



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



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Domaine: ST

Filière: Hydraulique

Spécialité: Hydraulique Urbaine

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Thème

**Apport du SIG à la spatialisation des indices de
qualité des eaux d'irrigation en milieu aride :**

Cas de la cuvette de Ouargla

Déposé le : 17/06/2021

Par

NESSIBI Oum Keltoum

Par le jury composé de :

Mr : Achour Mansour	Doctorant	Université de Ghardaïa	Evaluateur
Mr : Chouireb Mustafa	Doctorant	Université de Ghardaïa	Evaluateur
Mr : Boutelli Med Hichem	MCA	Université de Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Dédicaces

*Je dédie ce travail : Avant tout à mes chers parents, Qui m'ont soutenu
durant toutes mes années de formation.*

A toutes mes sœurs et mes frères.

A toute la famille NESSIBI.

A toute mes collègues d'hydraulique promo 2020/2021.

A tous mes amis sans exception.



NESSIBI Oum Keltoum

Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui a illuminé mon chemin et qui m'a donné la force, ainsi que la bonne volonté pour achever le cursus universitaire et ce modeste travail.

Je tiens en premier lieu à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur Monsieur BOUTELLI Mohammed Hichem pour leur aide, leur conseils instructifs et précieux, leur confiance, leur encouragements et qui ont bien voulu m'encadrer pour l'élaboration et le suivi de ce projet de fin d'étude

Je tiens ainsi à remercier le président et les membres de jury, qui me feront l'honneur d'examiner ce modeste travail

Je remercie le chef de filière Mr : MECHERI Bachir, et mes enseignants Mr : OULED Bellkheir Cheikh, Mr : ACHOUR Mansour, Mr : TAYEB Belmaiz, Mr : BOUBLI Salim, Mr : CHOUIREB Mustapha, Mme : AMIEUR Rekia et Mme : HAFSI Radia pour leurs conseils.

Je profite de l'occasion pour remercier tous mes enseignants de département de l'Hydraulique. Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail, et surtout mes collègues de l'ONA le directeur de l'unité Mr : CHAOUR EL-Mahfoud, Chef centre Mr : FERTAS Mokhtar et Chef STEP Mr : TADJER Maamar.



NESSIBI Oum Keltoum

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية المستخدمة في الري في منطقة ورقلة مع إنشاء خريطة مكانية لمختلف مؤشرات الجودة لهذه المياه. سيسمح هذا التوزيع المكاني بإنشاء نماذج لتصنيف هذه الموارد وفقاً لجودتها ومدى ملائمتها للري. لهذا ، قمنا بجمع التحليلات الفيزيائية والكيميائية لـ 42 بئراً من بئر مياه الري الموزعة على كامل أراضي المنطقة المدروسة ، و 27 بئراً تلتقط ميوبليوسين (المركب النهائي) و 15 بئراً من منسوب المياه الألبان (المركب القاري) . تم تطوير الخرائط الموضوعية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) لدراسة ومقارنة التوزيع المكاني لهذه المؤشرات.

في هذا العمل استخدمنا المؤشرات التالية (% الصوديوم ، % المغنيزيوم ، كيلبي ، امتصاص الصوديوم) ، تبين الدراسة النوعية للمياه المستخدمة لأغراض الري ، أن هذه الموارد مصنفة في فئتين مقبولتين ومتوسطتين للري. أظهر تحليل جودة المياه أنه وفقاً لمعدل الصوديوم (% Na) ، فإن 40% من الآبار ذات جودة متوسطة (مسموح بها للري) ، و 60% من الآبار ذات نوعية رديئة (غير صالحة للري). من مخطط ويلكوكس ، المياه المستخدمة في ولاية ورقلة رديئة الجودة تماماً. تمعدن مفرط للغاية ، يعبر عنه الموصلية الكهربائية ، لمياه الميوبليوسين ، يتراوح بين 2340 ميكروثنائياً / م و 6520 ميكروثنائياً / م ، ويتراوح معدل التمعدن الألبان بين 2330 ميكروثنائياً / م و 7550 ميكروثنائياً / م. هذه الموصلية تشكل خطراً كبيراً من تملح.

السحنات الأكثر انتشاراً في مياه الميوبليوسين هي كلوريد الصوديوم (% 87.26 من العينات) وبدرجة أقل ، سحنات ثانوية من كلوريد المغنيسيوم (% 21.74 من العينات) ، مع عدم وجود سحنة كبريتات المغنيسيوم. بالنسبة لمياه الري الألبان ، فإن السحنات الأكثر شيوعاً هي كبريتات الصوديوم وكلوريد الصوديوم ، حيث تمثل 42.85% من كل واحدة والثانية كبريتات المغنيسيوم.

الكلمات الرئيسية: المكانية؛ فهرس ؛ جودة؛ الري ، نظم المعلومات الجغرافية ؛ ورقلة.

Résumé

L'objectif de ce travail est l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines utilisées en irrigation dans la région de Ouargla avec l'établissement d'une cartographie spatiale des différents indices de qualité de ces eaux. Cette spatialisation permettra d'établir des modèles de classification de ces ressources selon leur qualité et leur aptitude à l'irrigation.

Pour cela, nous avons collecté les analyses physico-chimiques de 42 forages d'eau d'irrigation bien répartie sur la totalité de territoire de la région étudiée, 27 forages captent la nappe Miopliocène (CT) et 15 forages de la nappe albiennne (CI). Les cartes thématiques ont été élaborées à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) afin d'étudier et comparer la répartition spatiale de ces indices.

Dans ce travail nous avons utilisé les indices suivant (%Mg ; %Na ; KR ; SAR), l'étude qualitative de eaux utilisées à des fin d'irrigation, démontre que ces ressources, se classent dans deux catégories admissible et médiocre pour l'irrigation.

L'analyse de la qualité des eaux a montré que selon le taux de sodium (%Na), 40% des forages sont de moyenne qualité (admissible à l'irrigation), 60% des forages sont de qualité médiocre (inaptes pour l'irrigation). A partir de diagramme de Wilcox les eaux utilisées dans la wilaya de Ouargla sont totalement de mauvaises qualités. Une minéralisation très excessive, exprimée par la conductivité électrique, pour les eaux Miopliocènes, elle varie entre 2340 $\mu\text{S}/\text{m}$ et 6520 $\mu\text{S}/\text{m}$ et celles albiennes varie entre 2330 $\mu\text{S}/\text{m}$ et 7550 $\mu\text{S}/\text{m}$. cette conductivité présentent un grand danger salinisation.

Le faciès le plus dominant dans l'eau Miopliocène est chloruré sodique (87,26% des échantillons) et d'un degré moindre, un faciès secondaire chloruré magnésien (21,74% des échantillons), avec l'absence d'un faciès sulfaté magnésien. Pour l'eau d'irrigation albiennne le faciès les plus dominants sont le sulfaté sodique et le chloruré sodique, ils représentent 42,85% de chaque un et le seconde faciès le sulfaté magnésien.

Mots clés : Spatialisation ; Indice ; qualité ; Irrigation, SIG ; Ouargla.

Abstract

The objective of this work is to assess the physico-chemical quality of groundwater used for irrigation in the Ouargla region with the establishment of a spatial cartography of the various quality indices of these waters. This spatialization will make it possible to establish models for classifying these resources according to their quality and suitability for irrigation. For this, we collected the physicochemical analyzes of 42 boreholes of irrigation water well distributed over the entire territory of the region studied, 27 boreholes capture the Miopliocene (CT) and 15 boreholes from the albian (CI) water table.).

The thematic maps were developed using a geographic information system (GIS) to study and compare the spatial distribution of these indices. In this work we used the following indices (% Mg; % Na; KR; SAR), the qualitative study of water used for irrigation purposes, shows that these resources are classified in two categories admissible and mediocre for the 'irrigation.

The analysis of the water quality showed that according to the sodium rate (% Na), 40% of the boreholes are of average quality (admissible for irrigation), 60% of the boreholes are of poor quality (unsuitable for irrigation). From the Wilcox diagram, the water used in the wilaya of Ouargla is totally of poor quality. A very excessive mineralization, expressed by electrical conductivity, for miopliocene waters, it varies between 2340 $\mu\text{S} / \text{m}$ and 6520 $\mu\text{S} / \text{m}$ and albian ones varies between 2330 $\mu\text{S} / \text{m}$ and 7550 $\mu\text{S} / \text{m}$. this conductivity present a great danger of salinization.

The most dominant facies in Miopliocene water is sodium chloride (87.26% of samples) and to a lesser degree, a secondary magnesium chloride facies (21.74% of samples), with the absence of a facies sulfated magnesium. For albian irrigation water the most dominant facies are sodium sulphate and sodium chloride, they represent 42.85% of each one and the second facies is magnesium sulphate.

Keywords: Spatialization; Index ; quality; Irrigation, GIS; Ouargla.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	La classification de la conductivité électrique	06
02	La classification de Christiansen (1977)	09
03	Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation	10
04	Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972)	16
05	Rapport d'absorption du sodium (SAR)	18
06	Catégories de sol salés et sodique (d'après Back, 1968)	24
07	Barème de qualité pour l'eau d'irrigation	27
08	Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth,1997)	28
09	Evolution de la population entre 2008 et 2018	30
10	Répartition des sols selon la nature	31
11	Classification climatique selon l'indice d'aridité	40
12	Bilan hydrique de la cuvette de Ouargla (2003/ 2017) selon la méthode de THORNTWAITE	41
13	L'offre en produits agricoles dans la wilaya de Ouargla en 2014	52
14	Répartition des cultures dans la wilaya de Ouargla en 2014	53
15	Répartition du potentiel palmier dattier par commune en 2014	53
16	Nombre d'exploitations agricoles dans la wilaya de Ouargla	54
17	Répartition du cheptel animal par commune en 2014	55
18	Présentation des points de prélèvement selon les coordonnées	59
19	Valeurs du SAR selon Richards(1954)	70
20	Variations du CE pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	77
21	Variations du RS pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	77
22	Variations du pH pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	78
23	Variations du Ca^{+2} pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	78
24	Variations du Mg^{+2} pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	78
25	Variations du Na^{+} pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	79
26	Variations du K pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	80
27	Variations du Cl^{-} pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	80
28	Variations du So_4^{-2} pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	81
29	Variations du HCO_3^{-} pour les eaux d'irrigation Miopliocènes et albiennes	81
30	Variations du No_3^{-2} pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	81
31	Variations du SAR pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	81
32	Variations du pourcentage de Na pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	82
33	Variations du l'indice de IP pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	82
34	Variations du l'indice de KR pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	83
35	Variations du l'indice de Mg pour les eaux d'irrigation la nappe Miopliocène et Albienne	83

36	Qualité des eaux d'irrigation selon l'indice SAR	85
37	Qualité des eaux d'irrigation selon le couplement SAR et CE	86
38	Qualité des eaux d'irrigation selon l'indice de pourcentage de sodium Na	87
39	Qualité des eaux d'irrigation selon l'indice de rapport de Kelly KR	90
40	Qualité des eaux d'irrigation selon l'indice de pourcentage de Magnésium Mg	91

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive	06
02	Diagramme de classification des eaux d'irrigation	07
03	Diagramme de Piper	11
04	Diagramme de Schoelle berkloff	12
05	Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation	24
06	Carte de Situation géographique de la Wilaya de Ouargla	29
07	Carte d'occupation du sol (BG 2004)	31
08	Relief géologique de la région de Ouargla	33
09	Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla	33
10	Image satellitaire, bandes 4, 2, 1 sur MNT(Les hauteurs sont fortement exagérées)	34
11	Relief de la région de Ouargla Modèle numérique de terrain –MNT -	35
12	Variation de la précipitation dans la période 2006-2016	36
13	Variation de la précipitation dans la période 2006-2016	37
14	Variation de la pluvio-thermique dans la période 2006-2016	37
15	Variation de l'humidité relative dans la période 2006-2016	38
16	Variations de la vitesse du vent durant la période 2006-2016	39
17	Variations de l'évaporation pendant la période 2006-2016	39
18	Colonne stratigraphique de forage Albien J10-580 de Rouisset	42
19	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	43
20	Extension du système aquifère de Sahara septentrional	45
21	Schéma représentatif de la répartition verticale des eaux souterraine dans la région d'étude	46
22	Schéma de la fluctuation de la nappe phréatique	46
23	Les eaux souterraines de Sahara septentrional Source carte d'aquifère d'Algérie	47
24	Carte piézométrique de référence du "CT "	49
25	Fonctionnent d'un bassin versant au Nord du Sahara	51
26	Carte de répartition des forages au niveau de la zone d'étude	59
27	Photo du Spectrophotomètre DR 2500	64
28	Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY)	66
29	Les composants de SIG	70
30	Diagramme de Piper des eaux d'irrigation de la région de Ouargla	84

31	Spatialisation du SAR des eaux d'irrigation dans la région de Ouargla	85
32	Evolution de la conductivité par rapport au SAR selon log Wilox	86
33	Evolution de la conductivité au pourcentage de Na selon Riverside	88
34	Spatialisation du %Na pour les eaux d'irrigation dans la région de Ouargla	89
36	Spatialisation du KR des eaux d'irrigation dans la région de Ouargla	90
37	Spatialisation du % Mg des eaux d'irrigation dans la région de Ouargla	91

Liste des abréviations

CI : Complexe Intercalaire.

CT : Complexe Terminale.

DSA : Direction du service agricole.

LCE : Laboratoire Etude et Contrôle.

ADE : Algérienne des eaux.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrique.

CIID : Commission Internationale Des Irrigation Et Du Drainage.

USSL : United States Salinity Laboratory.

CES : La capacité d'échange cationique.

ESP : Le taux de Sodium échangeable.

TDS : Total des sels dissous.

O.N.M : Office National de la météorologie.

P : Précipitation.

T : Température.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

RFU : Réserve Facilement Utilisable.

DA : Déficit Agronomique.

EX : Excédent hydrique.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

SIG : Système d'information géographique.

ESRI : Environmental Systems Research Institute.

CE : Conductivité électrique.

us/cm : micro siemens par centimètre.

TH : Titre Hydrotimétrique.

TA : Titre Alcalimétrique.

RS : Résidus sec.

SAR : Rapport d'absorption du sodium.

KI : Indice de Kelly.

pH : Potentiel Hydrogène.

EDTA : Ethyle diamine tétra acétique.

$K_2Cr_2O_7$: Dichromate de potassium.

$AgNO_3$: Nitrate d'argent.

méq/l : milliéquivalent par litre.

NaCl: Chlorure de Sodium.

IP : Indice de Perméabilité.

Na % : Pourcentage de Sodium.

Mg % : Pourcentage de Magnésium.

Table des matières

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.....	03
I. 1.1. Généralités sur les eaux d'irrigation.....	03
I.1.1. L'irrigation.....	03
I.1.2. Les eaux de surface	04
I.1.2.1. Origine et définition	04
I.1.2.2. Types d'eau de surface.....	04
I.3. Les eaux souterraines.....	05
I.3.1. Origine et définition.....	05
I.3.1.1. Les nappes d'eau.....	05
I.4. Les eaux usées épurées.....	06
I.4.1. Origine et composition des eaux usées	06
I.4.1.1 Eaux usées domestiques	06
I.4.1.2. Eaux usées industrielles	07
I.4.1.3. Eaux pluviales.....	07
I.4.1.4. Eaux de drainage.....	08
I.4.1.5. Eaux usées issues des matières de vidanges.....	08
I.5. Classification des eaux d'irrigation.....	08
I.5.1. Classification de l'U.S.S.L (United States salinity laboratory).....	08
I.5.2. Classification de Christiansen (1977).....	09
I.5.3. La classification de Ayers et Westcot (1985)	10
I.5.4. Classification par des faciès chimique des eaux	11
I.5.4.1. Diagramme de piper.....	11
I.5.4.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff	12
I.6. Généralités sur logiciel SIG	13
I.6.1. Études d'impact en environnement.....	13
I.6.1. Études d'impact en environnement.....	14
I.7. Qualité de l'eau d'irrigation.....	15
I.7.1. Risque de la dureté	16
I.7.2. Risque de salinité.....	16
I.7.3 Risque d'alcalinité.....	17
I.7.4. Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates.....	18
I.7.5. Le pH.....	18
I.7.6. Risques liés aux éléments toxiques.....	19
I.7.7. Les nutriments	19
I.7.8. Les métaux lourds	19
I.7.9. Eléments en trace.....	20
I.8. Impact des eaux d'irrigation sur les plantes et la fertilité du sol.....	21

I.8.1. Impact sur le sol.....	21
I.8.2. Problème de salinité et sodicité des sols.....	22
I.8.3. La dégradation des sols par salinisations.....	23
I.8.4. La dégradation des sols par alcalinisation.....	24
I.8.5. Impact de perméabilité.....	25
I.8.6. Impact de toxicité	25
I.8.7. Effet de l'eau d'irrigation sur les plantes cultivées.....	26
I.9. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	26
I.10. Conclusion	28

Chapitre II : Contexte générale sur la zone d'étude

II.1. Présentation de la zone d'étude.....	29
II.1.1. Situation géographique.....	29
II.1.2. Aperçu socioéconomique	30
II. 1.2.1. Evolution de la population	30
II. 1.2.2. L'activité économique	30
II.2. Occupation des sols dans la cuvette	30
II.3. Relief	32
II.3.1 Géomorphologie	32
II.3. contexte climatique	36
II.3.1 Pluviométrie	36
II.3.2. Températures	36
II.3.3. Diagramme pluvio-thermique	37
II.3.4. Humidité de l'air	38
II.3.5. Vents	38
II.3.6. Evaporation	39
II.3.7 Indice d'aridité	40
II.3.8. Le bilan hydrique	40
II.4. Cadre géologique	41
II.5. Hydrogéologie général.....	43
II.6. Extension de système aquifère de Sahara septentrional	43
II.6.1. Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS)	43
II.6.2. Hydrologie.....	45
II.6.2.1. Les nappes du Complexe Terminal.....	46
II.6.2.2. La nappe du Continental Intercalaire	47
II.6.3. La nappe phréatique.....	48
II.6.3.1. Géométrie de la nappe superficielle (phréatique) dans la région d'Ouargla.....	48
II.6.3.2. Piézométrie de la nappe phréatique d'Ouargla	48
II.6.4. Cycle et bilan de l'eau dans un site saharien	50
II.6.5. Texture et structure	51
II.6.5.1. Propriétés chimiques des sols	51
II.7. L'agriculture dans la région de Ouargla.....	52
II.7.1. Le foncier agricole	54
II.7.2. L'élevage dans la région de Ouargla	54

II.8. Conclusion.....	56
-----------------------	----

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III. Introduction	58
III.1. Méthodes d'études.....	58
III.1.1. Prélèvements	58
III.1.2. Echantillonnage d'eau	60
III.1.3. Paramètres physiques et chimiques	60
III.2. Présentation des méthodes d'analyses des eaux.....	60
III.2.1. Matérielles utilisés au niveau de laboratoire	60
III.2.2. Mesures sur terrain.....	61
III.2.2.1. Le pH	61
III.2.2.2 Conductivité électrique	62
III.2.2.3. Résidu sec	62
III.2.2.4. Dosage des anions.....	63
III.2.2.5. Dosage des cations	65
III.2.2.6. Indice de qualité.....	68
III.3. Logiciel du SIG et leur domaine d'application.....	70
III.3.1. Composantes d'un SIG	72
III.3.2. Exploitation des Systèmes d'Information Géographique (SIG)	73
III.3.2.1. Définition.....	73
III.3.2.2. Concepts d'un SIG	73
III.4. Présentation d'ArcGIS.....	74
III.5. Cartographie des données.....	75
III.5.1. les techniques terrestres.....	75
III.5.2. Les techniques aériennes.....	75
III.5.3. Les techniques satellitaires.....	75
III.5.4. Radio positionnement par satellites (GPS).....	75
III.6. Conclusion.....	76

Chapitre IV : Résultat et discussions

IV.1. Donnée collectés et résultats d'analyses et du calcul.....	77
IV.1.1. Introduction.....	77
IV.1.2. Résultats de mesures et d'analyses	77
IV.1.2.1. Conductivité (CE)	77
IV.1.2.2. Résidus Sec (RS) à 105 °C	77
IV.1.2.3. Potentiel d'Hydrogène (pH)	78
IV.1.2.4. Electrolytes minéraux	78
IV.1.3. Résultats de calculs des indices de qualité.....	82
IV.1.3.1. Taux d'Absorption du Sodium (SAR)	82
IV.1.3.2. Pourcentage en sodium (%Na)	82

IV.1.3.3.Indice de perméabilité (IP)	82
IV.1.3.4.Rapport de Kelly (KR).....	83
IV.1.3.5.Pourcentage de magnésium (%Mg).....	83
IV.2.Discussion des résultats et étude de la qualité spatiale.....	83
IV.2.1. Discussion des résultats et des données.....	83
IV.2.2. Etude de la qualité de l'eau pour l'irrigation.....	84
IV.3. Conclusion.....	92
Conclusion générale.....	93

Introduction générale

L'Algérie est considérée comme un pays aride durant les trois dernières décennies, le pays est confronté aux problèmes des ressources en eau mobilisables qui ne se posent pas uniquement en termes de quantité disponible, mais aussi en termes de qualité.

Dans le sud algérien et notamment dans la région du Ouargla, la qualité de ces eaux est Sallé, le déficit hydrique climatique est tel que le recours à l'irrigation est une nécessité vitale pour la production agricole.

Cependant, la réussite de toute mise en valeur agricole dépendra donc de l'emploi rationnel et du contrôle périodique des ressources en eau disponibles. Les eaux souterraines sont les seules ressources permettant de faire face aux besoins de l'irrigation et des différents usages domestiques d'où la nécessité de bien étudier la qualité de ces eaux et de les protéger contre tout risque de salinisation.

A cet effet, nous disposons des échantillons prélevés de la nappe souterraine Moi-pliocène et Albienne qui sont utilisées à l'irrigation au niveau de la région de Ouargla . Les mesures physico-chimiques (température, conductivité électrique et pH) sont effectuées sur terrain, alors que les indices de qualité des éléments chimiques sont déterminés au niveau du laboratoire.

Le présent travail sera réalisé à la base de l'utilisation des données collectées relatives aux analyses physico-chimiques des eaux Moi-pliocènes et albienne qui sont utilisées en irrigation au niveau de la région de Ouargla.

Les principaux objectifs fixés dans le cadre de ce travail de recherche est :

1. D'utiliser ces données à l'étude géochimique par l'utilisation des rapports ioniques caractéristiques, afin d'aboutir à une approche globale des processus d'acquisition de la minéralisation.
2. D'étudier et spatialiser la qualité physicochimique des eaux de ces systèmes aquifères et apprécier leur aptitude à l'irrigation, et par conséquent, leur impact sur l'environnement.

Dans le premier chapitre, on à présenter une synthèse bibliographique que nous avons réalisée, relative aux différentes ressources en eau d'irrigation ; méthodes d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation et leurs classification ; impacts de ces eau sur l'environnement.

Introduction générale

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le cadre général de notre région d'étude. Ce chapitre permet également l'intégration des données qui concernent la région de Ouargla, relatives à : le cadre naturel, les données climatiques, l'hydrologie et l'hydrogéologie, le contexte pédologique et enfin la situation de secteur agricole dans la région.

Le troisième chapitre on va essayer de faire une présentation sur le matériel utilisé les prélèvements des échantillons. Ce chapitre donne aussi un aperçu sur les techniques de mesures et d'analyses de nos échantillons.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats et discussions obtenus sous forme de cartographie pour chaque nappe utilisée en irrigation.

Et à la fin on a complété par une conclusion générale qui intègre l'essentiel des résultats obtenus et on a donné quelques recommandations.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I. Introduction

L'agriculture est de loin, l'industrie ayant la plus grande consommation d'eau. L'irrigation des régions agricoles représente 70% de l'eau utilisée dans le monde entier.

Dans plusieurs pays en voie de développement, l'irrigation représente jusqu'à 95% de toutes les utilisations d'eau, et joue un rôle important dans la production de nourriture et la sécurité alimentaire. Les futures stratégies de développement agricole de la plupart de ces pays dépendent de la possibilité de maintenir, d'améliorer et d'étendre l'agriculture irriguée.

D'autre part, il existe une pression croissante sur les ressources en eau, amplifiée par la concurrence des autres secteurs utilisateurs d'eau et par le respect de l'environnement.

L'eau est une ressource qui peut créer des tensions entre différents pays se partageant les mêmes sources d'eau. L'agriculture irriguée peut entraîner une grande concurrence, puisqu'elle représente de 70 à 90% de l'utilisation d'eau dans certaines régions.

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

I. 1. Généralités sur les eaux d'irrigation

I.1.1. L'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de 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 .

L'eau d'irrigation, qu'elle que soit son origine superficielle ou souterraine, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui peuvent affecter les sols et les cultures suivant leur concentration, il est important alors d'adopter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause .

La composition chimique d'une eau d'irrigation doit donc être examinée en fonction de son impact sur la terre et les plantes [01].

I.1.2. Les eaux de surface

I.1.2.1. Origine et définition : Les eaux de surface proviennent surtout des pluies, et sont constituées d'un mélange d'eau de ruissellement et d'eau souterraines, l'eau de pluie qui ne pénètre pas le sol reste à sa surface, elle peut donc s'écouler et former les cours d'eau ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement se qui forme les lacs, les mares, et les étangs [01].

I.1.2.2. Types d'eau de surface

a- Eaux courantes : Les eaux courantes sont les eaux qui subissent constamment un écoulement, de l'amont vers l'aval. Le cours d'eau dévale des pentes jusqu'à terminer sa course dans la mer et l'océan. La proportion d'eau de ruissellement dépend de nombreux facteurs, dont les plus importants sont la durée et l'intensité des pluies, le climat et la végétation, les conditions géologiques topographiques et géologiques de la région considérée. Elle varie longuement, d'environ 20% dans les régions arides et sableuses où les pluies sont rares et à plus de 50% dans les régions rocheuses où la pluviométrie est forte [01].

b- Eaux stagnantes : Les eaux stagnantes apparaissent quand il y a une entrave à l'écoulement avec un obstacle naturel ou artificiel. Plusieurs types d'eaux stagnantes se distinguent [01] :

➤ **Les lacs :** Ce sont des volumes d'eau libre superficiel remplissant une dépression naturelle ou artificielle, sans connexion directe avec les océans et dans lequel le déplacement de l'eau n'est pas unidimensionnel, l'accumulation d'eau douce ou salées dans la cuvette lacustre résulte de la contre pente qui retient l'eau, cette rétention est due soit à un creux de l'écorce terrestre, soit à un barrage naturel ou artificiel [01].

* **Les plans d'eau artificiels :** Réalisés par l'homme, leur profondeur est beaucoup plus faible que pour un lac et peut s'élever au maximum à plusieurs dizaines de mètres, Ces plans d'eau artificiels comprennent deux milieux [01] :

- Les étangs sont des étendues plus petites que les lacs, souvent créés dans le but de faire de l'élevage de poisson (pisciculture) [01].

- Les retenues d'eau consistent à collecter de l'eau en montagne ou dans les vallées. Ces retenues ont plusieurs vocations. Elles peuvent servir à la production d'électricité (barrage hydroélectrique), à l'augmentation du débit des cours d'eau lorsqu'il devient faible (soutien d'étiage), à la rétention des crues ou des eaux pluviales, à l'irrigation, à l'approvisionnement en eau potable ou encore aux loisirs.

➤ **Les marais :** Correspondent à un affleurement d'une nappe d'eau peu profonde sur un terrain fortement végétalisé. Une forte quantité de sédiments, c'est-à-dire de dépôts laissés par l'eau, s'est accumulée au fond [01].

I.3. Les eaux souterraines

I.3.1. Origine et définition : L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle provient principalement de l'infiltration des eaux superficielles ; accessoirement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques ou dans les pores du sol [02].

Des hypothèses font intervenir aussi la condensation des gaz émis par le magma, l'infiltration des eaux marines, la diagénèse ou transformation des roches meubles en roches compactes par expulsion de l'eau. Les eaux résiduelles se sont accumulées dans d'anciens bassins au cours d'ères géologiques révolues [02].

Elles formeraient les eaux profondes. Les eaux résiduelles peuvent exister dans les espaces entre les particules libres de la terre et les roches, ou dans les fissures et les crevasses des roches [02].

Les différents types de roches et de terre peuvent contenir différents montants d'eau. La zone de saturation est la partie de la terre et des roches qui est saturée avec de l'eau. Le haut de cette zone saturée est appelé la nappe phréatique [02].

I.3.1.1. Les nappes d'eau : Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non [02].

a- Les nappes d'eau libres : Elles sont situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables [02].

b- Les nappes d'eau captives : Elles sont situées entre deux couches imperméables leur niveau ne peut monter, l'eau ne pouvant s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres.

Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et plus, et si leur pente est forte, l'eau y est sous pression. La pression est même parfois suffisante pour que le creusement d'un puits permette à l'eau de jaillir en surface : une telle nappe est alors dite artésienne [02].

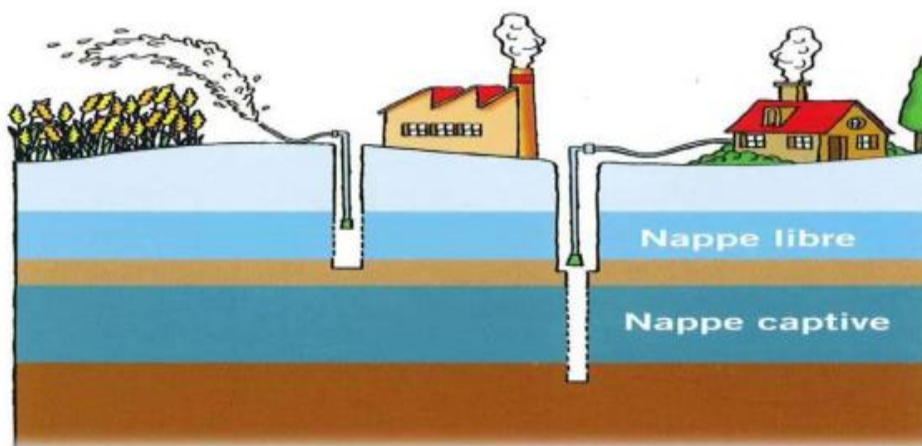


Figure N° 01. Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive [02]

I.4. Les eaux usées épurées

I.4.1. Origine et composition des eaux usées : On distingue plusieurs grandes catégories des eaux usées [03] :

I.4.1.1 Eaux usées domestiques : Sont issues des habitations, elles comprennent :

- Les eaux ménagère ou eaux grise d'évacuation des cuisines et salle de bain. Elles sont polluées par des détergents, les lessives et les graisses, les eaux de vaisselle.
- Les eaux de vanne d'évacuation des toilettes.
- Les déchets présentés dans ces eaux souillées sont constitués de matière organique dégradables et de matières minérales. ces substances sont sous forme dissoute et en suspension [03].

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable et dépend de trois facteurs :

- 1- La composition originelle de l'eau potable, de la qualité de traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature de canalisation...etc.
- 2- Les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi-infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peinture, mercure de thermomètre, colle...etc.
- 3- Le rejet de la matière organique dans les égouts (urines et fèces) ; sachant que la matière organique est le polluant majoritaire des eaux domestiques [03].

I.4.1.2. Eaux usées industrielles

Ces rejets résultent des usines : laiteries, industries de textile, commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. Les rejets industriels peuvent suivre trois voies d'assainissement :

- Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.
- Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel [03].

I.4.1.3. Eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent être fortement polluées en particulier en début de pluie du fait du lessivage des fumées dans l'atmosphère des lavages des chaussées grasses et des toitures chargées de poussière, du lessivage des zones agricoles traitées (écoulement de purin, épandage d'engrais et de désherbants) et des zones de terrassements (écoulement de boues).

Les polluants présents dans ces eaux peuvent être des matières organiques biodégradables ou non, des matières en suspension ou dissoute, des toxiques [03].

I.4.1.4. Eaux de drainage

Drainées issues des élevages, elles sont polluées notamment par les déjections des animaux et les eaux excédentaires des champs agricoles ; elles sont généralement riches en sels [03].

I.4.1.5. Eaux usées issues des matières de vidanges

Les matières de vidanges correspondent aux matières extraites de l'entretien des systèmes épuratoires individuels, Elles constituent un concentré de pollution domestique, leur évacuation et collecte font partie intégrante de l'assainissement [03].

I.5. Classification des eaux d'irrigation

I.5.1. Classification de l'U.S.S.L (United States salinity laboratory)

Cette classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation proposée par le laboratoire de Riverside (RICHARD 1954), elle est basée sur : Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux destinés à l'irrigation. C'est-à-dire :

- La conductivité électrique CE exprimée généralement en (us/cm) ou (ms/cm).
- Le SAR Coefficient d'absorption du sodium [04].

Tableau N° 01. La classification de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique en u mhos/ cm	Définition
C1	< 250	Eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour la plupart des cultures sur la plus part des sols
C2	250-750	Eau de salinité moyenne. Elle peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré.
C3	750-2250	Eau à forte salinité. Elle ne peut pas être utilisée sur des sols facilement drainés. Même lorsque le drainage est suffisant.
C4	2250-5000	Eau à très forte salinité. Elle ne convient pas à l'irrigation dans des conditions ordinaires.

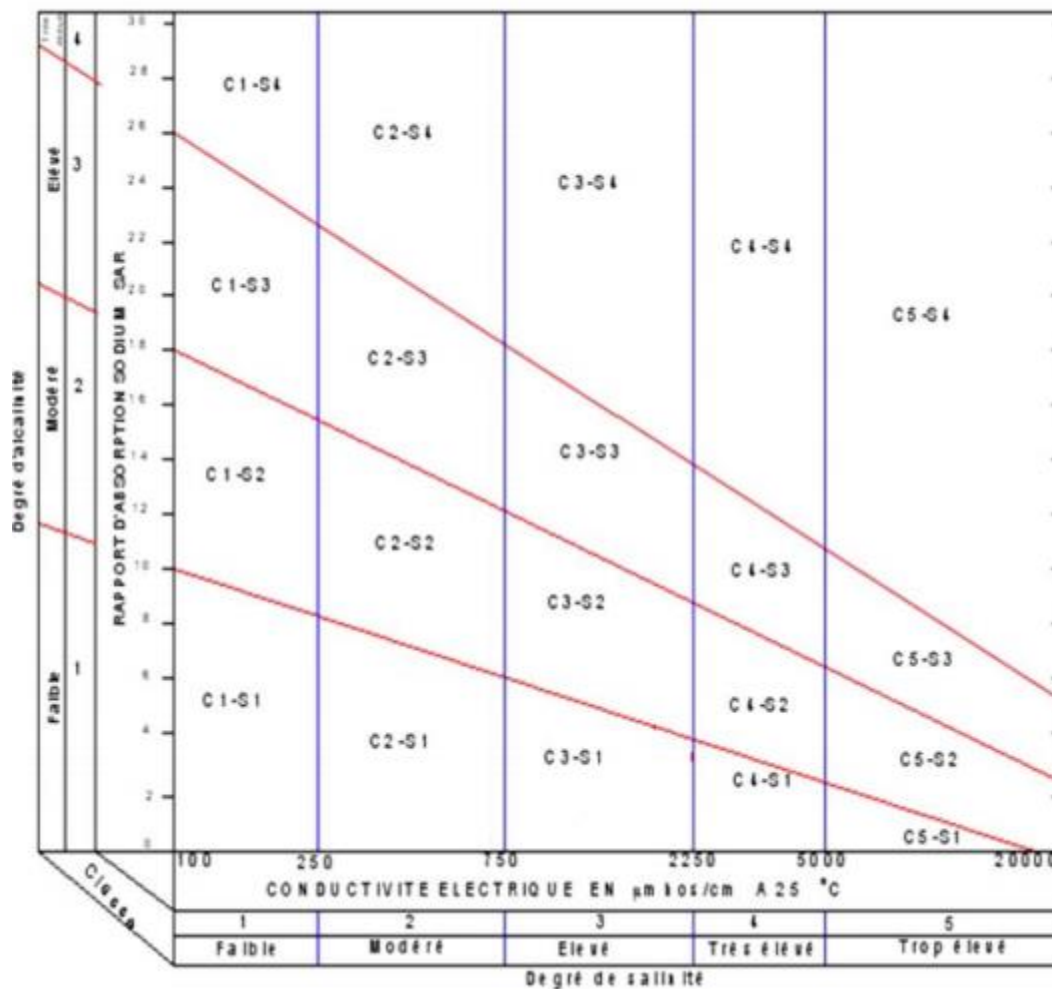


Figure N° 02. Diagramme de classification des eaux d’irrigation (D’après United states salinity laboratory, U.S.S.L établie 1954)

I.5.2. Classification de Christiansen (1977)

C'est une classification fondée sur sept critères : la conductivité électrique, le pourcentage en Na, le SAR, la teneur en Na_2CO_3 , la teneur en Cl, la salinité effective (ES), la teneur en Bore [05].

Tableau N° 02. Classification de Christiansen. (1977)

Classe	CE en mmhos/cm	Na en %	SAR	Na_2CO_3 en méq/l	Cl en méq/l	ES en méq/l	Bore en ppm
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0

3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	24	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6	Valeur supérieures aux limites de 5						

D'autres classifications peuvent être citées celles de Ayers (1977), Rijtima (1981). Les études réalisées par Durand (1958) sur la qualité des eaux en Algérie montrent que : -5% des eaux en classe C1, 28% des eaux en classe C2, 28% des eaux en classe C3, 21% au delà de 6 mmhos/cm [06].

I.5.3. La classification de Ayers et Westcot (1985)

Le tableau suivant donne la classification proposée par un groupe de chercheurs américains de l'université de Californie [07].

Tableau N° 03. Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC _w	ds/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
ou				
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltration				
SAR = 0 – 3 et EC =	ds/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 – 6 =		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
= 6 – 12 =		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
= 12 – 20 =		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
= 20 – 40 =		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9

Toxicité Spécifiquement des ions				
Sodium (Na)	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation de surface	méq /l	< 3	> 3	
Irrigation par aspersion				
Chlorure (Cl)	méq /l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation de surface	méq /l	< 3	> 3	
Irrigation par aspersion	méq /l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 0.3
Bore (B)				
Effet divers				
Azote (NO ₃ - N) ³	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	méq /l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Gamme normale 6.5 - 8.4		

Source FAO 1985

I.5.4. Classification par des faciès chimique des eaux

I.5.4.1. Diagramme de piper : Le diagramme de piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines, il permet également de voir l'évolution de l'eau passant d'un faciès à un autre grâce à des analyses d'échantillon pris à des endroits différents [08].

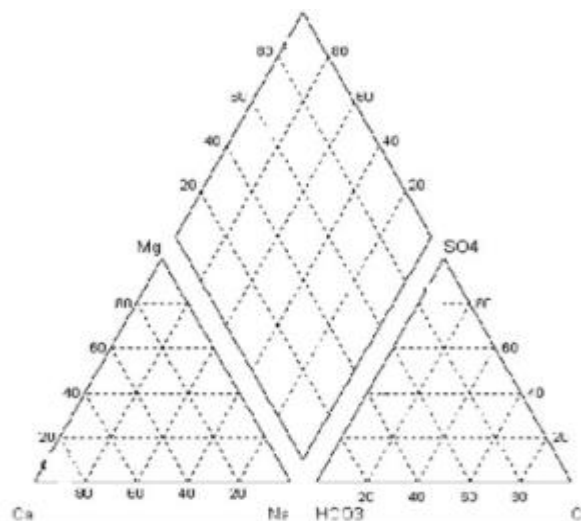


Figure N° 03. Diagramme de Piper

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global. Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons [08].

I.5.4.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne brisée.

La ligne est formée en reliant tous les points figurant le différent élément chimiques. Une classe de minéralité variable mais dont la proportion sont les mêmes pour l'élément dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence [09].

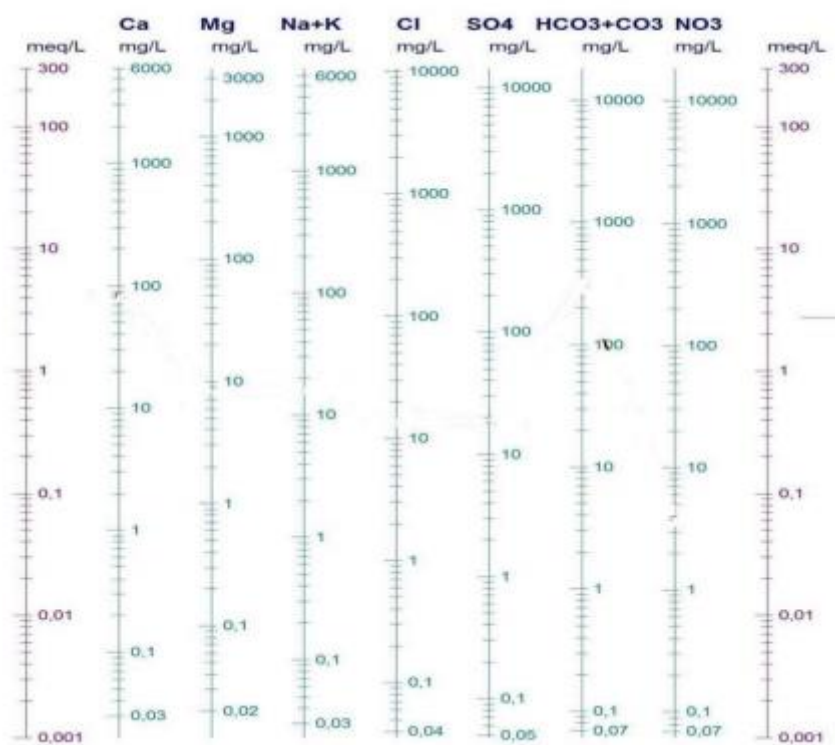


Figure N° 04 . Diagramme de Schoelle berkalloff

Ces types de classification et d'autres sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée.

La qualité d'une eau d'irrigation doit être évaluée en fonction des conditions spécifiques dans les quelles elle est utilisée c'est-à-dire la nature des cultures, le type de sol, les modes d'irrigations, les pratiques culturales et les conditions climatiques. En raison de toutes ces réserves les classifications existantes doivent être utilisées comme indicateurs et être vérifiées en fonction des conditions locales d'utilisation.

I.6. Généralités sur logiciel SIG

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) jouent un rôle prépondérant. En effet, des leur apparition au début des années 1970, les SIG sont devenus parmi les meilleurs outils utilisés pour l'inventaire, la planification et la gestion des ressources naturelles grâce à leurs capacités de cartographie numérique et de suivi des phénomènes naturels.

Il y a quelques années la mise en place de SIG paraissait réservée aux grandes structures. Aujourd'hui les progrès informatiques et les possibilités offertes en matière de gestion et d'analyse, conduisent à la généralisation de l'outil à tous les échelons du territoire.

La combinaison et la superposition données climatiques, géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques sont devenues nécessaires pour faire le point de l'évolution des systèmes aquifères dans le temps et dans l'espace ainsi que l'analyse des répercussions de l'exploitation sur les ressources hydrogéologiques des nappes d'eau [10].

I.6.1. Études d'impact en environnement

Une étude d'impact en environnement est un instrument de planification et de recherche qui prend en considération l'ensemble des facteurs environnementaux, d'un point de vue physique, biologique et humain. L'étude d'impact considère également les intérêts des différents partis en vue d'éclairer les prises de décision pour une gestion durable de l'environnement.

Une étude d'impact est composée de 6 grandes étapes :

1. La mise en contexte du projet.
2. La description du milieu naturel.
3. La description détaillée du projet.
4. L'analyse des impacts.
5. La gestion des risques d'accidents.
6. La surveillance et le suivi environnemental.

La multitude de variables analysées peut rendre la compréhension difficile. Les SIG sont donc des outils efficaces afin de synthétiser l'information et faciliter la compréhension globale de l'étude. Les SIG sont particulièrement efficaces pour illustrer les étapes descriptives (étapes 2 et 3) et l'analyse des impacts (étape 4).

Par exemple, les SIG peuvent être utilisés pour le recensement des espèces dans un milieu donné, ainsi que pour localiser l'ensemble des sites potentiels de construction d'un projet. En superposant ces deux variables à l'aide des SIG, il est alors beaucoup plus facile d'avoir une vue d'ensemble des impacts d'un projet de construction sur le milieu naturel [10].

I.6.2. Application des SIG en agriculture

Le domaine agricole subit sans cesse des modernisations permettant une meilleure gestion et de meilleurs rendements. L'informatisation a été un grand pas en avant, qui plus est avec le développement des Systèmes d'Information Géographique (SIG). En Europe par exemple, la PAC (Politique Agricole Commune) a exigé des États membres de l'Union européenne qu'ils utilisent les outils SIG pour le recensement de leurs parcelles agricoles⁷ (règlement n° 1593/2000, article 48).

L'objectif était de mettre à jour les registres européens au plus tard en 2005 et seuls les SIG permettaient une telle opération. Le registre parcellaire graphique est maintenant mis à disposition sous forme anonyme [11].

Les données agricoles destinées aux bases pour les SIG peuvent provenir :

- Des GPS (Global Positioning System)
- Des images satellites.

- Des photographies aériennes.
- Des cartographies existantes.
- Des données recueillies sur le terrain (observées par l'exploitant par exemple) [11] .

I.7. Qualité de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau et sa composition sont des facteurs qui ne peuvent certainement pas être sous-estimés; en fait, ils affectent le développement de la plante, la structure du sol et le système d'irrigation lui-même.

La qualité de l'eau d'irrigation se rapporte principalement à la composition physico-chimique de l'eau, ou plus précisément à la composition minérale de l'eau et à la présence de substances solides ou organiques dans l'eau.

Les propriétés chimiques et physiques (turbidité, présence d'algues, etc.) déterminent l'aptitude de l'eau à être utilisée pour l'irrigation.

Les critères de qualité pour l'eau d'irrigation sont complètement différents des critères pour l'eau potable ; en outre, les critères de qualité peuvent varier d'une culture à l'autre, car différentes cultures ont une sensibilité différente à certains minéraux ou à certaines propriétés de l'eau. Une analyse chimique en laboratoire est nécessaire pour observer les caractéristiques de l'eau.

Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

- Risque de la dureté.
- pH.
- Risque de Salinité.
- Risque de Sodium (Rapport d'Adsorption du Sodium ou SAR).
- Carbonate et bicarbonates en relation avec les teneurs en Ca et Mg.
- Autres traces d'éléments.
- Anions toxiques.
- Aliments.
- Chlore libre.

I.7.1. Risque de la dureté

La dureté de l'eau est essentiellement la somme des concentrations de calcium et de magnésium dans l'eau, exprimée en ppm (parties par million) de CaCO₃. Le calcium et le magnésium sont tous deux des nutriments essentiels pour les plantes et une concentration adéquate de ceux-ci dans l'eau est bénéfique.

Cependant, lorsque la dureté de l'eau est trop élevée, des précipitations de sels de calcium et de magnésium peuvent se produire dans le système d'irrigation. (Une dureté trop faible pourrait provoquer la corrosion du système d'irrigation).

Tableau N° 04 . Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972)

TH (F°)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32- 54	54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Asse douce	Dure	Très dure

I.7.2. Risque de salinité

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs :

- la tolérance en sel de la culture.
- les caractéristiques du sol sous l'irrigation.
- les conditions climatiques, la qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.
- les procédures de gestion des sols et de l'eau.

La concentration en sel est donnée par le TDS (qualité totale de matière dissoute) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m³), elle est mesurée directement par l'appareil de mesure de la conductivité au laboratoire, Plus la teneur en matière dissoute totale est élevée, plus le taux de salinité de l'eau est fort.

Cette teneur notée TDS (mg/L) se calcule de la façon suivante :

$$\text{TDS} = 640 * \text{Conductivité (ms/cm)} \quad (01)$$

I.7.3 Risque d'alcalinité

(Excès en sodium) Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présente dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles et cause la dispersion des particules dans le sol.

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol.

Par exemple : les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR.

Qu'est ce que c'est le SAR ?

L'indice est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{+2} + Mg^{2+}}/2} \quad (02)$$

Avec :

Na⁺ : C'est la concentration de sodium en méq/l.

Ca⁺ : C'est la concentration de calcium en méq/l.

Mg⁺ : C'est la concentration de magnésium en méq/l.

Tableau N° 05. Rapport d'absorption du sodium (SAR)

Classe	SAR	Définition
S ₁	SAR < 10	L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
S ₂	10 < SAR < 18	L'eau contenant une quantité moyenne de sodium peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine. Ces eaux utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
S ₃	18 < SAR < 26	Les eaux contenant une quantité élevée de sodium peuvent présenter quelques difficultés dans la plus part des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matière organiques. S'il n'y a pas de gypse, il faut en ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.
S ₄	SAR > 26	Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage du gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

I.7.4. Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates

Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO₃) ou carbonate de magnésium (MgCO₃) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important.

I.7.5. Le pH

Le pH de l'eau influence la solubilité des sels minéraux. Les minéraux non dissous ne sont pas disponibles pour les plantes, car celles-ci ne peuvent absorber les minéraux d'une solution aqueuse, sous forme d'ions, que directement à partir de l'eau ou de la solution du sol. La plupart des nutriments sont disponibles à un pH compris entre 5,5 et 6,5.

En raison de son volume infini, il est très difficile d'influencer le pH du sol en contrôlant le pH de l'eau d'irrigation. Il est donc important d'ajuster le pH de l'eau dans les cas suivants:

- Pour éviter le colmatage des émetteurs (par exemple dans l'irrigation au goutte-à-goutte) en raison des précipitations minérales. Par exemple, le carbonate de calcium ;
- Dans les cultures hydroponiques et les sols sans sol, où le pH de l'eau d'irrigation influence directement la disponibilité des nutriments.
- Lorsque le sol est fréquemment irrigué. Dans ce cas, le pH de l'eau peut affecter l'absorption des nutriments.

I.7.6. Risques liés aux éléments toxiques

Les éléments toxiques les plus réputés sont :

- Bore (B).
- Chlorure(Cl).
- Sodium(Na).

Le sodium et le chlorure sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures.

Le bore peut être toxique à très faible concentration.une concentration en bore inférieure a 1mg/l est essentielle pour le développement des plantes, mais des niveaux plus élevés peuvent poser des problèmes pour les plantes sensible.

I.7.7. Les nutriments

Ce sont des substances nécessaires pour le métabolisme et la photosynthèse des plantes comprenant les macronutriments (N,P, Ca ,Mg) et les oligo-éléments (Fe, Mn, B, Cu, Mo, Zn et Si) .

I.7.8. Les métaux lourds

Les éléments traces sont, en général immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, a terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux.

Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont {cadmium (Cd), cuivre(Cu), Molybdène (Ni) et zinc (Zn)}.

Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques. Au contraire, le molybdène et surtout, le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité.

I.7.9. Eléments en trace

➤ **Fer**

Très répandu, le fer se classe au 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelque mg/l de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l [12]

➤ **Nitrite**

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique [12].

➤ **Manganèse**

Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la brunite. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries [12].

➤ **Arsenic**

L'arsenic est assez largement réparti dans la biosphère : les roches ignées en contiennent de 1 à 10 mg/kg. Les phosphates naturels 20 mg/kg les charbons 45 mg/kg et les pyrites 5 à 6 g/kg.

IL se présente principalement sous forme du sulfure [12].

➤ **Zinc**

Le zinc se trouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minéral le plus répandu est le sulfure de zinc qui contient également du fer, du calcium, du manganèse et de l'arsenic. Les teneurs en zinc plus importantes dans les eaux à pH faible [12].

➤ **Argent**

L'argent est présent dans de nombreuses minérales, le plus souvent sous forme de sulfure, c'est un sous-produit de l'extraction du cuivre, du plomb et du zinc [12].

➤ **Aluminium**

La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium (coagulant). Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer.

D'après l'OMS, la présence d'aluminium à des concentrations supérieures à 0.2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et d'une coloration de l'eau par le fer.

➤ **Sulfure d'hydrogène**

L'hydrogène sulfuré est un toxique majeur par inhalation. Dans les eaux, la présence de ce gaz et de sulfures est susceptible de provenir soit d'eau usée, soit de pollutions industrielles [12].

➤ **Le cuivre**

Le cuivre se présente dans la nature sous forme de minérale de cuivre natif. De minerais oxydés ou sulfurés, à l'air, il se recouvre d'une mince couche de carbonate basique [12].

➤ **Le fluor**

Le fluor dans les eaux souterraines est l'apatite présente dans les bassins phosphatés, et la fluorine présente dans les roches magmatiques alcalines et dans des filons. Les zones de thermalisme sont également fréquemment concernées.

C'est essentiellement le temps de contact entre roche et eau souterraine, ainsi que les contrôles chimiques qui sont la cause principale des concentrations élevées en iode.

Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires. Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2mg/l.

I.8. Impact des eaux d'irrigation sur les plantes et la fertilité du sol

I.8.1. Impact sur le sol

Le développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres en zones arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été réalisés.

Les agriculteurs dans les plaines qui sont connues par leur climat aride et semi-aride très sévère et caractérisé par une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse pas d'augmenter (Douaoui, 2005) [13] utilisent comme sources d'irrigation : les eaux souterraines, les eaux des barrages ou épurées. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation ne sera pas sans conséquences sur la qualité des sols et le rendement des réseaux d'irrigation.

I.8.2. Problème de salinité et sodicité des sols

La salinité et la sodicité des sols sont identifiées et qualifiées à partir de la composition ionique de la solution du sol. Certains sols, les sols salés et sol sodique, possèdent en effet une phase liquide très riche en sels dissous qui leur confère des propriétés souvent défavorables, en particulier à l'égard du sol et des plantes qui y vivent [14].

Les sources des sels sont variables:

- *Le matériau géologique*, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roche volcanique, des produits l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporites, qui sont des accumulations saline ancienne).
- *L'eau de mer*, est bien entendu une source principale de sel en milieu côtier.
- *Une nappe phréatique*, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut

Contaminer le sol par ascension capillaire.

- *L'eau d'irrigation*, on parle alors de la salinisation anthropique.

La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à la salinisation des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides.

- *La salinisation primaire*, liée à une présence naturelle relativement élevée de sels (à proximité des mers ou des océans, présence de dépôts de sels...).

- *La salinisation secondaire*, dont le développement est étroitement lié à l'irrigation, la salinisation secondaire est un processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux qui s'auto-entretient lorsque les eaux de drainage ou de nappe phréatique sont recyclées [15].

L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent.

Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation.

Les ions les plus fréquemment présents dans la solution des sols salés sont : les cations, sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{+2}), magnésium (Mg^{+2}) et les anions carbonates (CO_3^{-2}), sulfates (SO_4^{-2}) et les chlorures (Cl^-).

La présence de ces ions se manifeste surtout sous les climats où la demande évaporative est grande conduisant à des concentrations d'ions souvent très élevées (Todd, 1980).

I.8.3. La dégradation des sols par salinisations

La salinisation est l'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent. Elle a pour principales conséquences :

- L'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol empêche la pénétration de l'eau dans la plante, provoque une plasmolyse des cellules, parfois irréversible et qui peut aboutir à la mort du végétal. Certaines plantes sont adaptées à ces concentrations, ce sont les plantes halophytes, mais les plantes cultivées ne le sont pas.
- Une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont : chlorure, sodium, bore, qui s'accumulent dans les feuilles et peuvent provoquer des dommages métaboliques.
- Diminution de l'activité microbienne du sol, la nitrification et la production de CO_2 . Les produits organiques formés changent.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de salinité, et lorsque il domine adsorbé à l'argile on parle de sodicité [16].

I.8.4. La dégradation des sols par alcalinisation

Les sols alcalins, caractérisés par un pH élevé, souvent au dessus de 9 et une forte proportion de sodium sur le complexe d'échange (supérieure à 15% aux sols salés), deux points les distinguent des sols salés. Ce sont :

- La composition chimique de la solution du sol à nette prédominance bicarbonaté sodique .
- Une dégradation des propriétés physiques des sols, les cations sodium tendent à provoquer la des structure en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux.

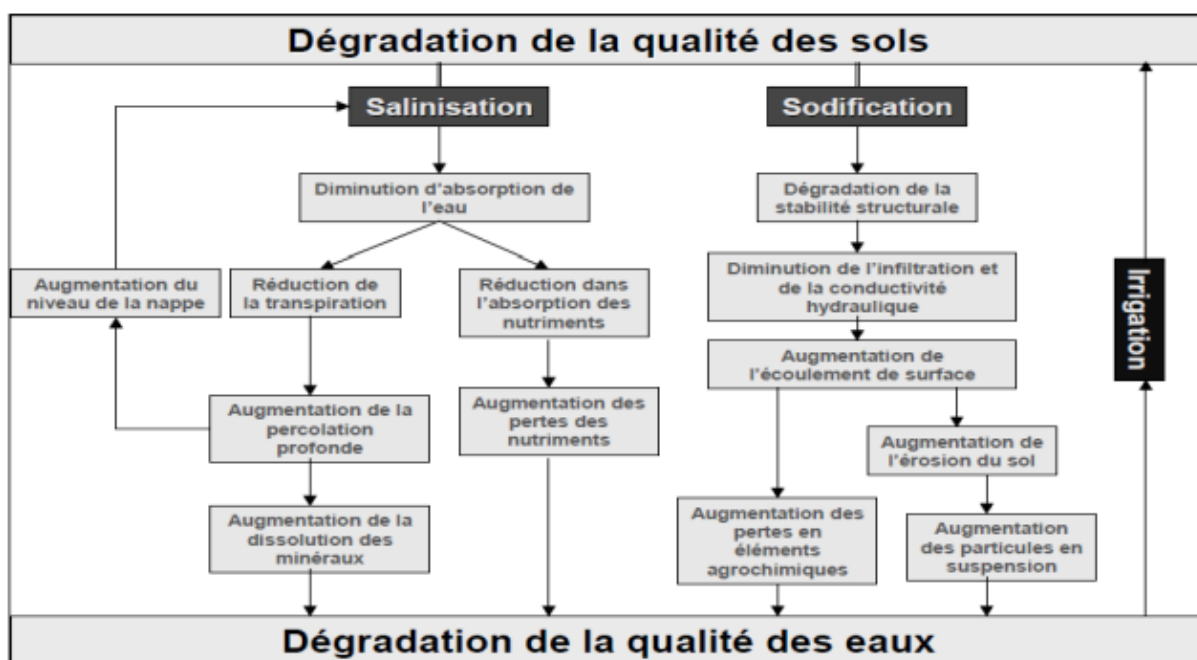


Figure N°5. Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation

Plusieurs grandeurs sont utilisées pour caractériser les sols salés :

a) *Taux de sodium échangeable* :

$$ESP = \frac{[Na^+]}{CEC} \times 100 \quad (03)$$

Avec : [Na+] : la concentration en meq/100 g.

CES : La capacité d'échange cationique en meq/100 g.

b) La conductivité électrique du sol de l'extrait de pate saturée :

C'est la méthode de référence internationale qui a été mise au point par l'USSL (Richards, 1954). Pour extraire la solution, on met le sol à saturation par malaxage avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre le point de saturation. Cette méthode permet de se rapprocher de la réalité agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention la plus favorable pour la plante (SAOUD Mohamed, 2014).

a) La conductivité électrique du sol de l'extrait diluée :

Mesure la concentration en sel de la solution du sol après la dilution avec l'eau distillé.

Tableau 06. Catégories de sol salés et sodique (d'après Back, 1968)

CE (mmho /cm)	<4	<4	>4	>4
ESP	<15	>15	<15	>15
	Sol non salin – non alcalin	Sol non salin- alcalin	Sol salin-non alcalin	Salin-alcalin

I.8.5. Impact de perméabilité

Certains constituants peuvent réduire la perméabilité du sol et la plante ne reçoit plus, alors, la qualité d'eau dont elle a besoin pour sa croissance.

Cet effet est évalué en comparant la teneur en Na à celle de Ca⁺ et le Mg⁺.

Dans certaine cas, les carbonates et les bicarbonates affectent la perméabilité du sol et il convient de les prendre en considération.

I.8.6. Impact de toxicité

Certains ions comme le B, Cl et le Na, à un certain niveau de concentration, ont un effet sur la croissance des plantes.

L'apparence des fruits et légumes est quelquefois marquée par l'azote qui entraîne une croissance excessive (mais dans ce cas les engrais mal répartis peuvent aussi être mis en cause).la betterave, la vigne, les abricotiers, les agrumes sont sensibles a l'excès d'azote.

L'irrigation par aspersion, à partir d'eau bicarbonatée, provoque des dépôts blanchâtres. D'autres inconvénients, forte acidité ou forte alcalinité des produits, doivent être importés au pH de l'eau.

I.8.7. Effet de l'eau d'irrigation sur les plantes cultivées

Les eaux qui sont caractérisées par leur teneur en éléments nutritifs et de leur richesse en oligoéléments, lorsqu'elles sont utilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Dans ce cadre, Fars et al. (2003) et Mohammad Rusan et al. (2007) ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par ces eaux.

De même, l'irrigation par ces eaux entraîne un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments (Yadav, 2002 ; Fars, 2003; Charfi, 1995). Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent provoquer, à long terme, des risques pour le développement des plantes.

En effet, certains éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène) sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités (Faby et Brissaud, 1997).

L'irrigation, à partir de ces eaux, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. La biodisponibilité de ces éléments dans le sol peut engendrer leur accumulation dans les tissus des plantes et dans certains cas, les teneurs en ces éléments peuvent atteindre des seuils de phytotoxicité (Faby et Brissaud, 1997).

Cependant, Yadav et al. (2002) qui ont constaté que les teneurs en métaux lourds au niveau des plantes irriguées par ces eaux depuis 30 ans sont au-dessous de seuil de toxicité pour les plantes.

I.9. Les normes de 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 06 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth,1997).

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

Les normes ont pour objectif de :

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

Tableau 07.Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

(Source :Manard 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

Tableau 08. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth,1997).

Paramètre	L'OMS	Les directives du conseil des communautés européennes (mg/l)	La réglementation Français	Les normes Algérienne
Dureté (Ca ⁺ Mg ⁺)	Pas de norme	60 mg/l	15 degrés français	100 mg/l
Phosphate (Po ₄ ⁻)	Pas de norme	0.4 mg/l	0.4 mg/l	Pas de norme
Potassium K ⁺	Pas de norme	12 mg/l	12 mg/l	Pas de norme
Sulfates (So ₄ ⁻²)	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	200 mg/l
Fer (Fe)	0.3 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.3 mg/l
Oxydabilité	Pas de norme	2 mg/l d'O ₂	5 mg/l	Pas de norme
Oxygène	Pas de norme	75 % Les eaux	75 % Les eaux	5 mg/l
O ₂ dissous	norme	Souterraines	Souterraines	
pH	< 8	6.5 ≤ pH ≤ 9	6.5 ≤ pH ≤ 9	6.5 ≤ pH ≤ 9
Aluminium	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	Pas de normes
Sulfure (H ₂ S)	0.05 mg/l	Pas de norme	Pas de norme	
Chlorure	250 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	200 mg/l
Sodium (Na)	200 mg/l	200 mg/l	150 mg/l	Pas de norme

Source : Rodier, 1976

I.10. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons vu les différentes qualités des eaux destinées pour l'irrigation et aussi les indices des qualités des ces eaux. Cependant, nous avons bien spécifié les différents risques liées aux mauvaises qualités qui peuvent être provoqués dans le domaine agricole.

Un domaine qui nécessite d'avantage d'attention vu les risques auxquels est exposé, non seulement la plante, mais aussi le sol dans le cas d'un usage non rationnel de cette ressource que ce soit en quantité ou bien en qualité.

Chapitre II : Contexte générale sur la zone d'étude

II.1. Présentation de la zone d'étude

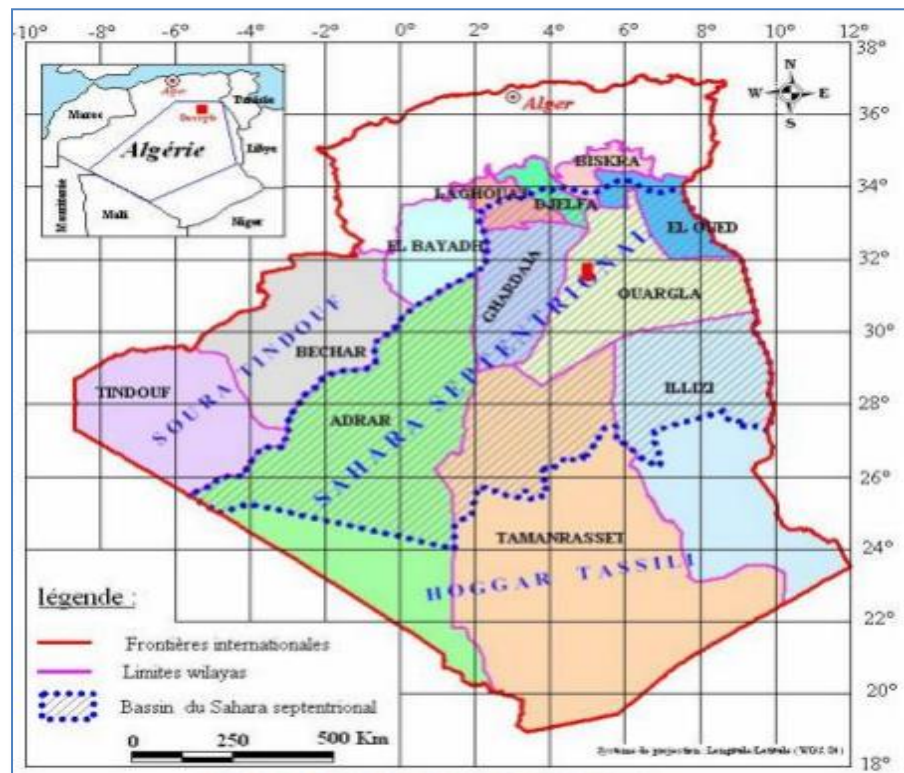
II.1.1. Situation géographique

La région d'Ouargla est située au Nord-est du Grand Sahara algérien ; elle est distante de 850 Km de la capitale Alger, sa superficie est d'ordre de 163 238 km² elle est limitée par :

- Au Nord : par les wilayas de Djelfa, d'El-Oued.
- Au l'Est : par les Tunisie et El-Oued.
- Au Sud : par les wilayas de Tamanrasset et d'Illizi.
- Au Ouest : par la wilaya de Ghardaïa.

La cuvette de Ouargla se situe dans une dépression, elle regroupe les agglomérations de : Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida, Hassi-B-Abdallah et Sidi Khouiled. Elle s'étend entre les coordonnées (UTM Clarke 1880): X= 710000/730000 et Y= 3 530000/3600000.

Sa superficie est d'ordre de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ de 55 km orientée SO-NE et limitée par ; Sebket Safioune au Nord, à l'Est par les Ergs de Touil et Arifdji, les dunes de Sedrata au Sud et à l'Ouest par le versant et la dorsale de M'Zab.



II.1.2. Aperçu socioéconomique

II. 1.2.1. Evolution de la population

La population de la cuvette de Ouargla a évalué de 248755 habitants en 2008 à 259820 en 2011habitants, pour atteindre 297696 habitants en 2018. Cette population est répartie sur Superficie 25489 km² . La ville d'Ouargla rassemble 52.26% de la population de la cuvette.

Tableau N° 09.Evolution de la population entre 2008 et 2018

Commune	Superficie en Km ²	Population en 2008	Population en 2011	Population en 2018
Ouargla	2887	133024	139924	155601
Rouissat	7331	58112	65178	73647
Sidi-Khouiled	7331	8803	10926	16088
Ain-Baida	1973	19039	20683	25095
Hassi-Benabdalah	3060	13196	5409	6652
N'goussa	2907	16581	17700	20613
Hassi Messoud	71237	45147		
La cuvette	25489	248755	25820	297696

II. 1.2.2. L'activité économique

Les deux tiers environ des personnes qui travaillent sont employés par le secteur public et les sociétés pétrolières réparties dans la région. Les gens qui travaillent dans l'agriculture, représente 20% de la population active, ce sont environ 10 000 agriculteurs qui se partagent les 9 000 ha irrigués.

Les palmeraies du Chott sont fortement dégradées par les difficultés de drainage et l'urbanisation.

La nouvelle agriculture se met en place sur le plateau vers Hassi ben Abdallah et la route de Hassi Messaoud. La zone de N'Goussa voit se développer les cultures légumières.

II.2. Occupation des sols dans la cuvette

D'après la carte d'occupation du sol (Fig.7) établie par le bureau d'étude 'BG' pour l'office national de l'assainissement ONA, les sable et sols nus possèdent la plus grande extension spatiale : une surface de 3095 hectares contenant différents types de sables et sols

nus. Les Sebkhas occupent une surface globale de l'ordre de 2023 hectares. Les superficies d'eau sont de 1105 ha au niveau de la vallée d'Ouargla et 843 ha correspondant à Oum Raneb.

La végétation est représentée par les palmeraies avec une surface de 2286 hectares (Les palmeraies de la zone d'Ouargla représentent 72 % de la palmeraie totale de la vallée).

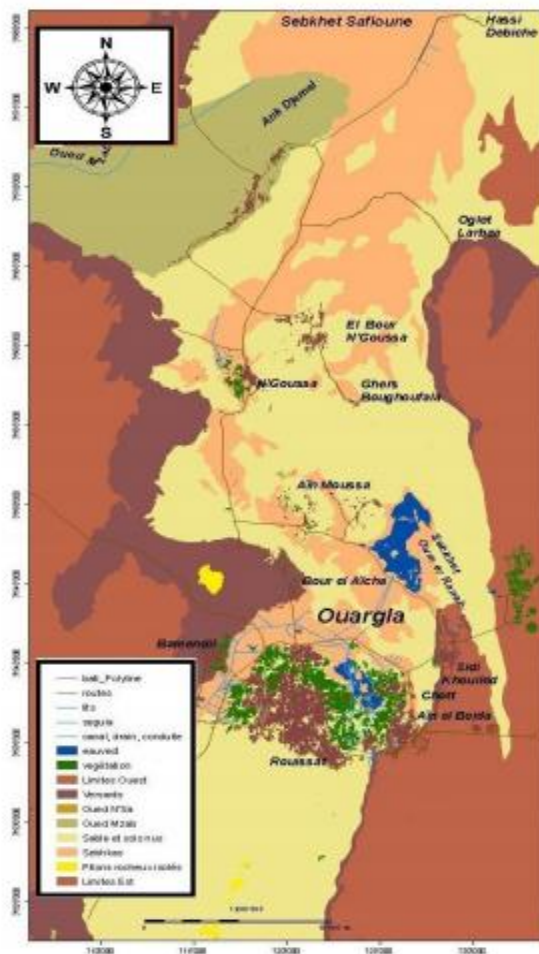


Figure N° 07. Carte d'occupation du sol (BG 2004)

A la lumière de cette figure nous aboutirons à la répartition des sols suivante :

Tableau N° 10. Répartition des sols selon la nature

Classification de sol	Surface totale cuvette (hectares)	Surface de la zone de Ouargla (hectares)
Sable et sols nus	55461	3094
Sebkhas	32011	2023

Zone bâtie	3214	2354
Eau	1105	243
Végétation	3183	2286

II.3. Relief

La carte topographique de Ouargla montre que l'altitude atteint 147 m pour descendre à 102 m à une distance de 45 Km dans la Sebkhet Safioune où est prévue l'évacuation des rejets des eaux de la ville de Ouargla (Fig. 08). Les altitudes sont de 135,08 m en ville et 127,95 m au niveau du chott et de la Sebkha) (BG, 2004).

II.3.1 Géomorphologie

D'après la coupe réalisée par Le lièvre en 1969 (Fig.09) la surface de la cuvette d'Ouargla est constituée des éléments suivants :

- **Hamada Mio-Plio-Quartenaire** : C'est une formation continentale détritique qui forme un plateau dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé que quelques buttes témoins appelées "goure".
- **Glacis** : sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude.
- **Grand Erg Oriental** : dunes de sables peuvent atteindre les 200 m et qui s'étend sur environ 2/3 du territoire de la région.
- **Vallée** : représentée par la vallée fossile d'Oued Mya..
- **Plaines** : elles sont réduites et rencontrées à la limite occidentale de la région. Elles s'étendent du Nord au Sud.

- **Sebkha** : c'est une dépression naturelle alimentée généralement par le ruissellement originare de terrains salés. Elle se dessèche entièrement pendant la saison sèche, sa surface se recouvrant alors d'une couche de chlorure de sodium contenant le plus souvent du gypse et parfois d'autre évaporites.
- **Chott** : est une dépression souvent plus étendue dans laquelle aboutissent les eaux de drainage, et peut être partiellement ou totalement desséchée pendant la saison sèche

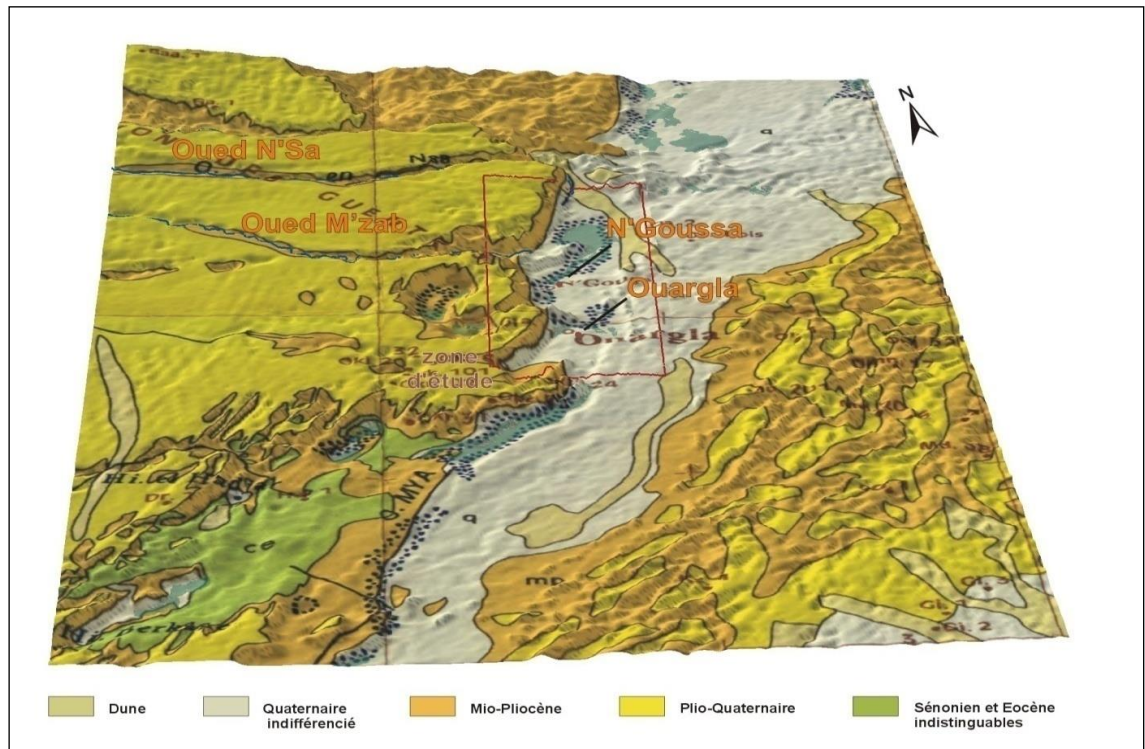


Figure N° 08. Relief géologique de la région de Ouargla

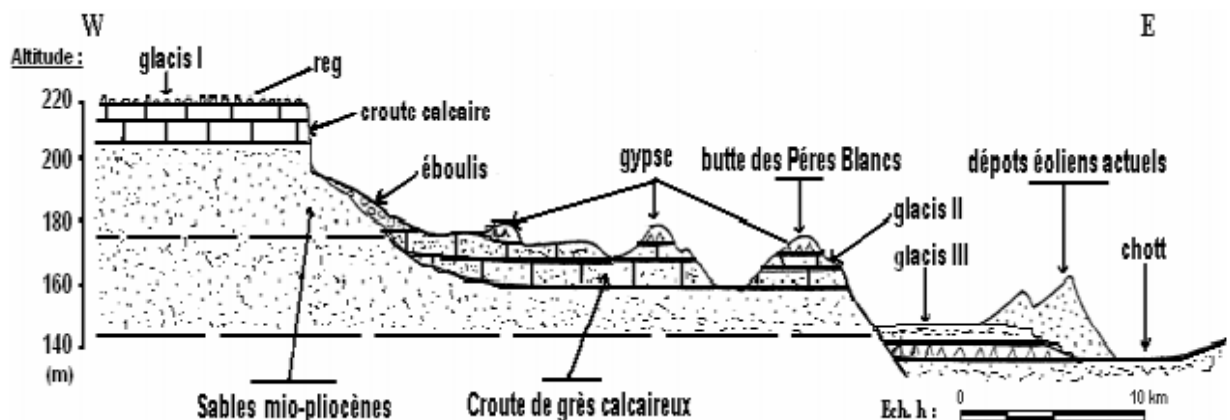


Figure N°09. Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla (Le lièvre, 1969)

La cuvette d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Miopliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

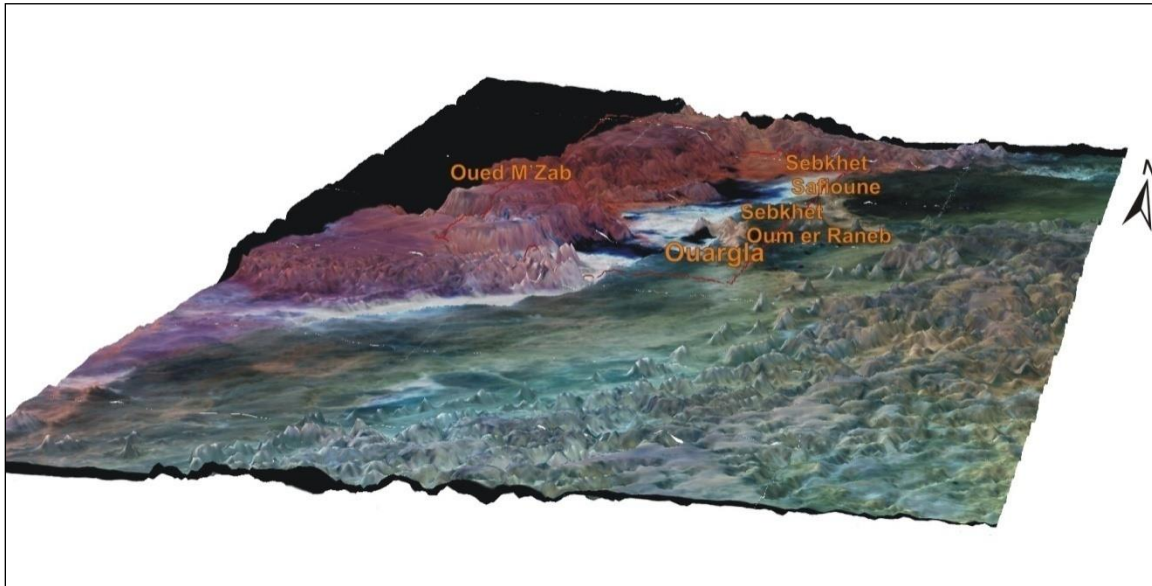


Figure N°10. Image satellitaire, bandes 4, 2, 1 sur MNT

(Les hauteurs sont fortement exagérées)

Après son creusement, la cuvette de Ouargla a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites (Quaternaire indifférencié).

Un niveau carbonneux a été daté de -17'000 ans. Des oueds, descendant de la dorsale mzabite à l'Ouest (oueds M'Zab, N'Sa, Z'gag) ou du Tadmaït (oued Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'oued M'Zab) ou barrant la vallée (oueds N'Sa et Z'Gag au Nord de la Sebkhet Safioune). ou se confondant avec la cuvette comme c'est le cas pour oued Mya.

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré. L'oued Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

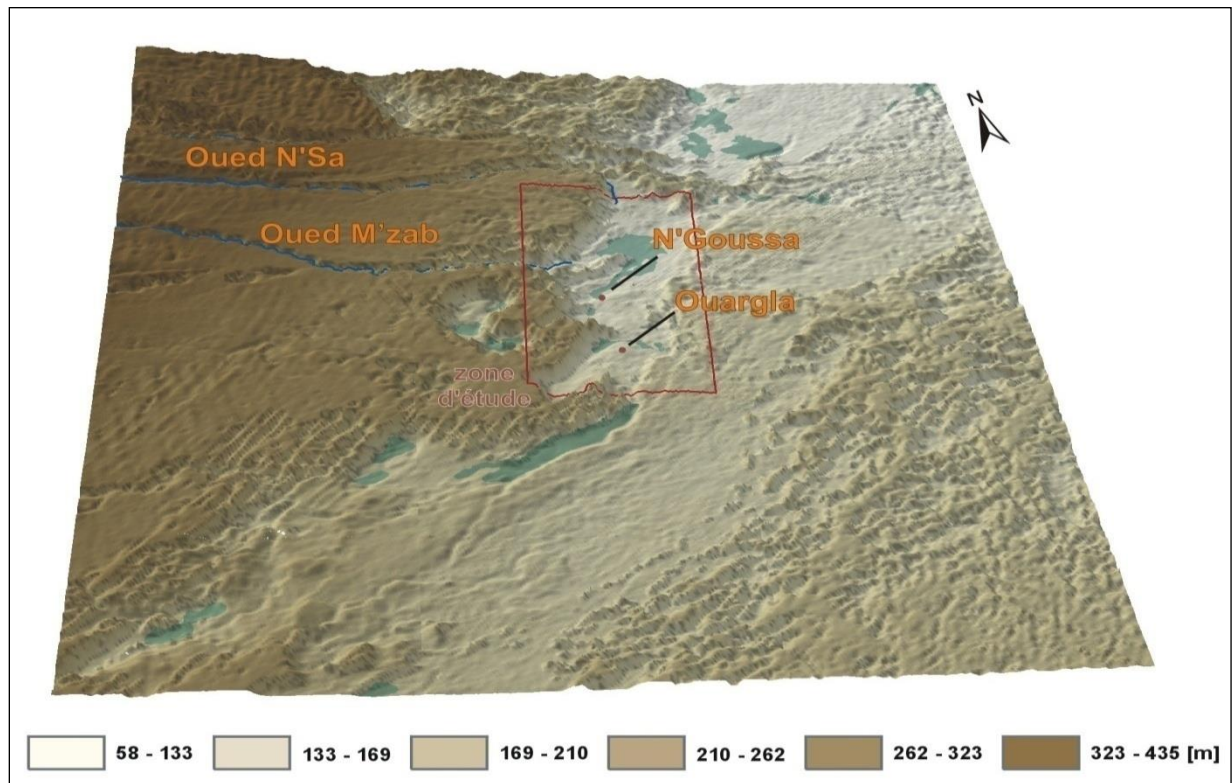


Figure N°11. Relief de la région de Ouargla Modèle numérique de terrain -MNT -

La cuvette de Ouargla est bien visible au centre de la zone étudiée (fig11). Les alluvions des oueds N'Sa et Z'Gag ferment la vallée au nord de la Sebkhet Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie Est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le nord-est, en direction de Touggourt et du Chott Melrhir.

Actuellement, les plus grandes crues de l'oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont de Ouargla. Celles de l'oued M'Zab atteignent la Sebkhet Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'oued N'Sa semblent plus fréquentes.

Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l'oued Mya n'a été drainée par des cours d'eau qu'à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique car certains gisements reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand pluvial contemporain de la glaciation de Würm.

II.3. contexte climatique

Le climat est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation.

II.3.1 Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne mensuelle interannuelle est 3.3mm (Fig 12), alors que la précipitation moyenne annuelle est de 40mm/an. Le mois du janvier est le plus pluvieux (8mm) et le mois de juillet est le plus sec (0.2mm) (O.N.M, 2017).

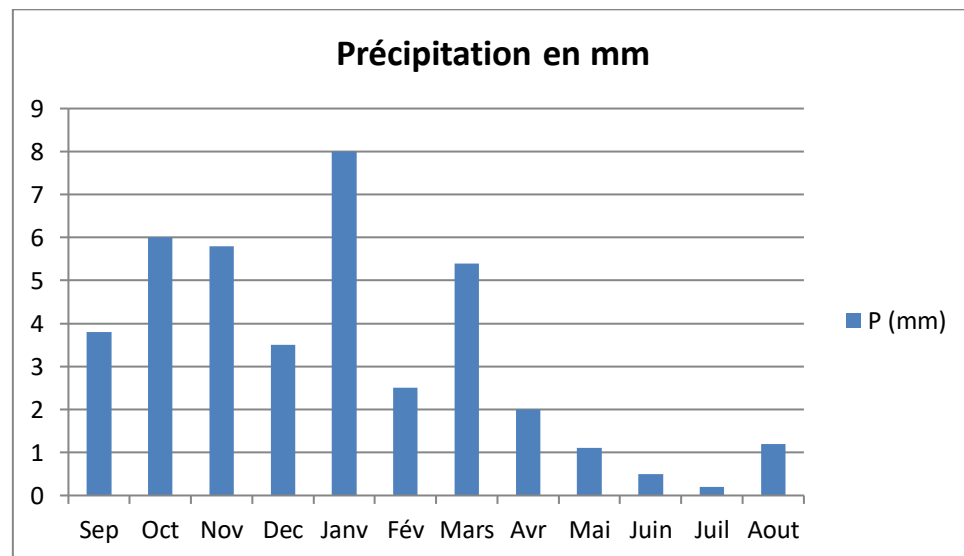


Figure N°12. Histogramme de précipitation moyenne mensuelle de Ouargla (2003-2017)

II.3.2. Températures

La Températures moyen ne annuelle est de l'ordre de 23.61°C. D'après la fig 13, le mois de juillet est le plus chaud avec une température de l'ordre de 35.8°C et le mois de janvier est le plus froid avec une température de l'ordre de 11.9°C (O.N.M, 2017).

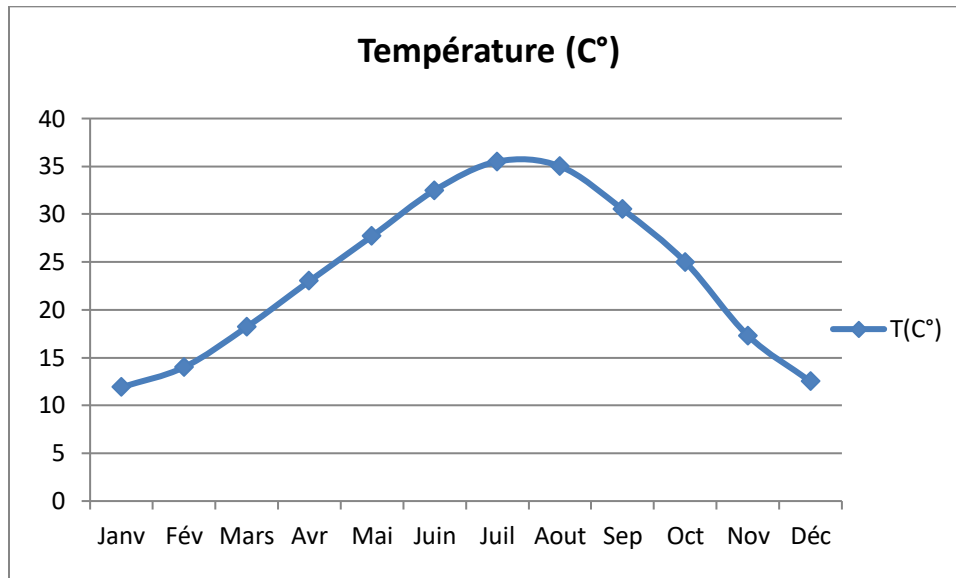


Figure N° 13. Courbe de température moyenne mensuelle de Ouargla (2003-2017)

II.3.3. Diagramme pluvio-thermique

Suivant Gaussen et Bagnouls (Rkiouak, 1996), un mois est dit sec lorsque $P < 2 T$ avec P la précipitation et T la température. La variation de ces deux paramètres au cours d'une année hydrologique moyenne est figurée sur le diagramme pluvio-thermique (Fig.14).

On en déduit que la période sèche est étendue pendant toute l'année.

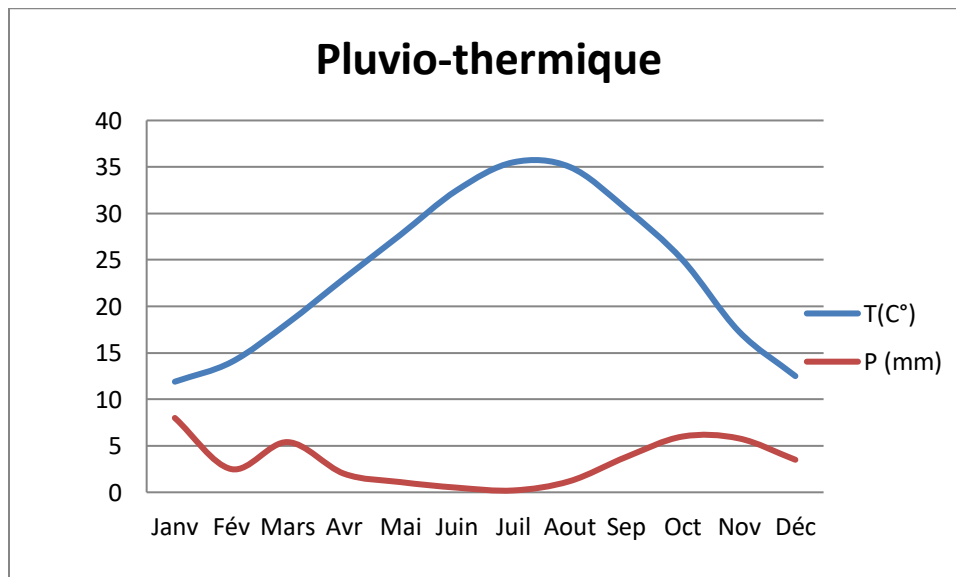


Figure N° 14. Variation de la pluvio-thermique dans la période 2003-2017

II.3.4. Humidité de l'air

L'humidité relative au Sahara est faible, souvent inférieure à 20% ce n'est qu'exceptionnellement que l'on observe des valeurs plus fortes, tandis qu'au Sahara septentrional, elle est généralement comprise entre 20 et 30% pendant l'été et s'élève à 50% et 60% parfois davantage en janvier.

L'humidité de l'air énérgisée dans la cuvette d'Ouargla est très faible, la moyenne annuelle est 41.3%. Pendant l'été l'humidité chute jusqu'à 24.5 % au mois de juillet sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds, alors qu'en hiver elle augmente à une valeur maximale de l'ordre de 60% au mois de décembre Fig.15 (O.N.M,2017).

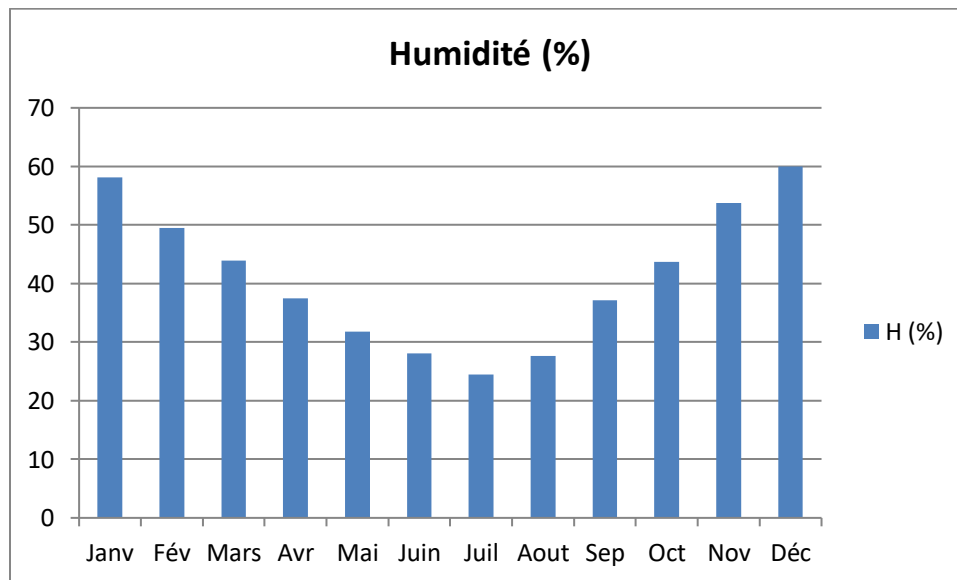


Figure N°15 .Variation de Moyenne l'humidité relative(en %) d'Ouargla (2003-2017)

II.3.5. Vents

Dans la région d'Ouargla les vents soufflent du Nord-est et Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest tandis qu'au Printemps les vents du Nord-est et de l'Ouest dominant en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud-ouest.

D'après les données de l'O.N.M, dans la période d'observation (2006 – 2016) les vitesses de vents assez importants sur toute la période estivale (Avril – Juillet) avec un des valeurs maximales entre le mois du Mai et Juin (4.9 et 4.6 m/s) (O.N.M, 2017).

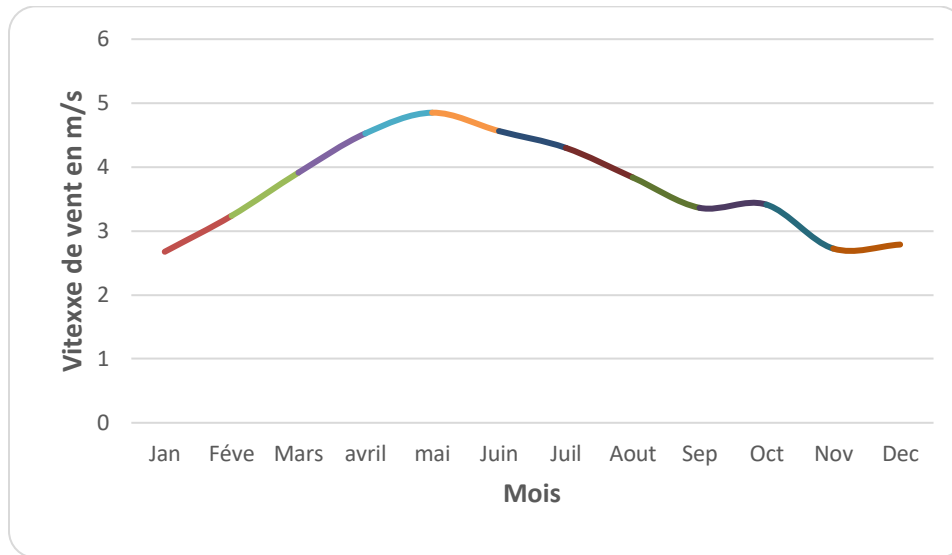


Figure N°16. Variations de la vitesse du vent durant la période 2006-2016

II.3.6. Evaporation

L'évaporation dans la vallée de Ouargla est très élevée, elle est en moyenne de 475,90 mm au mois de Août et de 100,4 mm au mois de Décembre, soit 291,70 mm moyenne annuelle, elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines (O.N.M, 2017).

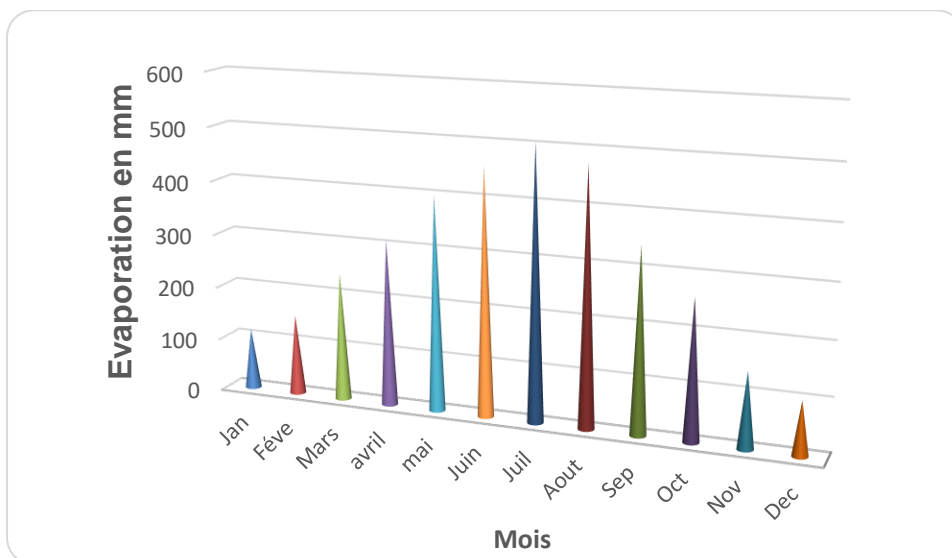


Figure N°17. Variations de l'évaporation pendant la période 2006-2016

II.3.7 Indice d'aridité

Il dépend de précipitation moyenne mensuelle (mm) et de température moyenne annuelle (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = \frac{P}{(T+10)} \quad (01)$$

- I : Indice d'aridité
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm)
- T : Température moyenne annuelle (°C)

Tableau N° 11. Classification climatique selon l'indice de l'aridité

Indice d'aridité	Type de climat	Irrigation
I<5	Désertique	Indispensable
5 < I < 10	Très sec	Indispensable
10 < I < 20	Sec	Souvent Indispensable
20 < I < 30	Humide	Parfois utile
>30	Très humide	Inutile

A partir des données climatiques de la station météorologique d'Ouargla de la période (2003- 2017), nous avons calculé l'indice d'aridité, il est de l'ordre de 1.19, ce qui permet de dire que le climat de la région est désertique.

II.3.8. Le bilan hydrique

Le bilan hydrique de la zone d'étude (Tab.12), dans la période (2003-2017) suivant la méthode de Thorntwaite est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel l'ETP est plus importante que les précipitations, la réserve facilement utilisable est nulle pendant les douze mois de l'année.

Le déficit agricole est présent pendant toute l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 268.4 mm.

Tableau N°12. Bilan hydrique de la cuvette de Ouargla (2003/ 2017) selon la méthode de THORNTWAITE

Mois	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	DA (mm)	EX (mm)
Sep	30.50	3.80	146.80	3.80	00	143.00	00
Oct	25.00	6.00	82.20	6.00	00	76.20	00
Nov	17.30	5.80	27.80	5.80	00	22.00	00
Dec	12.50	3.50	11.20	3.50	00	7.70	00
Jan	11.90	8.00	10.60	8.00	00	2.60	00
Fev	14.00	2.50	15.80	2.50	00	13.30	00
Mar	18.20	5.40	38.00	5.40	00	32.60	00
Avr	23.00	2.00	74.90	2.00	00	72.90	00
Mai	27.70	1.10	134.00	1.10	00	132.90	00
Juin	32.50	0.50	205.20	0.50	00	204.70	00
Jui	35.80	0.20	268.60	0.20	00	268.40	00
Aout	35.00	1.20	236.80	1.20	00	235.60	00
Annuel	23.60	40.00	1252.00	40.00	00	1212.00	00

Avec :

ETR = Evapotranspiration réelle, $ETR = (R / RU) * ETP$

ETP : Evapotranspiration potentielle.

RFU : Réserve Facilement Utilisable.

DA : Déficit Agricole, $DA = ET - ETR$

EX : Excédent hydrique, $EX = P - ETR - (RFU - R)$.

II.4. Cadre géologique

La région d'étude fait partie du Bas Sahara qui se présente en cuvette synclinale dissymétrique, il est caractérisé par un remplissage sédimentaire constitué d'une alternance de terrains perméables et imperméables. De haut en bas, nous distinguons :

- **Quaternaire** : Formé de dépôts sableux de 15 m d'épaisseur, en moyenne.
- **Mio-pliocène** : Il est formé d'une alternance de sables et d'argiles et repose en discordance sur le Sénonien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 150 m.
- **Sénonien-Eocène** : Formé de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des Intercalations de marnes et d'argiles, reconnu sur une épaisseur de 360 mètres et repose sur la série imperméable du Sénonien lagunaire.
- **Turonien** : Formé de calcaires fissurés et constitue un aquifère captif dans la région de Hassi Messaoud. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 60 m et repose sur un substratum imperméable du Cénomaniens anhydritique et argileux.
- **Albien** : Il correspond à la série supérieure du Continental Intercalaire, il est essentiellement gréseux formant un important aquifère captif reconnu sur une épaisseur de 400 m, reposant sur substratum imperméable (Aptien).
- **Barrémien** : Il est essentiellement sablo gréseux.

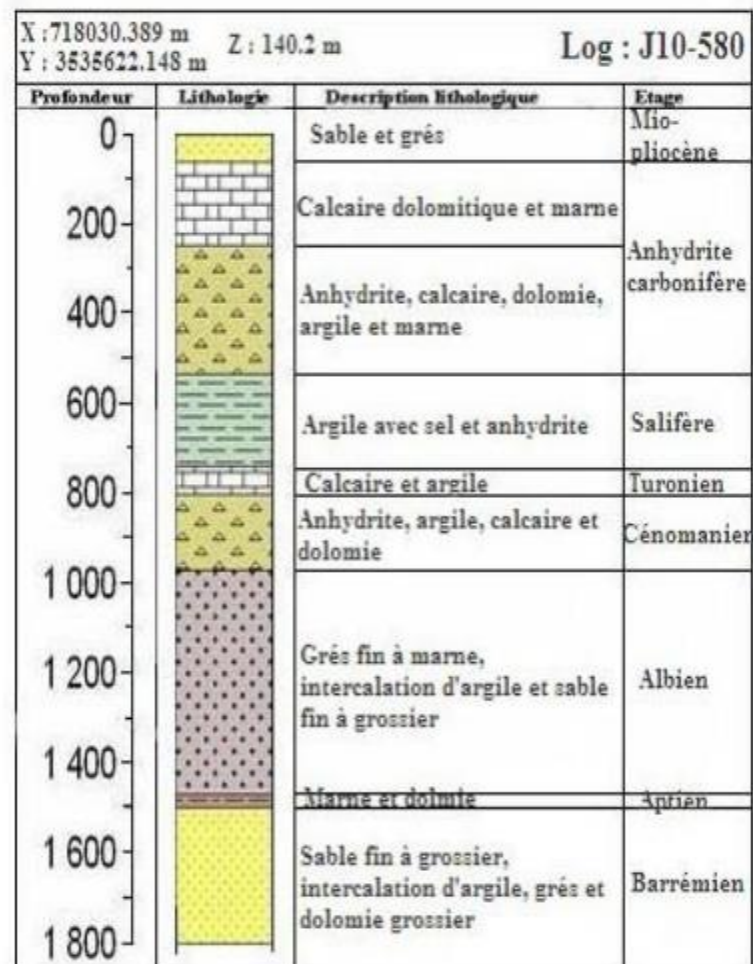


Figure N°18. Colonne stratigraphique de forage Albien J10-580 de Rouisset (ANRH, 2004)

II.5. Hydrogéologie général

La cuvette de Ouargla appartient au Bas Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux.

Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques (fig.19).

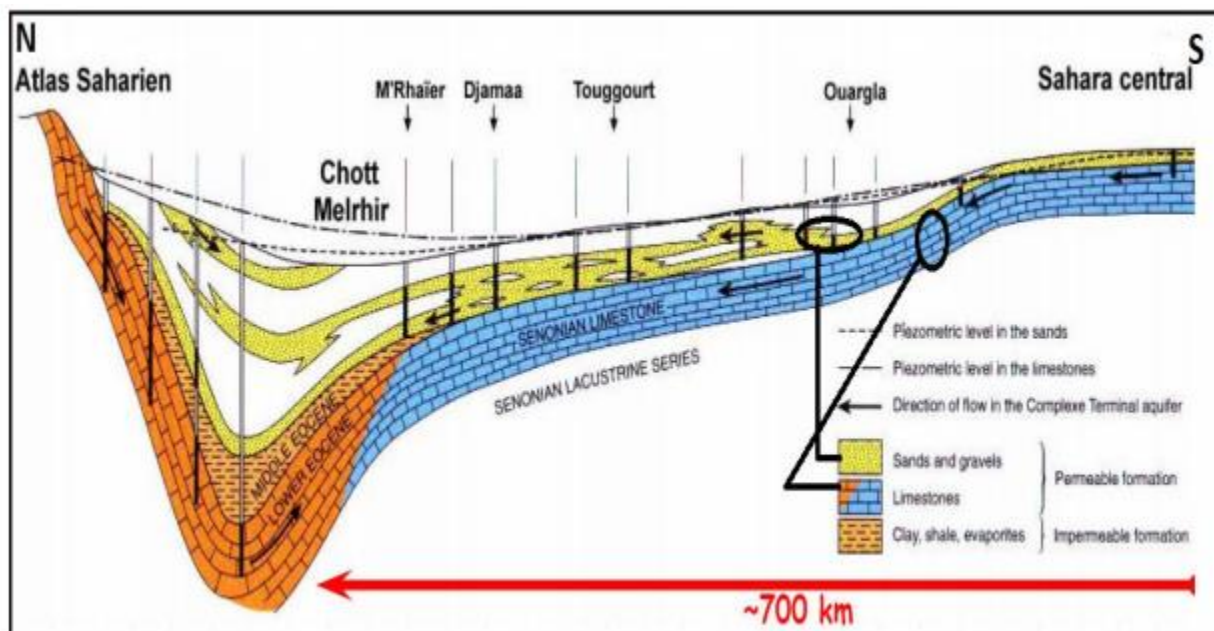


Figure N°19. Coupe hydrogéologique à travers le Sahara

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe captive des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, les nappes captives du Continental terminal sableux (Miopliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles.

II.6. Extension de système aquifère de Sahara septentrional

II.6.1. Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS)

Les SASS est partagé entre trois pays l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Il recouvre une étendue de plus d'un million de km², dont 70 % se trouvent en Algérie, 6 % en Tunisie, et 24 % en Libye. Le SASS est la superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire (CI) la plus profonde et celle du Complexe Terminal (CT).

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (BG, 2002 ; Bouselsal 2016) couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin possède une envergure de 1800 km E-W et de 900 km N-S. Il est limitée au Nord-ouest par les piémonts du versant Sud de l'Atlas saharien, au Nord par l'accident sud atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golf de Gabès par la faille d'El Hamma - Médenine.

A l'Ouest, la limite se situe au niveau de l'Oued Saoura-Reggane, au Sud par un alignement Est-ouest, de plateaux (Hammadas) du Tinrhert et du Tademaït. Enfin, la limite Nord-est se situe un peu après les reliefs du Dahart et celle du Sud-est parcourt la région de Syrte et va jusqu'à la ville de Hun en Libye (Castany, 1982). Ce bassin, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique.

La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux. Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au nord-est du bassin (Busson.G, 1970 ; Fabre.J, 1976 ; SASS 2002).

Celui-ci comporte, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres.

Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique. Le système aquifère d'Ouargla est constitué de trois aquifères (UNESCO, 1972 ; OSS, 2003), un aquifère libre, et deux aquifères captifs; (le Complexe Terminal (CT) et le Continentale Intercalaire (CI)).

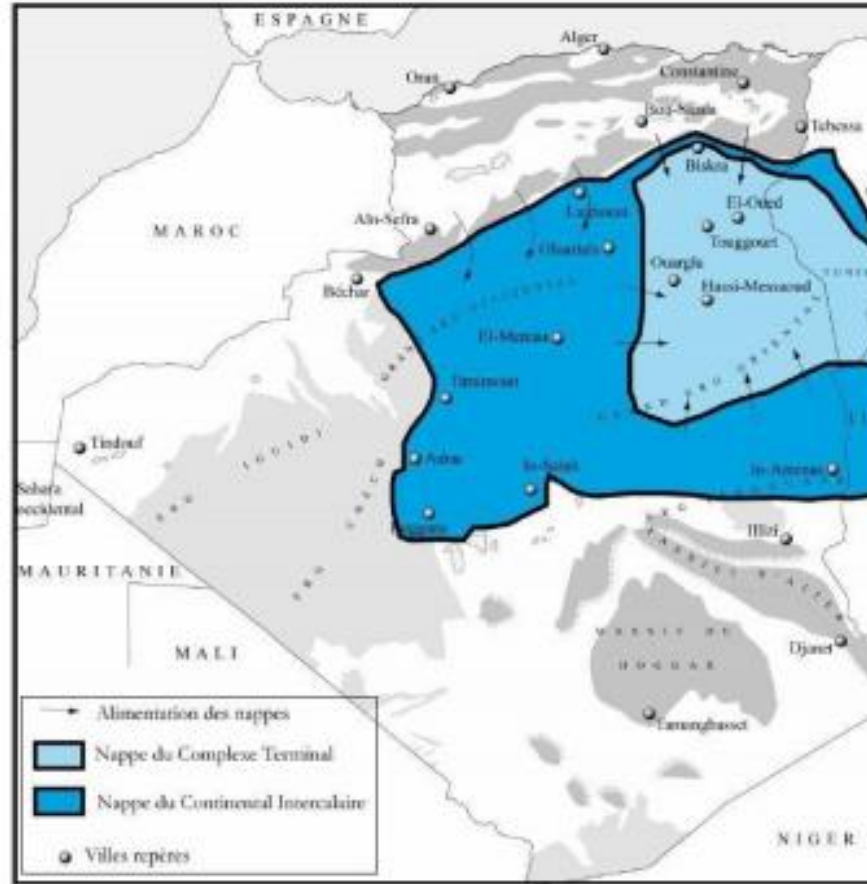


Figure N° 20. Extension du système aquifère de Sahara septentrional

II.6.2. Hydrologie

Les grands réseaux hydrographiques de la région d'étude sont Oued M'ya et oued M'zab et Oued N'sa qui draine leur eau vers la cuvette de Ouargla et par conséquent pose des problèmes de la remonté des eaux superficielle. La coupe schématique représente la répartition verticale des eaux souterraines (fig. 21) BG, 2004.

C'est l'aquifère phréatique qui pose problème, car sa surface piézométrique remonte et étouffe l'appareil végétal des palmiers, ce qui entraîne leur dépérissement (Diminution progressive de rendement, puis la mort (fig. 22).

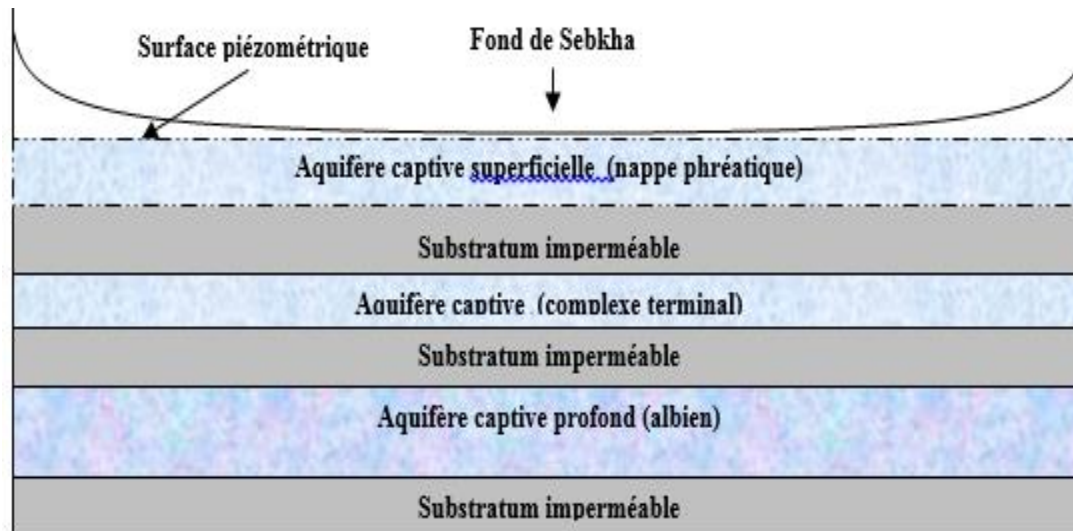


Figure N°21 .Schéma représentatif de la répartition verticale des eaux souterraine dans la région d'étude (HAFOUDA, 2005)

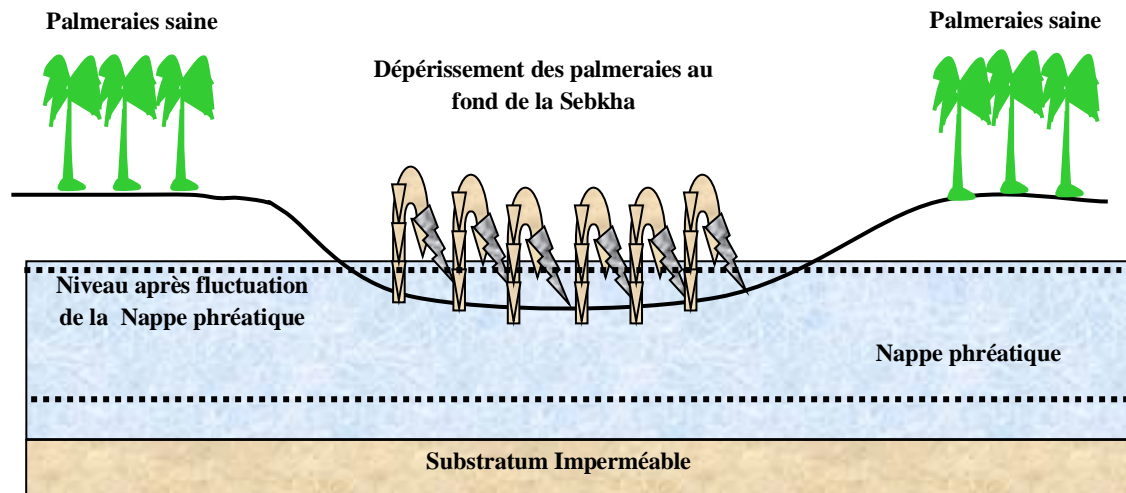


Figure N°22. Schéma de la fluctuation de la nappe phréatique (HAFOUDA, 2005)

II.6.2.1. Les nappes du Complexe Terminal

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Miopliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables.

Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Miopliocène.

La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Selon un inventaire de l'ANRH en janvier 2005 les prélèvements de la nappe CT dans la cuvette de Ouargla sont 83 Hm³ pour 222 forages exploités, tandis que les prélèvements dans la région de Ouargla sont 74 Hm³ pour 191 forages exploités.

II.6.2.2. La nappe du Continental Intercalaire

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo gréseux et sablo argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. A Ouargla, il est exploité entre 1150 m et 1350 m de profondeur.

Selon l'inventaire de l'ANRH en janvier 2005 les prélèvements de la nappe CI, dans la cuvette de Ouargla sont 7 Hm³ pour 2 forages exploités se trouvant dans la région de Ouargla.

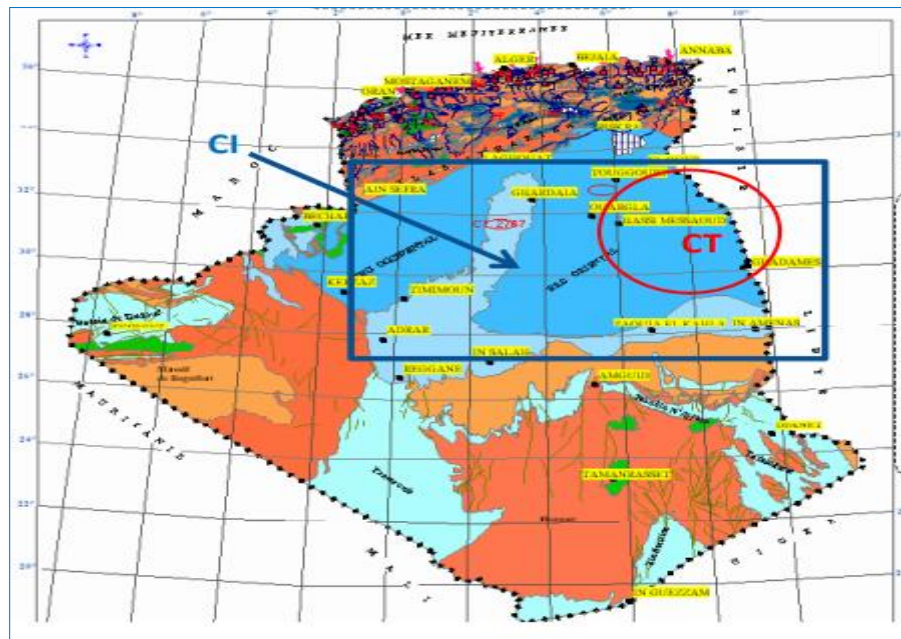


Figure N° 23. Les eaux souterraines de Sahara septentrional .
Source carte d'aquifère d'Algérie

II.6.3. La nappe phréatique

II.6.3.1. Géométrie de la nappe superficielle (phréatique) dans la région d'Ouargla

Au niveau de la cuvette d'Ouargla la nappe superficielle n'est pas exploitée à cause du taux de sel que contiennent ses eaux. Son épaisseur est environ 8m et elle repose sur un niveau imperméable à semi-perméable, qui occupe tout le fond de la vallée d'Ouargla et l'isole des nappes sous-jacentes.

Les zones dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde sont situées à des points hauts de la topographie (Sud-ouest d'Ouargla, Sud de Oum Raneb et le versant Nord-est de N'Goussa). La nappe est moins profonde dans les zones à proximité des palmeraies irriguées (Ouargla et N'Goussa). Le point où la nappe se trouve le plus près du sol est au Sud de la Sebka Safioune à 45 km, au Nord de la ville d'Ouargla.

Cette nappe est constituée de formations détritiques d'âge Quaternaire représentées par de sables, de grés et de graviers avec présence de gypse et des niveaux des concrétions calcaires. Le sens d'écoulement de la nappe est principalement du sud vers le nord, suivent la pente de la vallée, et un autre sens, moins important, d'Ouest à l'Est avec une profondeur qui varie de 1 à 8m en fonction du lieu et de la saison.

Le caractère des eaux est très salé ; elle n'est donc exploitable que dans quelques régions comme Hassi Berahla, Bour El-Haïcha et Ain Moussa. L'alimentation de la nappe est faite par les plus, les eaux usées urbaines.

II.6.3.2. Piézométrie de la nappe phréatique d'Ouargla

La carte piézométrique est un document essentiel pour l'étude hydrogéologie, elle exprime la morphologie de la surface piézométrique de la nappe à une période déterminée, par ses courbes isopièses; celles-ci permettent de donner des informations telles que ; le sens d'écoulement, le gradient hydraulique et les relations existant entre la nappe et les eaux de surface, les nappes voisines.

Les données piézométriques fournissent par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH). Carte piézométrique de 2003 (Fig 24), montre que dans la partie sud de la cuvette, la nappe s'écoule du point le plus haut (136 m) situé sous la ville d'Ouargla

vers les différents Chotts environnant ; Bamendil au Nord-ouest, Oum Raneb au Nord et Ain El-Beida au Nord-est). Entre la zone des Chotts et N'Goussa, la nappe présente une faible pente.

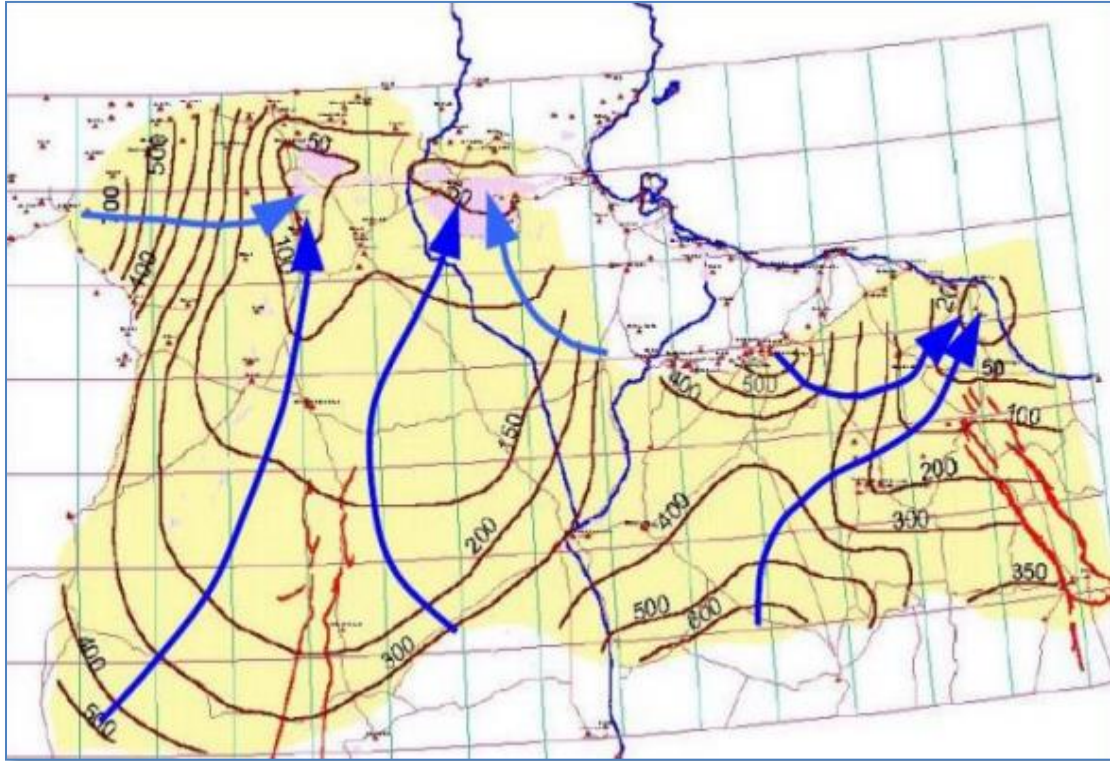


Figure N° 24 . Carte piézométrique de référence du "CT " (OSS, 2003)

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou les vallées. Elles sont alimentées par les pluies, les crues, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles (sources) en provenance des aquifères plus profondes ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitants ces dernières.

Les profondeurs des nappes dites libres au Sahara varient entre 1 et 60 m, sauf dans la région des Ziban où elle peut atteindre les 150m, le résidu sec est très variable selon les zones.

La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Elle affleure dans les zones basses (sebkha et chott) et dans certaines palmeraies. Elle est située à une dizaine de mètres de profondeur dans certaines zones urbaines.

Cette nappe n'est pas exploitée à cause de sa grande salinité (plus de 15 g/l). En outre elle est polluée car elle se mélange aux eaux dans certains points et elle reçoit aussi les eaux de drainage de la palmeraie. Les travaux effectués sur la qualité de ces eaux montrent que :

- Les eaux destinées à l'AEP ne répondent pas aux normes de potabilité notamment en ce qui concerne la minéralisation.
- La dégradation de la qualité des eaux du Moi-pliocène (salinité).
- Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte salinité (> 15 g/l) ajouté à cela une contamination de cette nappe par les eaux usées, ce qui présente une menace de pollution pour les autres nappes.

II.6.4. Cycle et bilan de l'eau dans un site saharien

Le bilan hydrique d'eau du bassin versant est constitué par les précipitations, l'évaporation, le ruissellement et les infiltrations. Pour expression générale :

$$P = ET + R + I + D \quad (10)$$

- P : Précipitations.
- ET : Evapotranspirations.
- R : Ruissellement
- I : Infiltration
- D : Drainage

Le bilan d'eau de l'espace agricole est constitué par les irrigations (entrées), le drainage et les infiltrations en profondeur (sorties).

Le bilan d'eau du chott est constitué par les eaux drainées et infiltrées (entrées) et l'évaporation (sorties).

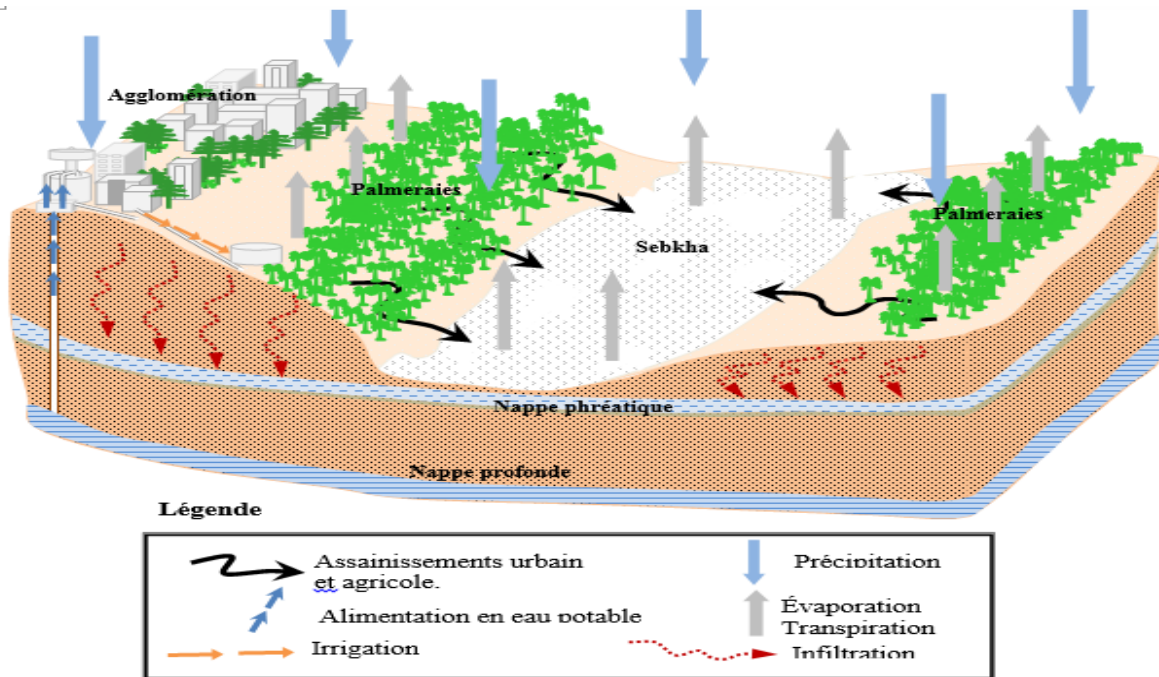


Figure N° 25 .Fonctionnement d'un bassin versant au Nord du Sahara

II.6.5. Texture et structure

Ces sols d'origine éolienne ont généralement une texture sableuse ou sablo-limoneuse. La structure est particulière, parfois stratification de ces dépôts éoliens, n'est pas toujours nette, elle est surtout visible en surface par des alternances de lits de sable grossier et de sable fin. Leur capacité est faible, leur couleur est brun-rougeâtre, brun clair ou beige. En profondeur l'accumulation de gypse se présente différemment soit par une grande quantité de petits cristaux

(forme fibreuse, roses de nombreuses taches (diffuses ou en mycélium) ou amas de gypse pulvérulent.

II.6.5.1. Propriétés chimiques des sols

Les études indiquent que :

- La majorité des sols sont salés ou très salés, mais il n'y a pas d'alcalinisation du complexe absorbant.
- Le type de salure est sulfaté calcique jusqu'à 6 mmhos/cm, chloruré – sodique au-delà.
- Les ions sont représentés par les chlorures et les sulfates. Les teneurs en bicarbonates sont toujours faibles.

- Les teneurs en carbonates sont nulles.
- Les cations sont représentés par le sodium. Le calcium se trouve sous forme de gypse ; il est donc peu soluble. Les teneurs en potassium sont toujours faibles.
- Le pH est légèrement alcalin et varie entre 7.5 et 8.5.
- Les teneurs en matière organique sont très faibles et provient essentiellement de la fumure appliquée dans la palmeraie.

II.7. L'agriculture dans la région de Ouargla

L'agriculture dans la wilaya d'Ouargla constitue la deuxième activité après le secteur de l'administration et des services. En effet, l'agriculture emploie 16,54% de la population occupée (20180 occupés) derrière le secteur de l'administration et des services qui emploie 53,35% environ [25]

En dehors de certains produits frais et périssables (salade, céleri, menthe.....) et en dépit des potentialités importantes que recèle la wilaya, elle présente un déficit pour les produits maraichers dont elle est approvisionnée par d'autres wilayas. Elle est seulement excédentaire pour les dattes (voir tableau suivant).

Tableau N°13. L'offre en produits agricoles dans la wilaya de Ouargla en 2014

Produits	Situation nationale		Situation Wilaya Ouargla		Ecart Kg/hab
	Production (T)	Couverture Kg hab.an	Production (T)	Couverture Kg hab.an	
Dettes	500000	16	85000	139	+123
Produits maraichers	4200000	131	35158	58	-73
Primeurs	320000	10	4537	08	-02
Pomme de terre	2147000	67	3750	6	-60
Viandes rouges	2998553	09	4170	07	-02

Source : DSA de la wilaya de Ouargla (2015)

Le déficit est plus important pour les produits maraîchères et particulièrement pour la pomme de terre, produit de large consommation et dont la production locale a connu un essor important mais encore insuffisante pour satisfaire la demande locale.

Nous pouvons distinguer deux types de zones agricoles dans la vallée d'Oued Mya ; qui contient les Oasis anciennes (des anciennes palmeraies) et des zones de mise en valeur agricole nouvellement aménagées.

Les anciennes palmeraies sont localisées à El Ksar, Mkhadma, Bamendil, Ruissat, Ain Baida, Chott, et N'goussa. Les zones de mise en valeur agricole se situent au niveau de Hassi ben Abdallâh et N'goussa essentiellement.

Comme il a été souligné au paravent, et à l'instar des autres wilayas du Sud, c'est la culture du palmier dattier qui est prédominante dans la wilaya et dans la région de Ouargla. Cette pratique a cumulé un savoir, un savoir faire et un patrimoine productif considérable.

Tableau N°14 . Répartition des cultures dans la wilaya de Ouargla en 2014

Cultures	Superficie	Production en qx
Céréales	226	6288
Fourrages	1 917	301 157
Maraichage	2 824	240 332
Arboriculture	601	6 622
Palmier dattier	20 191	801 322

Source : DPAT de la wilaya de Ouargla (2015)

On ignore si les statistiques concernant uniquement les céréales sous-pivot ou intègrent les céréales sous-palmiers. Car on doit tenir compte à l'échelle globale des superficies cultivées même si c'est à une échelle réduite (la somme de ces parcelles donnerait sûrement un chiffre important). Ceci est aussi valable pour les fourrages qui sont cultivées sur un grand nombre de palmeraies.

La céréaliculture sous-pivot a constitué pendant plus d'une décennie la deuxième culture. Réalisée depuis longtemps comme culture sosu-jacente au palmier, elle a été l'objet d'une importante extension à travers la mise en place de périmètres céréaliers et l'introduction de techniques modernes, particulièrement l'irrigation par le pivot.

Tableau N°15 . Répartition du potentiel palmier dattier par commune en 2014

Commune	Nombre total de palmiers	Nombre de palmiers productifs	Dont Drglet Nour	Autres variétés
Ouargla	292 634	287 408	55 935	231 473
Rouissat	109 385	105 965	40 715	65 250
Sidi khouiled	52 481	39 388	11 238	28 150

Ain Beida	203 231	171 118	83 413	87 705
Hassi Ben Abdellah	164 334	48 360	33 263	15 097
N'Goussa	161 637	105 296	36 360	68 936
Total région de Ouargla	983 702	757 535	260 924	496 611
Total Wilaya	2 290 707	1 794 650	918 956	875 694

Source : DPAT de la wilaya de Ouargla (2015)

II.7.1. Le foncier agricole

Selon la Direction des services agricoles de la wilaya de Ouargla (DSA de Ouargla, 2014), la superficie agricole utile est de 31 402 ha en 2007 dont 28 698 ha en irrigué, soit 91 %, et dont 28 000 ha environ sont exploités.

Tableau N° 16 . Nombre d'exploitations agricoles dans la wilaya de Ouargla

Statut	Nombre
Privé	27 605
Exploitation agricole collective (EAC)	41
Exploitation agricole individuelle (EAI)	747
Concession	637
Autre	09
Total du nombre d'exploitations	29 039

Source : DAS de Ouargla (2015)

Tout d'abord, on s'interroge sur la signification donnée à la notion de superficie agricole utile. Si cette notion trouve sa pleine signification dans les régions du Nord, dans les régions sahariennes l'utilité des terres est liée à la disponibilité de l'eau en premier lieu.

II.7.2. L'élevage dans la région de Ouargla

L'élevage dans la région est constitué essentiellement de caprins, d'ovins et de camelins. Les difficultés rencontrés pour l'adaptation du cheptel bovin à la région expliquent le faible nombre présent dans la région.

Il faut souligner que ce cheptel est essentiellement orienté vers la production de viandes et pour l'élevage caprin qui est essentiellement un élevage domestique, il est aussi destiné à la production de lait pour l'autoconsommation.

Tableau N° 17. Répartition du cheptel animal par commune en 2014

Commune	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins
Ouargla	101	15 309	23 579	594
Rouissat	0	11 368	7 733	4 330
Sidi khouiled	0	4 845	2 600	549
Ain Beida	0	3 091	4 253	1 339
Hassi Ben Abdellah	0	1 529	1 837	/
N'Goussa	16	11 986	17 180	5 617
Total région de Ouargla	117	45 037	57 182	12 548
Total Wilaya	430	122 014	169 094	29 003

Source : DPAT de la wilaya de Ouargla (2015)

II.8. Conclusion

La cuvette d'Ouargla est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional, elle occupe le fond d'une cuvette dans la basse vallée de l'oued Mya. Le climat de la région d'Ouargla est de type Saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 23.61°C, le maximum de la température est atteint au mois Juillet (35,80°C) et son minimum est observé au mois de janvier (11.90°C).

Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 40 mm/an, avec une valeur maximale au mois de Janvier 08 mm et le minimale au mois de Juillet 0.2 mm.

Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration ce qu'il indique de la recharge à partir de la précipitation est nulle.

Dans la région d'Ouargla seuls les terrains d'âge quaternaire et Miopliocène affleurent à la surface. L'eau fut à l'origine de l'apparition et de l'épanouissement des oasis et est aujourd'hui à l'origine de leur dégradation à cause d'une gestion inappropriée.

En effet, malgré la disponibilité des réserves, l'utilisation à outrance de la denrée génère des problèmes d'excédents hydriques à l'origine de la salinisation des sols et de nombreuses anomalies sous-jacentes.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III. Introduction

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés.

L'échantillonnage d'une eau comprend la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée. Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats des analyses.

Avant d'exposer les résultats obtenus dans les eaux de la nappe Albienne et Mio-pliocène au niveau de la région de Ouargla, nous jugeons utile de présenter les échantillons prélevés à partir des forages étudiés, leurs techniques de mesure et le matériel utilisé.

III.1. Méthodes d'études

L'objectif de l'étude est de caractériser et de quantifier la salinité de la nappe albien et Mio-pliocène dans la région de Ouargla.

La prédiction de l'aspect géochimique de la salinité des eaux est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des conséquences de cette salinité sur les sols agricoles et l'environnement dans cette région. La quelle démarche s'appuie sur les éléments suivants :

- Echantillonnage et analyses des eaux de la nappe albienne et Mio-pliocène .
- Utilisation des rapports : rapport de l'absorption de Sodium et le rapport de Kelly
- Détermination de pourcentage de Sodium et de Magnésium.
- Détermination de l'indice de perméabilité.

III.1.1. Prélèvements

Pour faire notre analyse physico-chimiques nous avons prendre les échantillons d'eau de six (06) forages parmi les 42 forages entre les deux nappes Albienne et Mio-pliocène près de la zone de Ouargla et pour autre forages on a rapporté seulement leurs données à partir de :DRE , ADE et ANRH de Ouargla , les 06 prélèvements de forage Albien et Mio-pliocène de la même région sont :

- * Forage Haj Ahmed APC Ruissat.
- * Forage Ain Benississine APC Ain Beida.
- * Forage Tamhalit APC Ouargla.
- * Forage F09 APC Al Hadjira.
- * Forage F04 APC N'Goussa.

* Forage F016 APC Hassi Ben Abdallah .

Tableau N°18 . Présentation des points de prélèvement selon les coordonnées

Nom de Forage	APC	Cordonnées		
		X	Y	Z (m)
Forage Haj Ahmed	Ruissat	5,36	31,93	123
Forage Ain Benississine	Ain Beida	6,039	33,26	58
Forage Tamhalit	Ouargla	5,31	31,96	119
Forage F9	Al Hadjira	5,84	32,53	145,80
Forage F4	N’Goussa	5,67	32,29	150,31
Forage F16	Hassi Ben Abdallah	5,5	31,97	164.88

Source ANRH ,Ourgla

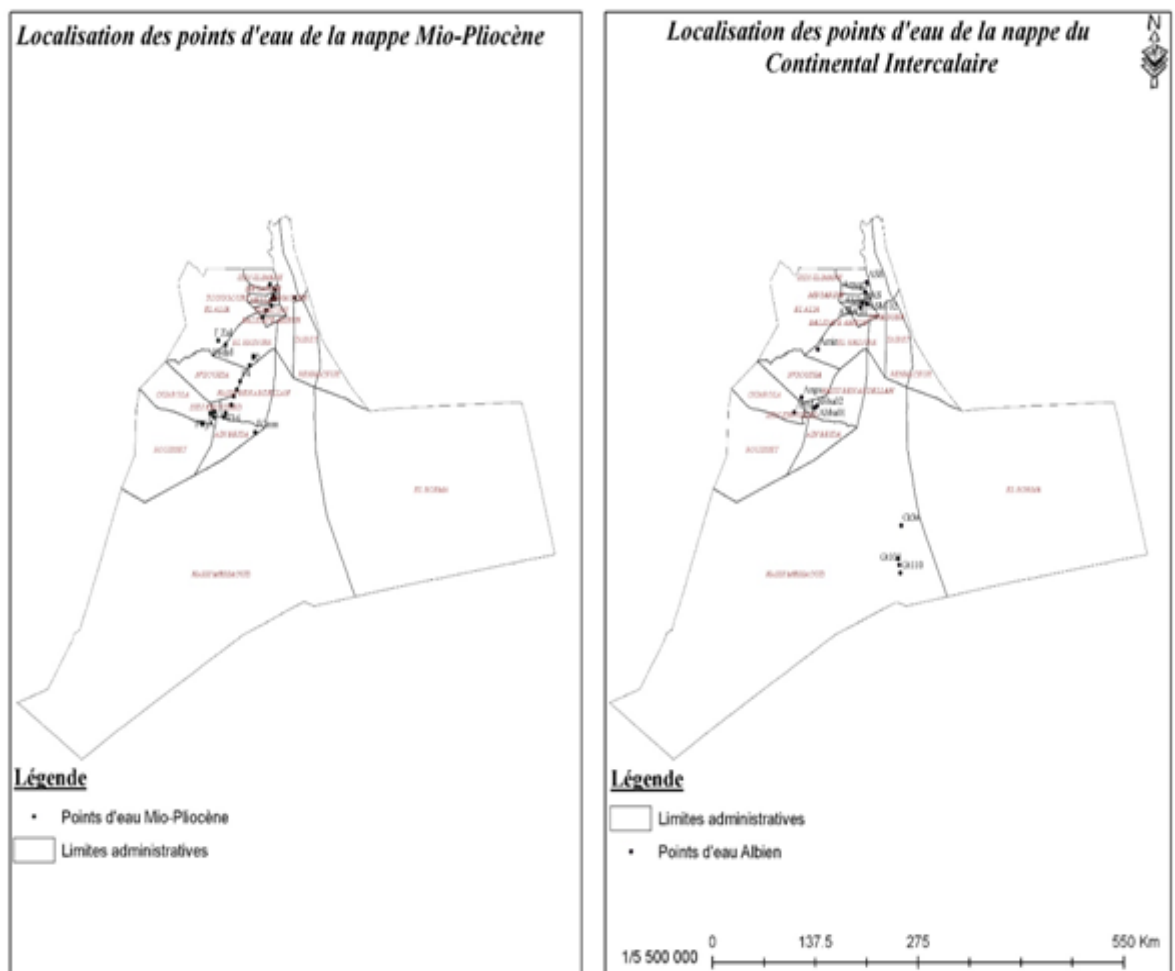


Figure N° 26. Carte de répartition des forages au niveau de la zone d’étude.

III.1.2. Echantillonnage d'eau

Les prélèvements d'eaux dans des flacons propres ; rincés avec l'eau distillées après avec l'eau à analyser, Puis remplis jusqu'au bord, le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucun bulle d'air, et qu'il ne soit pas éjecté à la cour du transport, les flacons sont clairement identifiés à l'aide d'étiquettes indiquant le numéro, la date et l'heure de l'échantillon.

Après la mise en flacon et l'étiquetage, l'échantillon est Placé dans une mallette de transport qui permet de la maintenir au frais et la préservation, Les analyses sont effectuées au niveau :

- 1- Laboratoire des aquifères souterraines et des réservoirs pétroliers et gaziers à l'université de Kasdi Merbah Ouargla.
- 2- Laboratoire de l'Algérienne Des Eaux **ADE**.
- 3- Laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques **ANRH**.
- 4- Laboratoire des Travaux Publics du Sud **LTPS**.

III.1.3. Paramètres physiques et chimiques

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur.

Les paramètres pris en compte sont: pH , Conductivité électrique, Résidu sec , les cations tel que : (les chlorures, les sulfates , les carbonates et les bicarbonates) , les anions tel que : (le sodium , le potassium et le magnésium).

III.2. Présentation des méthodes d'analyses des eaux

III.2.1. Matérielles utilisés au niveau de laboratoire

- Verriers (Entonnoirs ; Bêchers de différents volumes,.....etc).
- Capsules en porcelaine.
- Etuve de séchage réglable.
- Dessiccateur.
- Four à moufle.
- Balance Analytique.

- Agitateur électrique.
- PH-mètre de laboratoire.
- Conductimètre de laboratoire.
- Spectrophotomètre à flamme.
- Spectrophotomètre à absorption atomique.
- Spectrophotomètre DR 2500.
- Réactifs de Spectrophotomètre DR 2500.

III.2.2. Mesures sur terrain

Les mesures de terrain concernent, la conductivité électrique et la température. En effet, nous avons consulté un certain nombre de questions sur la qualité de l'eau à aux consommateurs des forages.

Ils sont mesuré la température à l'aide d'un de terrain. Appareil utilisé : Multi-paramètres portables pour mesures sur site les paramètres suivants : Température, Conductivité, TDS, salinité, pH.

III.2.2.1. Le pH

Le pH de l'eau conditionne les équilibre physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques. Il est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

*Mode opératoire

- Pendre environ = 100 ml d'eau à analyser.
- Allumer le pH mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Vérifier l'étalonnage de l'appareil avec les solutions tampon.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon.
- Laisser stabiliser jusqu'à affichage d'une valeur stable.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.

***Expression des résultats** : La valeur est affichée sur l'écran de l'appareil.

III.2.2.2 Conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique, elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité.

La conductivité électrique d'une eau s'exprime en milli-siemens par centimètre (ms/cm) ou micro-siemens par centimètre (us/cm).

*Mode opératoire

- Vérifier le calibrage de l'appareil.
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser.
- Lire la conductivité et la salinité et la température lorsqu'il stabilise.
- Bien rincer l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée.

***Expression des résultats** : Les valeurs de conductivité en (us/cm), la salinité en (g/l) et de la Température sont affichées sur l'écran de l'appareil.

III.2.2.3. Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau filtrée permet d'évaluer le résidu qui correspond seuls aux matières dissoutes.

* Mode opératoire

- Tarer les capsules préalablement lavées, rincées à l'eau distillée et desséchées.
- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans les fioles jaugées et déverser les dans les capsules.
- Porter cette dernière à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur
- Après constat d'évaporation totale de l'eau pesée les capsules.

* Expression des résultats

$$RS = (p_1 - p_0) \times 100/V$$

D'où :

- P₁ : Poids plein de la capsule.

- P_0 : Poids vide de la capsule.

La concentration du résidu sec est exprimée en mg/l

III.2.2.4. Dosage des anions : (Les chlorures, les sulfates, les carbonates et bicarbonates)

A- Les chlorures

Réaction des ions de chlorure avec des ions d'argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation.

* Mode opératoire

- On prend trois fioles .
- La pris d'essais est de 100 ml .
- 100 ml de l'eau distillée (blanc) .
- 90 de l'eau distillée + 10 ml de NaCl ..
- 5 ml de l'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes K_2CrO_4 (coloration jaunâtre).
- Titrer avec $AgNO_3$ à 0.01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

* Expression des résultats

$$[Cl^-] = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl^-} \times F}{PE} \quad (01)$$

D'où :

- V_{AgNO_3} : volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.
- N_{AgNO_3} : Normalité d' $AgNO_3$, égale à 0,01
- M_{Cl^-} : Masse des chlorures, égale à 35,5 mg
- F : facteur de correction du titre d' $AgNO_3$.
- PE : Prise d'essai
- Pour le F, $F = \frac{1}{V_{AgNO_3}}$

La concentration des chlorures est exprimée en mg/l.

B- Les Sulfates

Les sulfates ont été dosés par le spectrophotomètre DR 2500 : c'est une appareil qui fonction avec la loi de Ber Labeur.

On a deux programme le programme HACH et programme utilisateur ce dernier on a préparé une gamme des étalonnages (absorption moléculaire) des étalons avec des concentrations données et on trouve leur absorbance.



Figure N° 27. Photo du Spectrophotomètre DR 2500

* Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn .
- Passer au Spectrophotomètre.

*Expression des résultats

La concentration des sulfates exprimée en mg/l, est égale à la valeur lue sur le spectrophotomètre multipliée fois le facteur de la dilution

C- Carbonates et bicarbonates

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser.

La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

*Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Noter son pH puis titrer avec HCl à 01N jusqu'à obtention d'un pH de 4,3.

*Expression des résultats

$$\left[\text{HCO}_3^- \right] = \frac{V_A \times N_A \times \text{MHCO}_3^- \times 1000}{\text{PE}} \quad (02)$$

D'où :

- V_A : volume d'acide versé.
- N_A : Normalité d'acide versé, égale à 0,1.
- MHCO_3^- : Masse des bicarbonates, égale à 61 mg
- PE : Prise d'essai

Si le pH de l'échantillon est inférieur à 8,3 ; le TA = 0, Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3, titrer jusqu'à cette valeur (volume d'HCl obtenu correspond au CO_3^{2-}) puis noter le volume V_{A2} .

III.2.2.5. Dosage des cations : (le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium).

A -Sodium et Potassium

Le sodium et le potassium ont été dosés par photométrie à flamme. Appareil Dr LANGE (JENWAY). La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux.

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

* Mode opératoire

Pour l'appareil Dr LANGE (JENWAY) Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.

- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton " fuel " jusqu'à ce que la couleur devienne bleue violacée.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na^+ ou du K^+ à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

***Expression des résultats :** Le résultat est donné directement en mg/l.



Figure N° 28. Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY)

B- Calcium et Magnésium

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diaminetétra acétique(EDTA) à pH=10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions de calcium et de magnésium, est utilisé comme indicateur.

* Mode opératoire

(V1) Ca²⁺:

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N .
- Ajouter du HSN 0,2 g.
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

(V2) Ca²⁺+Mg²⁺ :

- Pour calculer TH on Prend 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de solution tampon .
- Ajouter trois gouttes de noir eriochrome .
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

*Expression des résultats

La détermination de la concentration en mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante:

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_1 \times C_{EDTA} \times F \times M_{Ca^{2+}}}{PE} \times 1000 \quad (03)$$

D'où :

- V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.
- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).
- M_{Ca²⁺} : Masse molaire du calcium (40,80 g).
- PE : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) (50ml).
- F: Facteur.

La détermination de la concentration en mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$[Mg^{2+}] = \frac{(V_2 - V_1) \times C_{EDTA} \times F \times M_{Mg^{2+}}}{PE} \times 1000 \quad (04)$$

D'où :

- V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).
- MMg^{2+} : Masse molaire du Magnésium (24,30 g).
- PE : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) 50 m.
- F: Facteur.

III.2.2.6. Indice de qualité

Dans le cadre de ce travail des classifications pour évaluer l'aptitude de l'eau à des fins d'irrigation ont été déterminés à travers quatre indices suivants :

- a) Pourcentage de magnésium (%Mg).
- b) Pourcentage en sodium (%Na).
- c) Rapport de Kelly (KR) .
- d) Rapport d'adsorption du sodium (SAR).

a) Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est un bon moyen pour la mesure de la salinité afin de dégager le danger sur les cultures. L'excès de salinité diminue l'activité osmotique des plantes et interfère donc avec l'absorption d'eau et des nutriments du sol [31].

- $CE < 250 \mu S/cm$ Classe 1 : Eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour la plupart des cultures sur la plupart des sols.
- $250 < CE < 750$ Classe 2 : Eau de salinité moyenne. Elle peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré.
- $750 < CE < 2250$ Classe 3 : Eau à forte salinité. Elle ne peut pas être utilisée sur des sols faiblement drainés. Même lorsque le drainage est suffisant.
- $2250 < CE < 5000$ Classe 4 : Eau à très forte salinité. Elle ne convient pas à l'irrigation dans des conditions ordinaires. (source 5 mémoire qualité EIRR)

b) Pourcentage de magnésium (%Mg)

Le pourcentage de magnésium ou le danger de magnésium exprime la mesure de l'effet du magnésium dans l'eau d'irrigation. L'excès de magnésium affecte la qualité des sols qui peut se traduire en faible rendement des cultures. Le %Mg est calculé comme suit [38]:

$$\%Mg = \left(\frac{Mg^{2+}}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} \right) \times 100 \quad (05)$$

Les concentrations en milliéquivalent par litre.

- Si $\%Mg < 50$: l'eau est bonne pour l'irrigation ;
- Si $\%Mg > 50$: l'eau est mauvaise pour l'irrigation [Lloyand&Heathcoat, 1985 in Bensedjad A. 2011].

c) Pourcentage en sodium (%Na)

Le Na^+ est un cation important qui se détériore au-delà de la structure du sol et réduit le rendement des cultures. Lorsque la concentration de Na^+ est élevée dans l'eau d'irrigation, Na^+ tend à être absorbé par les particules d'argile et sera remplacé par les ions de Mg^{2+} et Ca^{2+} . Ce processus d'échange de Na^+ dans de l'eau par Ca^{2+} et Mg^{2+} dans le sol réduit la perméabilité. C'est pour cela que le pourcentage en Sodium est considéré comme un indice important pour l'évaluation de l'eau destinée à l'irrigation. Le %Na est calculé selon la formule ci-dessous :

$$\%Na = \left(\frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right) \times 100 \quad (06)$$

Les concentrations en milliéquivalent par litre.

- Si $\%Na < 20$ l'eau d'irrigation est de très bonne qualité ;
- Si $20 < \%Na < 40$ l'eau d'irrigation est de bonne qualité ;
- Si $40 < \%Na < 60$ l'eau est admissible pour l'irrigation ;
- Si $60 < \%Na < 80$ l'eau d'irrigation est médiocre ;
- Si $\%Na > 80$ l'eau est de mauvaise qualité pour l'irrigation.

d) Rapport de l'indice de Kelly (KR)

L'indice de Ratio de Kelly (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na^+ et la somme de Ca^{2+} et Mg^{2+} . Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation [Paliwal, 1967 in Bensedjad A., 2011]. Une grande concentration en Na^+ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation. Cet indice est donné par la relation :

$$KI = \frac{Na^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} \quad (07)$$

Les concentrations en milliéquivalent par litre.

- Si $KR > 1$: l'eau est mauvaise pour l'irrigation.
- Si $KR < 1$: l'eau est bonne pour l'irrigation.

e) Indice d'Adsorption de Wilcox (SAR)

Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR qui est défini par la relation est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, Le SAR peut être déterminé par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (08)$$

Tableau N°19. Valeurs du SAR selon Richards(1954)

SAR	Classification
< 10	Excellent
10 - 18	Bien
18 – 26	Permis
> 26	Inadapté

III.3. Logiciel du SIG et leur domaine d'application

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont apparus à la fin des années 1960. L'idée était simple, il s'agit d'utiliser de grandes possibilités de calcul des ordinateurs pour saisir, gérer et analyser toute sorte d'information spatiale.

Un logiciel SIG est un système informatique de matériels, logiciels, données et workflows permettant de collecter, stocker, analyser et diffuser des informations aux quatre coins du globe. Un Système d'Information Géographique (SIG) est un système avec lequel les utilisateurs interagissent pour intégrer, analyser et visualiser les données géographiques, identifier les relations, les schémas et les tendances et apporter des solutions aux problèmes.

Les notions d'analyse spatiale de l'information géographique interviennent dans toutes les disciplines ayant trait à des phénomènes se déroulant dans l'espace géographique : l'aménagement du territoire, la gestion de l'environnement, l'analyse d'un réseau routière, l'implantation des ouvrages, l'étude du paysage, les études d'impact, la climatologie...etc.

D'un point de vue plus fondamental, le traitement progressif de mesures ou d'observations dénommées données, conduisant à un résultat dont on est capable d'évaluer la précision et la portée, créer une information qui est enrichit notre connaissance du monde réel.

Chaque logiciel SIG représente généralement des informations sur les cartes sous la forme de couches de données utilisées pour l'analyse et la visualisation.

De nombreux spécialistes considèrent la technologie SIG (Système d'Information Géographique) comme l'une des technologies de l'information les plus performantes car elle vise à intégrer des connaissances provenant de sources multiples et crée un environnement pluri secteurs idéal pour la collaboration.

De plus, le SIG séduit les nouveaux utilisateurs par son côté intuitif et cognitif. Il réunit un environnement de visualisation performant et une puissante infrastructure d'analyse et de modélisation spécialement adaptée à la géographie.

Cette combinaison a permis de concevoir une technologie scientifique, éprouvée et accessible à différentes cultures, classes sociales, langues et disciplines.

Pour mettre en œuvre cette vision, un SIG doit proposer plusieurs volets pour afficher et manipuler les informations géographiques :

* **Le volet géodonnées** : un SIG correspond à une base de données spatiales contenant des jeux de données qui représentent des informations géographiques selon un modèle de données SIG générique (entités, rasters, attributs, topologies, réseaux, etc.).

* **Le volet géovisualisation** : un SIG est un ensemble de cartes intelligentes et de vues qui montrent des entités et leurs relations à la surface de la terre. Il est possible d'élaborer différentes vues cartographiques des informations géographiques sous-jacentes, qui s'utilisent comme des « fenêtres ouvertes sur la base de données géographique » afin d'effectuer des requêtes, des analyses et de modifier les informations géographiques.

Chaque SIG intègre plusieurs applications cartographiques bidimensionnelles (2D) et tridimensionnelles (3D) offrant une gamme complète d'outils permettant de traiter les informations géographiques à l'aide de ces volets.

* **Le volet géotraitement** : un SIG comprend des outils de transformation des informations qui produisent des informations à partir des jeux de données existants. Les fonctions de géotraitement partent des informations contenues dans les jeux de données existants, appliquent des fonctions analytiques et écrivent les résultats dans de nouveaux jeux de données. Le géotraitement implique la possibilité de programmer votre travail et d'automatiser les workflows en constituant une séquence ordonnée d'opérations.

Ces trois volets du SIG sont représentés dans ArcGIS® d'ESRI® par le catalogue et la géodata base (un SIG est un ensemble de jeux de données géographiques), la carte (un SIG est une vue cartographique intelligente) et la boîte à outils (un SIG est un ensemble d'outils de géotraitement).

Ensemble, ces trois éléments constituent le noyau d'un système d'information géographique complet et sont utilisés à différents niveaux de toute application et logiciel SIG.

III.3.1. Composantes d'un SIG

Les systèmes d'information géographique sont composés de cinq éléments ; Personnel, logiciels, données, matériel et procédures comme ils sont présentés dans les figures suivantes :



Figure N° 29. Les composants de SIG

III.3.2. Exploitation des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

III.3.2.1. Définition

Tout comme le domaine de la géographie le terme SIG est difficile à définir, Il représente, l'intégration de plusieurs domaines d'étude .On s'accorde souvent pour dire qu'il n'existe pas de définition qui fasse l'unanimité.

De nombreuses définitions ont été proposées par plusieurs auteurs, chacun selon son domaine d'activité, Toutefois, l'idée générale est la même et un SIG peut être défini comme un système informatique de matériels, logiciels et procédures pour faciliter la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, la représentation et l'affichage de données spatialisées pour résoudre des problèmes complexes liées à la planification et la gestion des ressources.

En effet, les Systèmes d'Informations Géographiques se présentent actuellement parmi les meilleures techniques d'aide à la décision par leurs grandes capacités cartographiques, d'analyse spatiale des phénomènes naturels et d'interprétation.

Le SIG est un terme général qui se réfère à un certain nombre de technologies, de processus et de méthodes.

Celles-ci sont étroitement liées à l'aménagement du territoire, la gestion des infrastructures et réseaux, le transport et la logistique, l'assurance, les télécommunications, la planification, l'éducation et la recherche, etc.

C'est pour cette raison que les SIG sont à l'origine de nombreux services de géo localisation basés sur l'analyse des données et leur visualisation.

III.3.2.2. Concepts d'un SIG

La notion de SIG est apparue vers les années soixante Elle résulte de l'extension du système de bases de données à tous les types de données géographiques.

Au départ il s'agissait d'un outil de stockage des données en vue de leur restitution cartographie Ensuite on a recherché à intégrer ces données dans le système générale d'information.

C'est cette dernière évolution qui est essentielle, et qui confère tout son intérêt au concept SIG il faut donc éviter une confusion courante : Un logiciel SIG n'est pas un outil de cartographie

assisté par ordinateur. C'est bien le plus cela, c'est un ensemble d'outils intégrés qui permet de gérer des données qui peuvent être localisées.

III.4. Présentation d'ArcGIS

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias.

ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des Smartphones et d'ordinateurs de bureau.

Le logiciel ArcGis est un logiciel d'information géographique qui a été développé par la société américaine ESRI. ArcGis a développé différentes gammes de produits:

- SIG Bureautique: ArcView, ArcEditor, ArcInfo.
- SIG Serveur: ArcIMS, ArcGis Server, ArcGis Image Server.
- SIG pour développeurs: Extensions afin de développer SIG Bureautique.
- SIG Nomade: ArcPad et ArcGis pour travail de terrain.

L'application utilisée ici est principalement SIG Bureautique. Grâce à sa boîte à outils, Spatial Analyst, des outils sont disponibles afin de créer, compiler et modifier les différents fichiers sur lesquels nous travaillons. Voici les applications utilisées dans le cadre de ce projet:

- A partir d'un fichier Excel avec des coordonnées en lambert93, positionner les données sur le MNT.
- Utilisation d'outils de conversion de couches.
- Utilisation d'outils permettant de tracer les polygones de Thiessen.
- Utilisation d'outils afin d'intersecté différentes couches.
- Utilisation de la BD Carthage afin de calculer les longueurs des cours d'eau.
- Calcul des surfaces des bassins délimités.
- Utilisation de HEC Géo Ras pour l'étude d'inondabilité.

III.5. Cartographie des données

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour déterminer les coordonnées d'un point à la surface de la terre. La plus ancienne est celle des navigateurs : l'astronomie de position, qui consiste à faire des visées sur les étoiles à l'aide d'instruments optiques (astrolabe, sextant,...).

A l'époque moderne, les méthodes ont consisté généralement à constituer d'abord un réseau de points très précis (points dits géodésiques) par triangulations successives, à l'aide de mesures d'angles (avec des théodolites) et de longueurs. A partir de ce réseau géodésique de base, trois types de techniques sont utilisables :

III.5.1. les techniques terrestres : (topométrie) qui consiste à faire des mesures d'angles et de distances à l'aide d'appareils optiques et électroniques.

(**Théodolites, tachéomètres** à réflexions d'ondes) en se rattachant aux points géodésiques.

III.5.2. Les techniques aériennes : (photogrammétrie) qui utilisent des photographies aériennes métriques à recouvrement stéréoscopique (pour la vision en relief) et qui mettent en œuvre des "stéréo-restituteurs" capables de mesurer tout point visible sur les photos.

III.5.3. Les techniques satellitaires: Connues aussi sous le nom de la télédétection spatiale, elles utilisent des images prises par les Satellites d'observation de la terre (Landsat, Spot, Radarsat...), le plus souvent sous forme numérique, et dont le traitement géométrique permet de calculer également la position de tout point visible sur les images.

La télédétection par satellite a ainsi ouvert un énorme gisement d'informations inédites, grâce aux capteurs de rayonnements invisibles.

III.5.4. Radio positionnement par satellites (GPS):le système le plus répandu est le GPS américain (Global Positioning System). Grâce à une constellation de 21 satellites de positionnement, n'importe quel point de la surface terrestre peut être localisé avec un récepteur au sol, selon une précision variable suivant le type de récepteur et les méthodes de recueil et de traitement des données.

Le GPS, auquel s'adjoint, le système européen Galileo, peut ainsi servir aussi bien en géodésie qu'en topométrie, ce qui permet de remplacer progressivement les réseaux géodésiques par des stations GPS permanentes de référence, en nombre très restreint (quelques dizaines sur le territoire Algérien).

III.6. Conclusion

On a vu dans ce chapitre les forages exploités dans l'irrigation au niveau de la région d'étude Ouargla et les points de prélèvement, et les différentes méthodes d'analyses et leur mode opératoire, la détermination des indices de qualité des eaux distingués à l'irrigation tel que le pourcentage de Na, Mg, les indices de : le rapport de Kelly (KR) le rapport d'absorption de Sodium, (SAR) et l'indice de perméabilité (IP).

On a aussi présentés des généralités sur SIG et leur domaine d'application, parmi logiciels SIG qu'ils sont les plus utilisés pour la cartographie des données c'est le logiciel Arcgis qu'il on a l'utilisé dans ce travail.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Donnée collectés et résultats d'analyses et du calcul

IV.1.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter les différentes données collectés et les résultats obtenu des analyses physico-chimique réalisés sur les échantillons qu'ils sont prélèvés des quelques forages de la nappes albienne et Mio-pliocène prélevés au niveau de la région de Ouargla sous forme des tableaux, puis on va présenter aussi les résultats de calcul des différents indices de qualité afin de spatialiser et classifier ces eaux d'irrigation.

IV.1.2. Résultats de mesures et d'analyses

IV.1.2.1. Conductivité (CE)

Les valeurs de la conductivité pour les deux nappes montrent une forte minéralisation, qu'il indique une qualité d'eau très salée, pour les eaux de la nappe Miopliocènes varient entre 3340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 6520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme une valeur maximale et celle albienne varient entre 2330 $\mu\text{S}/\text{m}$ comme une valeur maximale et de valeur minimale 7550 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau N°20. Variations du CE pour les eaux d'irrigation la nappe Mio-pliocène et Albienne

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Miopliocène	Albienne
Max	6520	7550
Min	3340	2330
Moyenne	4786,37	3840,71
Ecart-type	877,05	1775,5

IV.1.2.2. Résidus Sec (RS) à 105 °C

Les valeurs de résidus secs obtenus pour les deux nappes albienne et Mio-pliocène indiquent une eau très chargé, on a observé RS qui dépasse 6000 mg/l pour les eaux de la nappe Mio-pliocène et de 4900 mg/l pour la nappe albienne.

Tableau N°21. Variations du RS pour les eaux d'irrigation la nappe Mio-pliocène et Albienne

RS (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	6110	4900
Min	2500	1544
Moyenne	4011.23	2765,42
Ecart-type	846,68	995,58

IV.1.2.3. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Les valeurs de pH pour les eaux des forages albiens et Mio-pliocènes gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité, avec une valeur maximale 8,2 pour les eaux de nappes Mio-pliocènes les valeurs sont entre : (7,24 à 8,2) et de valeur maximale 8,41 pour les eaux de nappes albiennes. Ces eaux possèdent des pH variant entre (7,22 à 8,41).

Tableau N°22. Variations du PH des eaux d'irrigation Mio-pliocène et Albiennes

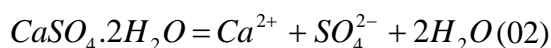
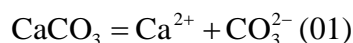
pH	Mio-pliocène	Albienne
Max	8,2	8,41
Min	7,24	7,22
Moyenne	7,75	8,11
Ecart-type	0,27	0,31

IV.1.2.4. Electrolytes minéraux

a) Cations

a.1). Calcium (Ca²⁺)

La présence des ions Ca²⁺ dans les eaux des forages est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) suivant la formule (01) ainsi que les formations gypseuses (CaSO₄) suivant la formule (02).



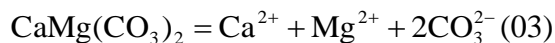
Les eaux d'irrigation (Tableau N°16) présentent des teneurs élevées. Ces eaux sont plus riches par l'élément en question. Dans ces eaux, le calcium est d'une concentration max de 561,2 mg/l pour les eaux Mio-pliocènes et concentration max de 270 mg/l pour les albiennes.

Tableau N°23. Variations de Ca²⁺ des eaux d'irrigation Mio-pliocène et Albiennes

Ca ²⁺ (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	561,2	275
Min	217,5	121,5
Moyenne	365,82	182,46
Ecart-type	104,71	47,88

a.2). Magnésium (Mg^{2+})

Cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium en l'occurrence ; la dolomite selon la relation (03) suivante :



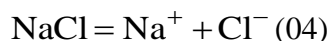
La teneur est élevée dans les eaux Miopliocènes elles varient entre 41 mg/l et 355 mg/l. Tandis qu'elle diminue dans celle de l'Albienne elles varient entre 96 et 184 mg/l. La teneur élevée du Magnésium dans la nappe Miopliocène est liée à sa présence dans la composition des argiles qui constituent des formations imperméable et semi-perméable des toits et /ou des murs des horizons renfermant les nappes.

Tableau N°24. Variations de Mg^{2+} des eaux d'irrigation albiens et Mio-pliocènes

Mg^{2+} (mg/l)	Mio-pliocène	Albienne
Max	355,8	184
Min	41,31	96
Moyenne	190,22	138,52
Ecart-type	85,69	29,37

a.3). Sodium (Na^+)

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'Halite (04) ($NaCl$), qui se fait selon la relation suivante :



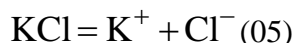
En effet, le sodium, affiche des teneurs élevées et non homogènes dans les eaux destinés à l'irrigation dans la région de Ouargla soit les albiennes ou celles miopliocènes, avec des valeurs maximales de 680 mg/l et une valeur max de 885 mg/l dans la nappe miopliocène.

Tableau N°25 . Variations du Na^+ dans les eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.

Na^+ (mg/l)	Mio-pliocène	Albienne
Max	885	680
Min	330	230
Moyenne	545,29	451,96
Ecart-type	165,04	137,04

a.4). Potassium (K^+)

Il provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence de (KCl) (05), ou par suite d'altération des argiles potassiques.



Les teneurs en potassium observées dans les eaux de la nappe albienne et Mio-pliocène dévoilent des valeurs légèrement faibles qui atteignent la valeur de 9,5 mg/l dans la nappe miopliocène et de 13,5 mg/l pour celle albienne, et une valeur maximale enregistrée dans la nappe de CI (albienne) est égale à 79,5 mg/l.

Tableau N°26. Variations du K⁺ dans les eaux d'irrigation Miopliocènes et albiennes.

K ⁺ (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	65,1	79,5
Min	9,5	13,5
Moyenne	28,69	37,76
Ecart-type	15,50	20,27

b) Anions

b.1). Chlorure (Cl⁻)

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de l'Halite (04). En effet, les chlorures, de même que pour le sodium, affichent des teneurs les plus élevées dans les eaux d'irrigation, avec des valeurs maximales de 3976 mg/l aux eaux Moi-pliocènes et de 1350 mg/l dans les eaux albiennes.

Leur principale inconvénient est la saveur désagréable qui communique à l'eau surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium, le cas de l'ensemble de nos forages.

Tableau N°27. Variations du Cl⁻ (mg/l) dans les eaux d'irrigation Moi-pliocènes et albiennes

Cl ⁻ (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	3976	1350
Min	118	355
Moyenne	1269,13	781,64
Ecart-type	735,04	285,84

b.2). Sulfates (SO₄²⁻)

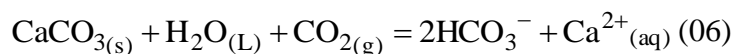
La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation (02). Les concentrations des sulfates dans les eaux analysées pour la nappe Mio-pliocène est d'une valeur maximale 2800mg/l, avec une concentration moyenne de 1523,2 mg/l. Et d'une valeur maximale pour la nappe Albienne de 1075 mg/l, les valeurs sont variés d'un forage à un autre, cette teneur est variable ceci s'explique par la lithologie gypseuse de la région.

Tableau N°28. Variations du SO_4^{2-} pour les eaux d'irrigation Mio-pliocènes et albiennes

SO_4^{2-} (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	2900	1075
Min	649,4	575
Moyenne	1523,2	833,64
Ecart-type	530,61	142,39

b.3). Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire. dolomite...etc.) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les pH alcalins de l'eau inférieurs à 8,3, maintiennent l'eau dans le domaine de stabilité IVs-à-IVs des bicarbonates dans la nappe albiennne et miopliocène.

Dans les eaux miopliocène, la concentration maximale en bicarbonates observées est 350 mg/l et de concentration moyenne de 122,17 mg/l dépassent la valeur guide (30mg/l). Pour les eaux d'irrigation albiennes la valeur maximale dépasse la valeur de 200 mg/l.

Tableau N°29. Variations du HCO_3^- pour les eaux d'irrigation Mio-pliocènes et albiennes

HCO_3^- (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	350	213,5
Min	15	56
Moyenne	122,17	152,41
Ecart-type	65,46	51,48

b.4). Nitrate NO_3^{2-}

Le nitrate représente la teneur en azote dans les eaux des forages à étudier les valeurs présentées dans le tableau N° 24 montre une variation des valeurs de Nitrate avec une valeur minimale de 1 mg/l, et une valeur max de 127,9 mg/l pour la nappe Albiennne et une valeur maximale de 42 mg/l pour les eaux de la nappe Mio-pliocène.

Tableau N°30. Variations du NO_3^{2-} (mg/l) des eaux d'irrigation Mio-pliocènes et albiennes

NO_3^{2-} (mg/l)	Miopliocène	Albienne
Max	42	127,9
Min	0	0
Moyenne	10,95	15,97
Ecart-type	10,97	33,63

IV.1.3. Résultats de calculs des indices de qualité

IV.1.3.1. Taux d'Absorption du Sodium (SAR)

Le SAR des eaux d'irrigation atteint des valeurs faibles dans la plupart des échantillons où la valeur maximale enregistrée est de 11,66 dans les eaux Mio-pliocène, cette valeur indique que l'alcalinité est moyenne par contre dans les 88% des échantillons le risque de l'alcalinité est faible.

Tableau N°31. Variation du SAR des eaux d'irrigation nappes Mio-pliocènes et albiennes.

SAR	Mio-pliocène	Albienne
Max	11,66	8,28
Min	3,79	3,46
Moyenne	7,12	6,00
Ecart-type	2,22	1,84

IV.1.3.2. Pourcentage en sodium (%Na)

Le pourcentage en sodium des eaux Mio-pliocène varie de 30,89 à 62,97% avec une moyenne de 47,43%, et une variation de 38,70 à 61,33% pour les eaux albiennes, la moyenne de celle-ci est plus légèrement de 49%, les valeurs du % Na calculées permettent de classer ces eaux dans trois classes C2 , C3 et C4 (Tableau n°32).

Tableau N°32. Variation du pourcentage de Na des eaux d'irrigation nappes Mio-pliocènes et albiennes.

Na (%)	Mio-pliocène	Albienne
Max	62,97	61,33
Min	30,89	38,70
Moyenne	47,43	49,37
Ecart-type	8,14	7,72

IV.1.3.3. Indice de perméabilité (IP)

Le classement des eaux d'irrigation selon l'indice de perméabilité IP résulte que la totalité de ces eaux se situent dans la deuxième classe C2 où cet indice est compris entre $25\% < IP < 75\%$, cette eau est admissible à l'usage agricole sous certaines conditions. Le IP varie entre 32,75 à 64,43% pour les eaux Mio-pliocènes et varie de 40,04 à 63,79% celles l'albiennes (tableau n°33).

Tableau N°33. Variation de l'indice IP des eaux d'irrigation nappes Mio-pliocènes et albiennes.

IP (%)	Mio-pliocène	Albienne
Max	64,43	63,79
Min	32,75	40,03
Moyenne	49,33	52,76
Ecart-type	8,27	8,27

IV.1.3.4. Rapport de Kelly (KR)

Selon les valeurs du rapport de Kelly obtenues, les eaux d'irrigation analysées dans la wilaya de Ouargla se divisent entre les eaux de bonne qualité où ce rapport est inférieur à 1, et celles de mauvaise qualité où le KR est supérieur à 1. Le KR varie entre 0,44 à 1,68 méq/l pour les eaux Mio-pliocènes et varie de 0,61 à 1,49 % pour celles l'albiennes (tableau n°34).

Tableau N°34. Variation de l'indice KR des eaux d'irrigation nappes Mio-pliocènes et albiennes.

KR (méq/l)	Mio-pliocène	Albienne
Max	1,68	1,49
Min	0,44	0,61
Moyenne	0,93	0,98
Ecart-type	0,30	0,30

IV.1.3.5. Pourcentage de magnésium (%Mg)

A travers le calcul des pourcentages de magnésium, on constate que les bonnes eaux (%Mg < 50%) dominent les mauvaises eaux (%Mg > 50%), où les eaux Mio-pliocènes son pourcentage de magnésium varie entre 26,39 à 71,19 % et varie entre 32,61 à 59,94 % pour les eaux albiennes. (Tableau n°35).

Tableau N° 35. Variation de l'indice Mg des eaux d'irrigation nappes Mio-pliocènes et albiennes.

Mg (%)	Mio-pliocène	Albienne
Max	71,19	59,94
Min	26,39	32,61
Moyenne	46,94	40,00
Ecart-type	12,45	6,80

IV.2. Discussion des résultats et étude de la qualité spatiale

IV.2.1. Discussion des résultats et des données

Les résultats des différentes analyses physico-chimiques sur les eaux souterraines d'irrigation de la wilaya de Ouargla, montre une concentration très élevée des chlorures suivi les sulfates qui ont des teneurs assez proches. Concernant les concentrations des cations on constate que le sodium est présent en grande quantité. L'ordre d'abondance à retenir pour les anions et les cations est respectivement le suivant : $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ et $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Le faciès le plus dominant dans l'eau Mio-pliocène est chloruré sodique (87,26 % des échantillons) et d'un degré moindre un faciès secondaire chloruré magnésien (21,74 % des échantillons), avec l'absence d'un

faciès sulfaté magnésien. Pour l'eau d'irrigation albienne le faciès les plus dominants sont le sulfaté sodique et le chloruré sodique, ils représentent 42,85% de chaque un et le seconde faciès le sulfaté magnésien.

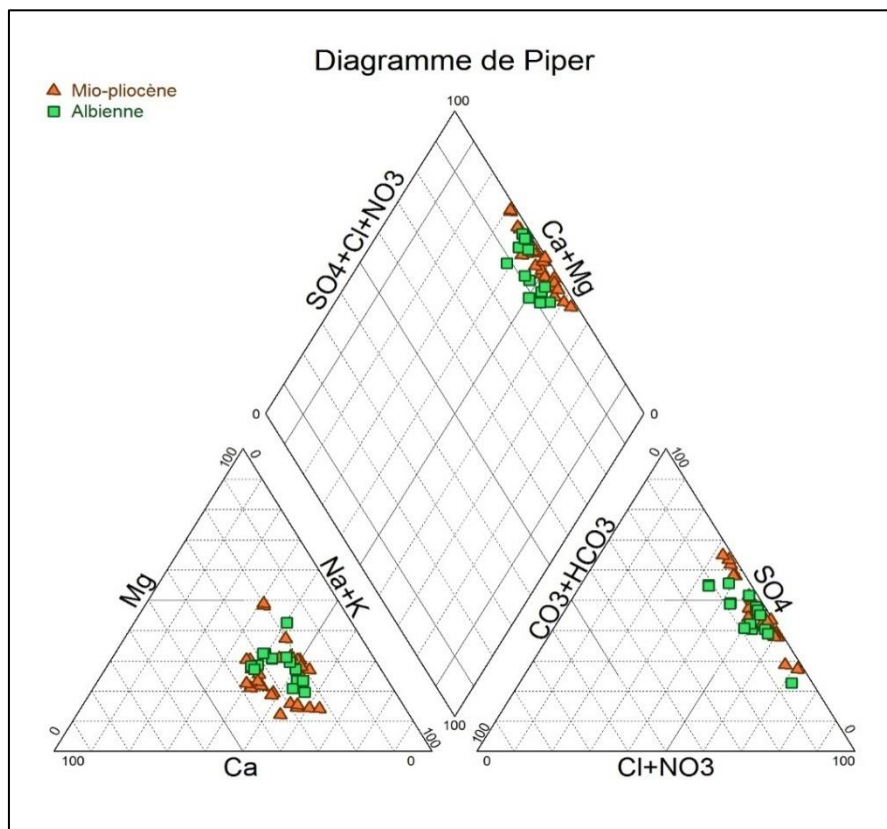


Figure N°30. Diagramme de piper des eaux d'irrigation dans la région de Ouargla

IV.2.2. Etude de la qualité de l'eau pour l'irrigation

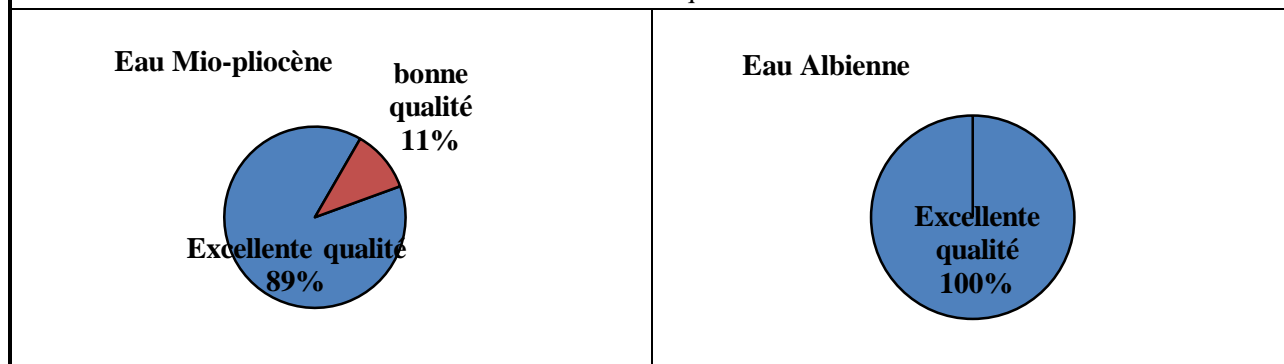
a) Taux d'Absorption du Sodium (SAR)

Selon les valeurs du SAR, la totalité des forages qui captent la nappe albienne se situent dans la classe des excellentes eaux à l'usage agricole ce qui signifie qu'on peut irriguer par ces eaux sans risque d'alcalinisation pour presque tous les sols. Plus de 88% des eaux Mio-pliocènes se situent dans la première classe des excellents eaux peuvent être irrigable pour la plupart des sols, l'autre part de 11% représente des bonnes eaux contenant une quantité moyenne de sodium, Cela conduit à des difficultés pour irriguer les sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

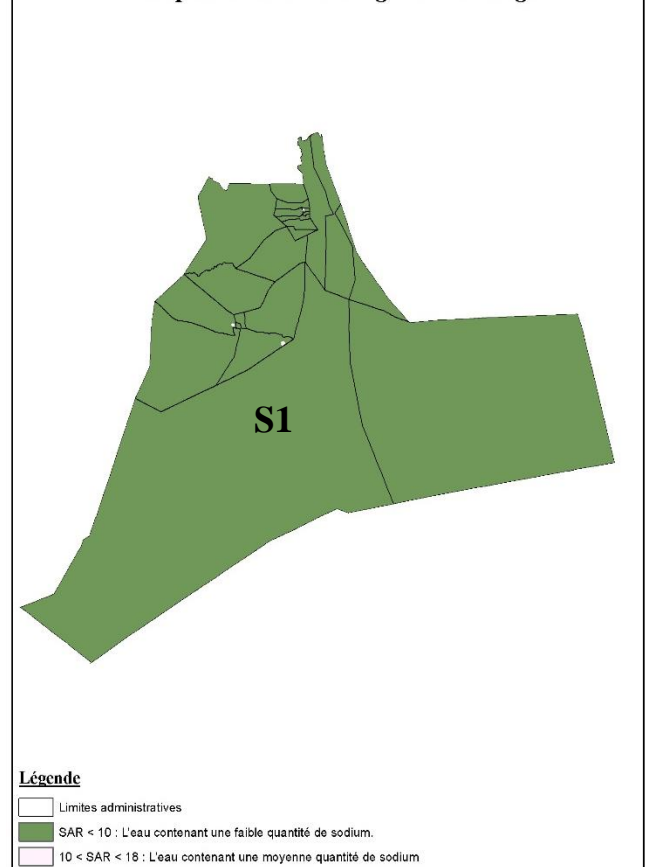
Tableau N°36 . Qualité des eaux d’irrigation selon l’indice SAR

Classe	Valeur du SAR	Qualité de l’eau	Pourcentage des eaux
S1	<10 méq/l	Eau d’irrigation excellente qualité ; faible danger d’alcalinisation.	88,89% Mio-pliocène
			100 % Albienne
S2	10 < SAR < 18 méq/l	Eau d’irrigation de bonne qualité ; danger d’alcalinisation moyenne.	11,11% Mio-pliocène
			0% Albienne

Secteurs de qualité



Carte représentative des Valeurs du SAR en (%) de la nappe de Miopliocène dans la région de Ouargla



Carte représentative des Valeurs du SAR en (%) de la nappe de la nappe du Continental Intercalaire dans la région de Ouargla

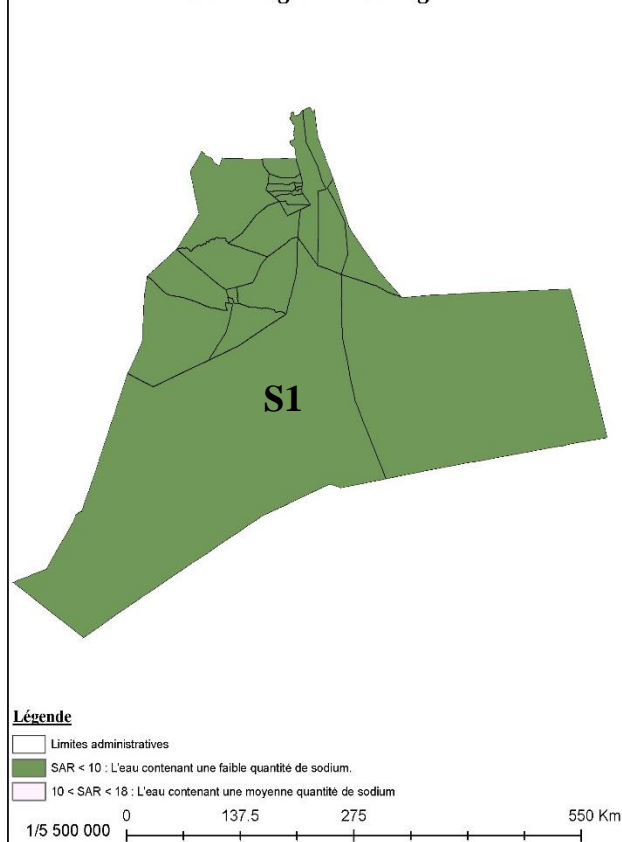


Figure N°31. Spatialisation du SAR des eaux d’irrigation dans la région de Ouargla

b) L'évolution de la conductivité par rapport au SAR

On prend en considération de l'évolution de la conductivité par rapport au SAR selon log Wilcox, les eaux étudiées appartiennent à trois classes : C4S1 ; C4S2 et C4S3. Ces eaux se caractérisent par une mauvaise qualité pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées, que si l'on pratique un lessivage intense et pour des cultures très tolérantes sinon l'eau est inutilisable, car elle est très dangereuse sur sols faiblement drainés et peut présenter dans une certaine mesure un danger sur la plupart des cultures.

Tableau n°37 . Qualité des eaux d'irrigation selon le couplement SAR et CE

Classe	Valeur du SAR et CE	Pourcentage des eaux	Qualité de l'eau
C4S1	SAR <10 méq/l 2250 < CE < 5000 µS/cm	46,66% Albienne	Eau médiocre En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines cultures bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
C4S2	10 < SAR < 18 méq/l 2250 < CE < 5000 µS/cm	40,74 % Albienne	
		33,34 % Mio-pliocène	
C4S3	18 < SAR < 26 méq/l 2250 < CE < 5000 µS/cm	20% Albienne	
		59,26 % Mio-pliocène	

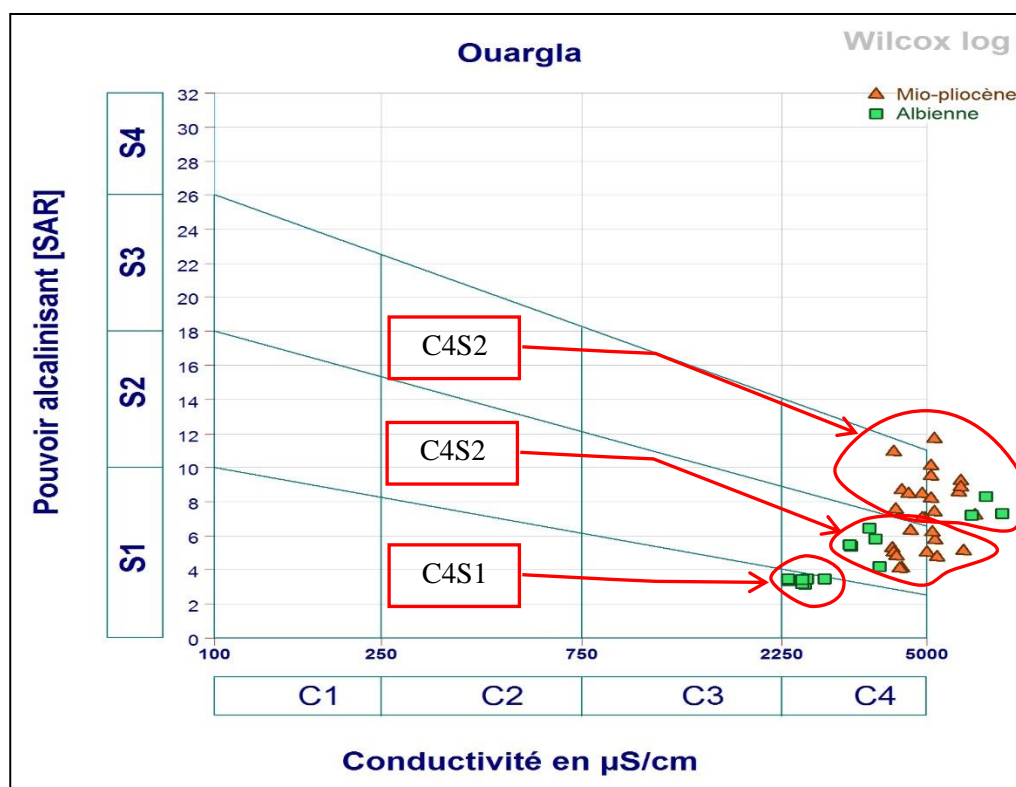


Figure N°32. Evolution de la conductivité par rapport au SAR selon log Wilcox

c) Pourcentage en sodium (%Na)

On constate que les eaux admissibles à l’irrigation dominent les bonnes eaux et les eaux médiocres, selon les pourcentages de Na des eaux d’irrigation, où les Mio-pliocènes admissibles représentent une proportion qui dépasse 70%, cette valeur augmente jusqu’elle atteint 93,33 % dans l’eau albienne. A l’autre côté dans la deuxième classe (C2) les eaux de bonne qualité représente 18,52 % pour les eaux Mio-pliocènes.

La quatrième classe (C4) les eaux de médiocre qualité représente un pourcentage de 7,41 %, où ce pourcentage diminue au sein des eaux albiennes jusqu’il atteint un minimum de 6,67% (Tableau n°38).

Tableau N°38. Qualité des eaux d’irrigation selon l’indice de pourcentage de sodium (%Na)

Classe	% Na	Qualité de l’eau	Pourcentage des eaux
C2	20 < %Na < 40	L’eau est bonne pour l’irrigation	18,52% Mio-pliocène
			0% Albienne
C3	40 < %Na < 60	l’eau est admissible pour l’irrigation ;	70,37% Mio-pliocène
			93,33% Albienne
C4	60 < %Na < 80	l’eau d’irrigation est médiocre ;	7,41% Mio-pliocène
			6,67% Albienne

Secteurs de qualité	
<p>Eau Mio-pliocène</p> <p>Médiocre 8%</p> <p>bonne eau 19%</p> <p>admissible 73%</p>	<p>Eau Albienne</p> <p>Médiocre 7%</p> <p>admissible 93%</p>

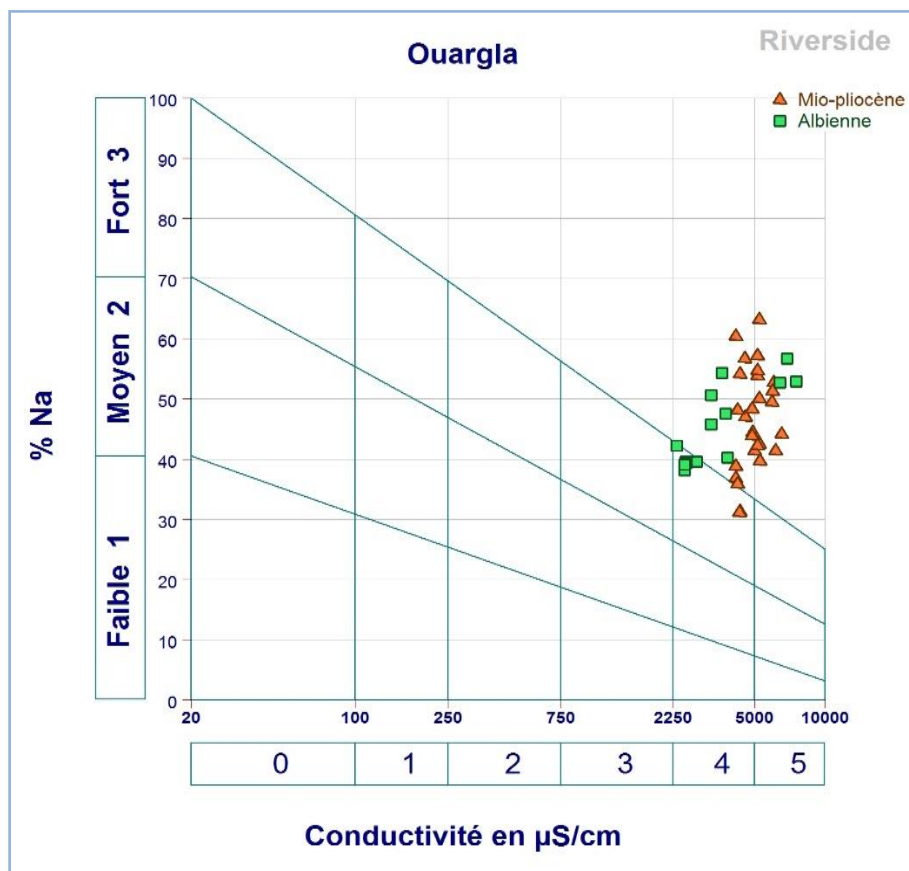


Figure N°33 : Evolution de la conductivité par rapport au pourcentage de Na selon Riverside

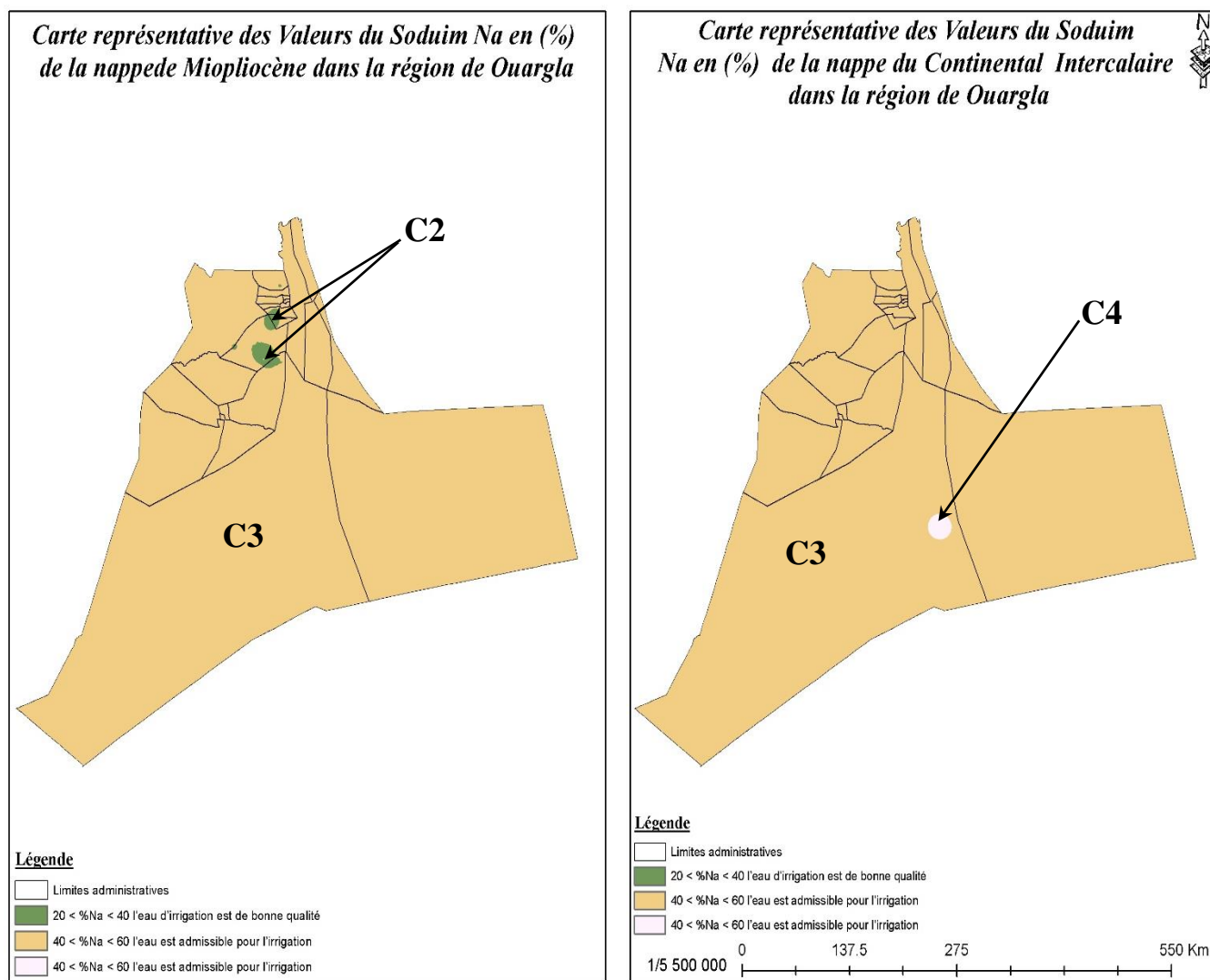


Figure N°34.Spatialisation du %Na pour les eaux d’irrigation dans la région de Ouargla

d) Rapport de Kelly (KR)

Selon le rapport de Kelly les grands pourcentages apparaissent aux eaux de bonne qualité dans la deuxième classe C2 où le KR est inférieur à 1.

Les eaux Mio-pliocènes présent au-delà de 66% et les eaux albiennes dépassent le 53%. Par contre les mauvaises eaux présentent la moindre proportion où les mauvaisesalbiennes présentent 46,67% et les miopliocène présentent 33,33%.

Tableau N°39 . Qualité des eaux d’irrigation selon l’indice de rapport de Kelly (KR)

Classe	KR	Qualité de l’eau	Pourcentage des eaux
C1	KR>1	L’eau est mauvaise pour l’irrigation ;	33,33% Mio-pliocène
			46,67% Albienne
C2	KR<1	L’eau est bonne pour l’irrigation.	66,67 % Mio-pliocène
			53,33 % Albienne

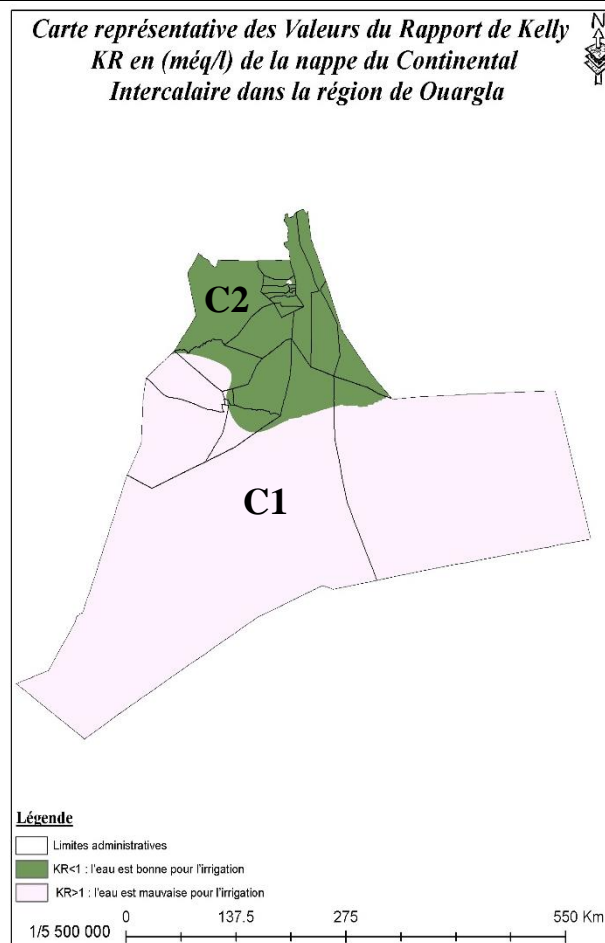
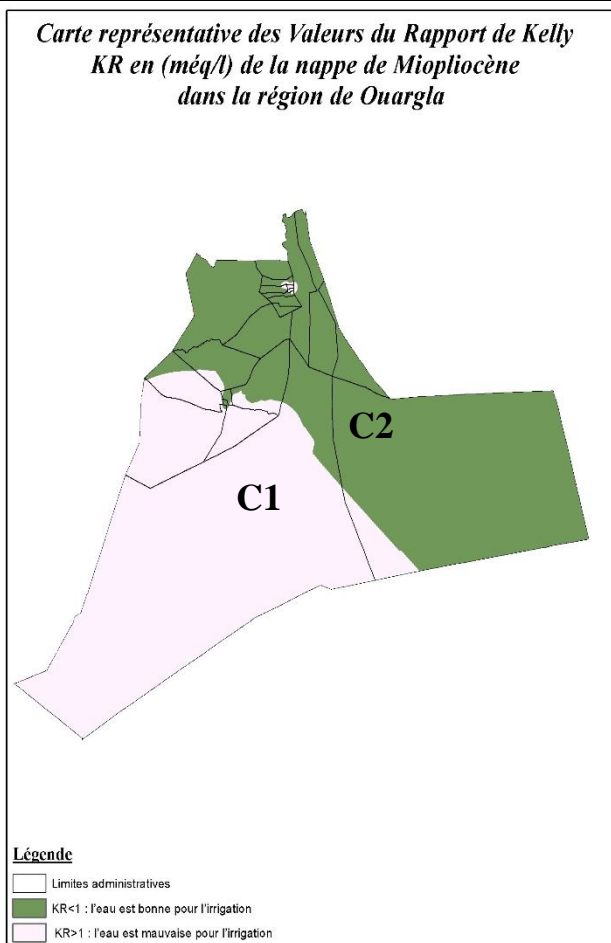
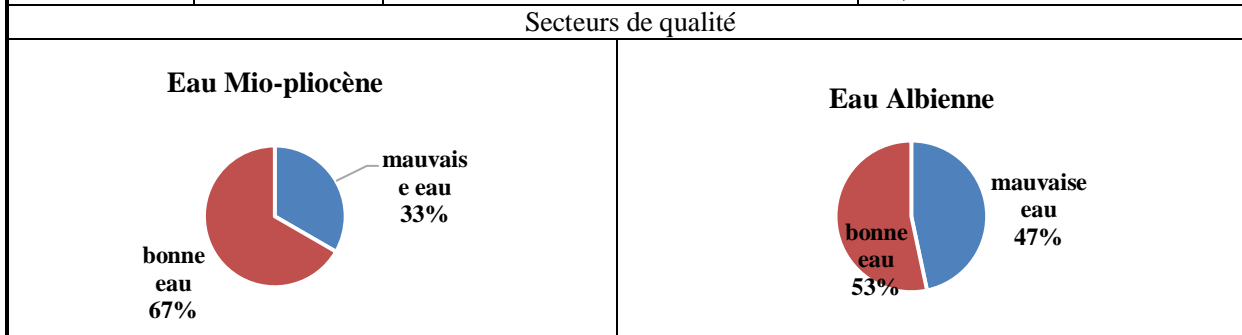


Figure N°35. Spatialisation du KR des eaux d’irrigation dans la région de Ouargla

e) Pourcentage de magnésium (%Mg)

A travers le calcul des pourcentages de magnésium, on constate que les bonnes eaux dominent les mauvaises eaux où les Mio-pliocènes représentent une proportion qui dépasse 60%, cette valeur

augmente jusqu' elle atteint 93 % dans l'eau albiennne. A l'autre côté dans la deuxième classe les eaux de mauvaise qualité représente un pourcentage de 37 %, où ce pourcentage diminue au sein des eaux albiennes jusqu' il atteint un minimum de 6,67% (Tableau n°40).

Tableau N°40. Qualité des eaux d'irrigation selon l'indice de pourcentage de magnésium (%Mg)

Classe	%Mg	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux
C1	Mg<50%	l'eau est bonne pour l'irrigation	62,96% Mio-pliocène
			93,33 Albiennne
C2	Mg> 50%	l'eau est mauvaise pour l'irrigation	37,04% Mio-pliocène
			6,67 % Albiennne

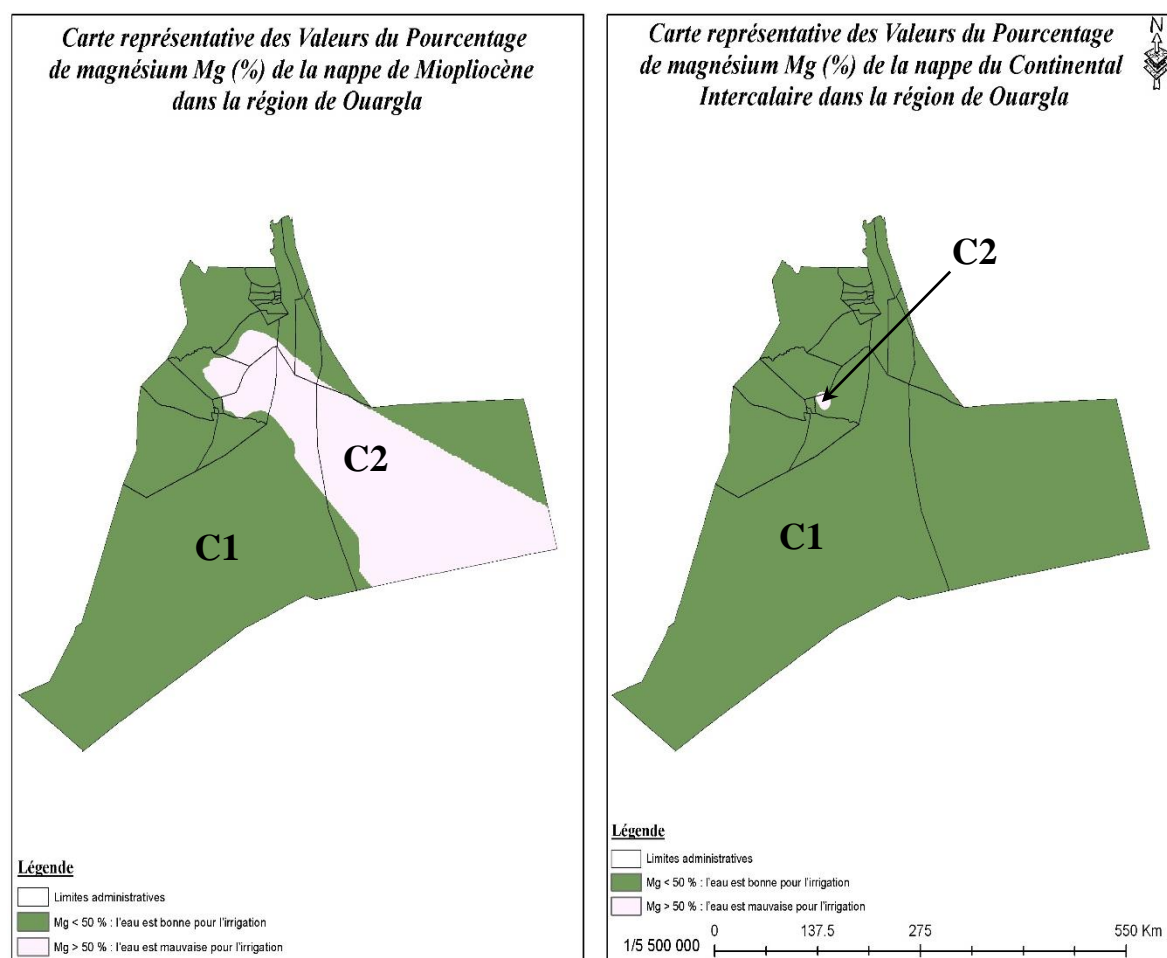
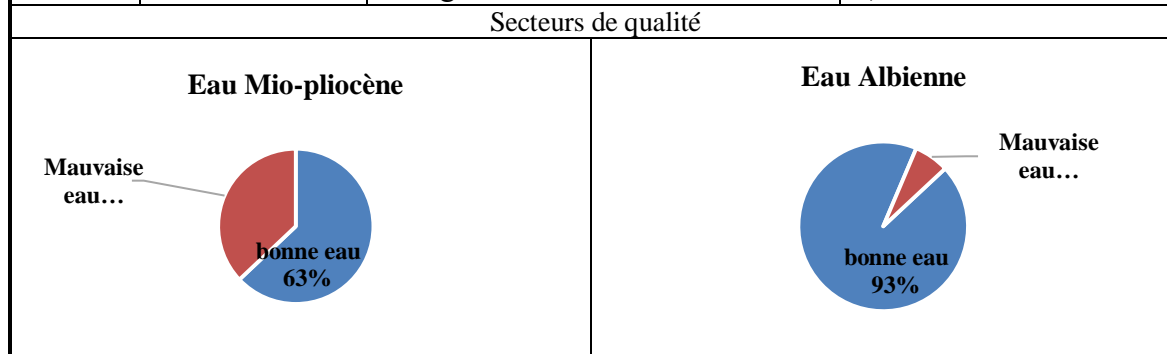


Figure N°37. Spatialisation du % Mg des eaux d'irrigation dans la région de Ouargla

IV.3. Conclusion

Les résultats d'analyses chimique des eaux deux nappes utilisées comme ressource d'irrigation montre une minéralisation très élevé, tel que Les résultats d'analyses chimiques des eaux relèvent une concentration très élevée des chlorures suivi les sulfates qui ont des teneurs assez proches.

Le faciès chimique le plus dominant dans l'eau Mio-pliocène est chloruré sodique et d'un degré moindre le faciès chloruré magnésien puis le faciès sulfaté sodique, pour l'eau d'irrigation albienne le faciès dominant est le sulfaté sodique et le chloruré sodique.

D'après le diagramme de Riverside, les eaux d'irrigation pour les deux nappes exploitées (albienne et Mio-pliocène) sont situées dans les classes S2-C4 et S3-C5, cette dernière est caractérisée par une qualité une mauvaise vu la forte teneur en Sodium et la conductivité élevée.

Concernant les indices de qualité de ces eaux on constate pour l'indice de IP que la totalité des eaux sont classés dans la classe C2, c'est qui montre que ces eaux sont admissible l'usage agricole, le rapport de l'indice de Kelly est varié 0.44 à 1.68 méq/l pour les deux nappes, qu'il indique que ces eaux ne sont pas toutes aptes pour l'irrigation. Le pourcentage de Sodium montre que la majorité de ces eaux sont situées dans les classes C2,C3 et C4, on constate que les eaux admissibles à l'irrigation dominant les bonnes eaux et les eaux médiocres et pour le pourcentage de Magnésium est varié dans la nappe Mio-pliocène de : 26.39 à 71.19 % et de 32,61 à 59.94 % pour la nappe Albienne c'est-à-dire que ces eaux sont classé aux classes C1 et C2 bonne qualité et mauvaise qualité pour l'irrigation , Le rapport d'absorption de Sodium pour la totalité des forages de la nappe albienne sont situés à la classe excellente, seulement une valeur max et les autre le risque d'alcalinité est faible pour la nappe Mio-pliocène

Conclusion générale

Dans notre étude, nous avons essayé d'évaluer la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation dans la wilaya de Ouargla en utilisant quatre indices de qualité des eaux destinée à l'activité agricole dont le taux d'absorption du sodium (SAR), le rapport de Kelly (KR), le pourcentage de sodium (%Na) et le pourcentage de Magnésium (%Mg). En plus des critères, nous avons utilisé le diagramme de piper pour déterminer les faciès chimiques dominantes et le diagramme de log Wilcox et de Riverside pour trouver la classification des eaux vis-à-vis à l'irrigation. Les résultats de la conductivité électrique (CE) montrent que les eaux pour les deux nappes étudiées, le continental intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT), sont caractérisées par une très forte salinité et présentent un grand danger de salinisation et d'alcalinisation des sols, on peut dire que ces eaux ne conviennent pas à l'irrigation avec des conditions ordinaires.

Les eaux étudiées sont caractérisées par une valeur maximale du taux d'absorption de sodium pour les deux nappes exploitées, qui dépasse 11 méq/l et une moyenne de 7,12 méq/l. Selon la valeur moyenne du Ratio de Kelly ($RK < 1$) et du SAR (< 10 méq/L), la majorité des eaux souterraines sont d'excellentes qualités pour l'agriculture. Par contre quand on a lié le SAR avec la CE à l'aide du diagramme de log Wilcox, nous avons constaté que les eaux d'irrigation situées dans la classe des eaux médiocres (C4S1, C4S2 et C4S3) pouvant convenir à l'irrigation de certaines cultures bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Selon le %Na, on distingue 70% d'eau de CT et 90% d'eau de CI sont admissibles à l'usage agricole. A travers le calcul des pourcentages de magnésium, on constate que les bonnes eaux dominant les mauvaises eaux où les Mio-pliocènes représentent une proportion qui dépasse 60%, cette valeur augmente jusqu'elle atteint 93 % dans l'eau albiennaise. A l'autre côté dans la deuxième classe les eaux de mauvaise qualité représente un pourcentage de 37 %, où ce pourcentage diminue au sein des eaux albiennes jusqu'il atteint un minimum de 6,67%.

Recommandation

Les recommandations ci-dessous visent à élucider certains problèmes qui ont été observés, à préciser les incertitudes résultant de l'étude actuelle et à proposer des interventions en conséquence :

1. Faire de nouvelles campagnes d'analyse chimique sur un maximum de forage d'eau de la nappe aquifère CI et CT sur des périodes temporelles variées, afin d'actualiser les données

Conclusion générale

chimiques, dans l'objectif de suivre l'évolution spatio-temporelle de la qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation.

2. Essayer de détecter par analyse chimique, d'autres éléments chimiques, indicateurs de pollution agricole, tels que : les nitrates, l'Ammonium, les phosphates, ...ets, afin de vérifier de la contamination chimique.
3. Réaliser une étude de modélisation hydro-dispersive des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants s'ils existent, ce qui peut beaucoup aider à la protection de la nappe contre toute forme de pollution.

Annexes

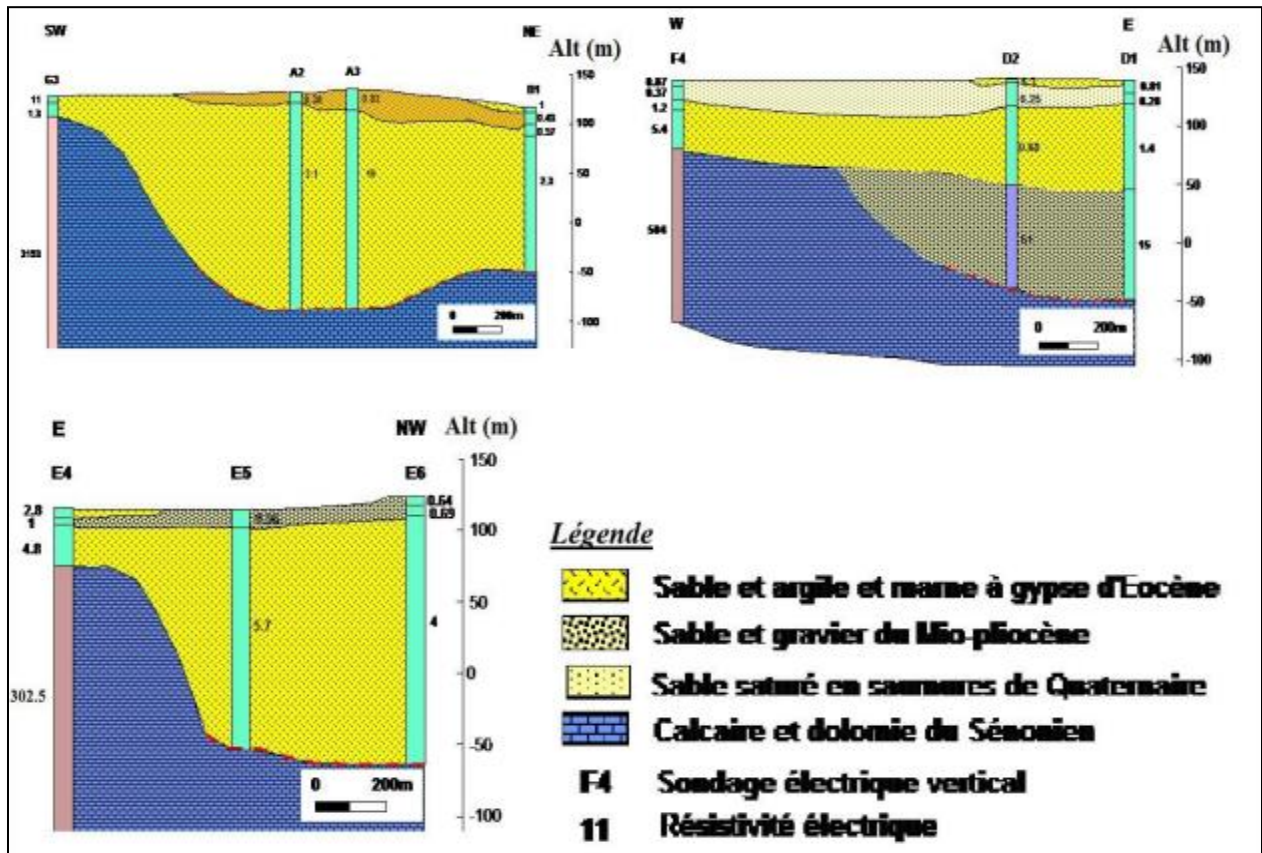


Figure N° 01. Coupes géoélectriques dans cuvette d'Ouargla (Zadouri.2010)

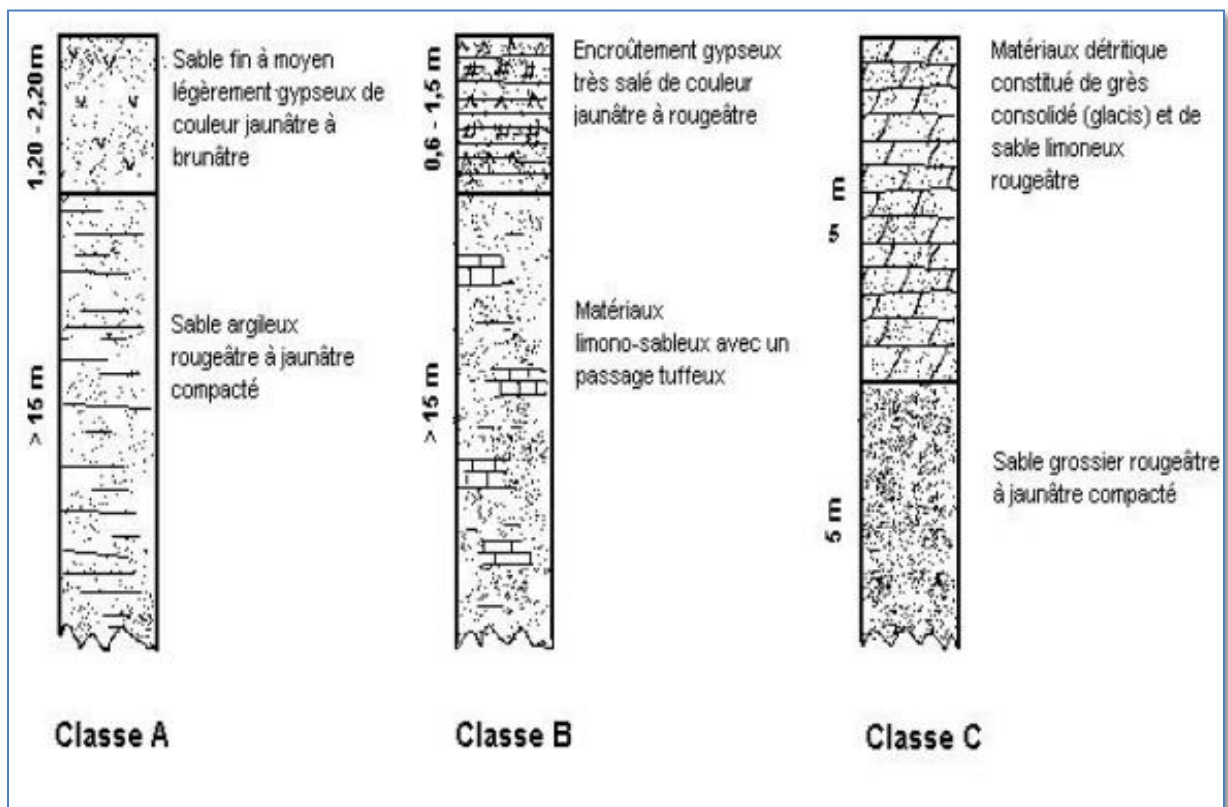


Figure N° 02. Lithologie de la zone non saturée de la nappe superficielle d'Ouargla

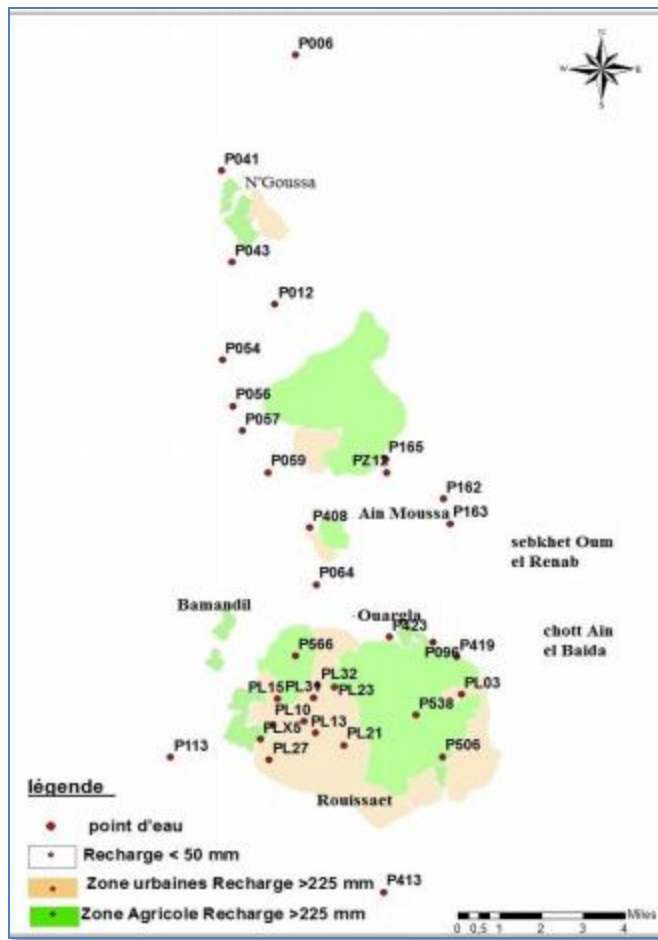


Figure N° 03. Carte de la recharge de la nappe (R) selon la méthode DRASTIC

Tableau N° 01. Normes d'interprétation pour la CEC (LANO/CA de Basse Normandie)

VALEUR DE LA CEC EN méc/100 g	INTERPRETATION
CEC < 9	Petite CEC
$9 \leq \text{CEC} \leq 12$	CEC moyenne
$12 < \text{CEC} \leq 15$	CEC assez élevée
$15 < \text{CEC} \leq 25$	CEC élevée
CEC > 25	CEC très élevée

Tableau N°02. Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol (BAIZE, 1988 in MOTI, 1997)

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

Tableau N° 03. Classe de salinité en fonction de la CE de l'extrait saturé et de la somme des anions(Servant in Baize, 1995)

Classes	Désignation	CE (mmhos/cm à 25°C)	Somme des anions (méq/l)
0	Non salé	< 2.5	< 25
1	Faiblement salé	2.5 - 5	23 – 50
2	Moyennement salé	5 - 10	50 – 105
3	Salé	10 – 15	105 – 165
4	Fortement salé	15 – 20	165 – 225
5	Très fortement salé	20 – 27.5	225 – 315
6	Excessivement salé	27.5 – 40	315 – 620
7	Hyper salé	>40	>620

Tableau N° 04.Classification de Richards (Riverside, 1956)des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR.(Gouaidia, 2008)

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Tableau N° 05. Liste des forages étudiés dans la wilaya de Ouargla

Nom de forage	commue	Nappe exploitée	
F9	El-Hadjira	Mio-pliocène	
F1			
F2			
Fadjd			
Amir			
F Zal	Alia	Mio-pliocène	
F7	Hassi ben Abdallah	Mio-pliocène	
F13			
F14			
F15			
F16			
Fbssk			
Fwif			
Ahba01			Albienne
Ahba02			
F4			N'goussa
F6	Albienne		
Angs			
Ftam	Ouargla	Mio-pliocène	
Akhj		Albienne	
Fmhza	Rouissat	Mio-pliocène	
FHjA			
FGnm	Aïn El-Beida	Mio-pliocène	
Ftibs	Tebesbest	Mio-pliocène	
D34 F109 ST	Touggourt	Mio-pliocène	
ASM 01		Albienne	
ASM 02			

FASaf	Mearine	Mio-pliocène
Ameg		Albienne
d32F134 ZA	Zaouïa Abidia	Mio-pliocène
Fbfg	M'nagueur	Mio-pliocène
D36 F73 NZ	Nezla	Mio-pliocène
AAS		Albienne
Fbam	Sidi Slimane	Mio-pliocène
ASS		Albienne
FTimc	Baldet Omar	Mio-pliocène
FTim 02	Temacine	Mio-pliocène
Atem		Albienne
Gtm3SH	Hassi Messaoud	Albienne
Gt101		Albienne
Gt36		Albienne
Gt110		Albienne

Référence Bibliographique

- [01], [02] **TERCHI Sara**.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de Master en Hydraulique, Option Irrigation et Drainage, Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah,p.1et p.2.
- [03], [04] **TERCHI Sara**.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de Master en Hydraulique, Option Irrigation et Drainage, Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah,p.3 et p.9.
- [05] **TERCHI Sara**.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de Master en Hydraulique, Option Irrigation et Drainage, Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah,p.11.
- [06], [07] **TERCHI Sara**.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de Master en Hydraulique, Option Irrigation et Drainage, Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah,p.12.
- [08], [09] **TERCHI Sara**.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de Master en Hydraulique, Option Irrigation et Drainage, Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah,p.13.
- [10], [11] Application des systèmes d'information géographique, Site d'internet.
- [12]**RODIER .J**, l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; édition dunod, 8ieme édition ; pages (945 à1075), 1976.
- [13], [14] **DOUAOUI A**, 2005. Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Docteur d'état, INA –Alger, p. 115.
- [15] **B.H. Wiebe, R.GEilers, W.D. Eilers et J.A. Brierley**; Risque de salinisation et d'alcanisation des sols.1981
- [16] **DEBIECHE T.H**. 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat. Univ. de franche comté. 199p.
- SAOUD Mohamed**, 2014. Evolution spatiale de la salinité des sols du Bas-Chélif, Mémoire Magister en sciences agronomiques Option : Pédologie et Mise en valeur des sols, Ecole nationale supérieure agronomique El-Harrach – ALGER.
- O.M.S** (1972). Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.

OSS. (2003). Système Aquifère du Sahara Septentrional, gestion commune d'un bassin transfrontière, Edition Observatoire du Sahara et du Sahel.

UNESCO.1972. Projet ERESS; Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

A.N.R.H. 2004. Données sur les Logs stratigraphiques des forages de la Wilaya de Ouargla. Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction régionale Sud, Ouargla.

Bel F. & Cuhe D. 1969. Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.

Bel F. & Dermagne F. 1966. Etude géologique du Continental Terminal, ANRH Alger, Algérie, 22p.

Dob Samia. 2019. Vulnérabilité à la pollution de l'aquifère superficiel de la cuvette D'Ouargla (SE Algérie), Master en Hydrogéologie, Université de Ouargla.

Ouannas Khaled.2019. Approche géochimique et étude de la qualité des eaux souterraine et leur aptitude à l'irrigation au niveau de la wilaya d'Ouargla, Master en Hydraulique urbaine, université de Ouargla.

Benhamadi Ryma & Moulay Omar Hamida. 2019. Contribution de la Geomatique a l'établissement des cartes des indices de La qualité des eaux de la nappe Albienne dans la Région de Ghardaia ,Master en Hydraulique ,Université de Ghardaia.

Belkhira Chachoua.2008. Contribution a l'étude de la remontée des eaux de la nappe de la nappe phréatique dans la région de Ouargla modélisation hydrodynamique de la remontée. Magister en Hydraulique, université de Ouargla.

DSA de Ouargla. 2014. la Direction des services agricoles de la wilaya de Ouargla.

A.N.R.H. 2020 Données sur les Logs stratigraphiques des forages de la Wilaya de Ouargla. Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction régionale Sud, Ouargla.

D.R.E, 2020. Données sur les forages de la Wilaya de Ouargla.

O.N.M.2017. Ouargla, Office National de Météo.