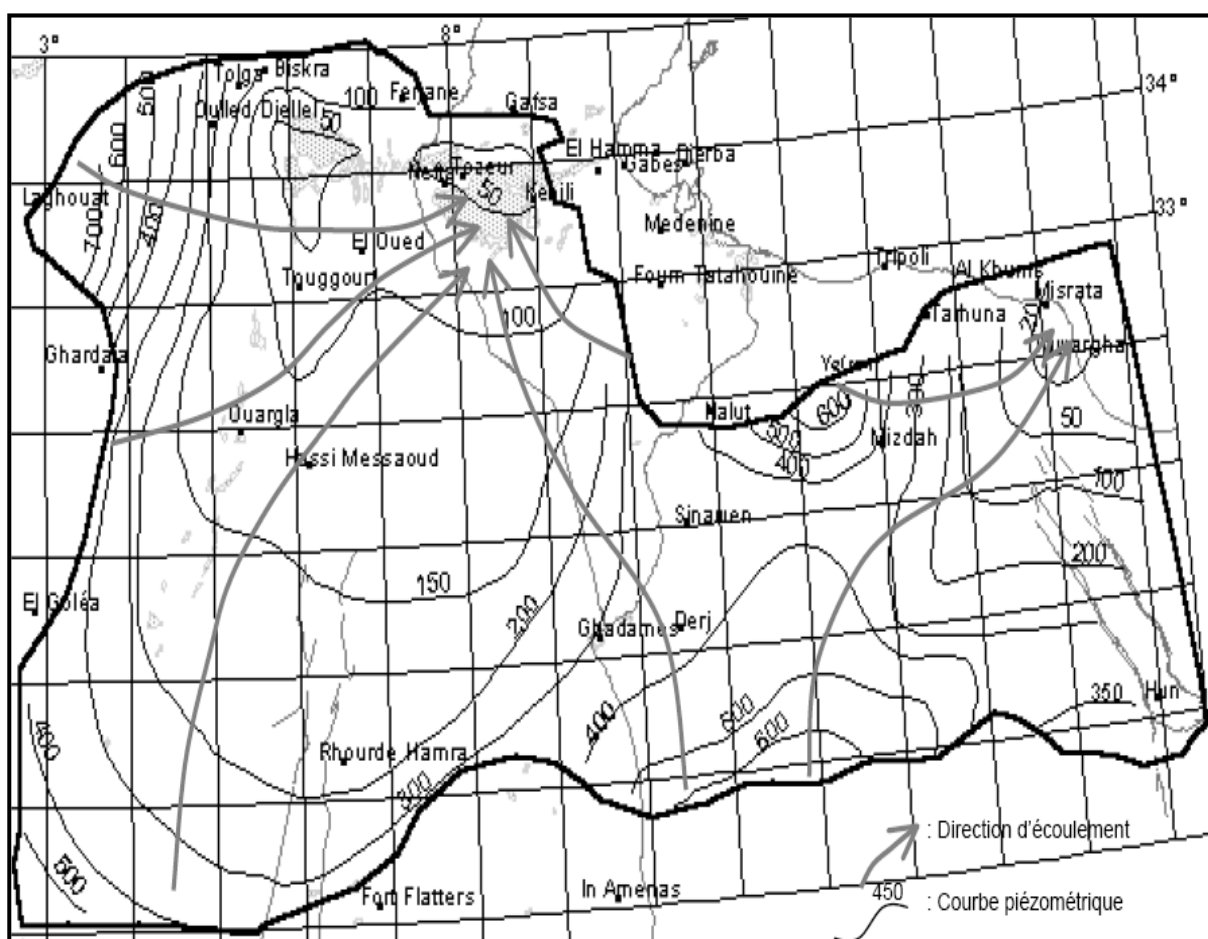


Figure I.4 : Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (**Baba et al., 2006**).

Dans le Sud tunisien et en Libye cette direction d'écoulement vers le Nord-Ouest puis vers le Nord se poursuit, avec un fort gradient en Libye par suite de la réduction de transmissivité du réservoir (**Brl-Bneder, 1992**). D'après Baba SY (2005), les nappes du Complexe Terminal sont essentiellement alimentées sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur, Turonien), ou à travers des nappes d'inféro-flux des oueds : bordure Sud- Atlasique, M'Zab, Jebel Tebaga, Dahar, Jebel Nefousa.

Dans les deux grands ergs (Occidental et Oriental), par infiltration de pluies exceptionnelles à travers des formations dunaires perméables (**Brl-Bneder, 1992**). Et à l'Est du Djérid, la partie nord de la "chaîne" des Chotts est considérée comme source de recharge potentielle. Les zones d'exutoire sont principalement centrées sur les Chotts Algéro- Tunisiens et sur le Golfe de Syrte, où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse. Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes, et les seules qui subsistent, se localisent dans les chotts (**Badi ; Cherrad, 2016**).

Le premier forage profond artésien de prospection fut exécuté en 1953 à Sif El Menadi (90 Km N.O d'El Oued). Foré à 435 m de profondeur, il a débité quelques 4 m³ par minute et a permis la première plantation de palmiers irrigués (**Najah, 1970**).

Dans la région du Souf, l'eau jaillit depuis le printemps 1956 d'un forage exécuté à El-Oued, à près de 300 m de profondeur; le débit est assez faible (3,3 litres/seconde) et la pression au sol est assez réduite (+2,4 mètres) (**Voisin A.R, 2004**).

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, 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 les dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, les grès et les graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène (**Badi et Cherrad, 2016**).

I.4.3 Nappe du Continent Intercalaire (CI)

Cette nappe est contenue dans les argiles sableuses et les grès du Continental Intercalaire. Il s'agit d'une eau fossile emmagasinée au cours des périodes pluviales du quaternaire. Elle se situe

entre le massif du Tassili et de l'Atlas saharien, couvrant une étendue de 600.000 km² avec une épaisseur importante de plusieurs centaines de mètres (**Voisin, 2004 ; Ben Doyem, 2015**). Dans la région d'étude, cette nappe est captée par trois forages profonds d'une profondeur de (1800 à 2100 m), donnant un débit total de 680 l/s dont deux forages pour l'alimentation en eau potable (AEP) de la ville d'El Oued (430 l/s) et un forage pour l'irrigation à Sahan Berry d'un débit de 250 l/s, l'épaisseur du réservoir est importante et varie de 200 à 400 m, sa température atteint 60 °C et la pression en tête de puits fermé est de 25 à 27 bars (**Drouiche, 2014 ; Chabbi et Nezli, 2018**).

I.5 Cadre géologique de la région de Souf

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles d'être aquifères. Le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du continental intercalaire, et des accumulations sableuses fluvio-lacustres de tertiaire continental. Sur l'ensemble de la région d'El-Oued, les formations miopliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand erg oriental.

I.5.1 Stratigraphie régionale

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'D.RE, (2019) sur la région d'Oued Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente.

I.5.1.1 Formation de l'ère Secondaire

➤ □ Le Barrémien

Cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région; 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.

➤ □ L'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.

➤ □ L'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; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

➤ □ Le Vraconien

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques.

On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire.

Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

➤ □ Le Cénomaniens

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

➤ □ Le Turonien

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué

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 clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres (Khechana, 2007).

➤ **Le 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 : l'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

- **Sénonien lagunaire :**

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien. Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

- **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. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites (Salhi, 2016).

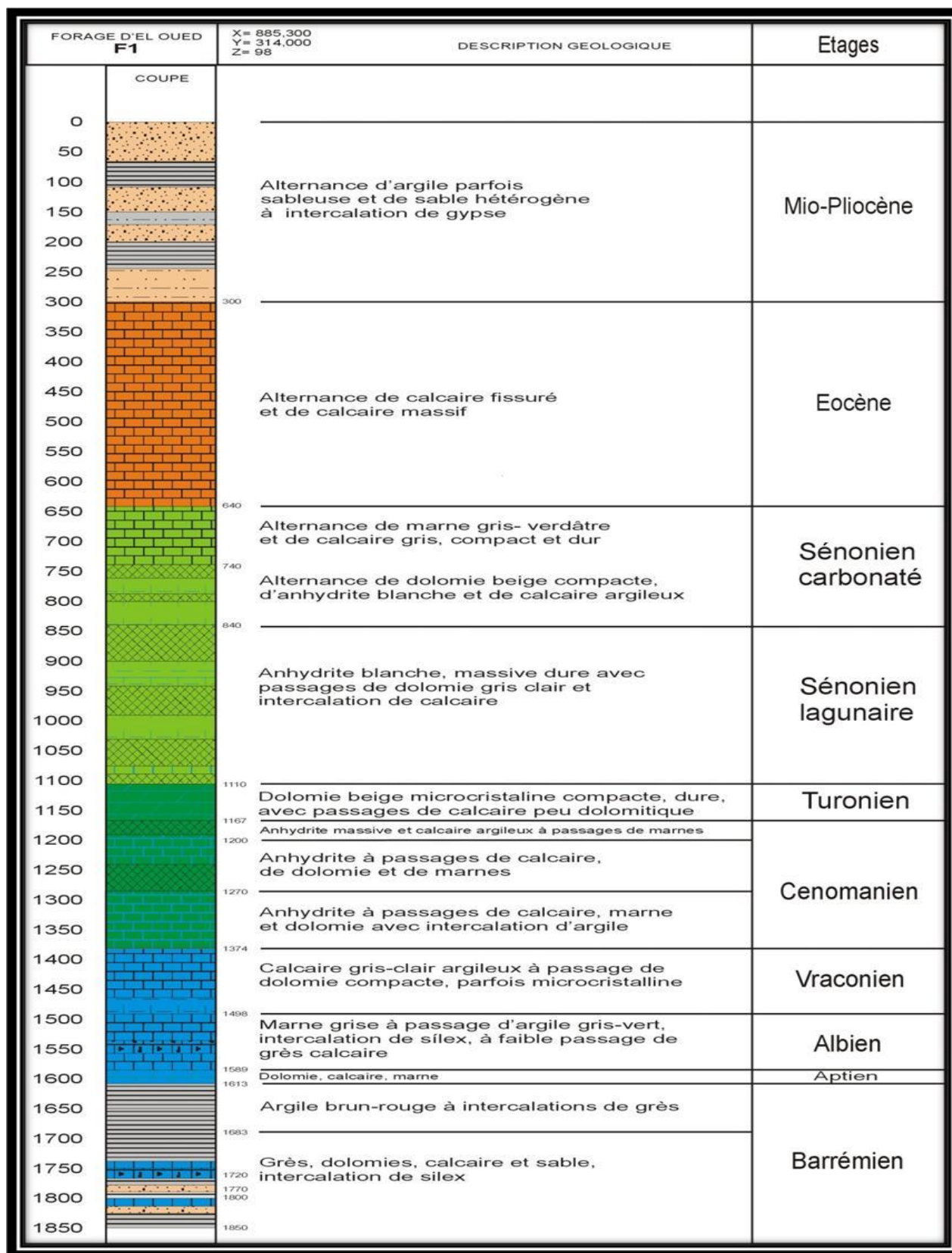


Figure I.5 : La litho-stratigraphique du forage F1, (ANRH, 1993).

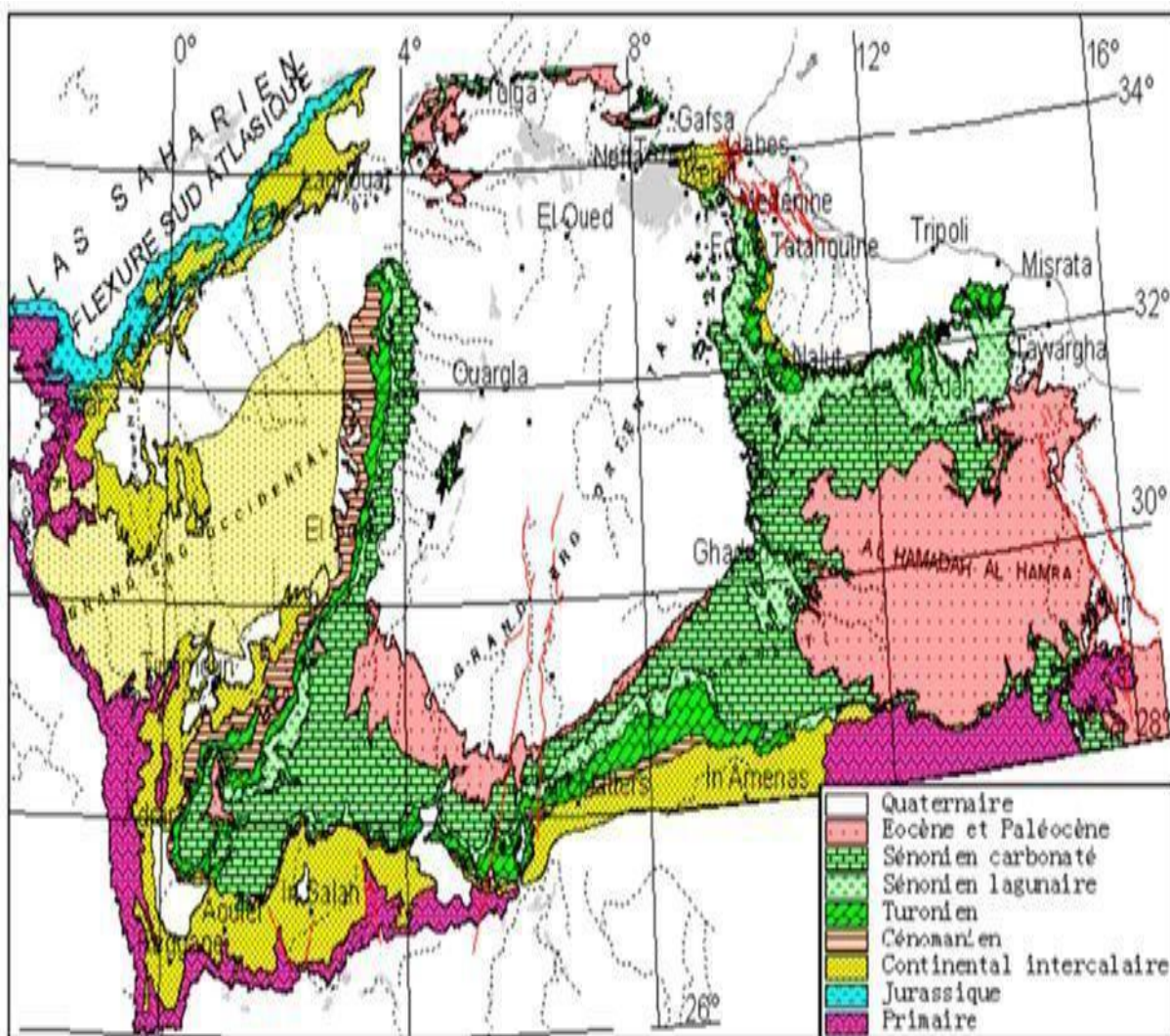


Figure I.6 : Carte géologique du Grand Erg Oriental (Atia et Zine, 2019).

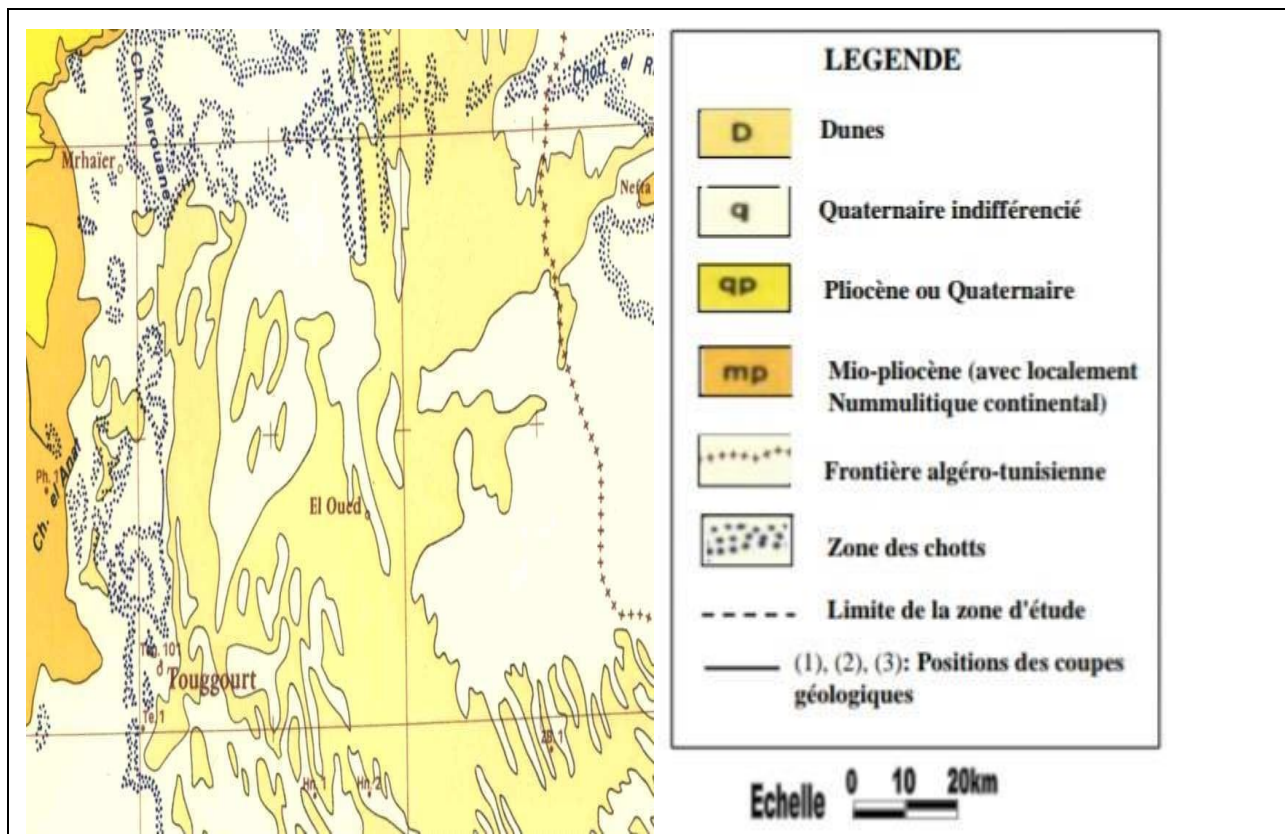


Figure I.7 : Carte géologique de la zone d'étude (Khachena, 2007).

I.5.1.2 Formations de l'ère Tertiaire

➤ L'Eocène

L'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire, formées par des argiles et des sables, parfois on rencontre du gypse et des graviers. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

➤ Le Mio-Pliocène

Les coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Mio-Pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo-argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès. Il est 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). Bel et Demargne séparent cet horizon en quatre niveaux:

- **Niveau argileux**

Il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental, Il est peu épais. Il constitue avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Mio-Pliocène, une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-Eocène carbonatées et le Pontien sableux.

- **Niveau grès- sableux**

Son épaisseur est régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. Il est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique. Sa base est constituée parfois de graviers alors que le sommet formé d'argiles. Ce niveau présente le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

- **Niveau argilo-sableux**

Ce niveau est constitué de lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Mio-Pliocène. Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique.

- **Niveau sableux :**

Du point de vue hydrogéologique ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du Complexe Terminal. Ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent à la nappe des sables du Complexe Terminal (**Boulifa k ,2012**).

I.5.1.3 Formation du Quaternaire

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. 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 d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses (**Mimoun et Zoubeidi, 2014**).

I.6 Aspect climatologique

Les modifications climatiques interviennent à toutes les échelles de temps et ne sont pas un phénomène nouveau puisque le climat a changé de nombreuses fois en réponse au forçage des divers facteurs. Des liens entre le climat et les eaux souterraines existent donc à toutes les échelles de temps. Allant de réponses à court terme comme les variations de pression atmosphérique et les marées jusqu'à des réponses à long terme comme les variations climatiques à l'échelle de milliers d'années qui ont eu un effet sur la recharge passée et qui ont potentiellement un impact sur le comportement du système actuel. De plus, en comparaison avec les systèmes d'eau de surface, les systèmes souterrains tendent à répondre plus lentement aux variations des conditions climatiques (**Kelly et al., 2013 ; Walton, 2011**). Ces perturbations induisent des changements hydrologiques qui peuvent potentiellement se répercuter sur la ressource en eau souterraine, en relation avec certains mécanismes propres à cette ressource (recharge, décharge, stock) et/ou ses caractéristiques (quantité, qualité) (**Armandine, 2014**). L'étude climatique permet de déterminer le climat générale de la zone considérée, elle repose d'une part sur l'analyse des diagrammes représentant les variations mensuelles des données climatiques et d'autre part sur l'utilisation de certains indices (**Hanancha et Sayad, 2018**). Comme référence Pour cette étude, ont été enregistrées les séries des données des différents facteurs climatiques tels que la température, les précipitations, l'humidité relative et le vent pour la période 2008-2018.

I.6.1 Température

La variation de la température agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station d'El oued (O.N.M) période de (1978-2017) (**Allag et Nacer, 2019**).

Pour évaluer la variation des températures moyennes mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette station.

La température moyenne mensuelle :

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de température moyennes mensuelles observées dans cette période (1978-2017).

Tableau I.2: Températures moyennes mensuelles durant la période (1978-2017).

Mois	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sép	Oct	Nov	Déc	Tmoy
T (°C)	15,31	18,08	22,76	27,02	31,76	36,16	37,77	37,67	33,85	28,53	21,38	15,76	27,06

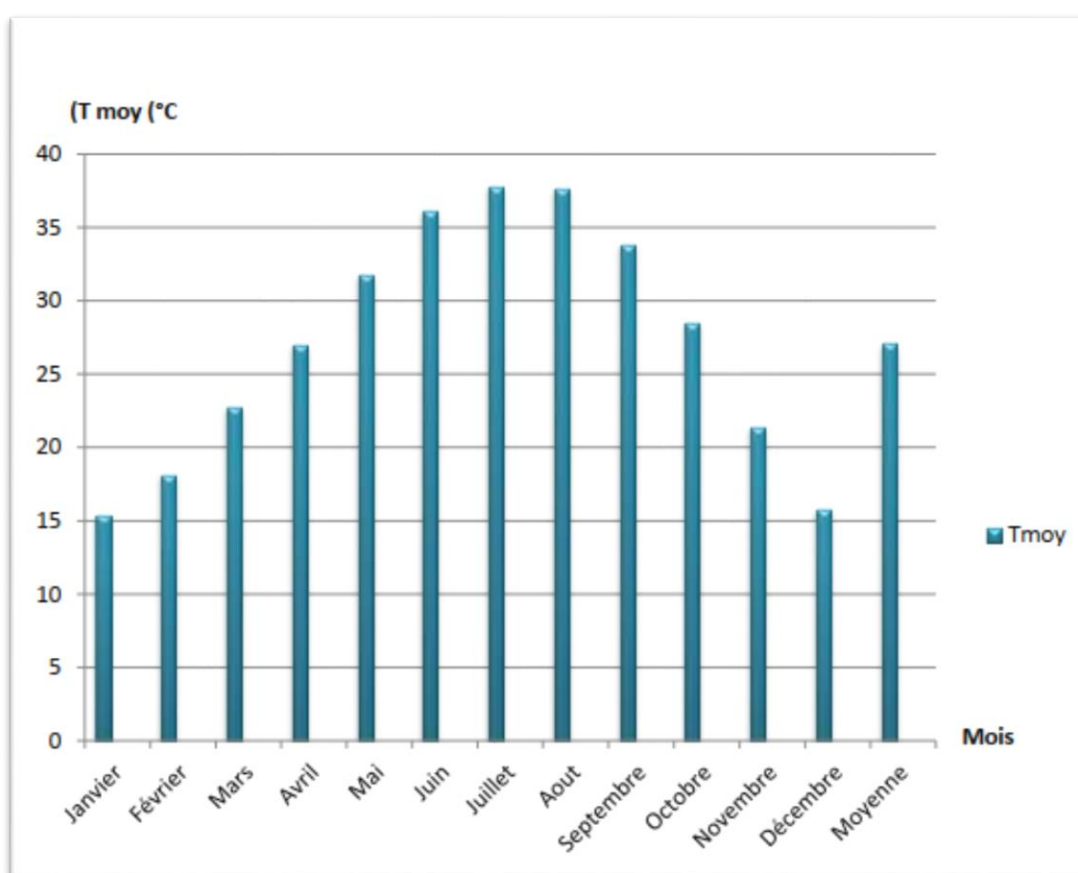


Figure I.8 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (T °C) Durant la période (1978-2017).

D'après les données climatiques de la station d'El oued (O.N.M), la région est caractérisé par un climat chaud et sec, on constate dans cette période, la température décroît du mois de juillet

(maximum : 37,77 °C) jusqu'au mois de janvier (minimum :15,31 °C). Les mois le plus chaud est Aout et Juillet (Allag et Nacer, 2019).

I.6.2 Les précipitations

Les précipitations sont un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Les variations moyennes mensuelles interannuelles des précipitations d'une durée d'observation de 35 ans entre 1978-2013 sont de l'ordre de 70,29 mm, La pluviométrie maximale est de l'ordre de 12,83 mm enregistré pendant le mois de Janvier, et le minimum est de l'ordre de 0,18 mm enregistré pendant le mois de Juillet (Chibani ; Baraika 2015)

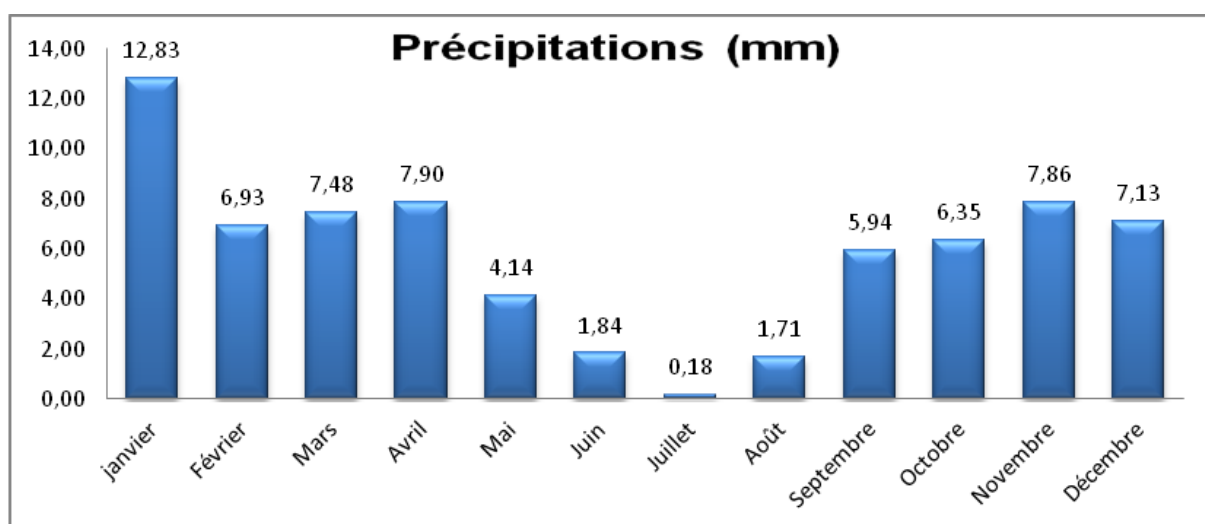


Figure I.9 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (1978-2013).

I.6.3 Humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Elle dépend de plusieurs facteurs à savoir : la quantité d'eau tombée, le nombre de jours de pluie, la température, les vents (Ben Amara et Megdoud, 2019).

Les taux d'humidité relative pour l'année 2018 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.3: Humidité relative moyenne mensuelle de la région du Souf durant l'année 2018. (Ben Amara et Megdoud, 2019).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sépt	Oct	Nov	Déc
HR(%)	54.9	52.2	41.9	39.5	37.9	33.7	23.5	39.7	39.3	48.9	58	59.8

HR (%) : Humidité relative en pourcentage.

Dans la région d'Oued Souf, durant l'année 2018, le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, mais en générale l'air est sec, elle diminue nettement jusqu'à 23,5% en Juillet, c'est le mois qui reçoit le plus faible taux d'humidité, par contre en Décembre elle s'élève jusqu'au 59,8%, c'est le mois le plus humide durant l'année .

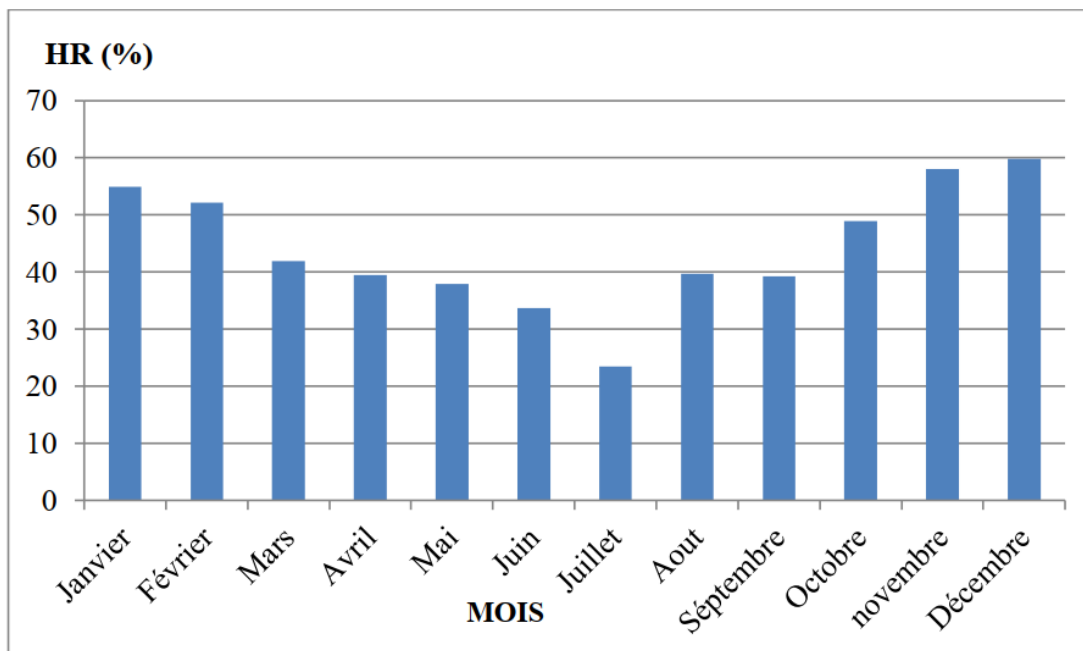


Figure I.10 : L'humidité relative mensuelle de la vallée du Souf (2008-2018).

I.6.4 Les Vents

Le vent est un élément caractéristique du climat, il est déterminé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence. Dans la région du Souf, il souffle de façon continue et son importance est considérable. Cependant, les statistiques indiquent que la moyenne annuelle des vitesses atteint 3,7m / s. à savoir que le vent qui vient de l'Est est appelé Bahri, il est apprécié au printemps, le vent qui vient d'Ouest, ou Gharbi, est un vent froid et le vent du Sud, dit le sirocco, est un vent brûlant qui ne souffle qu'une quinzaine de jours par ans (**Voisin, 2004**). Les données mensuelles de la vitesse du vent pour la région d'étude durant l'année 2018 sont regroupées au (**Ben Amara et Megdoud, 2019**).

L'analyse des données du tableau I.4 montre qu'au cours de l'année 2018, on a observé que les vents sont fréquents durant toute l'année, les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période du mois du Mars jusqu' à le mois de juillet, avec un maximum de 16 m/s durant le mois

de mai, la vitesse la plus faible étai de 8m/s au mois de Décembre (Figure I. 11).Durant la période 2008-2018.

Tableau I.4 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent de la région d'étude durant l'année 2018 (Ben Amara et Megdoud, 2019).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
V(m /s)	11	10.2	15.8	14.4	16	13.1	13.6	11.4	11.9	11.5	11.1	8

V (m/s) : Vitesse moyenne du vent en mètre par seconde.

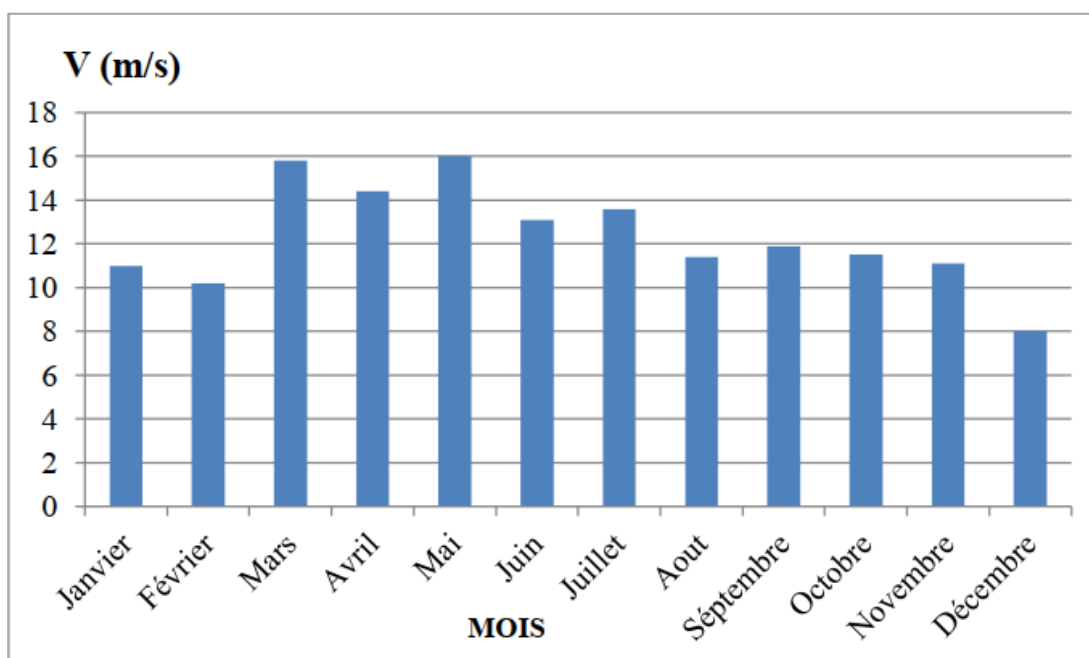


Figure I.11 : Vitesse moyenne mensuelle des vents de la vallée du Souf (2008-2018).

I.6.5 Insolation

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximale au cours du mois de juillet avec une moyenne de 357.58 heures, et un minimum enregistré pendant le mois de décembre (220.75 heures) (Figure I.12). Dans la région d'El-Oued, le rayonnement solaire est excessif durant l'année avec une moyenne de 3328,17 heures ce qui se traduit par un pouvoir évaporant très élevé (Salhi, 2016).

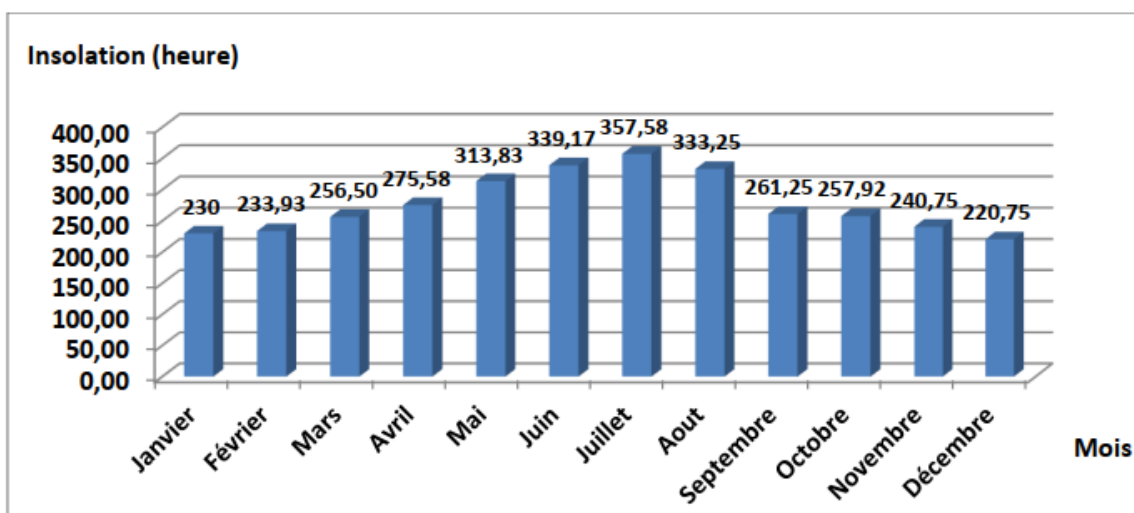


Figure I.12. Insolations moyennes mensuelles durant la période 2000/2015 (Salhi, 2016).

I.6.6 La Courbe Pluiothermique

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles interannuelles pour la période de 31ans. On peut établir la courbe pluiothermique dont le but de déterminer la période sèche où $T > 2P$ ainsi que la période humide où $T < 2P$. Sur le même graphe on représente la température et le double de précipitation (Besser et Benine, 2016)

Tableau I.5: données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
2P mm	11.18	15.38	16.00	15.16	25.34	12.24	14.8	13.3	9.82	2.9	0.52	4.1
T C°	34.75	29.56	22.67	16.52	16.14	19.31	23.75	28.24	33.1	37.38	38.5	38.5

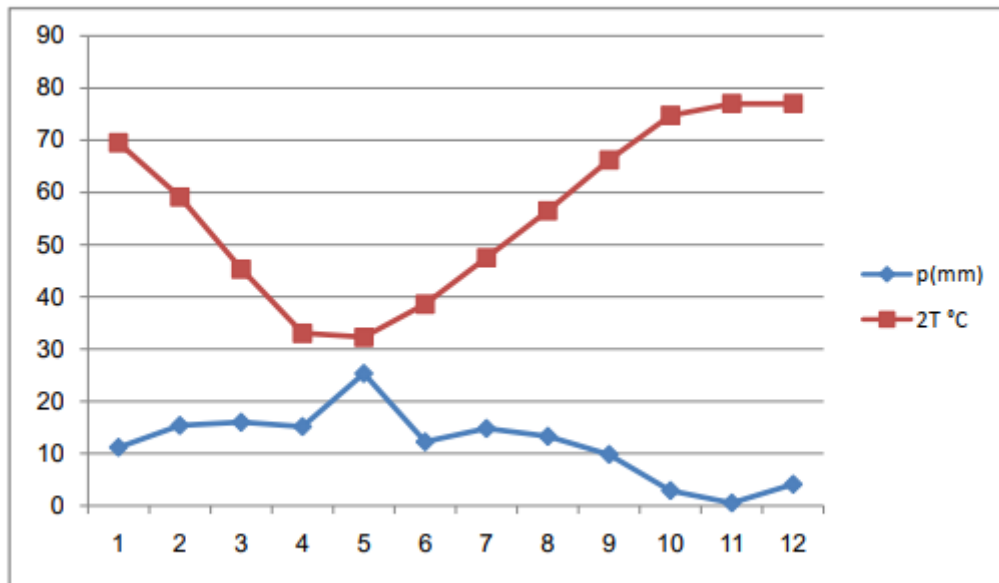


Figure I.13 : courbe pluviothermique (1978/2008).

La courbe pluviométrique (Figure I .13), montre que la région d'El-Oued est caractérisé par une saison sèche qui dure toute l'année

I.6.7 Climagramme d'Emberger :

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé la formule de Stewart (1969) adapté pour l'Algérie qui a la forme suivante :

$$Q2 = 3,43P / (M-m)$$

Avec :

$Q2$: Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (°C).

Pour notre cas :

$$P = 74 \text{ mm}$$

$$M = 41.01 \text{ °C.}$$

$$m = 5.44 \text{ °C.}$$

$$\text{donc : } Q2 = 3,43*74 / (41.01-5.44) = 7.14$$

La température minimale enregistrée pendant le mois de janvier au cours

des 22 ans dans cette station est 5.44 °C.

Donc, la position de la station de Guemar sur le climagramme se situe aux coordonnées suivantes (5.44 ; 7.14).

Selon le climagramme d'Emberger, le climat de la région est de type hyper-aride à hiver doux (**Zine B**)

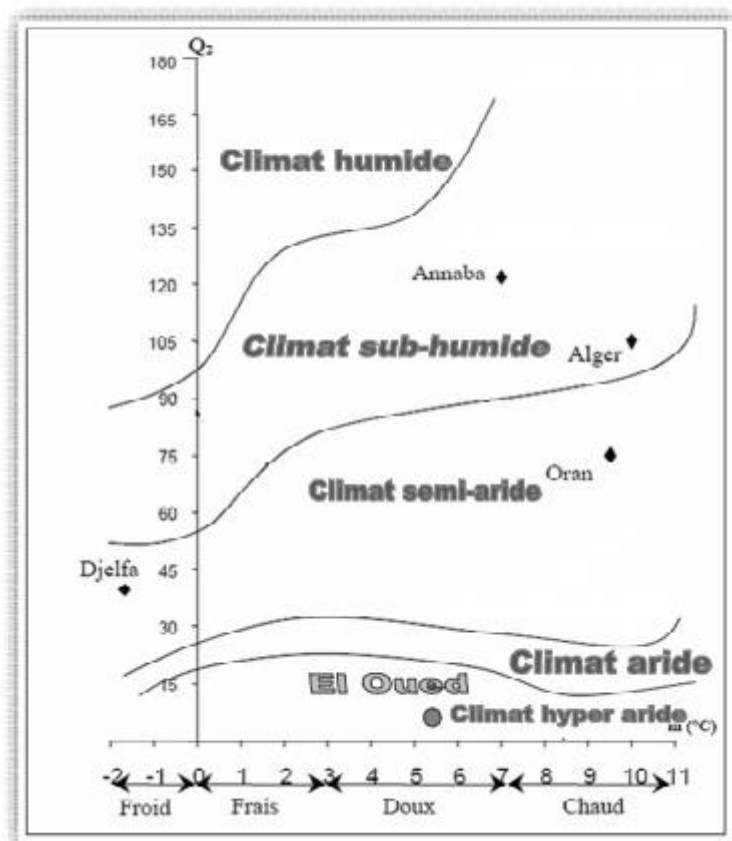


Figure I.14. Position de la station de l'ONM: de Guemar sur le climagramme d'Emberger.

Chapitre II :

Généralités sur l'irrigation et les
eaux d'irrigation

Introduction

Le recours à l'irrigation est dans bien des cas nécessaires pour garantir le maintien d'un niveau de production suffisant dans de nombreuses régions du monde, et pour cela nous regroupons dans ce chapitre le nécessaire des connaissances théoriques en rapport avec notre thème et que nous présentons en deux point : généralités sur l'irrigation et l'irrigation dans l'Algérie.

II.1 Généralité sur l'irrigation

II.1.1 Définition

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (**Bouaroug, 2012**).

II.1.2 Importance de l'irrigation

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production. L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie (électricité, fuel, ... etc) (**Aouate, 2015**).

II.1.2.1 Apport sur le plan économique :

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé. Cette évolution explique l'élévation du niveau de vie et les progrès de la diététique. Les changements dans les habitudes alimentaires ont souvent donné la préférence à des produits irrigués légumes et fruits notamment (**Ollier et Poirée, 1983**).

Cette évolution explique l'élévation du niveau de vie et les progrès de la diététique. Les changements dans les habitudes alimentaires ont souvent donné la préférence à des produits irrigués (légumes et fruits notamment). L'amélioration des conditions écologiques par l'intermédiaire de l'irrigation a permis à des régions ou à des pays en voie de développement de se spécialiser dans les productions pour lesquelles la demande était en augmentation (**Bouaroug, 2012**).

II.1.2.2 La satisfaction

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes Evolution (**Aouate, 2015**).

II.1.2.3 L'irrigation un rempart à la famine

L'intensification de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation (**FAO, 1976**) Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplé. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau. (**Tiercelin, 1998**).

En conclusion, nous pouvons dire que l'usage de l'irrigation permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones tropicales humides, d'améliorer les rendements, et d'une façon générale d'intensifier et stabiliser la production en se libérant des variations climatiques.

II.1.3 Technique et modes d'irrigation

Selon le caractère de l'exécution de l'arrosage, on distingue :

- Irrigation surface (par gravité).
- Irrigation par aspersion.
- Irrigation localisée (goutte à goutte).

II.1.2.1 Irrigation surface (par gravité)

On note trois types d'irrigation pour cette technique :

II.1.2.1.1 Irrigation par submersion ou inondation

Consiste à submerger une surface du sol aménagé en bassin et à y laisser la totalité de l'eau « s'infiltrer tout en stagnant ». Les acultures qui s'adaptent sont : le riz et certaines plantes aquatiques. Cette technique présente des avantages, notamment les suivants : Elle nécessite peu de surveillance et Protège les cultures contre les gelées matinales. Elle présente également des inconvénients par exemple : Tassement du sol, système à éviter dans les sols imperméables et nécessite des quantités importantes d'eau (**Baudequin, 1990**).

II.1.2.1.2 Irrigation par infiltration

C'est le système le plus utilisé en Algérie, dans ce cas l'eau ne ruisselle pas, elle stagne en s'infiltrant latéralement afin d'humecter la surface qui se trouve entre deux sillons. Parmi ses avantages, on trouve les suivants : Frais réduit d'aménagement du sol, Terrains accessibles en tout temps pour les travaux et La partie aérienne n'étant pas mouillée, ce qui évite certaines maladies. et pour leur inconvénient nous mentionnons ce qui suit : La lenteur de l'arrosage, besoins important en main d'œuvre et l pertes par infiltration profonde importante particulièrement dans les sols légers ou en pente (**Baudequin, 1990**).

II.1.2.1.3 Irrigation par ruissèlement (rigoles)

C'est la plus connue dans l'irrigation gravitaire, l'irrigation à la raie ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents, un premier débit important qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien (**Aouate, 2015**).



Figure II.1 : Irrigation par ruissèlement (rigoles)

II.1.2.2 Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est une technique relativement récente qui consiste à reproduire sur le sol le phénomène naturel de la pluie, avec toutefois le contrôle de l'intensité et de la hauteur de l'averse (Clément et al., 2007). Pour les avantages de cette technique nous mentionnons ce qui suit : ne nécessite en aucune manière le nivellement préalable des sols, Peut être employée quelle que soit la nature du sol arrosé, elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie, elle assure une bonne homogénéité de la répartition des apports. Et ainsi pour cette technique on peut noter leurs inconvénients comme suivant : Elle favoriserait l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttes sont plus fines et l'air plus sec, difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées, mouillage des feuilles favorisant les maladies cryptogamiques chez certaines espèces végétales.



Figure II.2 : Irrigation par aspersion.

II.1.2.3 Irrigation localisée (goutte à goutte)

L'irrigation localisée apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux. Ce sont des systèmes très utilisés en maraichage, en arboriculture et en horticulture. Le plus connu de ces principes est sans doute le « goutte à goutte », d'autres systèmes existent également tels que les tubes poreux alignés sur le sol ou mini-asperseurs. Ces derniers sont utilisés notamment en arboriculture (Messahel, 1988). Ce système permet une économie relativement élevée par fois jusqu'à 50 % de l'irrigation traditionnelle.



Figure II.3 : Irrigation localisée (goutte à goutte)

II.3 Qualité des eaux d'irrigation

Il arrive que, devant la rareté des ressources conventionnelles, les exploitants agricoles sont amenés à se rabattre sur différentes sources d'eaux pour l'irrigation de leurs cultures. Sur certains sites, ils utilisent des eaux usées non traitées, pouvant provenir aussi bien des ménages que des industries ou pompées directement des oueds. La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie.

En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Dans ce contexte, les eaux usées sont valorisées comme une ressource supplémentaire en eau et comme apport appréciable en fertilisants. Cependant cette réutilisation engendre des risques pour l'environnement et pour les populations en contact permanent avec les eaux usées ou consommant les produits agricoles irrigués avec ces eaux ; d'où :

- Il est recommandé, voire impératif aux autorités, de mesurer l'impact de cette réutilisation sur la qualité physico-chimique du sol ;
- D'évaluer quantitativement et qualitativement le flux de pollution provenant des eaux usées.

Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation ont été dégagés (**Couture, 2006**) :

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

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sels augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour

remplacer celle perdue par évapotranspiration. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend 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 les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm) qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (**Couture, 2006**).

Sodium : Proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsqu'irrigués avec une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe (**Couture, 2006**).

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques unes. De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles. La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS).

Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation. De l'eau avec un RAS de plus de 9, ne devrait pas être utilisée même si le contenu total en sel est relativement bas. Un usage continu d'eau avec un RAS élevé provoque une déstructuration du sol.

L'eau avec un RAS se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium. Quand le RAS se situe entre 6 et 9, les risques de problème liés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Lorsque l'eau d'irrigation est saline, une valeur de RAS encore plus basse devrait être utilisée.

Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm avec un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols.

L'irrigation d'appoint avec des eaux relativement chargées pourrait se faire avec un minimum de risques pendant la période d'hiver lorsque la demande atmosphérique est réduite. Des cultures considérées comme stratégiques en Afrique du Nord sont très résistantes à la salinité.

Les pratiques culturales développées dans les oasis où la salinité de l'eau d'irrigation varie entre 3 et 6 g/l et qui sont basées sur l'utilisation massive du fumier et l'entretien de la structure perméable de la couche superficielle du sol mériteraient une attention particulière.

Les eaux de ruissellement et saumâtre ont un potentiel pour le développement agricole beaucoup plus important que celui des eaux usées. Cependant, il est important de recycler les quantités d'eau produites par les centres urbains. Les exemples de réutilisation des eaux usées épurées dans les parcs et la foresterie offrent une alternative à la réticence d'utiliser ces eaux dans une région qui veut développer ses exportations et son tourisme.

II.4 Normes et qualité des eaux destinées à l'irrigation

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs notamment dans les régions continentales s'intéressent à l'utilisation des eaux usées, c'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies, une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes, l'exemple du, tableau 1 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuh, 1997).

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

Tableau II.1 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation (Maynard et Hochmuth, 1997).

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
- Salinité			
- Conductivité (mS/cm)	< 0.75	0.75-3.0	> 3
- Matières dissoutes totales	< 700	700-2000	>2000
- SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9 >	> 9
- Alcalinité ou dureté	80-120		>200
- pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
- Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
- Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

Les normes ont pour objectif de :

- Protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- Protéger les consommateurs des produit agricoles ;
- Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- Protéger le matériel d'irrigation ;
- Maintenir des rendements acceptables ;

II.5 L'irrigation en Algérie

L'Algérie compte 17 bassin-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatique (**Kadi, 1997**). Globalement, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 420.000 ha dont 100.000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.666.715 ha soit près de 5% de la surface agricole utile (SAU) (**Messahel et al. 2003**). Les 230.000 ha irrigués dans le

nord du pays (soit 4.6% de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion, il s'agit :

II.5.1 Des grands périmètres irrigués (GPI)

Relevant de L'états gênés par l'office national des irrigations et du drainage. Ces périmètres sont irrigués à partir des barrages pour la plupart et des forages dans le nord du pays (Tableau II.2). Dans le sud, l'irrigation des périmètres est assurée à partir de forages profonds dans les grandes nappes souterraines de l'albien. Leur superficie totale équipée actuellement est de l'ordre de 200.000 ha. la surface irrigable représente environ 150.000 ha (nettement inférieure à la surface équipée en raison des pertes occasionnées par la dégradation des sols). La surface effectivement irriguée est de l'ordre de 40.000 ha seulement. Des programmes de remise en état et de rénovation des systèmes de distribution sont en cours pour accroître cette surface. Les cultures pratiquées dans les GPI (en 2008) sont en grande partie l'arboriculture (64.6% des surface irriguée), le maraichage (28.5%), des cultures industrielles (6.1%) et le reste céréales et fourrages, il y a lieu de remarquer le faible développement des cultures industrielles malgré la vocation des GPI pour ces spéculations, probablement du à l'absence de valorisation par les filières de transformation, faiblesse également de la production des cultures fourragères (Benblidia, 2011).

Tableau II.2 : Superficies des GPI équipée, irrigables et irriguée par grande région
source (Benblidia, 2011)

Région	Superficies équipées (ha)	Superficies irrigables (ha)	Superficies irriguées (ha)	Proportions équipées (%)	Irrigables/ équipées (%)	Irriguées/ équipées (%)
Oranie	28.930	13.500	9459,50	15,2	46,7	32,7
Chélif	75.438	61.383	11513,54	39,6	81,4	15,3
Algérois	440.88	34.963	3717.11	23,1	79,3	8,4
Constantinois	34.612	30.446	8460,42	18,1	88,0	24,4
Sahara	7660	6939	6772	4,0	90,6	88,4
Total	190.728	147.231	39922,57	100	77,2	20,9

II.5.2 De la « petite et moyenne Hydraulique » (PMH)

il s'agit d'exploitations petites et moyennes constituées de petits périmètres et aires d'irrigation qui se sont remarquablement développés depuis une dizaine d'années à l'initiative de l'administration et surtout, à l'initiative de producteurs privés. La PMH englobe toutes les formes de développement de l'irrigation autres que celles délimitées dans le cadre des GPI dont la gestion relève de l'ONID (Tableau II.3).

Tableau II.3 : Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation (Benblidia, 2011)

Région	SAU Irriguée (ha)	Gravitaire (%)	Aspersion (%)	Localisé (%)	Citernage (%)
Nord	221.200	62	22	15	0.9
Hauts Plateaux	258.482	64	16	20	0.4
Sud	216.482	70	7	23	0.0
Total	696.380	65	15	19	0.4

L'irrigation gravitaire (Tableaux II.3 et II.4) reste encore très répandue dans les exploitations de PMH. Mais on constate que les modes d'irrigation « économes » se sont bien développés, en particulier le « goutte à goutte » dans les Hauts Plateaux et les régions sahariennes. L'introduction du mode d'irrigation dit du « goutte à goutte » a permis la création de nombreux petits bureaux d'études pour le calcul des plans de réseaux, et le développement de la fabrication de matériels et de canalisations en plastique souple. D'importantes subventions pour la mise en place d'équipements de la micro-irrigation ont été octroyées dans le cadre d'un vaste programme d'économie de l'eau pour réduire la demande en eau d'irrigation et limiter les pertes (les objectifs du Ministère de l'Agriculture dans le cadre de l'actuel Plan National de Développement Agricole dépassent 100.000 ha pour la micro-irrigation).

Tableau II.4 : Evolution des surfaces irriguées de 2000 à 2008 (Benblidia 2011).

Année	Superficie irriguée totale (ha)	Système d'irrigation (ha)		
		Gravitaire	Aspersion	Goutte à goutte
2000	350.000	275.000	70.000	5000
2001	617.427	458.421	102.978	560.28
2002	644.978	433.561	127.570	83.877
2003	722.320	485.019	138.301	99.000
2004	793334	516.108	159.739	117.487
2005	825.206	524.503	153.006	147.697
2006	835.590	481.046	175.056	179.488
2007	907.293	557.327	183.182	166.784
2008	928.955	583.002	185.080	160.873

Les structures concernées comptent développer les systèmes économiseurs d'eau, par l'extension et la reconversion des systèmes gravitaires existant en systèmes économiseurs d'eau. La superficie irriguée totale devra être en 2014 de l'ordre de **1.120.000 ha** dont **810.000 ha** équipée de systèmes d'irrigation économiseurs d'eau. (La part d'irrigation « économe » passerait de **37,3 %** en 2009 à **72%** en 2014).

II.6 L'irrigation dans la région d'Oued-Souf

II.6.1 L'agriculture à Oued-Souf

L'agriculture est la principale activité de la région pour l'homme du Souf comme culture dominante, la Pomme de terre, le tabac (Guemar), le Palmier dattier dans les ghouts. Les ghouts sahariennes fonctionnent comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie; pour ne pouvant faire venir les eaux à eux, les soufis on imagine d'aller à elle, d'excaver suffisamment le sable pour que l'épaisseur restante soit 2 m, planter alors les palmiers dans le sol de façon à ce qu'ils aillent puiser l'eau par leurs propres racine, c'est le principe de la culture

Bour (en sec), on n'importe pas d'eau d'irrigation mais le palmiers va chercher lui-même ce dont il a besoin. Les limites de cette ghouts atteignent la frontière libyenne au sud et voisinent avec les Monts des Nemamchas, suivant une ligne passant par Negrine, s'étire à l'est à la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis d'Oued Righ.

La Wilaya d'El Oued dispose d'une superficie agricole totale égale à 1600 000 hectares mais la superficie réellement exploitée est 99 814 hectares, la superficie irriguée est égale à 90000 hectares. (Selon la DSA : Direction de Service Agricole d'El-Oued en 2015).

II.6.2 Aperçu sur la qualité des eaux souterraines dans la région d'Oued-Souf

Selon **Messekher, (2010)**, les eaux de la nappe phréatique du Souf, de qualité chimique très dégradée, sont caractérisées par une minéralisation très élevée (**Moulla et al., 2005**). Les faciès chimiques prédominants sont sulfatés à chlorurés sodiques, typiques des régions évaporitiques et sont répartis d'une manière diffuse à travers toute la vallée. La présence des nitrates dans les eaux souterraines est généralement considérée comme un indicateur de pollution d'origine agricole. Ils proviennent également de l'azote organique du sol ainsi que des eaux usées domestiques non traitées. La teneur admissible fixée par l'OMS est de 45 mg/l. Selon cette norme, la plus grande partie de la zone est au-dessus du taux acceptable pour l'eau de boisson. Les rares endroits où le taux de nitrates est inférieur à 45 mg/l sont : les plantations irriguées par des forages du CT au domaine Daouia, à Foulia et à Hobba par dilution des nitrates par l'eau des nappes profondes, dans les ghouts ennoyés recouverts de roseaux et au niveau du rejet d'El-Oued par utilisation des nitrates par les roseaux, quelques points localisés où la dénitrification a pu s'effectuer correctement.

II.6.3 Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Une eau valable pour l'irrigation est toute eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites inscrites dans le tableau des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Tableau II.5 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Paramètres	Valeurs limites
Température (°C)	35
pH	6.5 à 8.4

Conductivité électrique (ms/cm)	12
Fe (mg/l)	5
Mn (mg/l)	0.2
Salinité totale en (mg/l)	7680
Bore en (mg/l)	3
Azote nitrique (N-NO ₃ ⁻) en (mg/l)	30
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻) en (mg/l)	518
Sulfates (SO ₄ ²⁻) en mg/l	250

II.6.4 L'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité

L'irrigation des terres agricoles ne se fait pas toujours avec des eaux respectant les normes de qualité requises. Ces eaux de qualité physico-chimique médiocre peuvent provenir de plusieurs sources :

- Les eaux des nappes phréatiques ayant des teneurs élevées en sels.
- Les eaux de drainage chargées en sels et en nutriments.
- Les eaux usées brutes, domestiques ou industrielles ou les eaux usées mal traitées.

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation devient de plus en plus une pratique courante notamment dans les pays semi-arides et arides tels que l'Égypte, Israël et la Tunisie. Cependant, cette réutilisation soulève différents problèmes d'ordre agronomique, environnemental et sanitaire. Sachant aussi que les eaux usées épurées sont riches en éléments majeurs azote, phosphore, et potassium (**Keddal et Yaondri, 2007**).

II.6.4.1 Les propriétés des eaux d'irrigations

II.6.4.1.1 Propriétés physiques

De manière générale, l'eau possède un certain nombre de propriétés dues à la relation covalente d'une part et, d'autre part, à la liaison hydrogène existante entre les molécules d'eau (**Andre et Christophe, 2004**). Les teneurs en sédiments et en substances solubles de l'eau d'irrigation dépendent de son origine. Alors que les cours d'eau contiennent toujours des éléments en suspension

et, en quantité limitée, des substances en solution, les plans d'eau permettent la sédimentation des particules denses mais offrent fréquemment des conditions favorables à la prolifération de micro-organismes. Les particules minérales, à l'exception colloïdes d'argile dispersée, sont retenues facilement par contraste de densité ou filtration (filtre à sable et filtre à tamis). La petite taille des micro-organismes rend la filtration inopérante si bien qu'elle doit être accompagnée d'un traitement chimique. L'eau souterraine ne contient en général que peu d'éléments minéraux et organiques en suspension, mais peut présenter des concentrations en fer ou en calcium élevées (Marc et al., 2007). C'est ainsi qu'on peut résumer les propriétés physiques des eaux d'irrigation comme suit :

a) La température : Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH ...etc (Rodier, 2005).

Pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Ghazali et Zaid, 2013).

b) Le pH : Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7 et 100 fois plus grande que celle à pH 8. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide. Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale (Couture, 2006).

c) La conductivité électrique : La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 2005). Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu S/cm$) (Gaujour, 1995). La conductivité électrique est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (Mens et Derouane, 2000).

d) La dureté : La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium

auxquels s'ajoutent quelques fois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium (**Rodier et al., 2009**).

e) La turbidité : C'est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute (**Lanteigne, 2003**). Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes (**Rodier, 2005**). La turbidité se mesure en unité néphélométrie (NTU) (**Lanteigne, 2003**). Il est recommandé d'effectuer la mesure de la turbidité aussi rapidement que possible après prélèvement ; sinon l'échantillon doit être conservé à l'obscurité pour une durée maximale de 24 h, toute conservation prolongée peut provoquer des modifications irréversibles de la turbidité (**Ghazali et Zaid, 2013**).

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

g) Résidu sec : D'après **Rodier et al, (1996)**, la détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension ; la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes. Ces valeurs peuvent être recoupées à partir de la conductivité et permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau (**Comte, 1995**).

h) Solides totaux dissous (TDS) : Les TDS rendent compte de la quantité de substance minérale dans l'eau. La concentration des TDS dans l'eau varie considérablement dans différentes régions géologiques à cause de la différence de solubilité des minéraux (**OMS, 2006**).

i) Matière en suspension (MES) : Directement liée à la turbidité, la DCO et la DBO5, cette mesure évalue la teneur et la composition minérale et organique de matières en suspension dans l'eau. Des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer la teneur en oxygène dissous et par là-même limiter le développement de la vie aquatique (**Comte, 1995**)

II.6.4.1.2 Propriétés chimiques

L'eau est un excellent solvant. En effet, l'eau est le liquide qui dissout le plus grand nombre de substances. Ceci explique le fait que l'eau soit un milieu favorable au développement de la vie puisque l'on y trouve un grand nombre d'éléments primaires qui lui sont nécessaires (**Andre et Christophe, 2004**).

a) **Les chlorures** : Les chlorures sont très répandus dans la nature sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂). La présence de l'ion chlorure (Cl⁻) dans l'eau peut avoir diverses origines, telles que le passage à travers des terrains salés et l'exploitation des puits de pétrole (**Pettyjohn, 1971**). Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (**Rodier, 2005**).

b) **Les sulfates** : La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg /l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (**Rodier et al., 2009**). Le sulfate qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse, où apparaît à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux (**Kemmer, 1984**).

c) **Les nitrates** : Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (Ninorganique) ou minéral, lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique (Norganique) (**Rodier et al, 2009**).

d) **Les nitrites** : Suivant l'origine des eaux, la teneur en nitrites est assez variable. La méthode à la sulfanilamide a une sensibilité de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Sous l'action des phénomènes biologiques, l'équilibre entre l'ammoniaque, les nitrites et les nitrates peut évoluer rapidement. Il sera nécessaire d'en tenir compte pour l'interprétation des résultats et de prendre toutes précautions utiles pour la pureté des réactifs et la propreté de la verrerie. Il convient donc de procéder au dosage des nitrites le plus tôt possible après le prélèvement en le conservant à 4 °C (**Rodier et al, 2009**).

e) **Les Bicarbonates** : L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO₂ à partir des minéraux contenant des carbonates (**Rodier, 2005**).

f) Le Calcium : Le Calcium, est un élément qui varie comme le magnésium et leur concentration dans l'eau dépend aussi du substrat géologique traversé (**Bouchelaghem et al, 2004**).

g) Le Magnésium : Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites basaltes, argiles) ou industrielle. La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau (**Kemmer, 1984**).

h) Le sodium : Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément est origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation (**Couture, 2006**). Le sodium est un métal alcalin. Son origine peut être :

- Naturelle (mer, terrain salé...);
- Humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines/jour);
- Industrielle (potasse, industrie pétrolière) (**Rodier, 2005**).

i) Le Potassium : Le potassium est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature (**Kemmer, 1984**).

Chapitre III :

**Caractérisation des eaux de la
nappe phréatique d'Oued-Souf**

Introduction

La vallée d'Oued-Souf est une zone hyper-aride, et elle n'a que les eaux souterraines qui représentent la seule ressource en eaux douces. Rappelons que la vallée d'Oued-Souf possède un réservoir d'eau souterraine très important, constitué de trois nappes souterraines : la nappe phréatique, la nappe du Complexe Terminal (CT) et la nappe du Continental Intercalaire (CI). Dans cette région des centaines de forages et de puits traditionnels sont utilisés par les agriculteurs dans le domaine de l'irrigation. Ces forages et puits d'irrigation sont tous alimentés de la nappe phréatique ou la nappe superficielle (**Khadraoui, 2011 ; Khechana, 2014**). L'utilisation accrue et incontrôlée des eaux souterraines, plus particulièrement dans le secteur agricole, a dépassé de loin les normes de l'apport d'eau par hectare. Ainsi, le gaspillage de ces eaux est également remarqué par la dotation journalière par habitant très élevée, dépassant largement les normes de consommation (204 l/j/hab). Dans cette optique, on a réalisé ce travail pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique, les origines de chimisme, ses potabilités et ses aptitudes à l'irrigation, en vue de mieux les gérer (**Khechana et Derradji, 2014**).

Notre étude est consacrée principalement à la caractérisation physico-chimique des eaux souterraines exploitées en irrigation dans la région d'Oued-Souf. Dans cette partie, nous citons d'abord la procédure de prélèvement des échantillons. Puis, et pour chaque paramètre de caractérisation physico-chimique, nous présenterons en premier lieu une description détaillée de la méthode et des instruments expérimentaux utilisés dans cette analyse ainsi que les principales formules de calcul utilisées pour exprimer les résultats obtenus. En suite, nous discutons les résultats du paramètre d'analyse et de caractérisation obtenus dans notre laboratoire.

III.1 Prélèvement et conditionnement des échantillons

Le prélèvement 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 en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (**Rodier et al., 2009**).

Les prélèvements ont été effectués de différents points dans la région d'Oued-Souf où nous avons essayé de couvrir la majorité des zones agricoles dans cette région. Les points échantillonnés sont représentés sur les figures III.1 et III.2 où la première figure porte une image

Google qui présente approximativement les sites des points de prélèvement et la deuxième figure présente une carte d'inventaire présentant les points de prélèvement avec leurs coordonnées.

Notre étude est fondée sur le prélèvement de 8 échantillons des forages et des puits utilisés en irrigation. Comme nous l'avons cité précédemment, ces forages sont alimentés de la nappe phréatique où les profondeurs varient entre 12 à 40 m environ. Les prélèvements ont été effectués manuellement pendant les mois Avril, Mai et Juin 2021 dans des flacons de polyéthylène de 1.5 L de capacité. Ces flacons doivent toujours être nettoyés préalablement avec de l'eau distillée et ensuite avec de l'eau à étudier lors du prélèvement. Chaque flacon doit être identifié et porté la date et les coordonnées du point de prélèvement. Le délai entre le prélèvement et l'analyse au laboratoire doit être le plus court possible (**Khelifati et Khelifa, 2019**).

Tableau III.1 : Les coordonnées des points de prélèvement.

Point de prélèvement	X	Y	Z
Magrane	306459	3715719	60
Debila	309629	3711389	62
Hassani Abdelkrim	303703	3705790	78
Houbba	289865	3716746	46
Guemar	296043	3709551	60
Kuine	296698	3701836	75
Ourmess	293370	3696082	80
Oued-Alenda	293215	3684109	83

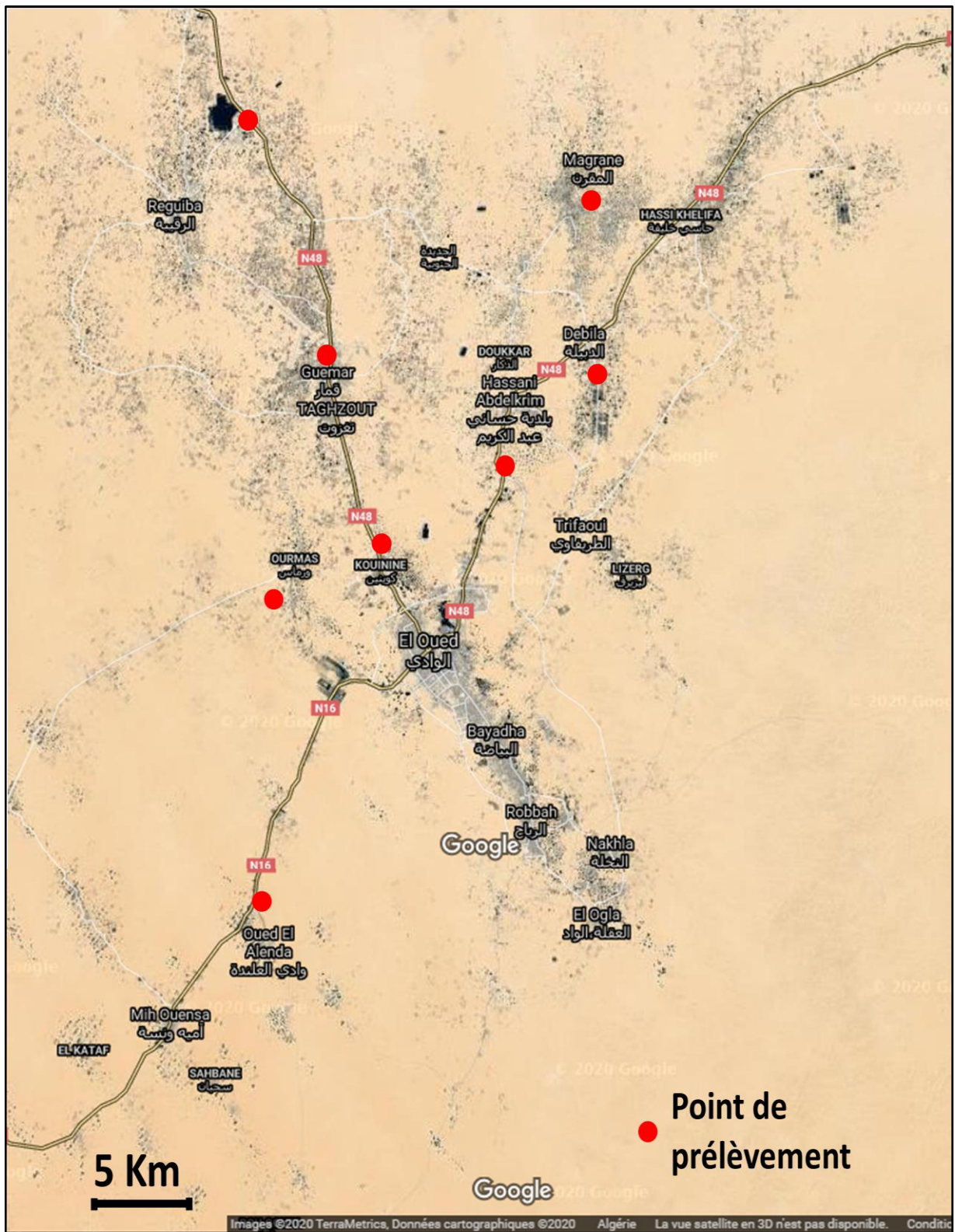


Figure III.1: Image Google de localités des points de prélèvement dans la zone d'étude.

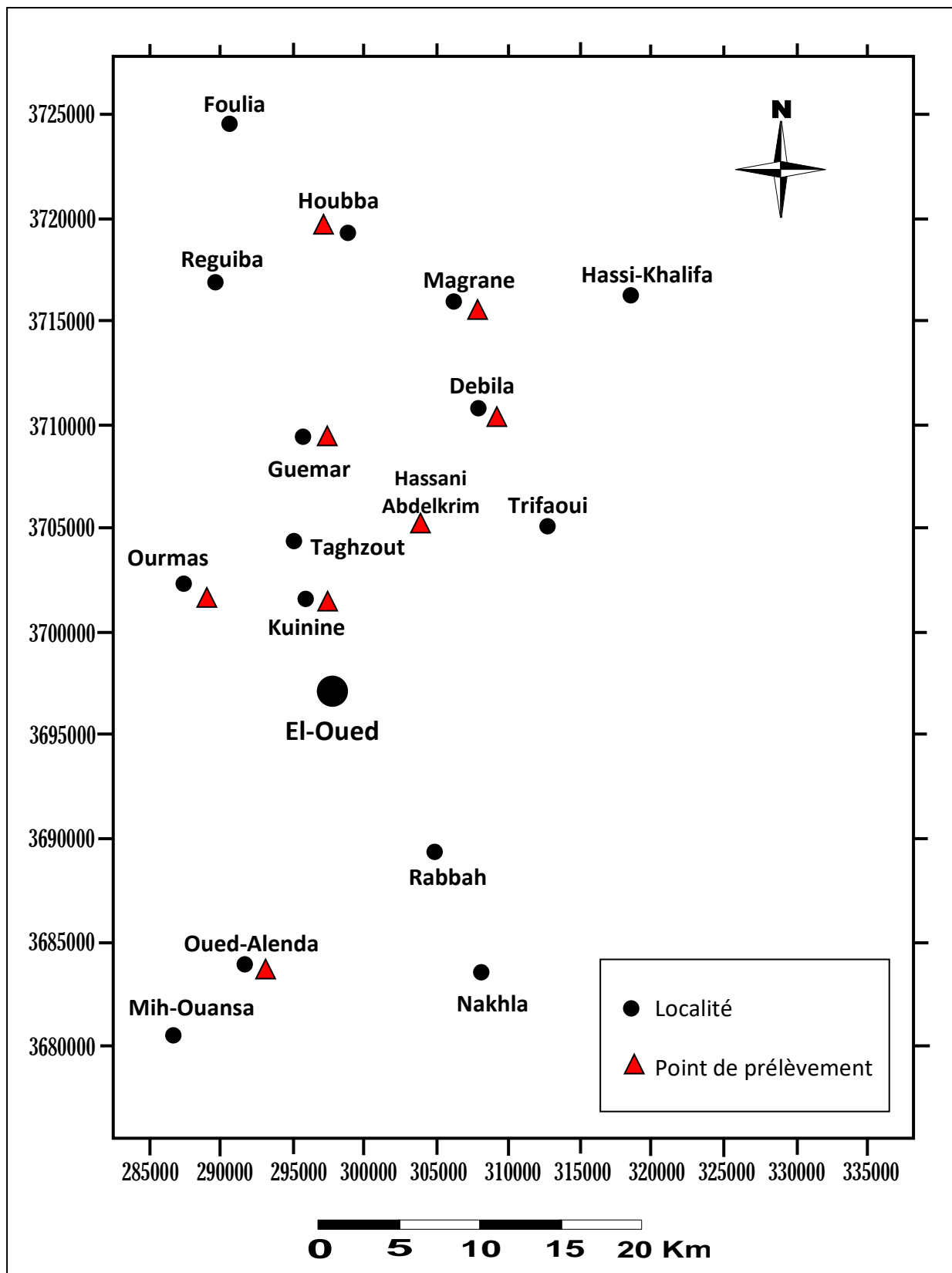


Figure III.2: Carte des points de prélèvement dans la vallée d'Oued-Souf.

III.2 Caractérisation des eaux de la nappe phréatique de la région d'Oued Souf

III.2.1 Paramètres physiques (pH, TDS et CE)

a) Principe

Le pH, la CE et le TDS ont été mesurés dans le laboratoire à l'aide d'un multimètre de marque Consort C3010 après l'étalonnage de cet appareil selon le protocole d'étalonnage approprié à chaque paramètre.

b) Mode opératoire

Le pH-mètre a été étalonné avec trois solutions étalons de pH : 4, 7 et 10. Le conductimètre a été pareillement étalonné avec trois solutions étalons de conductivités bien déterminées : $K = 84 \mu\text{S}$, $1413 \mu\text{S}$ et 12.8 mS . Afin de réaliser la mesure de ces paramètres, environ de 50 mL de l'échantillon d'eau à étudier est mis dans un petit bécher, on plonge ensuite la sonde du multimètre dans le bécher et on lit la valeur du paramètre correspondant affiché par l'appareil (Figure III.2).



Figure III.3 : Multimètre portatif utilisé (Marque Consort C3010).

c) Expression des résultats

On enregistre les valeurs du pH, de la CE ou du TDS affichées sur l'appareil après la stabilisation de la lecture, et les résultats sont exprimés comme suit :

- Le pH sans unité ;
- La conductivité électrique est exprimée en $\mu\text{S.cm}^{-1}$;
- Le TDS exprimée en g.L^{-1} .

Où les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Résultats du pH, de la CE et du TDS des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Souf.

Point de prélèvement	pH	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	TDS (g.L^{-1})
Magrane	7.14	7370	3.97
Debila	6.94	4480	2.39
Hassani Abdelkrim	6.88	5140	2.75
Houbba	6.88	6880	3.29
Guemar	6.94	5760	3.09
Kuinine	6.85	5470	2.95
Ourmess	6.91	4350	2.33
Oued-Alenda	7.01	4450	2.35

III.2.1.1 Le pH

On remarque que pour tous les points d'échantillonnage étudiés le pH est situé entre 6.8 et 7.1 avec une valeur moyenne de 6.94 (Tableau III.2). Ces résultats sont en bon accord avec les normes de qualités des eaux d'irrigation. On peut dire alors que pour le pH il n'y a aucun problème pour la qualité des eaux utilisées en irrigation dans la région de Souf.

III.2.1.2 La conductivité électrique (CE)

Généralement la valeur de la CE traduit le degré de minéralisation d'une eau, elle augmente avec la teneur en matières minérales ioniques présente dans l'eau, si celle-ci est grande, la conductivité est élevée et l'inverse (Hill et al., 2008). La CE a été mesurée pour tous les eaux étudiées et les résultats obtenus (Tableau III.2) sont présentés également dans la figure III.4.

Ces résultats (Figure III.4) montrent que les valeurs de la CE varient entre 4350 et 7370 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, et montrent aussi que les eaux de la nappe phréatique utilisées en irrigation dans cette région ont une conductivité élevée qui dépasse toujours la norme admissible pour les eaux d'irrigation. En outre, nous constatons que tous les échantillons analysés ont des CE supérieures à 3000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, donc on peut dire que ces eaux ont un degré de minéralisation très élevé (Tableau III.3).

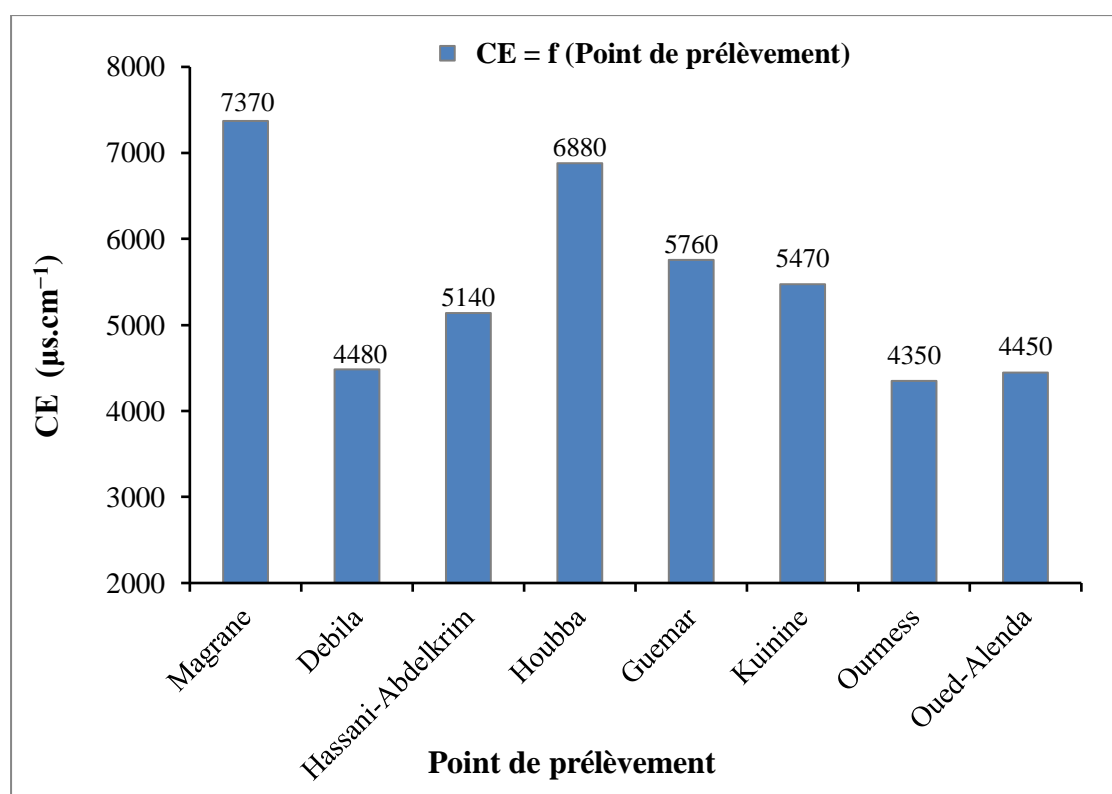


Figure III.4 : CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) des eaux étudiées en fonction des points de prélèvements.

L'analyse des résultats montre également que la CE augmente dans le sens sud-nord de la vallée de Souf, sauf pour le point de Debila qui est située dans le nord où aussi la CE a une valeur moyennement élevée par rapport aux autres points. Généralement la CE des eaux souterraines

d'une région croit de l'amont vers l'aval et avec le sens d'écoulement de la nappe (Nasri et al., 2018).

Tableau III.3 : Corrélation entre le degré de minéralisation et la CE et le pourcentage des points d'eau analysée dans chaque domaine de minéralisation.

Conductivité électrique ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) à 25 °C	Degré de minéralisation	Pourcentage des points d'eau (%)
< 450	Très faible	0
450 – 750	Faible	0
750 – 1500	Moyen	0
1500 – 2300	Moyennement élevé	0
2300 – 3000	Elevé	0
> 3000	Très élevé	100

III.2.1.3 Le taux de salinité (TDS)

La salinité d'une eau correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Elle est obtenue par mesure simple à l'aide d'un TDS-mètre ou un multimètre mesurant le TDS. Les résultats des TDS mesurés en fonction du point de prélèvement sont présentés dans le tableau III.2 et la figure V.5. D'après ces résultats, on remarque que les valeurs de TDS varient entre 2.33 et 3.97 g.L^{-1} . Ces résultats montrent que la totalité des eaux analysées ont une salinité supérieure aux normes des eaux d'irrigation. On peut dire alors que les eaux de la nappe phréatique de cette région sont fortement minéralisées. On remarque également que généralement le sens d'accroissement de la minéralisation se fait du sud vers le nord. Ce qui correspond approximativement au sens d'écoulement de la nappe.

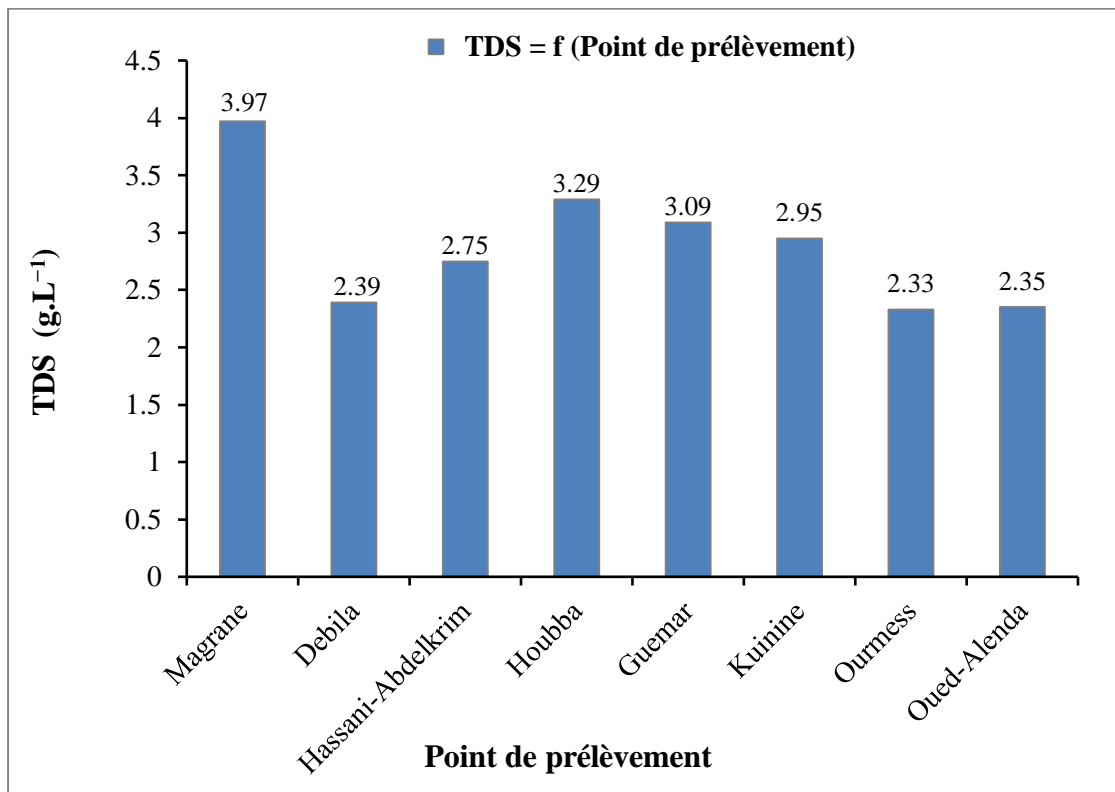


Figure III.5 : TDS (g.L⁻¹) des eaux étudiées en fonction des points de prélèvements

III.2.1.4 Analyse des résultats de la conductivité électrique et du taux de salinité

L'analyse générale des résultats de la CE et du TDS, ces deux paramètres qui reflètent la minéralisation de l'eau permet d'établir une répartition de la minéralisation des eaux de la nappe phréatique dans la région d'Oued-Souf comme suit :

Une première zone située au Nord de la région d'étude qu'a une CE et un TDS très élevés comme le cas du point Magrane (7370 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et 3.97 g.L⁻¹) et plus ou moins élevée comme le cas du point Houbba (6880 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et 3.29 g.L⁻¹). Cette minéralisation importante dans cette zone est peut être due à la présence des sels qui proviennent du Sud vers le Nord par l'écoulement naturel des eaux souterraines qui se chargent de plus en plus des sels lors de son écoulement, en plus, c'est une zone est plus proche à la zone des chotts (Hamraia) caractérisée par une forte évaporation (**Khechana et Derradji, 2014, Belghoul et Kab, 2020**).

Une deuxième zone située entre les trois points Hassani-Abdelkrim, Guemar et Kuinine où la CE et le TDS sont moyennement élevés (5140 ~ 5760 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ pour la CE) (2.75 ~ 3.09 g.L⁻¹ pour le TDS), et celui-là peut être dû à l'existence des Ghouts inondés ou humides dans cette zone, où la

CE et le TDS sont élevées et augmentent par évaporation. Par ailleurs, il y'a également des points très proches à cette zone qu'ont une minéralisation légèrement faible comme le cas du point de Debila dont la CE = 4480 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et le TDS = 2.39 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Ce résultat est probablement dû à l'apport des eaux des forages destinés à l'alimentation en eau potable dans cette zone.

Une troisième zone située au Sud et au Sud-ouest de la région de Souf, où la CE et le TDS sont relativement faibles. Cette minéralisation faible est peut être liée à la forte existence des agricultures traditionnelles à l'exception de quelques zones d'agriculture irriguée par les nappes profondes ou occupées par les Ghouts inondés.

III.2.2 Paramètres chimiques (TA, TAC et TH)

La détermination du Titre alcalimétrique (TA), Titre alcalimétrique complet (TAC) et Titre hydrotimétrique se fait par titrage volumétrique. Le principe de ce titrage est simple puisqu'il suffit d'ajouter goutte à goutte une solution de titrage à un volume d'échantillon précis. Après réaction, un excès de solution de titrage provoque le virage d'un indicateur coloré. La quantité de la solution de titrage nécessaire correspond exactement à la quantité de la substance à déterminer. De ce fait, le résultat est lu directement sur la seringue à double graduations qui a servi à distribuer la solution de titrage (Beljean-Leymarie et al., 2009). La technique est alors réalisée en 4 étapes :

1. Remplir le tube avec l'échantillon (l'eau) à analyser ;
2. Puis, ajouter quelques gouttes de l'indicateur à l'échantillon et mélanger ;
3. Après avoir rempli la seringue (Burette) avec la solution de titrage, verser son contenu goutte à goutte dans le tube en agitant, jusqu'au changement de couleur (virage de l'indicateur) ;
4. Enfin, lire le volume du titrant sur la seringue et utiliser ce résultat pour déterminer les teneurs des espèces à titrer.

III.2.2.1 Détermination du titre alcalimétrique (TA)

a) Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré (Khelifati et Khelifa, 2019).

b) Réactifs utilisés

- L'indicateur phénolphthaléine (Ph-Ph).
- L'acide chlorhydrique (HCl) à 0,02 N.

c) Mode opératoire

On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 mL. Puis, on ajoute 2 gouttes de solution de l'indicateur phénolphthaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas où il n'y a pas de coloration le TA de l'eau est nul ($\text{pH} < 8,3$), c'est-à-dire l'eau à analyser ne contient pas des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-).

Si la solution a pris la coloration rose, on verse ensuite doucement l'acide (HCl à 0,02 N) dans l'erlenmeyer à l'aide de la burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} \approx 8,3$). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage (**Rodier et al., 2009**).

d) Expression des résultats

Le volume V de HCl (mL) versé en détermination de TA divisé par cinq exprime le TA en milliéquivalents par litre :

$$TA (\text{még. L}^{-1}) = \frac{V_{\text{HCl}} (\text{mL})}{5}$$

En outre, V (mL) exprime le TA en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

e) Discussion des résultats

Comme nous l'avons expliqué dans un travail antérieur (**Belghoul et Kab, 2020**), le TA d'une eau correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-) présents dans cette eau. Si l'eau analysée présente un pH inférieur à 8,3, ça veut dire que le TA dans ce cas est nul car il n'y a presque aucune trace des ions CO_3^{2-} et OH^- dans cette eau (**Rodier et al., 2009**).

D'après les résultats de pH obtenus précédemment (Tableau III.2), nous constatons que tous les eaux analysées ont un pH inférieur à 8,3, on peut dire alors que le TA est dans tous les cas nul et par conséquent la concentration en ions CO_3^{2-} et OH^- est également nul.

III.2.2.2 Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

a) Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation du volume d'eau utilisé dans la détermination de TA par un acide dilué en présence du méthyle orange comme indicateur coloré. (Benkerrou et Sila, 2019)

b) Réactifs utilisés

- L'indicateur coloré méthyle orange.
- L'acide chlorhydrique (HCl) à 0,02 N.

c) Mode opératoire

On utilise l'échantillon titré précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. On ajoute 3 à 4 gouttes de solution de méthyle orange et on titre de nouveau avec le même acide (HCl à 0,02 N) jusqu'à disparition de la coloration jaune et apparition de la couleur orange ou rouge clair ($\text{pH} \approx 4,5$). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO_2 qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage. Soit V' le volume d'acide HCl à 0,02 N versé depuis le début du dosage (Rodier et al., 2009).

d) Expression des résultats

Pareillement, le volume V' de HCl (mL) versé en TAC divisé par cinq exprime le TAC en (még.L^{-1}) :

$$\text{TAC (még.L}^{-1}\text{)} = \frac{V'_{\text{HCl}} \text{ (mL)}}{5}$$

V' (mL) exprime également le TAC en degrés français.

e) Discussion des résultats

La détermination du TAC prend également en compte les ions bicarbonates (appelés aussi hydrogénocarbonates) (HCO_3^-) présents dans l'eau. Etant donné, le TA de toutes les eaux étudiées est nul, on peut dire alors que le TAC déterminé pour tous les échantillons d'eau (Tableau III.4) correspond seulement à la concentration des ions HCO_3^- .

Tableau III.4 : Résultats du TAC et du TH des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Souf.

Point de prélèvement	TAC		TH	
	(méq.L ⁻¹)	(F°)	(méq.L ⁻¹)	(F°)
Magrane	9.65	48.25	64.35	643.5
Debila	4.14	20.7	40.25	402.5
Hassani-Abdelkrim	2.84	14.2	41.4	414
Houbba	2.52	12.6	27.57	275.7
Guemar	4.67	23.35	45.9	459
Kuinine	3.58	17.9	53.35	533.5
Ourmess	2.6	13	20.72	207.2
Oued-Alenda	2.52	12.6	20.07	200.7

Les résultats du tableau III.4 montrent d'abord que toutes les eaux analysées ont un titre alcalimétrique complet très élevé et par conséquent une concentration en ions bicarbonates ou hydrogénocarbonates (HCO_3^-) élevée.

Une grande partie des ions HCO_3^- présents dans ces eaux peut être liée avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} responsables de la dureté de l'eau et forment successivement le bicarbonate de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et le bicarbonate de magnésium $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ce qu'est expliqué également par la dureté élevée de ces eaux. Ces deux sels sont solubles dans l'eau mais avec l'augmentation de la température de l'eau, ils peuvent se précipiter sous forme de CaCO_3 et MgCO_3 et cela peut engendrer des entartrages dans les canalisations d'eau.

En effet, un TAC élevée peut donner une eau trouble et dure, qui peut par conséquence engendrer des dégradations importantes dans les réseaux et les canalisations d'irrigation et peut aussi influencer énormément les processus de croissance des plantes et la culture agricole.

III.2.2.3 Détermination de la dureté ou du titre hydrotimétrique (TH)

a) Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA) à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (**Rodier et al., 2009**).

b) Réactifs utilisés

- Solution d'EDTA à 0,01 M.
- Solution tampon ammoniacal de pH =10.
- Noir d'eriochrome T.

c) Mode opératoire

On introduit 40 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 mL, puis on ajoute 10 mL de solution tampon ammoniacal et 3 à 4 gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en violet (le pH de la solution doit être de 10). En maintenant une agitation, nous versons ensuite la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Afin de bien confirmer la fin du dosage, on vérifie que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA. On note le volume de l'EDTA lu sur la burette (**Rodier et al., 2009**).

d) Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium (la dureté), exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression :

$$TH (m\acute{e}q. L^{-1}) = 1000 \frac{C \cdot V_1}{V_2}$$

ou bien : $TH (^\circ F) = 5000 \frac{2 \cdot C \cdot V_1}{V_2}$

C = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V_1 = Volume en mL de la solution d'EDTA.

V_2 = Volume d'échantillon.

e) Discussion des résultats

L'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation peut être évaluée par la dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) qui correspond à la somme des concentrations en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Si la concentration des sels de Ca^{2+} et Mg^{2+} est trop élevée, on dit que l'eau est dure et son aptitude à l'irrigation est très faible. Parce que la composition chimique de ces eaux influe sur les caractéristiques du sol ce qui aura évidemment des répercussions sur le rendement de l'activité agricole.

Les résultats du tableau III.4 montrent que tous les échantillons des eaux analysées ont présenté un TH très élevé et supérieur aux normes. Selon la classification de la dureté de l'eau (Tableau III.5) on peut constater que la totalité des eaux analysées sont très dures, car le TH est toujours supérieur à 54 °F.

Tableau III.5 : Dureté de l'eau en fonction de la valeur du TH.

Valeur du TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Nous pouvons donc dire que les eaux souterraines de la nappe du phréatique utilisées en irrigation dans la région d'Oued-Souf sont de qualité chimique médiocre et mauvaise et impropre à l'utilisation dans les activités agricoles selon les normes d'eau d'irrigation.

III.2.3 Analyse de quelques espèces chimiques majeures

III.2.3.1 Analyse des ions nitrates (NO_3^-) par spectrophotométrie UV-Visible

a) Principe

La spectrométrie d'absorption moléculaire (lumière visible ou UV) permet de doser de nombreux composés du moment que les molécules possèdent des liaisons multiples ou des paires d'électrons libres (substances colorées ou non-colorée (**Benedetto, 1997**)). Le principe de la technique se résume en lorsqu'un faisceau lumineux de longueur d'onde (λ) donnée traverse une solution colorée, une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration

et de l'épaisseur de la solution. Pour des solutions diluées l'atténuation du faisceau incident est liée à la concentration par une relation exponentielle, qui s'appelle la loi de Beer-Lambert.

b) Mode opératoire

Pour l'ion à analyser, on prépare une gamme de dilutions (solutions filles) d'une solution étalon mère, ensuite on mesure l'absorbance de chacune de ces solutions étalons filles puis on trace la courbe d'étalonnage $A = f(C)$. Le spectrophotomètre utilisé dans ce travail est de marques JENWAY J305 (Figure III.6).



Figure III.6 : Spectrophotomètre UV-Visible utilisé (JENWAY J305).

Pour les échantillons d'eau contenant l'ion à analyser, on mesure l'absorbance à la longueur d'onde (λ) correspondant à cet ion, puis on repère cet absorbance sur la courbe d'étalonnage (Figure III.7) et on lit ensuite la concentration qui correspond à cet absorbance (**Rouessac et al., 2004 ; Ladjama, 2007**). Pour l'analyse des ions nitrate on effectue les lectures au spectromètre à la longueur d'onde 415 nm et on tient compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la

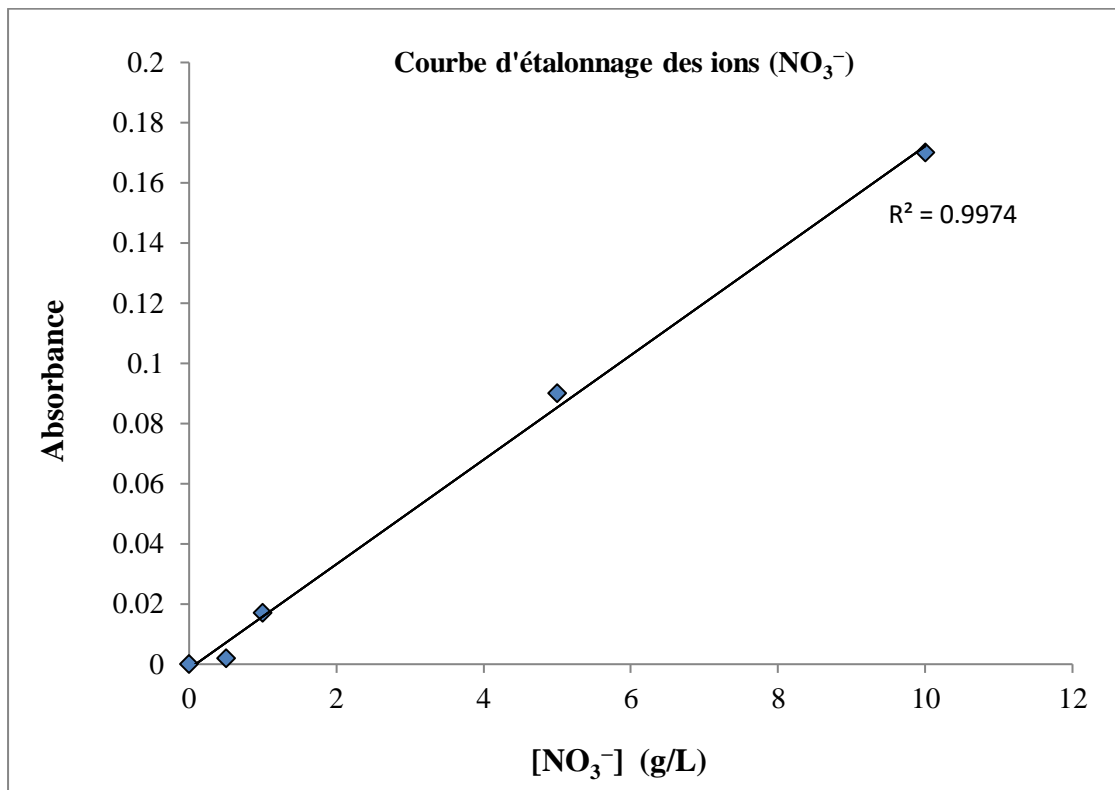


Figure III.7 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des ions nitrates.

c) Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 mL, la courbe d'étalonnage donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO_3^-), multiplier ce résultat par 4,43.

d) Discussion des résultats

Les nitrates sont l'une des principales causes de dégradation de la qualité des eaux souterraines. Ils proviennent essentiellement de pollutions diffuses agricoles, des rejets domestiques et urbains contribuent localement à la contamination des nappes par les nitrates, mais la fertilisation par l'épandage d'engrais chimiques ou organiques azotés et l'élevage intensif (déjections animales), en constituent la cause principale. Les nitrates en eux-mêmes ne présentent pas de danger particulier pour l'environnement, c'est leur transformation en nitrites (NO_2^-) qui peut être toxique. Les données du tableau III.6 montrent que les valeurs des concentrations des nitrates varient entre 9.9 et 23.7 mg.L^{-1} . Ces données montrent également que 100 % des eaux analysées ont des valeurs inférieures à la norme 60 mg/l. En effet, les données des concentrations en nitrates

dans les eaux de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Souf montrent des valeurs acceptables (toujours dans les normes).

Tableau III.6 : Résultats des teneurs en nitrates (NO_3^-) des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Oued-Souf.

Point de prélèvement	NO_3^- (mg.L^{-1})
Magrane	19.93
Debila	19.49
Hassani-Abdelkrim	11.07
Houbba	13.73
Guemar	23.70
Kuinine	20.82
Ourmess	14.61
Oued-Alenda	9.96

III.2.3.2 Analyse des ions chlorures (Cl^-) par Photomètre à filtre

a) Principe

Le principe de mesure des photomètres à filtre est très simple. La combinaison des composantes de l'eau et des réactifs produit une coloration caractéristique. Les photomètres envoient la lumière à travers l'échantillon avec une certaine longueur d'onde. Une photocellule détecte l'intensité de l'échantillon irradié et compare le résultat avec l'intensité de sortie. La radiation absorbée est transmise et la concentration calculée. Vous trouverez à la suite un schéma représentatif.

b) Mode opératoire

- Verser 10 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une cuvette de 24 mm et fermer le couvercle de la cuvette.
- Mettre la cuvette dans la chambre de mesure en positionnement X et ensuite appuis sur la touche **ZERO**.

- Retirer la **cuvette** de la chambre de mesure et la **vider en y laissant quelques gouttes**.
- Ajouter une pastille de **DPD No.1** et de **DPD No.3** directement de l'emballage protecteur et l'écraser à l'aide d'une spatule en plastique.
- Verser de l'échantillon dans la cuvette jusqu'à la marque 10 ml.
- Refermer la cuvette par le couvercle et mélanger le contenu en agitant jusqu'à dissolution complète des pastilles.
- Placer la cuvette dans la chambre de mesure en positionnement X.
- Appuyer sur la touche **TEST**.

Attendre **2 min de temps de réaction**. La mesure s'effectue automatiquement après écoulement du temps de réaction. Le résultat de la mesure s'affiche et indique la teneur en chlorure en mg/L.



Figure III.8 : Photomètre à filtre utilisé (AQUALYTIC AL400).

d) Discussion des résultats

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. Ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées urbaines. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (**Chelli et Belkadri, 2020**). Dans l'eau potable et les d'irrigation, la concentration maximale acceptable est de 250 mg/l. Si la teneur est supérieure à cette valeur, elle affecte le goût de l'eau.

Tableau III.7 : Résultats des teneurs en chlorures (Cl^-) des différents points de prélèvement de la nappe phréatique de Oued-Souf.

Point de prélèvement	$[\text{Cl}^-]$ (mg.L^{-1})
Magrane	1.24
Debila	0.32
Hassani-Abdelkrim	0.41
Houbba	0.49
Guemar	0.39
Kuinine	1.53
Ourmess	1.17
Oued-Alenda	1.97

La même remarque qu'à été remarquée précédemment pour les nitrates est remarquée également sur les teneurs en Cl^- , où la concentration est toujours faible et inférieure aux normes. La présence des ions chlorures dans les eaux souterraines est peut être due de la dissolution des sels de sodium résultant à l'écoulement souterraine importante de ces eaux, ce qui entraine un phénomène de lessivage de terrains salifères (gypseux, marneux ou argileux) et par conséquent une libération de ces ions (**Khechana, 2014**).

Conclusion

L'étude de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe phréatique destinées à l'irrigation dans la région d'Oued-Souf a montré que le pH est situé entre 6.8 et 7.1 avec une valeur moyenne de 6.94. C'est-à-dire que ce paramètre ne pose aucun problème pour l'agriculture. Mais, ces eaux sont fortement minéralisées car leur CE est très élevée (toujours supérieure à $4000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Le TDS varie entre 2.33 et $3.97 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ et augmente dans le même sens d'écoulement de la nappe. Le TA est dans tous les cas nul et par conséquent la concentration en ions CO_3^{2-} et OH^- est également nul, parce que le pH est toujours inférieur à 8.3. Cependant, les résultats obtenus montrent que le TAC est toujours assez élevé et par conséquent une concentration en ions HCO_3^- élevée. La totalité des eaux analysées sont très dures, car le TH est toujours supérieur à 54°F . Les teneurs des ions nitrates (NO_3^-) et chlorures (Cl^-) sont faibles dans toutes les eaux analysées et présentent des valeurs acceptables et inférieures aux normes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous étions intéressés à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe phréatique utilisées en irrigation dans la région d'Oued-Souf. Cette région est une région agricole et elle n'a que les eaux souterraines comme ressource en eaux douces.

L'étude expérimentale d'analyse et de caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe phréatique dans la région d'Oued-Souf a montré que :

- Le pH (environ de 6,94) des eaux étudiées sont en bon accord avec les recommandations des eaux d'irrigation.
- Les eaux souterraines d'Oued-Souf sont fortement minéralisées car leur CE et leur TDS sont élevés. Cette minéralisation augmente du Sud au Nord c'est-à-dire dans le même sens d'écoulement de la nappe.
- Le TA est dans tous les cas nul et par conséquent la concentration en ions CO_3^{2-} et OH^- est également nul. Cependant, le TAC est toujours assez élevé et par conséquent une concentration en ions HCO_3^- élevée.
- Le TH de toutes les eaux analysées est supérieur à la norme et la totalité des eaux sont très dures, car leur TH est toujours supérieur à 54 °F.
- L'analyse des teneurs en NO_3^- et Cl^- présentent des valeurs acceptables et inférieures à la norme.

En fin, on peut conclure que ces eaux sont de mauvaise qualité physico-chimique pour l'irrigation dans toutes les zones de la vallée d'Oued-Souf. Il est à signaler que ces eaux nécessitent un traitement adéquat et un contrôle permanent si on veut l'utiliser dans l'irrigation et d'avoir des bons rendements agricoles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Allag A., Nacer M (2019) Evaluation des paramètres hydrogéochimiques des eaux souterraines dans une région aride, cas de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien), Mémoire de Master, Université d'EL-Oued .

Andre M et Christophe H., (2004) Hydrologie 1. Une science de la nature, première Ed. 314p.

ANRH. (1993) Log de forage F1 à l'Albien.

ANRH. (2005) Inventaire de forages d'eau de la wilaya d'El-oued.19 pages.

Aouate I. (2015) Etude et développement de l'irrigation souterraine en algerie, Ecole nationale supérieure d'hydraulique, Alger, Algerie.

Armandine Les Landes A. (2014) Impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques, Thèse de doctorat, Université Rennes 1, France.

Atia M. O., Zine A. (2019) Apport des SIG dans l'étude de la qualité des eaux souterraines par la méthode d'analyse hiérarchique des Procédés (AHP) dans la région Nord-Ouest d'El-oued, Mémoire de Master, Université d'El oued, Algérie.

Baba Sy M., Besbes M., 2006. Holocene recharge and present recharge of the Saharan aquifers. A study by numerical modelling, Colloque international - Gestion des grands aquifères - 30 mai-1er juin 2006, Dijon, France.

BADI Ahmed I., CHERRAD M. (2016) Détermination de la piézométrie et la qualité de la nappe du Complexe terminal - cas la région du Souf -, Mémoire de Master, Université HAMMA LAKHDAR EL-Oued Faculté de Technologie .

Baudequin D. (1990) Les réseaux basse pression en irrigation de surface. CEMAGREF, SCP, ENGREF.

Belghoul A, Kab B. (2020) Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région d'Oued Souf (Sud-Est Algérien). Mémoire de Master, Centre Universitaire de Mila, Mila, Algérie.

Beljean-Leymarie M., Dubost J. P., Galliot-Guilley M. (2006) Chimie analytique : Chimie des solutions, Elsevier Masson, Paris, France.

Ben Amara Z., Megdoud S. (2019) Contribution à l'étude du régime alimentaire du lézard Scincus (LINNAEUS, 1759) dans la région du Souf, Mémoire de Master, Université d'El Oued,Algérie.

Références bibliographiques

Ben doyen S. (2015) Contribution à l'étude de l'hyperfluoruration des eaux souterraines de la région d'EL-Oued (Souf) et ses conséquences sur la santé humaine, Mémoire de Master, Université d'El-Oued, Algérie.

Benblidia. (2011) L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale. Algérie. Version finale. Plan bleu. Centre d'activités Régionales. PNUE/PAM.

Benedetto D. (1997) Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation : Les métaux lourds, Ecole des Mines de Saint-Etienne, France.

Benkerrou N., Sila L. (2019) Les analyses physico-chimiques des eaux de process et la boisson, Mémoire de Master, Université de Bejaia, Algérie.

Besser Dj., Benine Y (2016) Etude comparative de la qualité des eaux des différentes nappes de la région d'El Oued (Souf), Mémoire de Master, Université Elchahid Hamma Lakhdar.

Bouaroug S, (2012) Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, in Département de biologie Végétale et Ecologie 2012, Université Mentouri Constantine.

Bouchelaghem S et Benzara S et Meradi W, et Rezkallah S., (2014) Etude comparative de la qualité chimique et microbiologique des eaux de l'oued El kebir (Région d'El Tarf), 71-74pp.

Boulifa K. (2012) Synthèse hydrogéologique sur la région d'El-Oued (Sahara Nord Oriental-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Constantine 1, Algérie.

Bouselsal B., Kherici N. (2014) Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : Cas de la région d'El-Oued (SE Algérie), Afrique SCIENCE, 10(3), 161-170.

BRL-BNEDER. (1992) Etude du schéma directeur de développement de l'agriculture de lawilaya d'El Oued. Alger.

Chabbi M., Nezli N. (2018) Qualité des eaux de consommation de la vallée d'Oued Souf, Mémoire de Master, Université d'El Oued, Algérie.

Chelli M, Belkadri N. (2020) Contribution à la caractérisation hydrochimique et qualité des eaux dans le sous bassin du Rhumel Amon, (Bassin Hammam Grouz), Bassin Haut Rhumel. Wilaya de Mila. Mémoire de Master, Centre Universitaire de Mila, Mila, Algérie.

Chibani M., Baraika A. (2019) Etude De La Qualite D Eau Potable Consommee Dans Ville D El Oued Et Son Effet Sur La Sante Publique), Mémoire de Master, Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued.

Clement Mathieu., Paul Audoye., Jean Claude., (2007) Bases techniques de l'irrigation par Aspersion. 2007.

Références bibliographiques

Comte D. (1995) La qualité de l'eau d'irrigation, 12p.

Couture I. (2006) (a) Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est AGRIVISION 2003-2004. 8p.

Couture I. (2006) (b) Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Colloque sur l'irrigation l'eau, source de qualité et de rendement 10 février 2006, Hôtel Mortagne , Boucherville .

Couture I. (2006) L'eau source de qualité et de rendement, Ed. CRAAQ, 12p.

DHW (Direction d'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued), Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued .

Drouiche A. (2014) Impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du Souf (Sud-est algérien), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.

FAO. (1976) La qualité de l'eau en agriculture. food alimentation organisation 1976. Bull. d'irrigation et drainage n°29. Rome.

Gaujour D. (1995) La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2^{ème} Ed Lavoisier. P49.

Ghazali D et 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, P25-36.

Hanancha M., Sayad H. (2018) Contribution à l'étude de la composition floristique de la vallée du Souf (Sahara septentrional Algérien), Mémoire de Master, Université d'El Oued, Algérie.

Harrat N., Achour S. (2010) : «Pollution physico-chimique des eaux de Barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration», Larhyss Journal, n°8.

Hill J. W., Petrucci R. H., McCreary T. W., Perr S. (2008) Chimie des solutions, 2^{ème} édition de ERPI, Quebec, Canada.

Kadi A. (1997) La gestion de l'eau en Algérie. Hydrological Sciences Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(2) April 1997 191.

Keddal et Yaondri., (2008) Impacts de l'intensification agricole sur la Qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, 13-29pp.

Kelly B. F. J., Timms W., Andersen M. S., Callum M., Blakers R. S., Smith R., Rau G. C., Badenhop A., Ludowici K., Acworth R. I. (2013) Aquifer heterogeneity and response time: The challenge for groundwater management, *Crop Pasture Science*, 64(12), 1141–1154.

Kemmer F. (1984) Manuelle de l'eau. Ed Lavoisier technique et Documentation. P95- 96-112.

Khachana S. (2007) Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée de Oued-Souf (Sud-est) Algérien. Mémoire de magister université Badji Mokhta Annaba.

Khadraoui A. (2011) Eau et impact environnemental dans le Sahara algérien, Office des publications universitaire, Alger, Algérie.

Khechana S. (2014) Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.

Khechana S. (2014) Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien), Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie.

Khechana S., Derradji E. F. (2014) Qualité des eaux destinées à la consommation humaine et à l'utilisation agricole (Cas des eaux souterraines d'Oued-Souf, SE Algérien), *Revue des Sciences et Technologie - Synthèse*, 28 : 58-68.

Khelifati A. Y., Khelifa I. (2019) Hydrochimie et qualité physico-chimique des eaux de quelques forages de la Taoura (Wilaya de Souk-Ahras), Mémoire de Master, Université de Guelma, Algérie.

Ladjama S. (2007) Elimination des ions nitrates par une résine échangeuse d'anions Amberlite IRA 420, Mémoire de Magister, Université d'Annaba, Algérie.

Lanteigne J. (2003) Encyclopédie de l'agora

Marc Soutter., Andre Mermoud ET Andre Musy., (2007) Ingénierie des eaux et du sol processus et aménagements : Lausanne. Romandes. 294p.

Maynard D.N et Hochmth G. J. (1997) Knott's Handbook for Vegetable growers. 582p. (http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_htm), 4p .

Mens et Derouane., (2000) État des nappes de l'eau souterraine de WALLONIE.

Messahel M. (1988) Irrigation au goutte à goutte (Régime d'irrigation) Edition O.P.U.Alger.

Messahel M. Benhafid M.S et Cherif M., (2003) Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie.

Références bibliographiques

Messekher I. (2010) « Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued Souf soumise à la remontée des eaux et perspectives de solutions palliatives », Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Terre, Univ.de Batna.

Mimoun S., Zoubeidi B. (2014) Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien), Mémoire de Master, Université d'El-Oued, Algérie.

Mohand S. (2001) cours de procédés unitaires biologique et traitement des Eaux. Ed .O.P.U .Alger.156p.

Najah A.(1970) le Souf des Oasis. Edition Maison des livres, Alger. 173p .

Nasri B., Benatallah A., Kalloum S., Benhamza M. (2018) Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région de kenadsa et Galbelaouda (sud-ouest de l'Algérie), Algerian Journal of Environmental Science and Technology, 4(1), 690–702.

Necib A. (2001) Contribution à l'étude de l'impact de la remontée de la nappe Phréatique sur le devenir de l'agriculture dans la région de Souf, Mémoire d'Ingénieur, Université d'Ouargla, Algérie.

Ollier CH et Poiree M., (1983) Irrigation : les réseaux d'irrigation,. théorie, technique et économie des arrosages., in Ed. Eyrolles. paris.455p.1983.

OMS. (2006) La guerre de l'eau - The water conflict.

Pettyjohn. (1971) Economie de l'environnement.

Rodier J. (2005) L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8e édition. Ed. : DUNOD. 1382 pages.

Rodier J., Bazin C., Broutin J-P., Chomobon P et Rodil., (1996) L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, DUNOD, 8ème. Paris, 13-84p.

Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer, 9^{ème} édition. Dunod, Paris, France.

Rouessac F., Rouessac A. (2004) Analyse chimique : Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6^{ème} édition, Dunod, Paris, France.

SALHI H. (2016) Détermination de la piézométrie et la qualité des eaux de la nappe phréatique dans la zone urbaine (Cas de la commune d'El-Oued). Mémoire de Master, Université HAMMA LAKHDAR EL-Oued.

SEEE. (2007) Normes de qualité (eaux destinées à l'irrigation), 2p.

Tiercelin J-R. (1998) Traité d'irrigation. Lavoisier tec & doc, paris.1011p,

Références bibliographiques

UNESCO. (1972) Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Algérie-Tunisie (ERESS), Rapport sur les résultats du projet. Conclusion et recommandations, Projet REG.

Voisin A. R. (2004) Le Souf. Edition El-Walid, El-Oued, Algérie.

Walton W. C. (2011) Aquifer system response time and groundwater supply management. Ground Water, 49(2), 126–127.

ZINE Brahim (2009) : La remonté des eaux souterraines en surface mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas de Oued Souf). Mémoire de magister université El Hadj Lakhdar Batna.