

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département de Génie civile et Hydraulique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Par : Ouannas Khaled

Thème

**Etude de la qualité des eaux souterraine et leur
aptitude à l'irrigation au niveau de la région
d'Ouargla**

Soutenu publiquement le 27/06/2019

Devant le jury :

Boulmaiz Tayeb	MAA	Université Ghardaïa	Président
Achour Mansour	MAA	Université Ghardaïa	Examineur
Chebbihi Lakhder	MAA	Université Ghardaïa	Examineur
Mr : Boutelli Med Hichem	MAA	Université Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2018/2019

Remerciement

*Avant tout, je remerci DIEU qui a alluminé mon
chemin et qui*

m'a armé de courage pour achever mes études.

*Je remercie fortement mon promoteur :Mr Boutelli Med
Hichame*

*de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but
de mener*

à bien ce travail.

Je remercie Mr Achoure Mansour de son encouragement

Je tien à remercier aussi :

*Les membres de jury pour avoir accepter d'évaluer mon
travail*

Le corps de l'enseignement de l'université de Ghardaïa

*mes collègues de master hydraulique urbain en
particulier : Omar, Mohamed, Bakir*

Dédicace

À la mémoire de ma mère que Dieu l'accorde sa sainte

miséricorde et l'accueille

dans son vaste paradis

A mon cher père, je te remercie infiniment de tes sacrifices.

A tous mes chères frères et sœurs

A mes très chères amies Brahim ; Hamza ; Noureddine ; Badis

Nacer

A mes chères neveux Ishak ; yaakoub ; Hibba ; Idris et Chihabe

A Tous ceux que j'aime et je respecte.

Khaled

Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique

RS : Résidus sec

SAR : Sodium Adsorption Ration

CIID : Commission Internationale Des Irrigation Et Du Drainage

FAO : Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture

PH : Potentiel Hydrogène

O.N.M : Office National de la météorologie

CI : Complexe Intercalaire

CT : Complexe Terminale

DSA : Direction du service agricole

LCE : Laboratoire Etude et Contrôle

Liste des figures

Figure N°01 : irrigation par planche de ruissellement.....	9
Figure N°02 : irrigation à la raie.....	9
Figure N°03 : irrigation par submersion.....	10
Figure N°04 : partie essentielle d'une installation en aspersion classique.....	12
Figure N°05 : partie essentielle d'une installation localisée.....	14
Figure N°06 : Cycle de l'azote.....	21
Figure N°07 : diagramme de piper.....	27
Figure N°08 : diagramme de Schoelle berkloff.....	28
Figure N°09 : Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation.....	32
Figure N°10 : Carte de présentation de la zone d'étude.....	35
Figure N°11 : Carte géologique locale (BG, 2004).....	36
Figure N°12 : Variation de la température dans la période 2006-2016.....	37
Figure N°13 : Variation de la précipitation dans la période 2006-2016.....	38
Figure N°14 : Diagramme pluviothermique de la région de Ouargla (2006-2016).....	39
Figure N°15 : Variations de l'humidité de l'air durant la période 2006-2016.....	40
Figure N°16 : Variations de la vitesse du vent durant la période 2006-2016.....	40
Figure N°17 : Variations de l'évaporation pendant la période 2006-2016.....	41
Figure N°18 : Schéma représentatif de la répartition verticale des eaux souterraine dans la région d'étude (HAFOUA, 2005).....	42
Figure N°19 : Schéma de la fluctuation de la nappe phréatique (HAFOUA, 2005).....	42
Figure N°20 : Fonctionnement d'un bassin versant au Nord du Sahara.....	43
Figure N°21 : Réseau hydrographique de la vallée de Ouargla.....	44
Figure N°22 : Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT). (UNESCO, 1972).....	45
Figure N°23 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....	47
Figure N°24 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972).....	48
Figure N°25 : Répartition des six forages échantillonnés.....	57
Figure N°26 : Photo du Spectrophotomètre DR 2500.....	60
Figure N°27 : Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY).....	62
Figure N°28 : Répartition des forages miopliocene.....	65
Figure N°29 : Répartition des forages albiennes.....	65
Figure N°30 : Représentation des résultats des analyses sur le diagramme de Piper.....	71

Figure N°31 : Représentation des résultats des analyses sur le diagramme de Schoeler et Berkloff.....	72
Figure N°32 : Faciès géochimiques de l'eau miopliocène et Albienne par les rapports Mg^{2+}/Na^+ et SO_4^{2-}/Cl^-	73
Figure N°33: Représentation des résultats des analyses sur le diagramme de Riverside qualité.....	74
Figure N°34 : Carte de la répartition spatiale de la conductivité en $\mu s/cm$ des eaux d'irrigation miopliocène au niveau de la wilaya de Ouargla.....	75
Figure N°35 : Evolution de la CE ² en fonction du rapport : $HCO_3^- / (Cl^- + SO_4^{2-})$ dans les deux nappes.....	76
Figure N°36 : Evolution de la CE ² en fonction du rapport : Cl^- / SO_4^{2-} dans les deux nappes.....	77
Figure N°37 : Relations entre sodium et chlore dans la nappe miopliocène et albienne.....	77
Figure N°38 : Concentrations des anions des eaux de la nappe miopliocène et albienne en méq/l.....	78
Figure N°39 : Concentrations des cations des eaux de la nappe miopliocène et albienne en méq/l.....	79

Liste des tableaux

Tableau N°01 : indication sur la relation existant entre la minéralisation et la Conductivité.....	19
Tableau N°02 : Conductivité électrique.....	25
Tableau N°03 : Teneur en sodium (SAR).....	26
Tableau N°04 : Classification de Christiansen. (1977).....	26
Tableau N°05 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.....	29
Tableau N°06 : catégories de sol salés et sodique (d'après Back, 1968).....	32
Tableau N°07 : L'offre en produits agricoles dans la wilaya d'Ouargla en 2014.....	53
Tableau N°08 : Répartition des cultures dans la wilaya d'Ouargla en 2014	54
Tableau N°09 : Répartition du potentiel palmier dattier par commune en 2014.....	54
Tableau N°10 : Nombre d'exploitations agricoles dans la wilaya d'Ouargla	55
Tableau N°11 : Répartition du cheptel animal par commune en 2014.....	55
Tableau N°12 : Variations du CE et RS pour les eaux d'irrigation albiens et miopliocène.....	66
Tableau N°13 : Variations du PH des eaux d'irrigation albiens et miopliocènes.....	66
Tableau N°14 : Variations du Ca^{2+} et Mg^{2+} des eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes...	67
Tableau N°15 : Variations du K^+ et Na^+ dans les eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes..	68
Tableau N°16 : Variation du SAR des eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.....	69
Tableau N°17 : Variations du SO_4^- et Cl^- pour les eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.	69
Tableau N°18 : Variations du NO_3^- et HCO_3^- des eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.	70

Tables des matières

Listes des tableaux

Listes des figures

Listes des abréviations

Bibliographie

Introduction général.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
Introduction.....	3
I.Généralités.....	3
I.1.L'irrigation définition.....	3
I.2.L'irrigation dans le monde.....	3
I.3.Importance de l'irrigation.....	4
II. Techniques et modes d'irrigation.....	8
II.1.Introduction.....	8
II.2.Les différentes techniques d'arrosages.....	8
II.2.1.L'irrigation de surface.....	8
II.2.2.Irrigation par ruissellement.....	8
II.2.3.Irrigation par submersion.....	10
II.2.4.L'irrigation mixte.....	10
II.2.5.L'irrigation par aspersion.....	10
II.2.6.Les différents dispositifs de l'irrigation par aspersion	12
II.2.7.L'irrigation localisée.....	13
II.3.Avantages et inconvénients spécifiques de l'irrigation localisée.....	14
II.3.1.Avantages.....	14
II.3.2.Inconvénients.....	14
II.3.3.Choix des techniques d'irrigation.....	15
III. Qualité des eaux souterraines.....	15

III.1.Introduction	15
III.2.Qualité physico-chimique.....	16
III.2.1.Les paramètre physique.....	16
III.2.1.1.Température.....	16
III.2.1.2.Turbidité.....	17
III.2.1.3.PH.....	17
III.2.1.4.La conductivité électrique.....	18
III.2.1.5.Couleur.....	19
III.2.1.6.Odeur.....	19
III.2.2.Les paramètres chimiques.....	19
III.2.2.1.Ions majeurs.....	19
III.2.2.2. Les éléments en trace.....	22
III.2.2.3.Dureté.....	24
III.2.2.4.Oxygène dissous.....	24
III.3.Classification des eaux d'irrigation.....	25
III.3.1.La classification de l'U.S.S.L.....	25
III.3.1.1 Teneur en sel	25
III.3.2. Classification de Christiansen	26
III.3.3. Classification par le Diagramme de faciès chimique des eaux	27
III.3.3.1. Diagramme de piper.....	27
III.3.3.2. Diagramme de Schoeller Berkloff.....	27
III.3.Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	27
V. Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol et la plante.....	29
V.1.Impact sur le sol.....	29
V.1.1.Problème de salinité et sodicité des sols.....	30
V.1.2.La dégradation des sols par salinisations.....	31
V.1.3.La dégradation des sols par alcalinisation.....	31
V.1.4.Problème de perméabilité.....	33
V.1.5.Problème de toxicité.....	33
V.2.Effet de l'eau d'irrigation sur les plantes cultivées.....	33
V.3.Conclusion.....	34
Chapitre II : Contexte générale sur la région d'étude	
II.1. Cadre naturel.....	35

II.1.1. Présentation de la zone d'étude.....	35
II.1.2. Relief.....	35
II.1.3. Géologie	35
II.2. Climat.....	37
II.2.1. Températures	37
II.2.2. Pluviométrie	38
II.3.3. Diagramme pluviothermique.....	38
II.2.4. Humidité de l'air.....	39
II.2.5. Vents	40
II.2.6. Evaporation.....	41
II.3. Hydrologie.....	41
II.3.1. Cycle et bilan de l'eau dans un site saharien	42
II.3.2. Oueds de la vallée de Ouargla	43
II.4. Hydrogéologie.....	44
II.4.1. Présentation des nappes de la région	45
II.4.2. Nappe phréatique.....	45
II.4.3. Nappes du Complexe Terminal	46
II.4.3.1. Nappe du Miopliocene.....	46
II.4.3.2. Nappe du Sénonien.....	46
II.4.4. Nappe du Continental Intercalaire.....	47
II.5. Sebkhass et Chotts.....	48
II.5.1. Chott Aïn Beïda.....	48
II.5.2. Chott Oum-Er-Raneb.....	49
II.5.3. Sebkhet Safioune	49
II.5.4. Sebkha de Bamendil	50
II.6. Le contexte pédologique.....	50
II.6.1. Les sols de la région	50
II.6.2. Développement du profil.....	52
II.6.3. Texture et structure.....	52
II.6.4. Propriétés chimiques des sols.....	52
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.....	55
II.8. Conclusion.....	56

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Matériels d'études.....	57
III.1.2. Introduction.....	57
III.1.3. Prélèvements	57
III.1.4. Analyses physico-chimiques	57
III.2.Méthodes d'études.....	58
III.2.1. La conductivité électrique et le pH.....	58
III.2.2. Dosage des anions.....	58
III.2.3. Dosage des cations.....	61
III.2.4. Résidu sec	64
III.3.Conclusion.....	65

Chapitre VI : Résultat et discussion

VI.1. Donnée collectés et résultats des mesures et des analyses	66
VI.1.1. Introduction	66
VI.1.2. Résultats des mesures et des analyses des eaux	66
VI.1.2.1. Conductivité (CE) et Résidus Sec (RS)	66
VI.1.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)	66
VI.1.2.3. Electrolytes minéraux	67
VI.1.3.Conclusion	70
VI.2. Discussion de résultats.....	70
VI.2.1. Classification des eaux.....	71
VI.2.2. Caractéristiques géochimiques.....	76
VI.2.3. Chlorures et sodium.....	77
VI.2.4. Variation en éléments majeurs.....	78
VI.1.3.Conclusion	79
Conclusion général.....	80

INTRODUCTION GENERALE

L'agriculture est, de loin, l'industrie ayant la plus grande consommation des ressources hydriques. 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. Toutefois l'effet de la qualité de l'eau d'irrigation sur les cultures est une préoccupation des agronomes et des économistes chargés de la mise en valeur des territoires des zones arides et semi-arides. Car l'eau joue un rôle important dans la production de nourriture et la sécurité alimentaire.

C'est ainsi que 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.

Devant ce développement démographique et urbanistique d'une part, et le développement agricole et industriel d'autre part, la demande en eau au Sahara algérien ont augmenté d'une manière très rapide. Toutefois la sécheresse des années successives accompagnant la rareté et l'irrégularité des apports annuels aussi bien en eaux superficielles qu'en eaux souterraines retardent le développement et posent des difficultés sur la gestion des ressources en eau. Ceci a conduit les gestionnaires des ressources en eau à prospecter et réaliser plus de forages, de puits et d'ouvrages hydrauliques.

Le présent travail sera réalisé à la base de l'utilisation des données collectées relatives aux analyses physico-chimiques des eaux miopllocènes et albiennes 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 la qualité physicochimique des eaux de ces systèmes aquifères et apprécier leur aptitude à l'irrigation, et par conséquent, leur impact sur l'environnement.

Le mémoire proposé s'articule autour de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous nous proposons de 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.

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 fait 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 pour chaque nappe utilisée en irrigation.

Le tout complété par une conclusion générale qui intègre l'essentiel des résultats obtenus dans le cadre de cette recherche.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

Introduction

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.

I. Généralités

I.1. L'irrigation : définition

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides [1].

I.2.L'irrigation dans le monde

La consommation d'eau agricole est très variable d'un pays à l'autre. Elle n'intéresse que 273 millions d'hectares dans le monde éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les pays qui irriguent le plus ne sont pas les pays au climat aride ou semi-aride. Dans ces régions, en effet, il ne peut y avoir de culture sans irrigation. Aussi, toutes les surfaces cultivées sont-elles irriguées. Mais, comme il ne peut y avoir d'irrigation sans eau, les surfaces cultivées demeurent réduites en superficie, limitées par la faiblesse des ressources en eau, et localisées là où ces ressources sont disponibles. C'est le cas de pays comme l'Égypte par exemple où l'agriculture s'est développée sur les bords du Nil, ou de certains pays de l'Amérique latine comme le Mexique.

À l'inverse, dans les régions qui reçoivent suffisamment d'eau de pluie, la superficie des terres cultivées peut être très importante, surtout si le relief le permet. Bien que l'irrigation n'y soit pas indispensable, elle est néanmoins utilisée, et ce d'autant plus facilement que l'eau est disponible, afin de diversifier et d'améliorer les cultures, d'obtenir des récoltes multiples, ou encore d'augmenter les rendements. Même si elle n'est pas systématique, l'irrigation peut donc être conséquente. C'est ce qui se passe au Japon, en Chine, en Inde et au Pakistan [2].

Des facteurs autres que la situation géographique interviennent également, qui doivent être pris en compte pour expliquer la répartition mondiale de l'irrigation. Par exemple, l'irrigation nécessitant des infrastructures parfois très onéreuses, la richesse des pays considérés est un élément important. Il explique notamment qu'en Afrique ou au Brésil l'irrigation soit moins développée.

conséquence, les pays qui irriguent le plus sont ceux situés dans le sud-ouest asiatique, lesquels rassemblent plus de 60 % des terres irriguées de la planète, et certains pays du pourtour méditerranéen, comme l'Italie ou la Grèce.

I.3.Importance de l'irrigation

a) Les avantages

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production [3]

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie (électricité, fuel, etc.).

➤ Apport sur le plan économique

Depuis les années 60 la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde. Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmentée par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement où, dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans.

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé.

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

➤ **La satisfaction**

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes [4].

➤ **L'irrigation un rempart à la famine**

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés, la preuve en est que :

- Le boom de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation (FAO, 1975). Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplé. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau [5]

- La surface minuscule à l'échelle de la planète, fournit 55% des produits alimentaires de base, dont le riz et le blé. «...C'est l'irrigation qui a le plus contribué à l'accroissement de la production agricole enregistré dans une grande partie de l'Asie, de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient» [6]

En conclusion, nous pouvons dire que l'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages.

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

Enfin, les techniques modernes d'irrigation permettent aussi dans le même temps de fertiliser les sols.

b) Les inconvénients

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques. Elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions.

L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salification qui peut être apprécié par la conductivité électrique (C E) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

Mal conduite, elle peut être néfaste pour les sols. Lorsqu'ils sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle le long des pentes. En s'évaporant, l'eau stagnante laisse en dépôt les sels qu'elle contient, favorisant une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes et doivent être abandonnés; c'est un phénomène que l'on observe surtout dans les régions arides et semi-arides. Quant au ruissellement de l'eau, il favorise l'érosion des sols, surtout lorsqu'ils sont secs. À l'inverse, des sols trop imbibés sont néfastes pour la plupart des végétaux dont ils asphyxient les racines. Les sols doivent donc être convenablement drainés afin de permettre à l'eau en excès de s'évacuer.

L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme (Horning, 1973, Plauchu, 2004). D'importantes quantités d'eau sont en effet nécessaires pour compenser les pertes des plantes et des sols par évapotranspiration. En outre une majeure partie de l'eau d'irrigation retourne directement dans l'atmosphère, où elle est momentanément perdue pour d'autres usages. Cela est d'autant plus vrai que plus une plante dispose d'eau, plus son évaporation est importante. Il existe cependant une limite à ce phénomène au-delà de laquelle un apport supplémentaire d'eau n'augmentera pas la transpiration végétale. Pour éviter d'utiliser trop d'eau, les quantités justes nécessaires aux cultures doivent donc être soigneusement estimées et l'irrigation contrôlée[3].

Quoi qu'il en soit, pour irriguer les champs, il faut de l'eau et beaucoup d'eau, une eau que l'on doit parfois aller chercher très loin.

Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, ce qui est énorme (Plauchu, 2004). À l'échelle locale, la consommation immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain, est aujourd'hui 20 fois plus petit qu'il n'était il y a 35 ans[3].

Les agriculteurs des pays limitrophes puisent en effet toujours plus d'eau pour irriguer leurs champs et lutter contre la sécheresse grandissante de cette région du globe.

En outre, toute cette eau ne parvient pas aux plantes car les pertes sont importantes, surtout lorsqu'il s'agit de techniques d'irrigation traditionnelles. Or, celles-ci sont employées sur les deux tiers des surfaces irriguées du globe. Ces pertes sont dues soit à des fuites sur canalisations, soit à l'évaporation de l'eau qui stagne sur les sols. On estime qu'en Afrique, environ 40 à 60 % de l'eau d'irrigation est ainsi perdue.

Mal conduite, l'irrigation peut également avoir des conséquences dramatiques sur les sols, surtout dans les régions au climat sec et chaud où l'on irrigue toute l'année. En effet, si l'eau d'irrigation n'est pas drainée, elle stagne dans les champs, et s'évapore lentement, laissant en dépôt les sels dissous qu'elle contient. Cet excès de sels stérilise progressivement les terres qui doivent être abandonnées.

Le pompage abusif d'eau fluviale à des fins d'irrigation peut aussi progressivement conduire à l'assèchement des territoires situés plus en aval. À ce titre, l'exemple de la catastrophe écologique de la mer d'Aral, qui fut le quatrième lac du monde par sa superficie, est édifiant. Il illustre bien les très graves conséquences que peuvent engendrer des prélèvements excessifs d'eau.

Dans les années 1960, pour développer la culture irriguée du coton dans la région désertique du Kazakhstan, la majeure partie des eaux des deux fleuves qui alimentaient la mer d'Aral a été détournée. Ces prélèvements considérables ont abaissé de 15 mètres le niveau de la mer et diminué sa surface de 40 %. Dans le même temps, la salinité de ses eaux est passée de 10 à 30 grammes par litre. La faune a presque entièrement disparu et la pêche avec elle. Une mauvaise gestion de l'irrigation et une utilisation abusive d'engrais et de pesticides ont conduit à la salinisation des sols et à la désertification d'immenses étendues dans la région. La qualité des eaux souterraines s'est également dégradée et le niveau des nappes phréatiques a fortement baissé.

II. Techniques et modes d'irrigation

II.1.Introduction

Quelle que soit l'origine de l'eau et son mode de transport (canaux ou conduites), le problème le plus délicat est le choix de la méthode pour répartir cette eau sur le sol de façon à ce que les plantes en tirent le maximum de profit.

En effet, il s'agit de songer au moyen de distribuer l'eau d'une qualité donnée à travers toute la parcelle irriguée d'une manière équitable.

II.2.Les différentes techniques d'arrosages [07].

Les techniques d'arrosage peuvent être rangées en trois (03) classes, soit :

- L'irrigation de surface
- L'irrigation par aspersion
- L'irrigation localisée ou micro irrigation

II.2.1.L'irrigation de surface

L'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la réparation de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre par simple écoulement à la surface du sol. La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain, et aux propriétés hydriques du sol (ruissellement, infiltration, et capillarité).

En irrigation de surface, la distinction entre les différentes techniques est essentiellement fondée sur la méthode d'application de l'eau : ruissellement, submersion ou technique mixte. [7]

II.2.2.Irrigation par ruissellement

a) Les planches de ruissellement

On divise la surface à irriguer en bandes rectangulaires prise dans le sens de la plus grande pente. En général, la longueur des planches varie de 5 à 30 m. et leur largeur de 50 à 800 m.

L'irrigation par planches convient le mieux aux pentes inférieures à 0,5 %. Cependant, les pentes longitudinales maximales des planches peuvent atteindre 4 % à 5 %.

Les sols convenant le mieux à cette technique sont les sols moyennement filtrants. L'irrigation par planches s'applique aux cultures telles que les prairies, les céréales et les vergers. La préparation des planches est minutieuse et coûteuse et exige une main-d'œuvre qualifiée et des équipements de terrassement performants. Les pertes par percolation profonde et en colature est importante, et font remonter dangereusement le niveau des nappes phréatiques. [7]

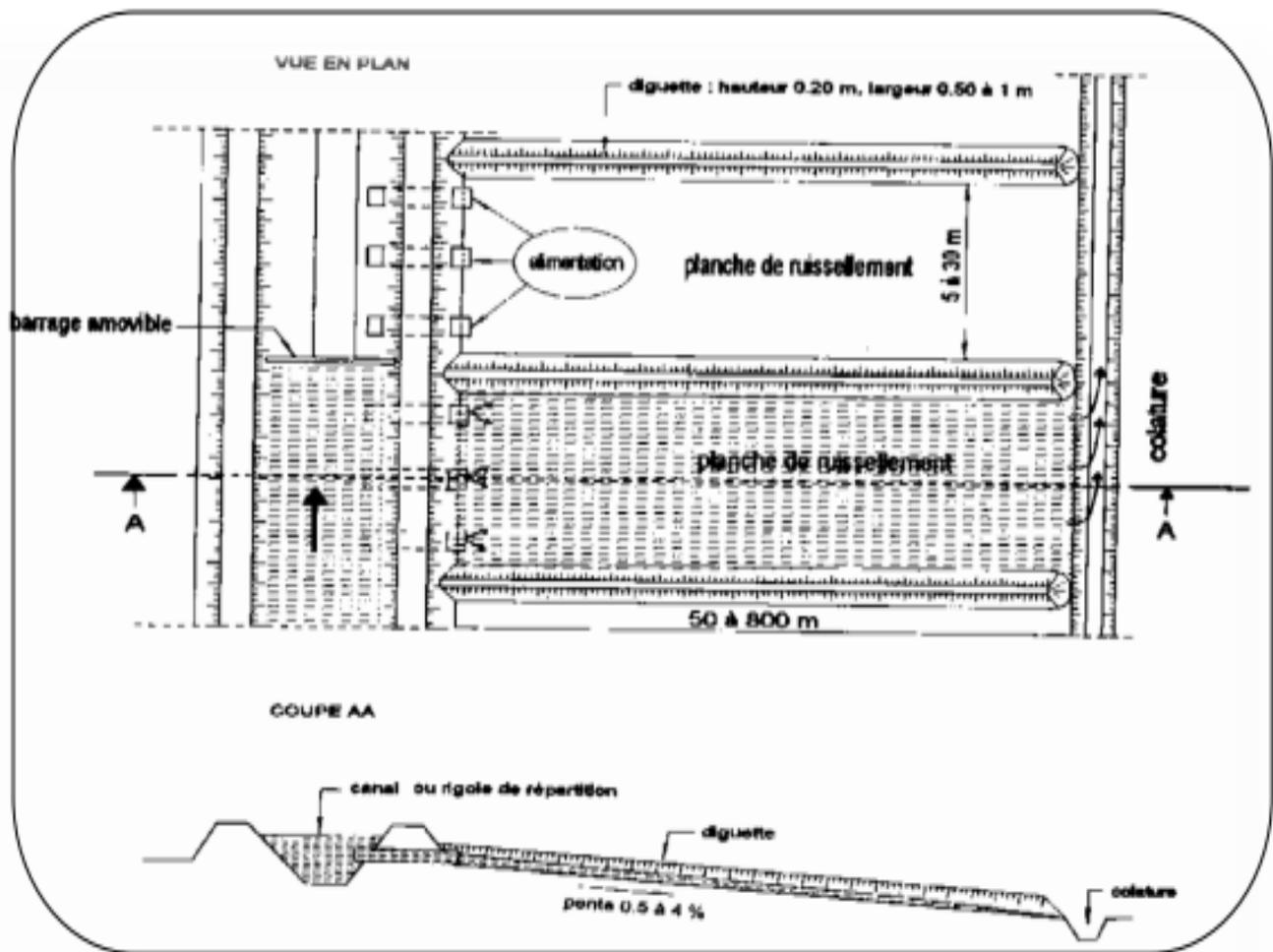


Figure N°01 : irrigation par planche de ruissellement [7]

b) L'arrosage à la raie

Consiste à amener l'eau à la plante, par une série plus au moins dense (espacement d'environ 0,75 à 1 m.) de petits fossés à ciel ouvert à pente faible mais régulière. Les raies sont tracées suivant la ligne de plus grande pente du terrain pour des pentes $< 02\%$. Pour des pentes $> 02\%$ les raies sont orientées obliquement par rapport à la ligne de plus grande pente. La forme des sections des raies peut être triangulaire, trapézoïdale ou parabolique avec : une Largeur de 25 à 40 cm et une Profondeur de 15 à 30 cm.

L'arrosage à la raie se pratique sur les terrains d'environ 0,5 à 4 % de pente et convient à toutes les cultures de céréales et de plantes sarclées (Maïs, Coton, Pomme de terre etc.). [7]

L'arrosage à la raie pose de sérieux problèmes d'application de l'eau lorsque la longueur des raies devient importante (supérieure à 250 m.). Il exige une main d'œuvre abondante et qualifiée pour la conduite des arrosages.

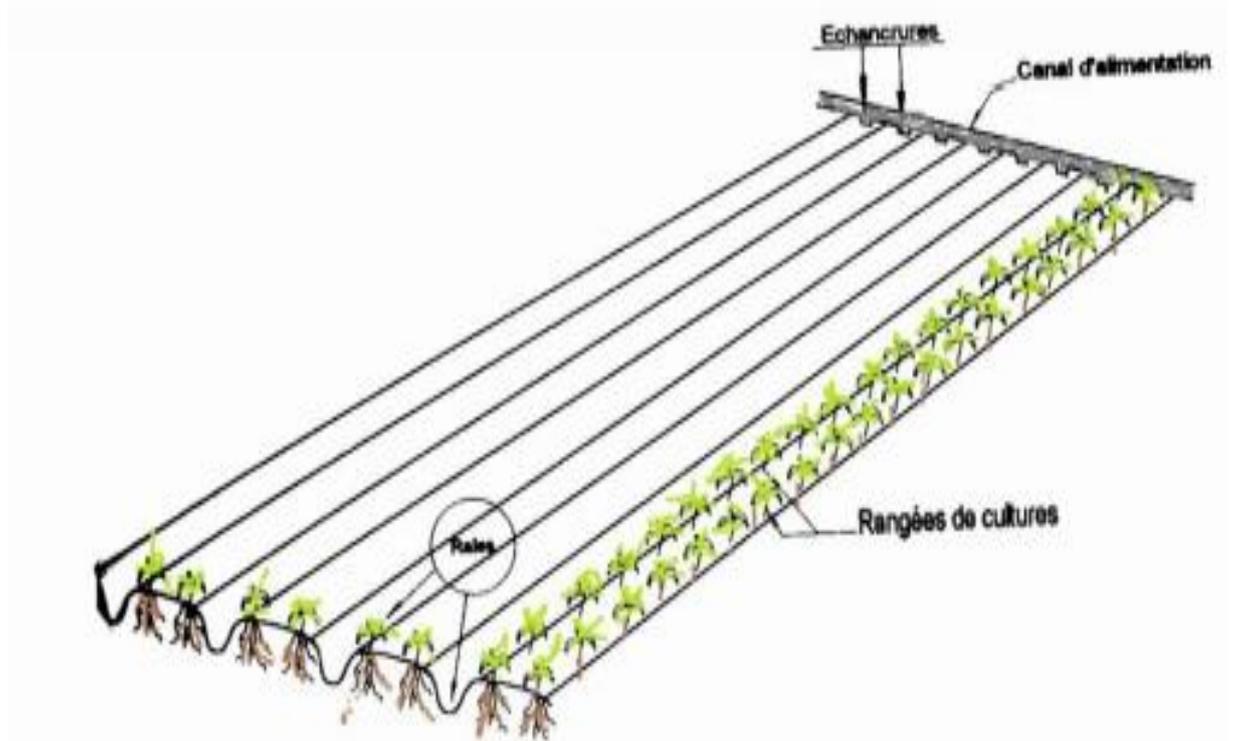


Figure N°02 : irrigation à la raie[7]

II.2.3.Irrigation par submersion

Dans la pratique de la submersion, l'eau est apportée et répandue aussi vite que possible sur l'ensemble de la parcelle à irriguer avant la phase d'infiltration proprement dite. La pratique de la submersion, nécessite l'aménagement du terrain en bassins de submersion, avec des petites digues de 30 à 40 cm. De hauteur et une revanche minimum de 10 cm.

L'irrigation par submersion est une technique d'arrosage appliquée de préférence en terrain presque plat (moins de 0,1 % de pente). [7]

L'uniformité de l'arrosage est directement liée à trois (03) facteurs :

- 1) Faible perméabilité (terrain très peu ou moyennement perméable)
- 2) Qualité du nivellement.
- 3) Fort débit d'apport.

La nécessité du nivellement implique généralement des travaux de terrassement importants et coûteux. Ce système d'irrigation s'emploie dans les rizicultures, les pâturages, les vergers, les prairies, les céréales en ligne, mais en raison du coût du nivellement des parcelles, il est généralement réservé à des terrains plats.

L'efficacité de la technique d'irrigation en submersion se situe entre 45 et 70%, l'application d'une couche d'eau sur la surface de sol à irriguer provoque leur tassement et le rend moins perméable et par conséquent gêne l'aération du sol. [7]

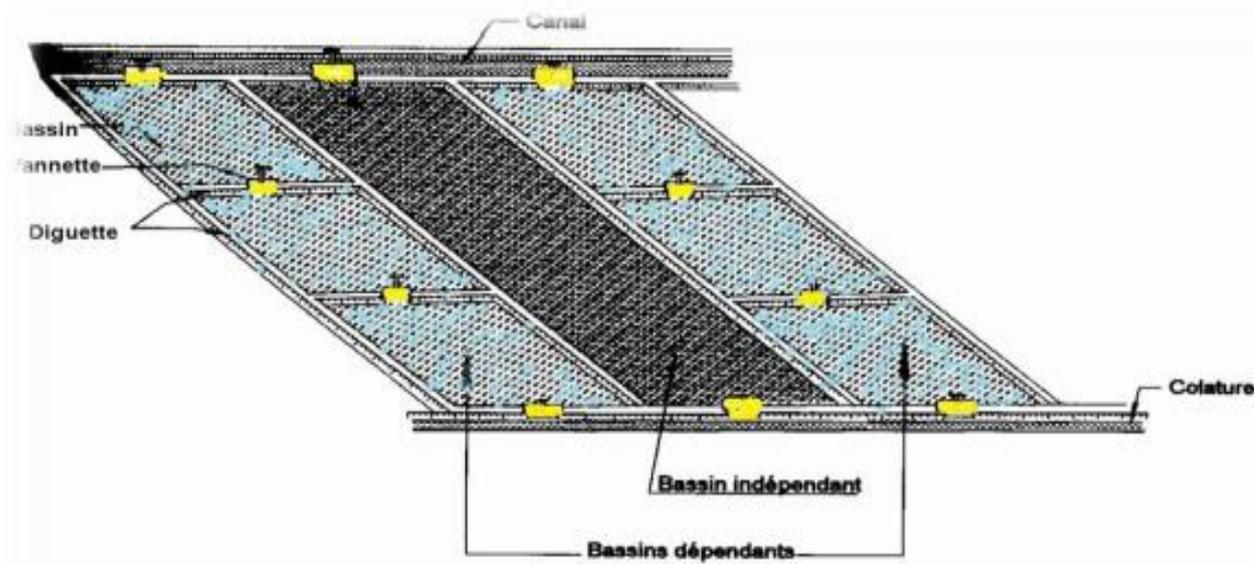


Figure N°03 : irrigation par submersion [7]

II.2.4.L'irrigation mixte

Il s'agit d'un ruissellement suivi d'une submersion. Les dispositions générales de ce mode d'irrigation sont identiques à celles que nous avons vu, mais lorsque l'eau atteint le niveau voulu dans le bassin, on continue à les alimenter en prenant soin d'évacuer les surplus.

A cet effet, les compartiments sont munis d'un déversoir arasé au niveau fixé pour le plan maximal. L'eau en excès est évacuée dans les colatures ou dans un bassin contigu.

L'avantage de ce système est que l'eau est plus aérée apporte plus de matières nutritives et présente une température plus régulière ce qui peut être intéressant pour les cultures.

Ces techniques traditionnelles restent néanmoins très utilisées, et elles ont été modernisées ces dernières années [7]

La modernisation de ces techniques d'irrigation par planche et par bassin peut consister en plusieurs points:

- Etancher le canal qui distribue l'eau en tête de parcelle.
- L'équiper de vannes de régulation pour irriguer successivement les différents bassins
- Automatiser l'ouverture et la fermeture des différentes vannes
- Recouvrir les canaux de distribution, les remplacer par des canaux préfabriqués ou encore les enterrer sous terre.

II.2.5.L'irrigation par aspersion

En irrigation par aspersion, l'eau parvient aux cultures sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection, alimentés sous pression. Pour cette

technique d'irrigation aucun nivellement de la surface n'est nécessaire. Cependant, la pente générale du sol ne doit pas en principe dépasser 10% pour les machines à irriguer.

Tous les types de sols peuvent convenir : on peut obtenir la même efficacité d'arrosage sur les sols les plus sableux que sur les sols les plus argileux, grâce à la large gamme des intensités pluviométriques (I) offertes par les différents matériels (I < 4 mm /h pour sols peu perméables, jusqu'à I < 50 mm /h pour sols perméables).

Cette technique d'irrigation présente une excellente efficacité située entre 55- 85 %, essentiellement en fonction de la maîtrise technique des irrigants. L'irrigation par aspersion est utilisée pour l'arrosage des cultures les plus diverses : fourragères, maraîchères, céréales, vergers, vigne, etc.... [7]

Les techniques d'arrosage appliquées en irrigation par aspersion dépendent du matériel utilisé. Elles se divisent en deux grandes catégories :

- L'aspersion simple (rampes perforées, asperseurs, canons)
- Les machines à irriguer (rampes frontales, pivots, enrouleurs, etc.)

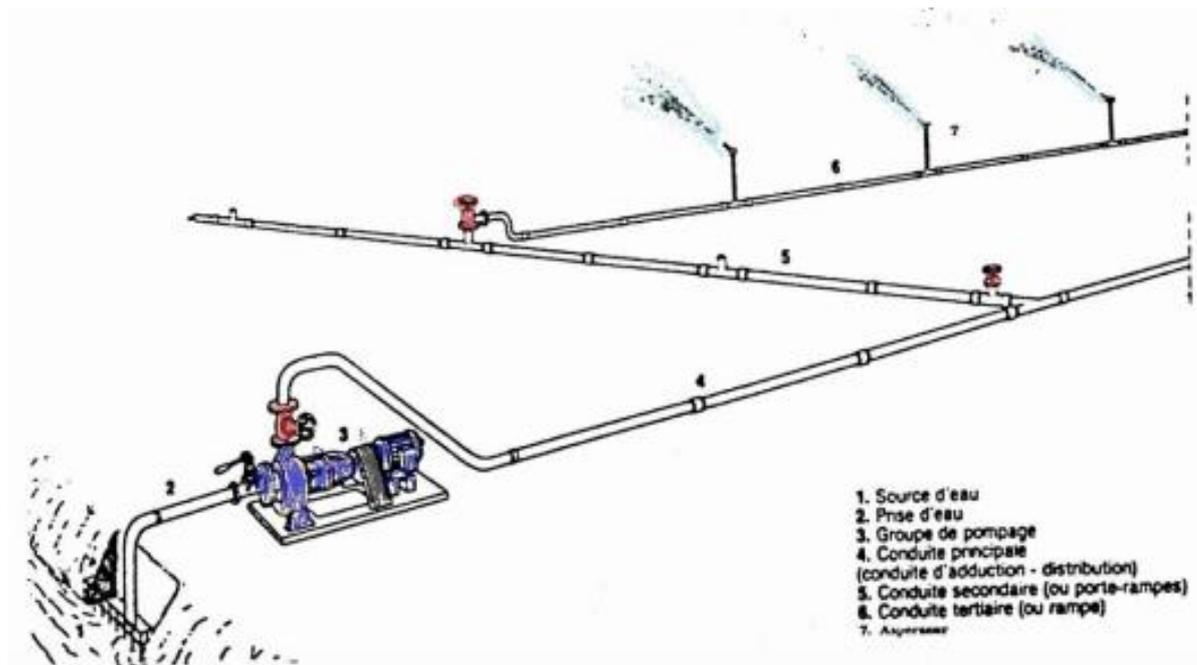


Figure N°04 : partie essentielle d'une installation en aspersion classique [7]

II.2.6. Les différents dispositifs de l'irrigation par aspersion

On peut classer les équipements d'irrigation par aspersion en deux (02) types : les couvertures d'asperseurs et les machines à irriguer.

Néanmoins les moyens ou dispositifs d'amélioration de l'efficacité à la parcelle de l'irrigation gravitaire tolérée exclusivement pour le micro parcellaire sont également identifiés.

a) Les couvertures d'asperseur

- Equipement classique en couverture partielle (rampes rigides Déplaçables)

Les rampes d'irrigation sont constituées par des tuyaux métalliques en alliage léger disposés sur le sol et équipés de raccords rapides à déboîter. Le raccordement des rampes d'irrigation aux vannes hydrant est réalisé avec des éléments de tuyaux identiques à ceux utilisés pour les rampes qui portent, à intervalles réguliers de 12 ou 18 mètres, des asperseurs montés sur des rallonges de hauteur adaptée aux cultures. [7]

Les rampes sont déplacées de poste en poste, par démontage des éléments de tuyaux, transport et remontage à l'emplacement voisin distant de 12 à 18 m. Le système exige des interventions multiples et entraîne des frais de main-d'œuvre importants, néanmoins ce type d'équipement étant le plus simple et le plus économique.

Les avantages d'un tel système sont les suivants :

- Mobilité
- Rapidité d'intervention
- Facilité de travail
- Economie de main – d'œuvre.

Les inconvénients sont les suivants :

- Pluviométrie élevée
- Forte pression nécessaire
- Risque de blessures sur jeunes plantes
- Dégradation de la structure du sol

II.2.7.L'irrigation localisée

L'irrigation localisée, ou micro-irrigation, est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle. Elle se caractérise par:

- la mise en place sur la parcelle d'un réseau dense de canalisations (rampes) couvrant totalement la surface à irriguer.
- l'apport de l'eau au voisinage de la plante.

Sur le plan international, différents termes sont utilisés pour désigner cette technique d'irrigation:

- ✓ Micro-irrigation: terme choisi par la Commission Internationale Des Irrigation Et Du Drainage (CIID) en référence aux débits utilisés qui, contrairement aux deux autres techniques plus anciennes, aspersion et irrigation de surface, sont très faibles.
- ✓ Irrigation goutte à goutte: terme utilisé par certains auteurs en référence à l'utilisation d'un type particulier de distributeur: le goutteur.

- ✓ Irrigation localisée: terme choisi par l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en raison des apports d'eau effectués au voisinage immédiat des plantes. C'est ce terme que nous utiliserons par la suite..

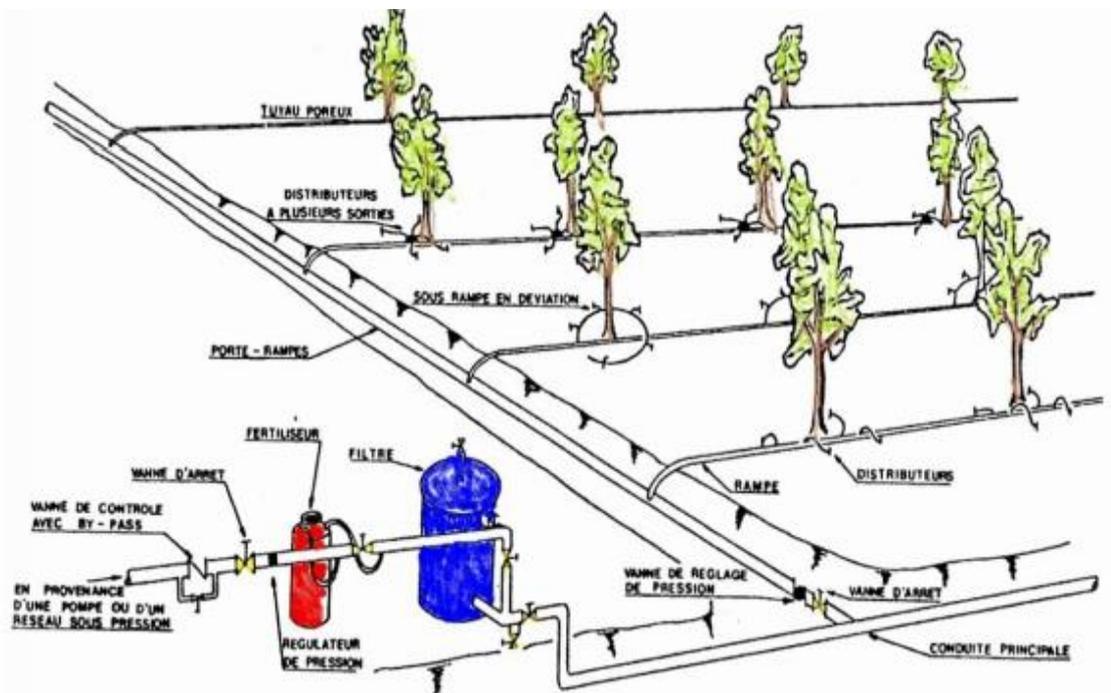


Figure N°05 : partie essentielle d'une installation localisée [7]

II.3. Avantages et inconvénients spécifiques de l'irrigation localisée :

II.3.1. Avantages

- Bonne efficacité d'arrosage à la parcelle (à condition que la technique soit parfaitement maîtrisée);
- Excellent rendement des cultures (même condition);
- Bonne adaptation à l'utilisation des eaux salées (même condition);
- faibles besoins de main-d'œuvre;
- Coûts d'entretien réduits;
- Insensibilité au vent;
- Ne mouille pas le feuillage, ce qui est favorable du point de vue phytosanitaire;
- Ne mouille le sol que très partiellement, ce qui est favorable aux façons culturales;
- Limite la prolifération des adventices;
- Raccourcit le cycle végétatif de la culture.

II.3.2. Inconvénients

- Coût globalement élevé qui fait réserver cette technique aux cultures à forte valeur ajoutée;

- Exige un haut degré de compétence à tous les niveaux: études préliminaires agro
- Pédologiques, conception de l'installation, conduite des arrosages par l'irrigant;
- Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à une éventuelle interruption des arrosages;
- Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation;
- Fonctionne avec du matériel délicat à durée de vie relativement faible.

II.3.3.Choix des techniques d'irrigation

Plusieurs facteurs entrent en considération pour le choix des techniques d'irrigation et en particulier :

- La pente du terrain à irriguer
- Le débit dont on dispose
- Nature du sol (perméabilité)
- Nature des cultures
- Facteurs économiques
- Rentabilité de l'opération

III. Qualité des eaux souterraines

III.1.Introduction :

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture.

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays [08]

Naturellement filtrée par le sol, l'eau souterraine est le plus souvent de bonne qualité et exempte de micro-organismes pathogènes. Celle-ci demeure cependant une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent en affecter la qualité et la rendre impropre à toute fin. L'épandage et le stockage de sels de déglacage (sels de voirie), les fuites de réservoirs d'essence, les débordements d'installations septiques et l'usage d'engrais et de pesticides sont quelques exemples de sources de contamination susceptibles d'affecter les eaux.

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l) (3). La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation.

III.2. Qualité physico-chimique :

L'attention est attirée sur le fait qu'une évaluation ponctuelle des eaux peut ne pas refléter la qualité globale d'une nappe souterraines ou d'une masse d'eau (3).

Les analyses physico-chimiques d'eau souterraine font référence à toutes les actions de détermination d'une valeur sur un échantillon, qu'ils s'agissent d'analyses, de mesures, d'observations, etc... Faites en laboratoire ou sur le site de la station de mesure.

Les informations relatives aux résultats d'analyse sont fournies par l'organisme chargé de l'analyse, et communiquées sous la responsabilité de l'organisme producteur de données qui confirme ou non le résultat au regard de la connaissance et du contrôle du processus de Production de la donnée et qui s'engage ou pas sur la vraisemblance et la représentativité de la donnée par rapport au milieu où a été réalisé le prélèvement [09].

III.2.1. Les paramètres physique :

III.2.1.1. Température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages .Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liée à la température (conductivité notamment).De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

En effet celle ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (Rodier,1984). Elle est aussi un facteur important dans la production biologique, Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [10].

III.2.1.2.Turbidité

Certains paramètres physico-chimiques relatifs à la filtration, notamment la turbidité et le pH, sont parfois mesurés lors des études de détection des oocystes dans des échantillons environnementaux.

La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes (4). L'appréciation du niveau quantitatif élevé de ces matières mesure le degré de turbidité. Il est également indiqué que les matières en suspension de dimensions inférieures à ces tailles sont celles qui jouent un rôle important dans le transfert des métaux [11]

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. la turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques.....).Les désagréments causés par la turbidité auprès des usages est relative :

Certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes

III.2.1.3.PH :

Le pH appelé encore potentiel Hydrogène mesure la concentration des ions H_3O^+ dans une solution aqueuse. Le pH permet ainsi de connaître l'acidité de l'eau .Il a été rapporté que le pH [12] et la turbidité sont parmi les facteurs qui peuvent affecter la sensibilité de l'IMS [13], dont le facteur le plus important est la concentration en anhydride carbonique lié à la minéralisation [13] et dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé

. Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes [13].

L'effet du pH du sol sur le transport des microorganismes pathogènes se manifeste principalement au niveau du processus d'adsorption. [11]

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples,

Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles[15]

III.2.1.4.La conductivité électrique :

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration.... [14]

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Et elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée une quantité de sels dissous très importante et elle donne une idée de la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau [10]

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau(X à 25°C)

Comme la température, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration

La conductivité est également un des moyens de valider les analyses physico-chimique de l'eau: la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

Tableau N°01 : Indication sur la relation existant entre la minéralisation et la Conductivité [10]

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation
Conductivité < 100	Minéralisation très faible
100 < Conductivité < 200	Minéralisation faible
200 < Conductivité < 300	Minéralisation moyenne
300 < Conductivité < 600	Minéralisation moyenne accentuée
600 < Conductivité < 1000	Minéralisation importante
Conductivité < 1000	Minéralisation élevée

III.2.1.5. Couleur :

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [16].

III.2.1.6. Odeur :

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel, cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs. Le test de l'olfaction est plus sensible et plus précis que celui de la dégustation. Mais il ne permet pas d'apprécier des variations de moins de 30% des teneurs des substances ayant une odeur. Il présente sur le test de saveur l'avantage de pouvoir être pratiqué sur l'eau brute et d'être moins fatigant pour les opérations [16].

III.2.2. Les paramètres chimiques :

III.2.2.1. Ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes (5).

➤ **Les Cations :**

❖ **Calcium :** Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc [16].

❖ **Magnésium :** Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre.

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates [16]

❖ **Sodium :** Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées.

Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^+ , par le processus d'échange de bases[16].

❖ **Potassium :** Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l [16]

➤ **Les anions :**

❖ **Sulfate :** Mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS_2) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures, et l'utilisation d'engrais chimique et lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite.

Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfure, sulfates et soufre

élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte...

La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre [17].

- ❖ **Chlorure** : La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer, ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques sont mineurs dans les zones d'intervention humanitaire.

La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium.

Selon les normes marocaines, la concentration en cet élément ne devrait pas dépasser les 300 mg/l. Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives.

- ❖ **Nitrates et composés azotés** : Les nitrates (NO_3^-) font partie du cycle de l'azote

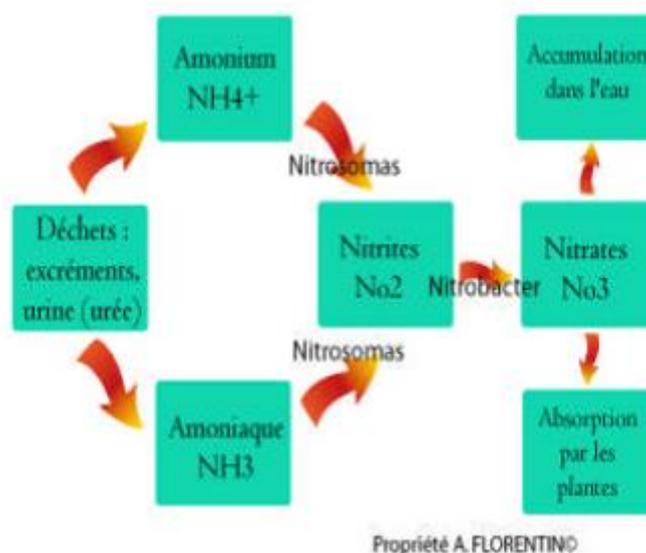


Figure N°06 : Cycle de l'azote [18]

Le réservoir principal d'azote est l'atmosphère. Au niveau des eaux naturelles, l'azote provient essentiellement des pluies ($1 < c < 3\text{mg/l}$) et du drainage des sols.

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des micro organismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformé par des bactéries aérobies en nitrates (nitrification). Si conditions de milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux.

Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et fixer sur les argiles et humus.

L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est donc fortement lié à la quantité de matière organique présente et aux conditions de milieu.

Les actions anthropiques sont donc importantes : utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épurations ou plus simplement de latrines et fosse septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates.

L'analyse des nitrates dans les eaux permet d'obtenir des informations sur la présence de matières organiques dans le sol. En effet, les nitrates absorbés avec l'eau sont réduits en nitrites dans l'intestin et se fixent sur l'hémoglobine, diminuant ainsi le transfert d'oxygène.

L'échelle de concentration en nitrate des eaux souterraines s'étend sur une large gamme.

Une eau souterraine dont le milieu permet la dénitrification peut être exempte de nitrates.

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques, des engrais de synthèse ou naturels [18] elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac [19]

Et en milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture, [15]

- ❖ **Alcalinité** : L'alcalinité correspond à l'ensemble des anions d'acides faibles susceptibles d'agir avec H^+ . C'est un paramètre important, car il joue un rôle prépondérant sur l'effet tampon de l'eau souterraine. Il détermine la manière dont le pH va réagir à l'ajout d'acides ou de bases faibles dans l'eau, notamment lors des procédés de traitement.

III.2.2.2. Les éléments en trace :

➤ **Fer :**

Très répandu, le fer se classe au 4ème 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 [16]

➤ **Nitrite :**

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme

suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique [16]

➤ **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 brunîtes. 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 [16]

➤ **Arsenic :**

L'arsénié 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 [16]

➤ **Zinc :**

Le zinc se trouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minérale 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 important dans les eaux à PH faible [16]

➤ **Argent :**

L'argent est présent dans de nombreux minérales, le plus souvent sous forme de sulfure, c'est un sous produit de l'extraction du cuivre, du plomb et du zinc [16]

➤ **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 supérieurs 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 concentration de la 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 [16]

➤ **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 [16]

➤ **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 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.

III.2.2.3.Dureté :

Dureté de l'eau semble venir de ce qu'il était dur de laver avec une telle eau.

Sauf exception très particulière, la dureté à un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium [16]

III.2.2.4.Oxygène dissous :

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau, la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmente.

Alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous saturée. En effet, la forte présence de matières organiques dans l'eau souterraine permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

➤ **Oxygène :**

L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau. L'ensemble de ces paramètres permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau souterraine.

➤ **DBO, DCO :**

La DBO exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. D'après CHAPMAN et al. [15] la DBO₅ des eaux naturelles est inférieure à 2 mg/l.

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique, d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium.

III.3. Classification des eaux d'irrigation

III.3.1. La classification de l'U.S.S.L

C'est la 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 exprimée en CE (mmhos/cm)

- le SAR (% de Na échangeable)

III.3.1.1. Teneur en sel

Tableau N°02 : Conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique en $\mu\text{mhos/cm}$	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 faiblement 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.

Source [10]

➤ 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 :

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

Tableau N°03 : Teneur en 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 a texture fine .Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols a 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 provoquer des difficultés dans la plus part des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il n'y a pas de gypse, il faut en ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.
S ₄	SAR>26	L'eau contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropre à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage du gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

Source [10]

III.3.2. Classification de Christiansen (1977)

C'est une classification fondée sur sept critères :

la conductivité électrique, le pourcentage en Na, le SAR, la teneur en Na₂CO₃, la teneur en Cl, la salinité effective (ES), la teneur en Bore

Tableau N°04 : Classification de Christiansen . (1977)

Classe	CE en mmhos/cm	Na en %	SAR	Na ₂ CO 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	Valeurs supérieures aux limites de 5						

Christiansen . (1977)

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

III.3.3. Classification par le Diagramme de faciès chimique des eaux

III.3.3.1. Diagramme de piper :

Le diagramme de piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

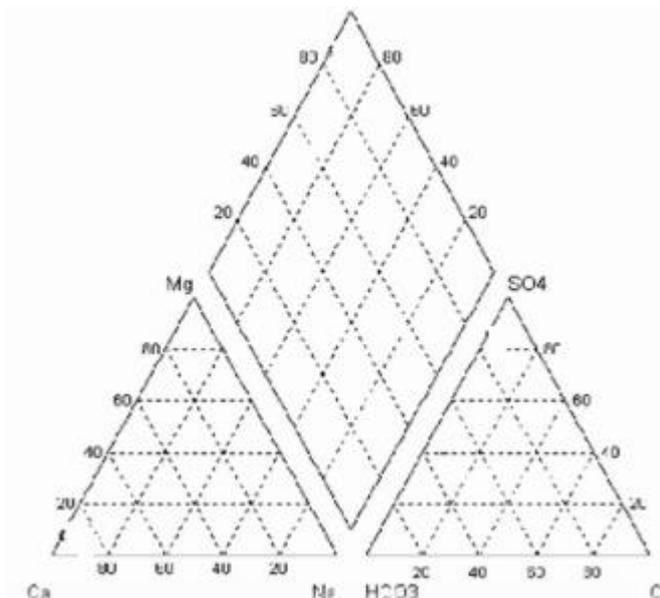


Figure N°07 : diagramme de piper [26]

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. [26]

III.3.3.2. 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. [27]

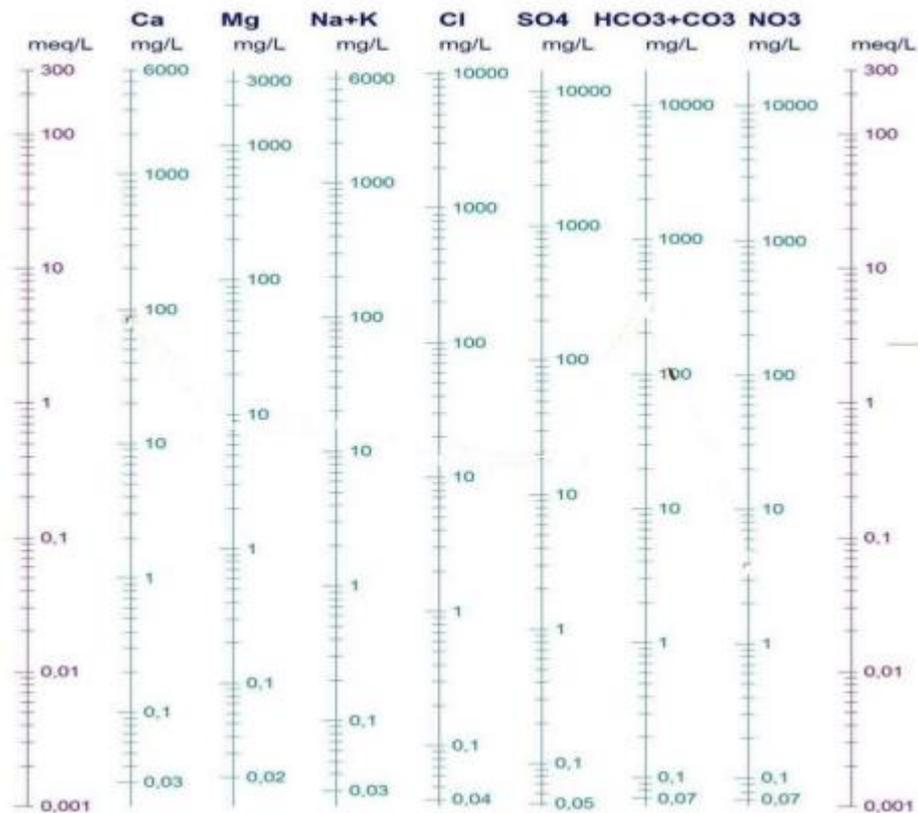


Figure N°08 : diagramme de Schoelle berkaloff

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. [28]

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.

III.3. 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 1 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.

Tableau N°05 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

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

(Source : Maynard et Hochmuth, 1997).

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.

V. Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol et la plante

V.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.

En Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures, des pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation et alcanisation, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité [20].

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) [21] 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

V.1.1.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. [22]

Les sources de sel 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-entretiennent lorsque les eaux de drainage ou de nappe phréatique sont recyclées. [20]

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).

V.1.2. 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. [23]

V.1.3. 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.

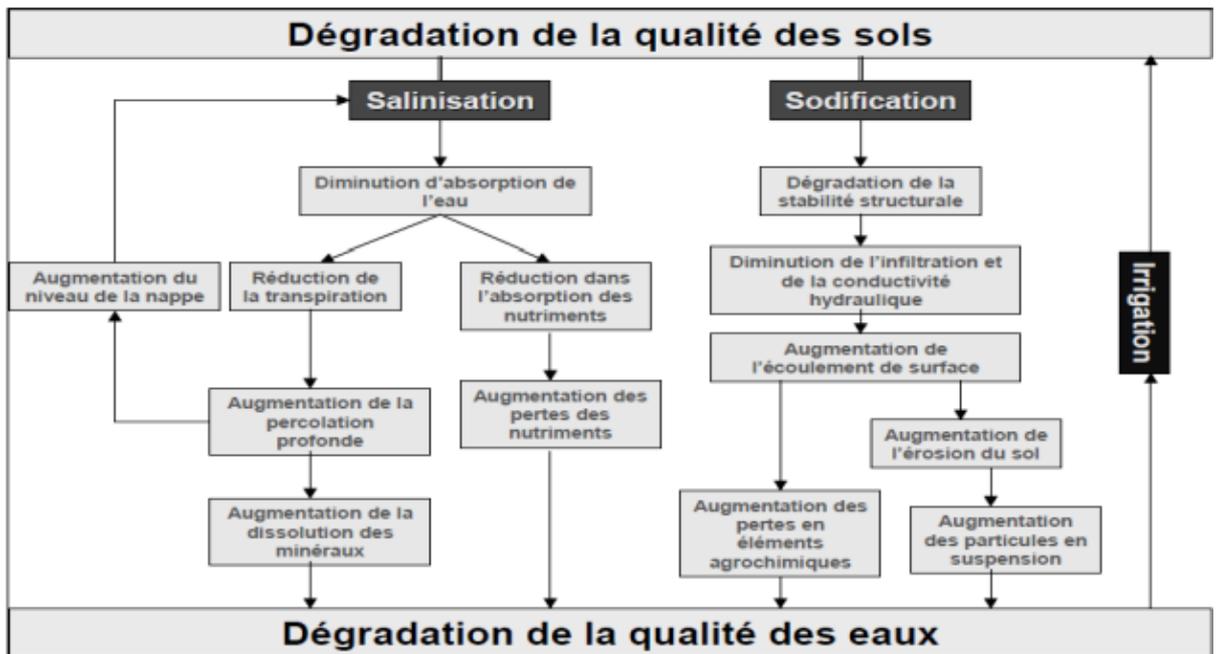


Figure N°09: Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l’irrigation [24]

Plusieurs grandeurs sont utilisées pour caractériser les sols salés :

a) Taux de sodium échangeable :

$$ESP = \frac{[Na^+]}{CEC} \times 100 \quad \text{avec :}$$

[Na+] en meq/100g

CEC : la capacité d’échange cationique en meq/100g.

b) La conductivité électrique du sol (de l’extrait de pate saturée ou l’extrait dilué) :

Mesure la concentration en sel de la solution du sol.

Tableau N°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

V.1.4.Problème 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 certains cas, les carbonates et les bicarbonates affectent la perméabilité du sol et il convient de les prendre en considération.

V.1.5.Problème 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 à 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

V.2. 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.

V.3.Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons pu évoquer l'eau dans sa nature et surtout les différentes qualités des eaux souterraines, ainsi que les différents techniques d'irrigation.

Cependant, nous avons évalué le risque qui peut provoquer par ces eaux d'irrigation et leur impact sur le sol et les plantes cultivés.

Donc le choix des qualités des eaux pour l'irrigation est une nécessité importante pour la conservation de la qualité du sol, et le bien développement des plantes cultivés d'autre part.

Chapitre II

Contexte générale sur la région d'étude

II.1. Cadre naturel

II.1.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Ouargla est située au Sud-Est de l'Algérie, à une distance de 790 km de la capitale Alger et dans le Nord-Est de la partie septentrionale du Sahara (5° 19' E; 31° 57' N).

Elle couvre une superficie de 163.230 km² et est limitée:

- Au Nord par la wilaya de Biskra;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset;
- Au Nord-Ouest par la wilaya de Djelfa;
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa;
- A l'Est par la wilaya d'El Oued;
- Au Sud-Est par la wilaya d'Illizi.

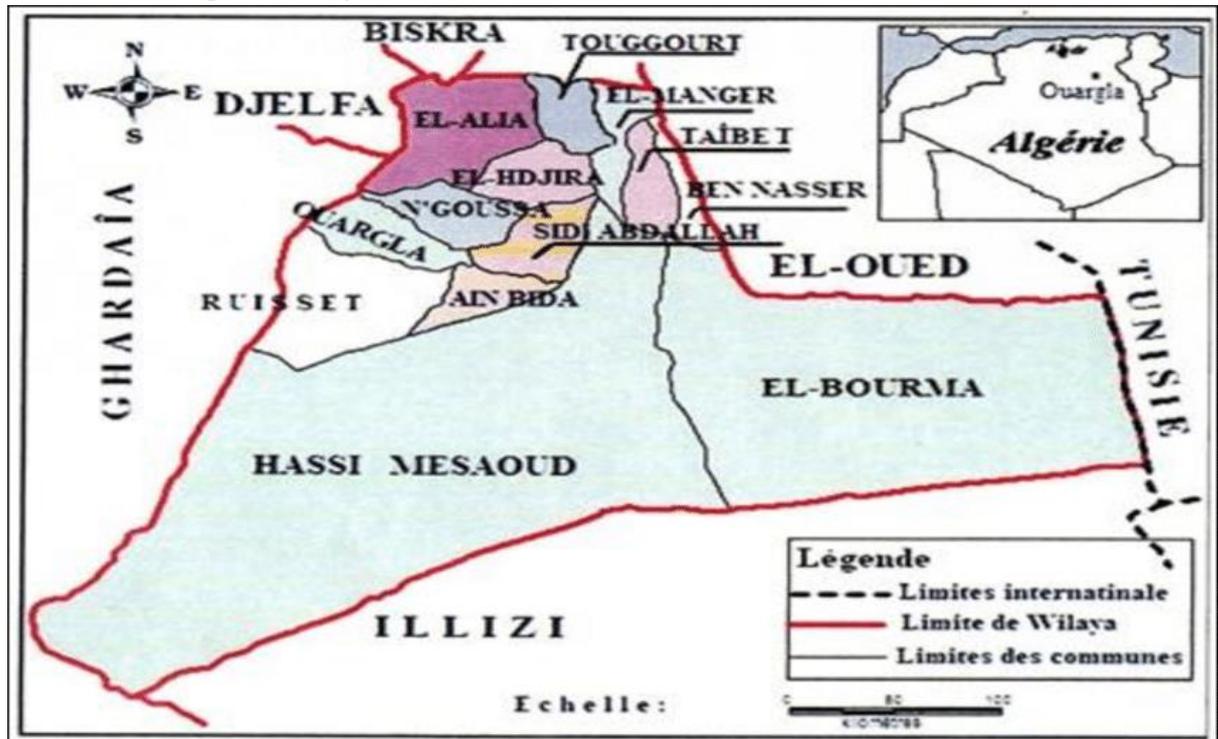


Figure N°10: carte de présentation de la zone d'étude.

II.1.2. Relief

La carte topographique de Ouargla montre que l'altitude atteint 147m pour descendre à 102m à une distance de 45 Km dans la Sebket Safioune où est prévue l'évacuation des rejets des eaux de la ville de Ouargla (Figure n° 01). Les altitudes sont de 135,08 m en ville et 127,95 m au niveau du chott et de la Sebka) [29]

II.1.3. Géologie

La vallée de Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. 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.

Au-dessous du fond de la vallée, les puits et les sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable :

- une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45 m de profondeur.
- des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 m à 80 m.
- les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m)
- un épais horizon d'argiles à évaporites (jusque vers 650 à 700 m)
- une centaine de mètres d'évaporites massives
- des argiles à évaporites plastiques, jusque vers 1050 – 1100 m de profondeur
- des sables et grès de l'Albien se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 - 1400m de profondeur.

Après son creusement, la vallée 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. Un niveau charbonneux 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 Tadmait (oued M'ya) 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 Sebket Safioune).

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré. L'oued M'ya 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 Sebket Safioune (un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse). [29]

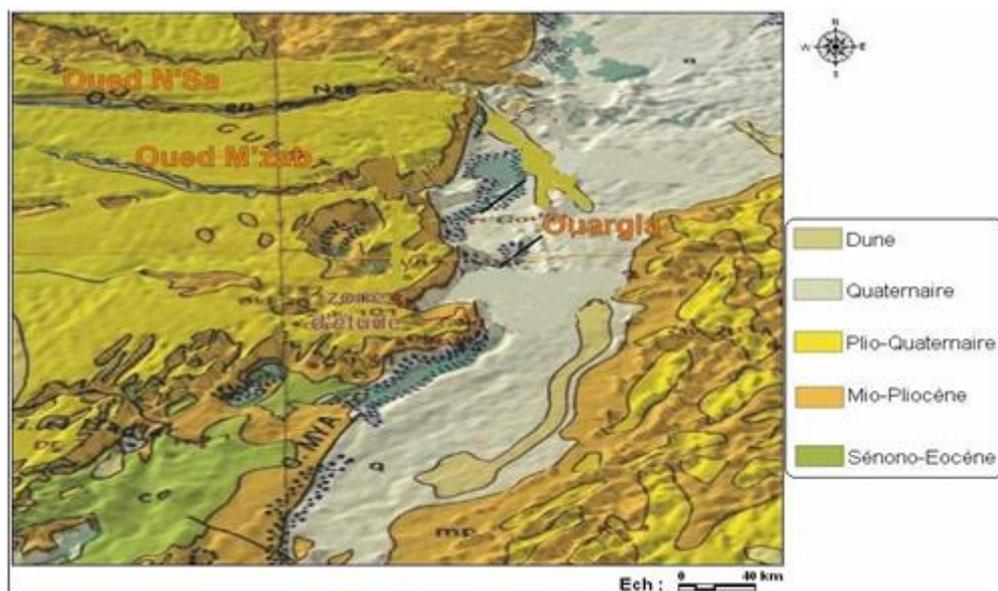


Figure N°11 : Carte géologique locale [29]

D'après la carte géologique réalisée par BG. Busson, le relief d'Ouargla est constitué de roche sédimentaires et alluvions et colluvions dérivées de ces roches :

- Marne jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses ;
- Calcaires ocre, gréseux ou marneux ;
- Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses ;
- Grés, sables et conglomérats ;
- Calcaires lacustres ;
- Sables récents du quaternaire.

II.2.Climat

Le climat de la vallée de Ouargla est un climat désertique chaud de type saharien, caractérisé par des précipitations très peu abondantes et irrégulières, par des températures élevées accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes et par une faible humidité relative de l'air.

II.2.1. Températures

Dans cette région l'hiver est trop froid, et comportant d'importants risques de gelée et pendant l'été le climat est trop chaud. La région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées, la température moyenne annuelle est de 23,20°C, avec 35,90°C en juillet pour le mois le plus chaud et 9,60°C en janvier pour le mois le plus froid, avec des extrêmes de Max=43,60°C en juillet et Min = 4,90°C en janvier. [30]

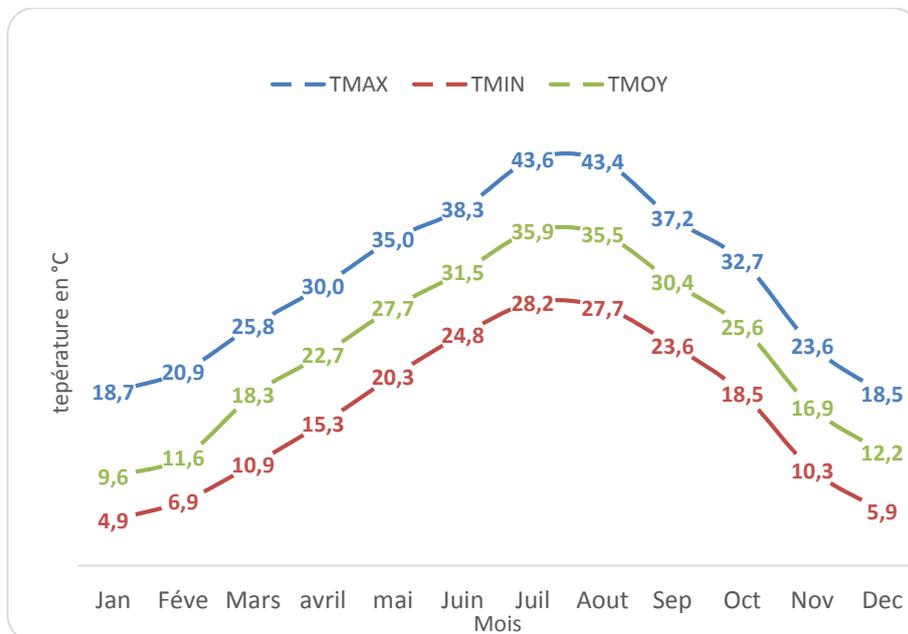


Figure N°12 : Variation de la température dans la période 2008-2018

II.2.2. Pluviométrie

Pour l'ensemble de la vallée, la pluviométrie est très rare, la moyenne annuelle est légèrement supérieure à 3,9 mm pour un nombre de jour de pluie de 25 jours. Ces pluies sont de type orageux caractérisées par une forte intensité engendrant ainsi d'importantes crues qui ne persistent que quelques minutes [30]

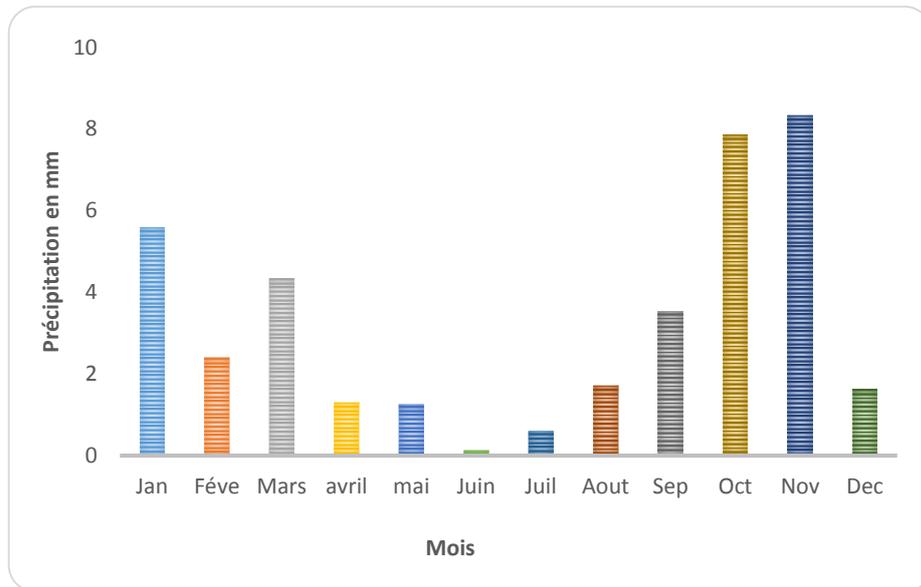


Figure N°13 : Variation de la précipitation dans la période 2008-2018

II.3.3. Diagramme pluviothermique

GAUSEN considère que le mois sec est celui où la pluviométrie est inférieure ou égale à deux fois la température. Le diagramme ombrothermique permet de mettre en évidence les périodes humides et les périodes sèches dans la région étudiée.

D'après le diagramme ombrothermique pour la vallée de Ouargla la période sèche s'étale sur toute l'année.

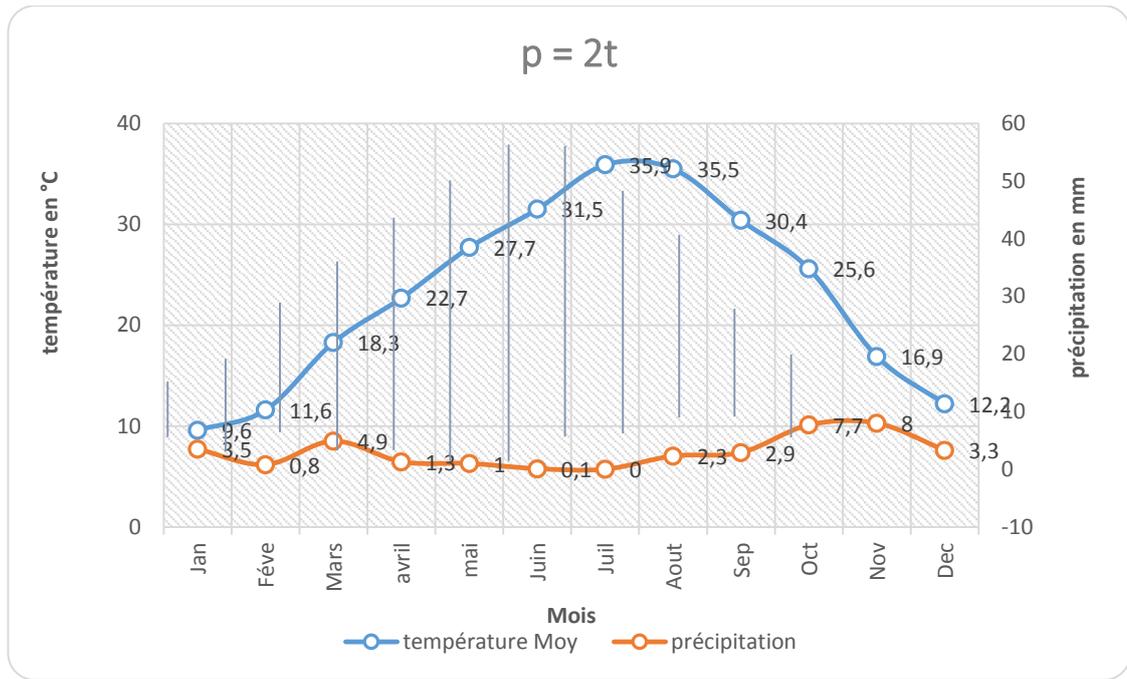


Figure N°14: Diagramme pluviothermique de la région de Ouargla (2008-2018)

II.2.4. 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. Pour la région d'Ouargla, l'humidité relative de l'air est très faible. Elle varie entre 25% et 61%, sur la période d'observation. La moyenne de l'humidité la plus élevée est enregistrée au mois de décembre, avec 61% et le taux le plus faible est au mois de juillet, avec 25%, et une moyenne annuelle de 41,03%, [30]

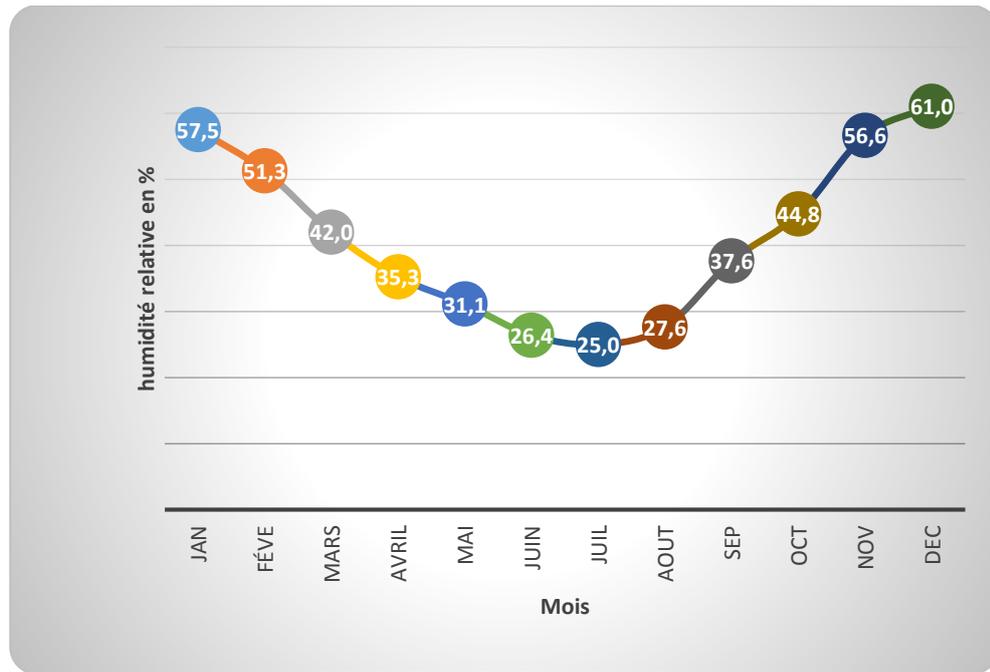


Figure N°15 : Variations de l'humidité de l'air durant la période 2006-2016

II.2.5. 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 (2008 – 2018) 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) [30]

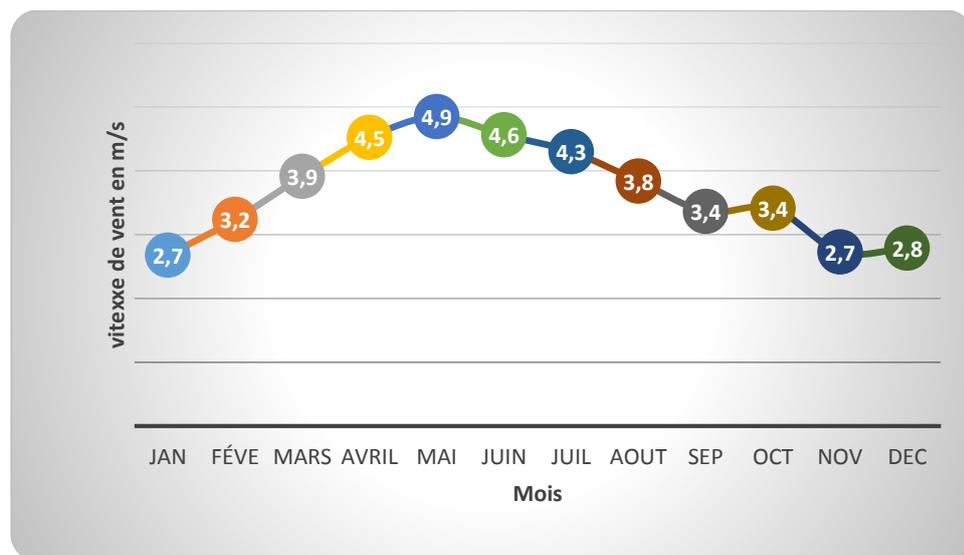


Figure N°16 : Variations de la vitesse du vent durant la période 2008-2018

II.2.6. 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 [30]

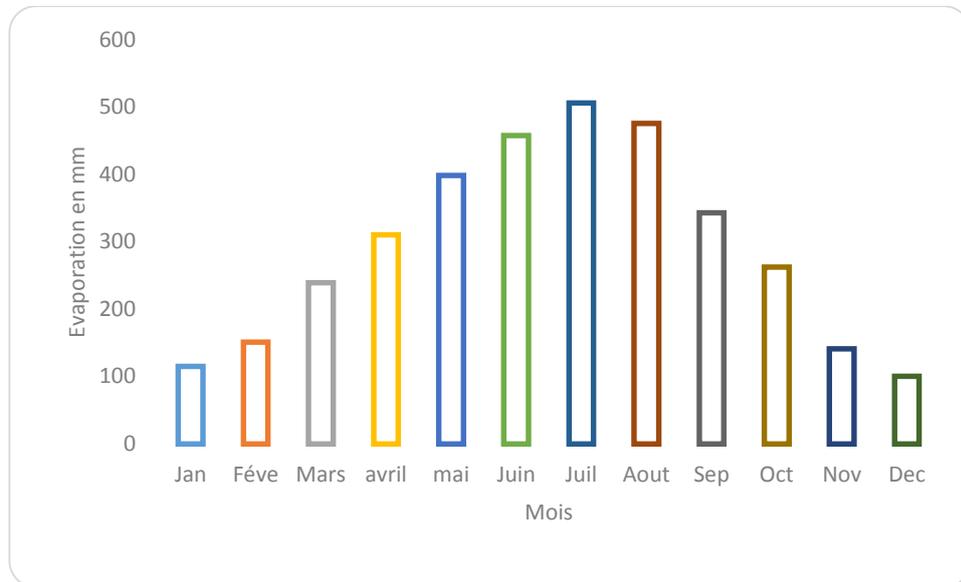


Figure N°17 : Variations de l'évaporation pendant la période 2008-2018

II.3. 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 conséquence pose des problèmes de la remonté des eaux superficielle. La coupe schématique représente la répartition verticale des eaux souterraines (figure.16). [29]

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 l'asphyxie (figure.17).



Figure N°18 :Schéma représentatif de la répartition verticale des eaux souterraine dans la région d'étude (HAFOUA, 2005)

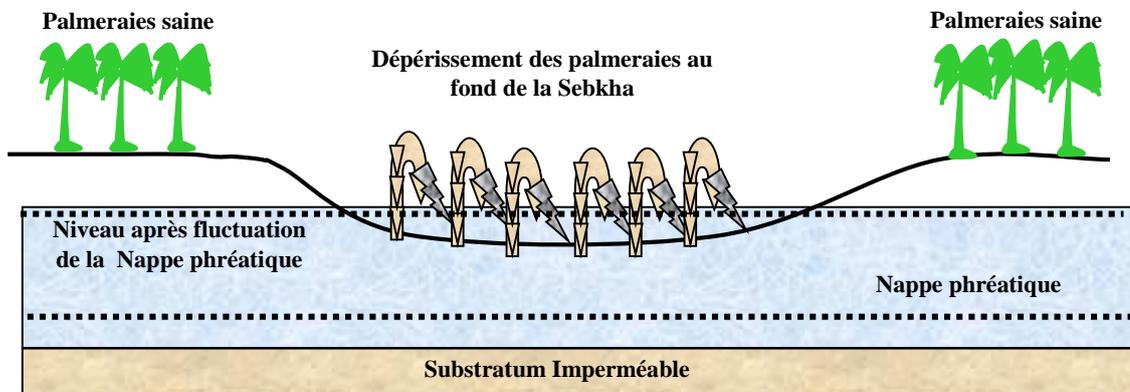


Figure N°19 : Schéma de la fluctuation de la nappe phréatique (HAFOUA, 2005)

II.3.1. 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).

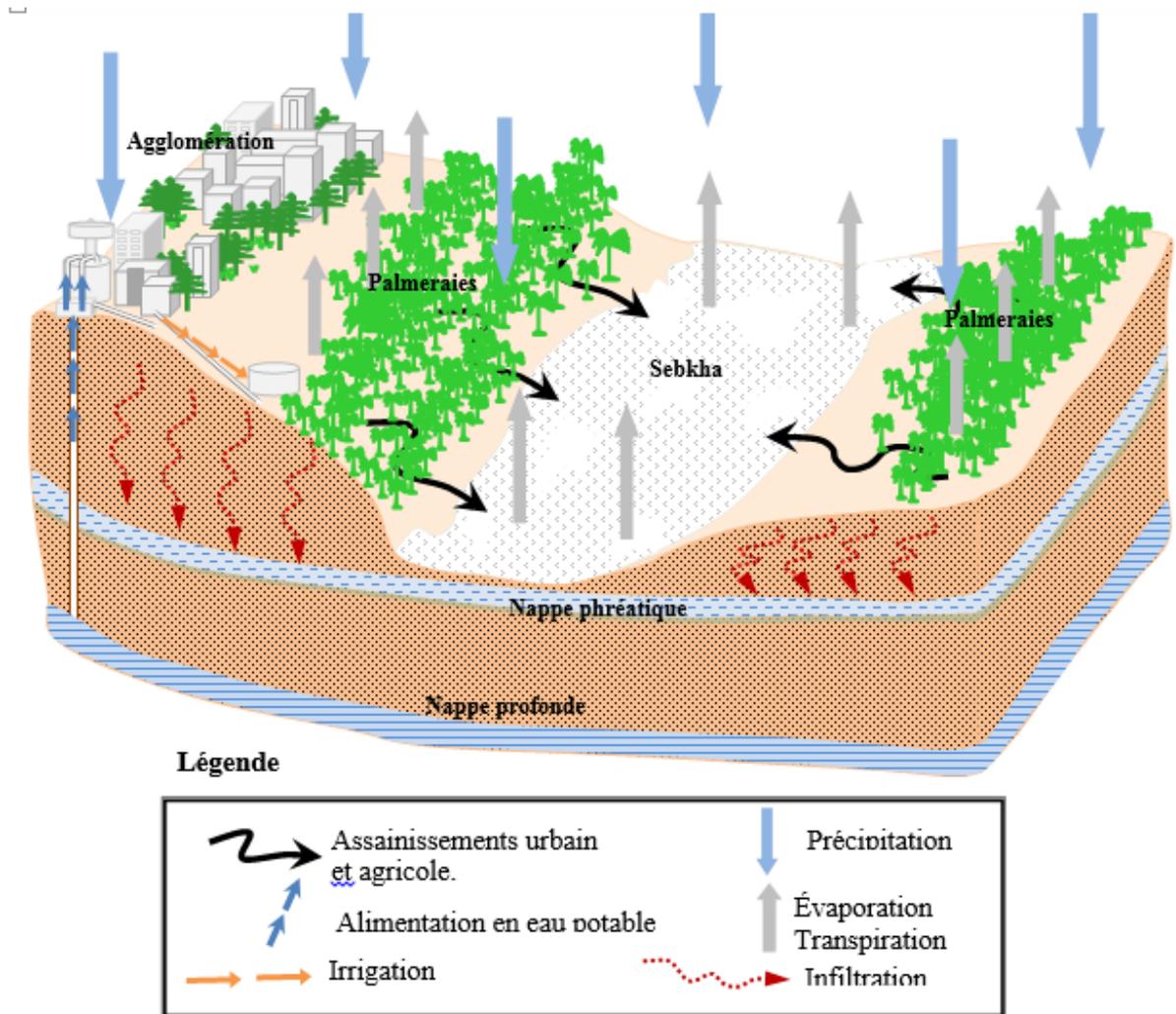


Figure N°20 : Fonctionnement d'un bassin versant sur les nappes d'une cuvette

II.3.2. Oueds de la vallée de Ouargla

La cuvette de Ouargla est alimentée par trois oueds importants :

Oued M'Zab

L'oued M'Zab coule d'ouest en est sur environ 320 kilomètres de la région de Botma Rouila à 750 mètres d'altitude jusqu'à la Sebkha Safioune à 107 mètres située au nord de la cuvette de Ouargla. [31]

La surface du bassin versant est de 5 000 km². Il n'y a pas d'écoulement pérenne. Les crues sont exceptionnelles, les dernières observées datent de 1901, 1951, 1991 septembre 1994 et 2008. Le débit mesuré en 2008 a atteint 1250 m³/seconde. Lors de la crue de 1991, la circulation de la route Frane-El Hadjira a été interrompue, cependant l'eau n'a pas franchi la route vers Hassi Debiche. [31]

Oued N'sa

Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 7 800 km². Il coule selon une direction Ouest-est dans son cours supérieur, en direction Nord Nord ouest – Sud Sud Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 kilomètres et de nouveau vers l'est en son cours inférieur pour se déverser dans la sebkha Safioune. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 2008, où le débit enregistré a été de 32 m³/seconde. [31]

Oued M'ya

Le bassin de l'oued M'Ya couvre une superficie de 19 800 Km². Les écoulements sont plus fréquents en novembre, octobre, mai et juin. Les crues de l'oued M'Ya se perdent à 200 kilomètres en amont de la ville de Ouargla. [31]

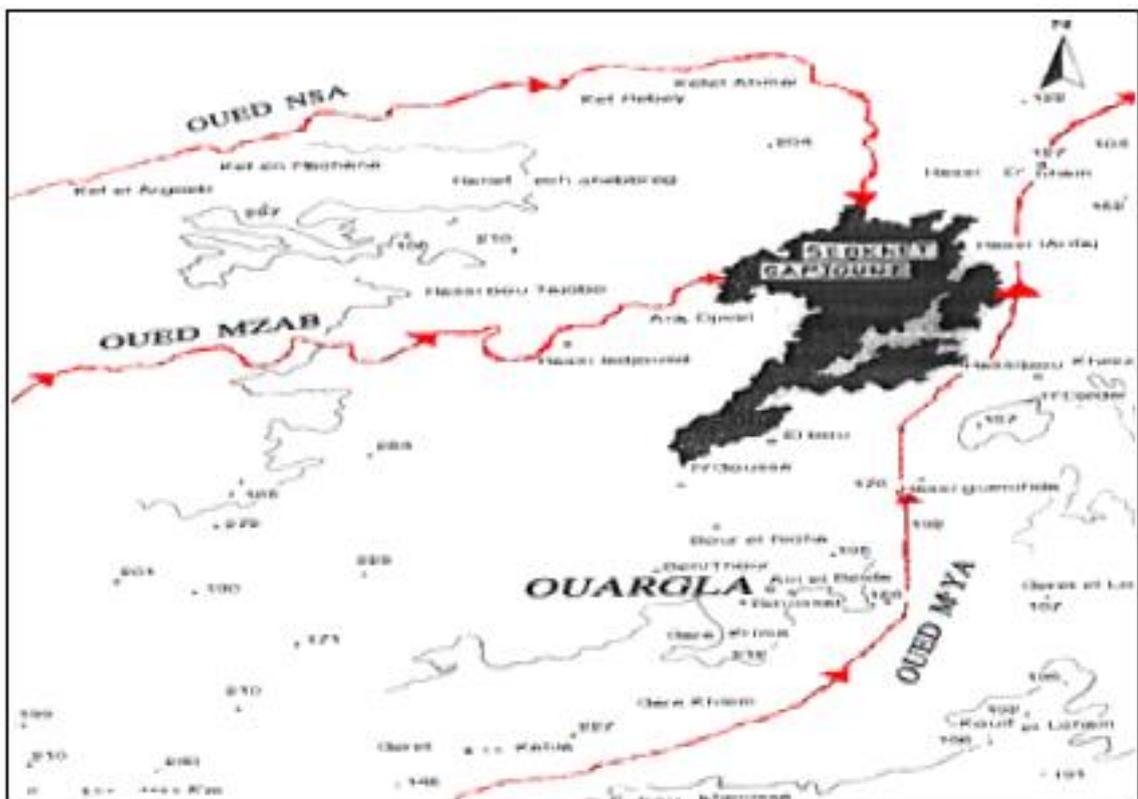


Figure N°21 : Réseau hydrographique de la vallée de Ouargla

II.4. Hydrogéologie

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. Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe artésienne des

calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, les nappes artésiennes du Continental terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles.

II.4.1. Présentation des nappes de la région

Dans le sous-sol de la vallée, il existe trois grands ensembles aquifères qui du haut vers le bas sont :

- La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface (parfois moins de 1 mètre), généralement entre 1 et 2 m, mais qui peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla (au P 108) ou sous les reliefs.
- L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT) comprenant trois aquifères différents qui de haut en bas sont le Mio-Pliocène, le Sénonien et le Turonien.
- L'ensemble aquifère du Complexe Intercalaire dite aussi nappe de l'Albien fortement artésienne située à 1100- 1200 mètres de profondeur.

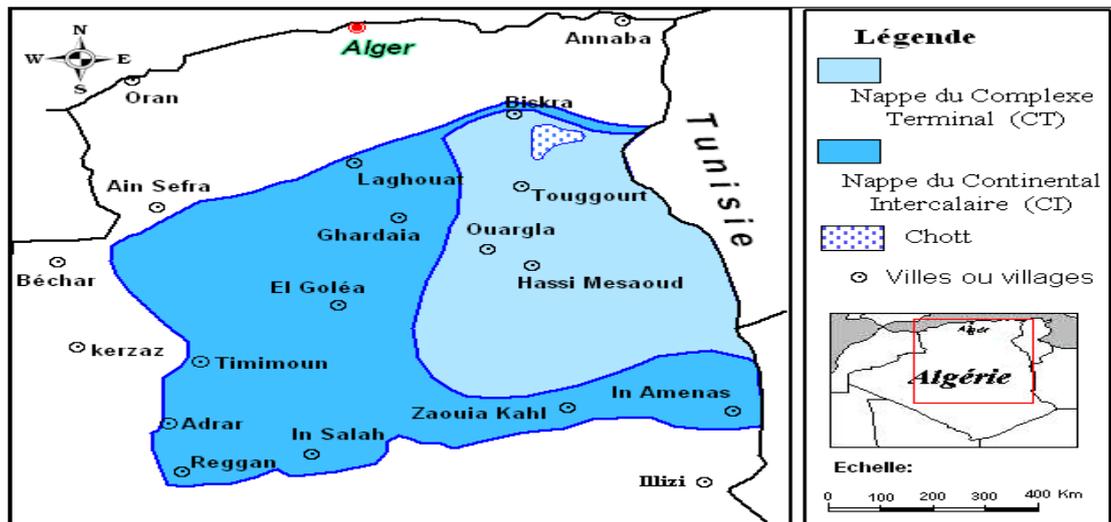


Figure N°22 : Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT). (UNESCO, 1972)

II.4.2. Nappe phréatique

La nappe phréatique circule dans les sables dunaires et les alluvions de l'oued M'ya. Elle est en moyenne à 1,5 m de profondeur par rapport au sol. Elle forme un dôme au niveau de la ville de Ouargla provoquant des nombreuses nuisances:

- Remontée des eaux dans les constructions, techniques de construction particulières à mettre en œuvre pour les fouilles des fondations,
- Remontée des eaux au niveau de la palmeraie engendrant des asphyxies au niveau des palmiers et des baisses de production.

La nappe phréatique repose sur un substrat étanche, imperméable de plus de 20 mètres d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe du Mio-

Pliocène sous jacente. D'ailleurs si des connexions existaient, se développeraient des zones humides avec de la végétation dans Safioune. La nappe s'écoule du point eau situé au niveau de la ville de Ouargla vers le point bas situé à Safioune. Les écoulements souterrains sont faibles et estimé à environ 200 m/an soit un débit de 4000 à 5000 m³/jour.

La qualité des eaux de la nappe phréatique est très dégradée. La conductivité est très forte elle augmente en allant du Sud vers le Nord. A Safioune, la conductivité varie de 199000 à 214000 µS/cm à 25°, ce qui correspond à environ 250-300 g/l de sel. Au niveau de N'Goussa, la teneur en sel est d'environ 30 g/l. [31]

II.4.3. Nappes du Complexe Terminal

Le Complexe terminal comprend trois aquifères qui du haut en bas sont:

- La nappe du Mio-Pliocène
- La nappe du Sénonien
- La nappe du Turonien

Dans la cuvette de Ouargla seules sont exploitées les nappes du Mio-Pliocène et sénonien.

II.4.3.1. Nappe du Mio-Pliocène

Cette nappe est contenue dans les sables grossiers atteints vers 30 à 60 m de profondeur par les puits artésiens jaillissants qui autrefois irriguaient les palmeraies de Ouargla. L'exploitation de cette nappe du Mio-Pliocène par le creusement de nombreux puits artésiens date de 1883. Ces puits existaient déjà au 14ème siècle mais ils se sont multipliés en 1883 grâce à l'aide sondages réalisés par les militaires. L'eau est alors située entre 30 et 60 mètres de profondeur. En 1901, le nombre de puits atteint 160 et l'artésianisme diminue. Le développement de ces puits et une meilleure disponibilité en eau ont favorisé la sédentarisation des nomades dans l'oasis. [31]

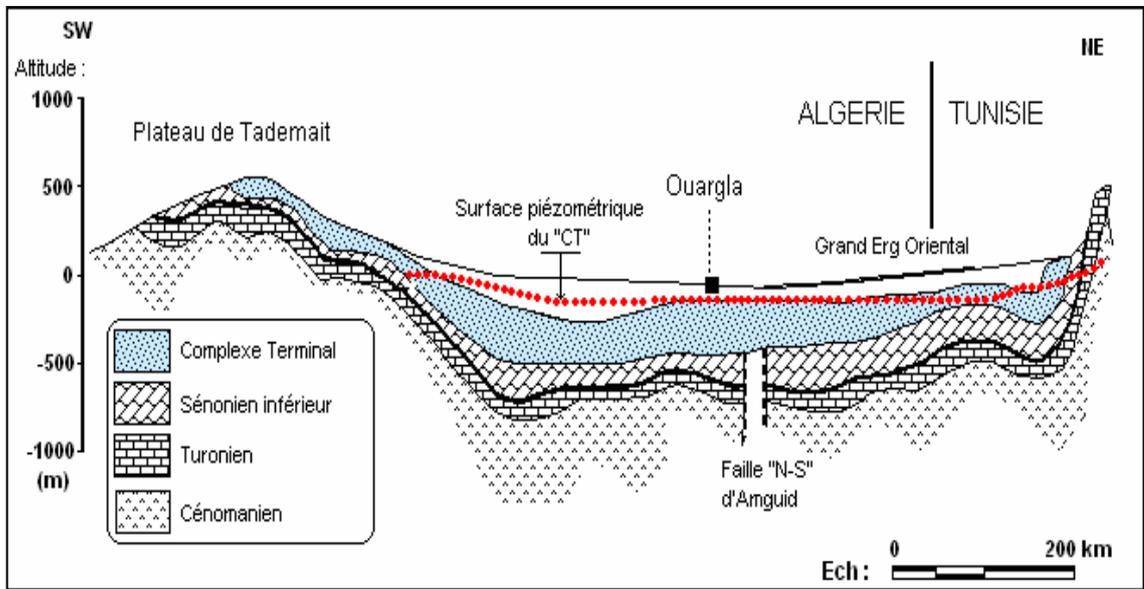
Actuellement la situation a fondamentalement changé. L'artésianisme a baissé au point que dans les palmeraies de Ouargla, la nappe n'est plus jaillissante. Elle est exploitée par pompage dans des forages. Les Autorités, inquiètes des communications qui pourraient s'établir avec la nappe phréatique ont fait boucher les puits. (Elles ont aussi programmé le rebouchage de 30 anciens forages). Cette nappe du Mio-Pliocène est à une profondeur de 130 mètres au niveau de Safioune où elle est encore artésienne. La teneur en sel est d'environ 2 à 3 g/l. Cette nappe est actuellement utilisée pour l'alimentation en eau potable de la ville de Ouargla avec 23 forages avec pompes. [31]

II.4.3.2. Nappe du Sénonien

La nappe artésienne du Sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de profondeur. C'est la nappe du sénonien qui est exploitée au forage de Hassi Khefif au nord est de la Sebkhia Safioune à 400 mètres de profondeur. Le résidu sec varie entre 2,5 et 3,6 g/l.

Au total, 274 forages dont la plupart sont captant dans le complexe terminal assurent une production annuelle de 50 millions de m³ d'eau pour l'alimentation domestique et agricole. [31]

Figure N°23: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)



II.4.4. Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire couvre une superficie de 1 million Km² et est une des plus grandes réserves souterraines au monde. C'est une nappe fossile qui n'est pas réalimentée par la climatologie actuelle. Cette réserve de 3,5.10¹³ m³ doit être gérée comme une ressource minière épuisable.

L'alimentation de l'aquifère en eau s'effectue par infiltration des eaux de l'Atlas saharien et des eaux circulant sous la hamada Sud-Oranienne et sous l'Erg oriental. L'écoulement des eaux se fait du Nord vers le Sud dans la partie occidentale, et de l'Ouest vers l'Est ainsi que du Sud vers le Nord dans la partie orientale. Le premier forage profond dans le continental intercalaire datent de 1939, un forage de 900 mètres de profondeur donne alors un débit de 1 500 litres/minute. Actuellement, 2 forages sont implantés dans le CI pour assurer l'alimentation en eau potable d'Ouargla. [31]

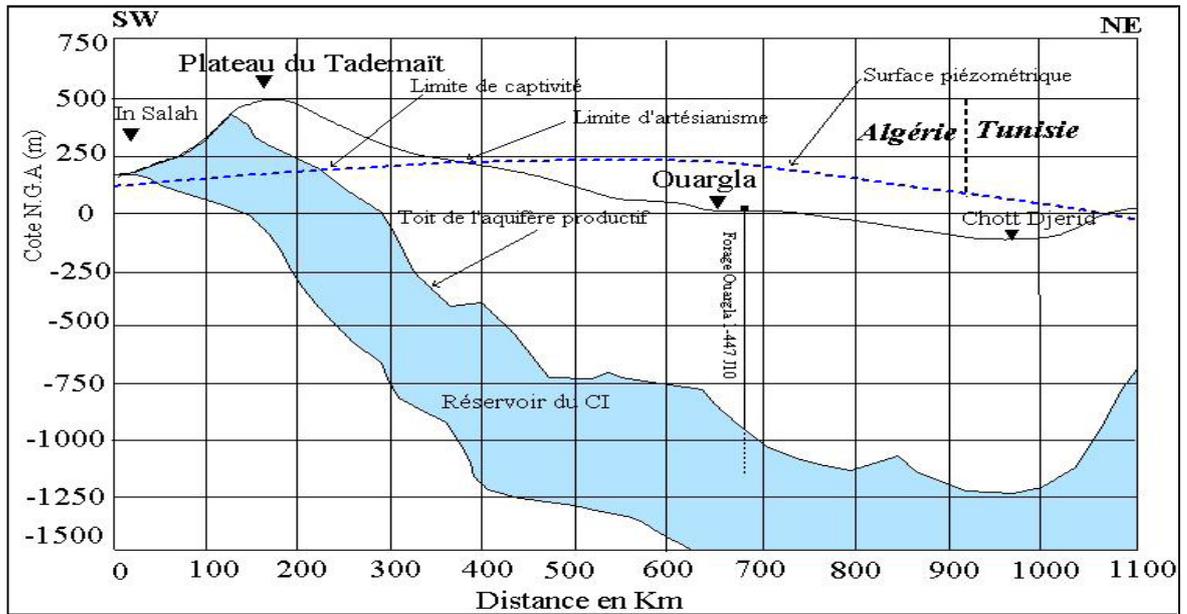


Figure N°24 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)

II.5. Sebkhass et Chotts

Le milieu naturel est constitué des chotts et des Sebkhass qui sont sur le niveau le plus bas de la cuvette de Ouargla, jouent le rôle de dépression et de décantation. Le chott est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux de surface et sub-surface, tandis que la présence d'une nappe phréatique permanente. [29]

Sur les 99000 hectares que compte la cuvette de Ouargla, la superficie occupée par les zones de sebkhass est évalué à 21000 ha dont 3500 ha représentés par les chotts (lieux d'apparition des eaux stagnantes), parmi les plus importants on distingue le chott Ain Beïda, Oum-Er-Raneb et Sebkhett Safioune, les autres sites sont de moins importance comme les Chotts de Saïd Otba et Bour El-Haïcha, les sebkhass de N'Goussa et Bamendil. [29]

II.5.1. Chott Ain Beïda

Le chott d'Aïn Beïda constitue le point bas de la ville de Ouargla, il a pu il y a de nombreuses années constituer l'exutoire des eaux de oued M'ya. Il couvre environ une superficie de 1000 hectares. Actuellement l'alimentation en eau du chott se fait à partir de la nappe phréatique dont le niveau varie en fonction de la saison et des actions de l'homme (drainage de la palmeraie, irrigation) et surtout à partir de la divagation des eaux usées déversées dans le Chott. [29]

L'inventaire de la faune et de la flore du Chott d'Aïn Beïda, a été réalisé dans le cadre d'une étude menée par le département de la conservation des forêts afin de définir un plan d'action pour une meilleure gestion de cette zone humide. [29]

Le Chott Ain Beïda est divisé en quatre zones distinctes par l'implantation d'infrastructures plus ou moins récentes. Le canal de drainage des eaux de la palmeraie sépare

longitudinalement le chott. La réalisation de la piste du chott, récemment goudronnée qui permet de joindre la ville de

Ouargla à Aïn El Beïda coupe le chott de manière transversale. Ces deux infrastructures ont vraisemblablement des incidences sur les circulations d'eau souterraines au niveau de la zone mais qui ne sont pas actuellement mesurables. [29]

II.5.2. Chott Oum-Er-Raneb

Le Chott de Oum-Er-Raneb est une zone humide située dans une cuvette située à environ 7 Km au Nord-Est de la Ville de Ouargla. Il est localisé entre l'agglomération de Sidi-Khouiled (Chef lieu de la commune du même nom) au sud et l'agglomération d'Oum-Er-Raneb au Nord. Le Chott est allongé selon une direction Nord-Sud. Sa superficie varie de 900 à 1400 hectares en fonction du niveau de l'eau.

Le Chott est entouré par des formations dunaires au Nord, à l'Est et au Sud. Le Chott de Oum-Er-Raneb est alimenté par les eaux usées de la ville de Ouargla et les eaux de drainage agricole depuis 1983. C'est un site très pauvre en végétation. Il est alimenté par deux principales canalisations qui collectent les eaux usées depuis une station de pompage située au Nord-Est du Chott de Aïn-Beïda. [29]

II.5.3. Sebkhete Safioune

La sebkha Safioune constitue le point le plus bas de la cuvette de Ouargla. Elle s'étend sur une superficie totale de près de 8000 hectares et constitue l'exutoire naturel des crues des oueds N'sa et M'zab.

La Sebkhete est limitée en bordure Est et Nord-est par une zone à topographie un peu plus élevée occupée par une végétation clairsemée de tamaris, et de salicorne. Ces deux espèces sont inféodées aux milieux salés voire très salés. A l'Ouest et au Sud, la sebkha est bordée par des dunes de sable. Les contraintes du milieu sont telles que toute végétation et vie animale est quasi inexistante. [29]

Les concentrations en sels au niveau de la nappe phréatique située sous la sebkha sont de l'ordre de 300g/l. Cette concentration limite tout développement faunistique et floristique intéressant.

Le sol est également très salé, une croûte d'inflorescence saline recouvre toute la partie de la sebkha limitant tout développement végétatif.

Les dunes situées à au Sud et à l'Ouest abritent des espèces de mammifères du Sahara mais qui n'ont aucune relation avec la Sebkhete.

La sebkha Safioune ne présente aucun intérêt du point faunistique et floristique. Les teneurs en sel du sol et de la nappe phréatique limitent également toute valorisation agricole. En bordure est de l'autre côté de la route menant à Hassi Debiche de nouvelles palmeraies sont en cours d'implantation dans le cadre des programmes de développement agricole des

provinces du Sud. Les canaux de drainage ont été creusés et certains palmiers plantés. Cette zone est légèrement surélevée par rapport à la Sebkhah. [29]

II.5.4. Sebkhah de Bamendil

Nos travaux ont été menés sur la sebkhah de Bamendil, cette dernière située à quelques kilomètres au Nord-ouest du centre de la ville de Ouargla, est considérée comme une bande allongée géographique et s'étale sur une superficie de 1838 ha environ. L'altitude varie entre 131,5 m et 130,8 m dans une région marquée par un climat aride. La Sebkhah de Bamendil est caractérisée par la présence d'une nappe phréatique de faible profondeur, les eaux de cette nappe soumises à une forte évaporation ont tendance à se concentrer et les sols à se saler. La sebkhah est limitée au Nord par un terrain vierge, au sud par l'agglomération et les Oasis de Ouargla ; à l'est par les Oasis et les Chotts d'Oum-Er-Raneb et de Aïn Beïda et à l'ouest par les oasis et l'agglomération de Bamendil. [29]

Le sol de la zone étudiée est également très salé, une croûte saline recouvre toute la partie de la sebkhah limitant tout développement végétatif elle a servi de suivre la salinité de l'eau et du sol et des fluctuations de la nappe phréatique. [29]

La topographie de la sebkhah d'une façon générale est plane, mais il existe un point de dépression au centre de la Sebkhah où l'eau de la nappe phréatique proche à la surface du sol (20 à 40 cm), dans ce point la croûte est épaisse par rapport aux autres points. Plus on éloigne du centre vers la Nord, ce niveau augmente pour atteindre un niveau de plus de 1,20 mètres. [29]

II.6. Le contexte pédologique

Au Sahara, la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols halomorphes et sols hydromorphes. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible (inférieure à 1%) et ne permet pas une bonne agrégation.

II.6.1. Les sols de la région

Du point de vue pédologique, la cuvette de Ouargla se caractérise par des sols, dont la majorité se regroupent dans les classes pédologiques des sols peu évolués d'apport alluvial et éolien avec des caractères de salinité et action de nappe et les classes des sols halomorphes et hydromorphes. [29]

La région est caractérisée par des sols légers, à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un PH alcalin, une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération.

Les cinq pédopaysages suivants d'ouest en est, selon la dénomination des sols du référentiel pédologique ont été reconnus :

- Sur le plateau, les sols présentent une surface graveleuse, reg à graviers, ou pierreuse, reg à pierre, et des voiles éoliens. Cet horizon de surface surmonte une croûte calcaire à dolomie, très dure, de 30 cm d'épaisseur. On trouve ensuite un horizon calcaire, nodulaire, moins dur et fissuré, entre 35 et 60 cm puis, au-delà de 60 cm, un horizon pétrogypsiqique à 57 % de gypse. La conductivité électrique (CE) est faible (1,97 à 3,4 dS.m⁻¹), le pH est neutre. C'est un lithosol pétrocalcarique de Hamada à encroûtement gypseux en profondeur. [29]
- Sur le glacis, à 140 m d'altitude, le sol est constitué d'un matériau meuble, exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région ; jusqu'à 8 m de profondeur, il ne présente aucun niveau d'encroûtement ; le maximum de CE est de 22,05 dS.m⁻¹ entre 25 et 75 cm de profondeur. Il s'agit d'un rego-sol sableux à graviers, saliques. [29]
- Dans le chott, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse ou polygonale, blanchâtre, partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de Sebkhas associés à une végétation gypso-halophiles à *Zygophyllum album*. À 15-20 cm d'épaisseur, on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène, de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur, moins riche en gypse que l'horizon précédent.

Le sol non calcaire présente une teneur en gypse décroissante de 68,6 % dans la croûte polygonale à 43 %. La CE varie de 17,2 à 54,6 dS.m⁻¹, le pH est de 7,8. C'est un Sali-sol chloruré sulfaté à horizon gypseux et pétrogypsiqique de surface.

- Les sols salés de la sebkha se caractérisent par une salure extrêmement élevée de l'horizon de surface et des croûtes et efflorescences salines continues. La nappe phréatique varie de 40 cm (février) à 60 cm (septembre) et jusqu'à 1 m. Sa CE moyenne est de 17,9 dS.m⁻¹.

Les sols du centre de la sebkha se caractérisent par une croûte saline qui repose sur un matériau

limono-sableux. La teneur en gypse est de 11 à 21 %. Le pH est de 6,8 à 7,6. La CE est de 160,7 dS.m⁻¹ dans la croûte saline, puis descend à 38,2 dS.m⁻¹ dans les horizons sous-jacents. Il s'agit d'un Sali-sol chloruré sulfaté.

Les sols de la bordure de la sebkha se caractérisent soit par une croûte saline de surface similaire à celle du centre de la sebkha, soit par une croûte peu développée à surface lisse plus ou moins battante. Dans les deux cas, la couverture pédologique peut comporter ou non des horizons gypseux et/ou calcaire. Les teneurs en gypse varient de 8,5 % dans la croûte saline à 77,8 % dans l'horizon pétrogypsiqique de profondeur. On a

ainsi toute une gamme de Sali-sols Chloro-sulfatés, avec ou sans horizon gypseux et/ou calcaire.

- Les dunes sont des rego-sols. Il existe aussi des cordons dunaires. Enfin dans les talwegs et sur les versants rocheux, on trouve en surface des affleurements de grès rouge du Mio-Pliocène.

II.6.2. Développement du profil

Il peut être expliqué sur la base des deux principes suivants :

- La pédogenèse est dominée par l'action d'une nappe phréatique et des sels qu'elle contient.
- A conditions égales, le degré de développement des caractères morphologiques est fonction du taux d'argile.

II.6.3. 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 en petits cristaux (forme fibreuse, roses de nombreuses taches (diffuses ou en mycélium) ou amas de gypse pulvérulent. [32]

II.6.4. Propriétés chimiques des sols

Les études indiquent que : [30]

- 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 carbonate 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 proviennent 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°07 : 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	
Dattes	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 marâchers 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 Ngoussa. Les zones de mise en valeur agricole se situent au niveau de Hassi ben Abdallâh et Ngoussa essentiellement.

Comme il a été souligné auparavant, 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°08 : 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 sous-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°09 : 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°10 : 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 terre 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 camélins. 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°11: Répartition du cheptel animal par commune en 2014

Commune	Bovins	Ovins	Caprins	Camélins
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 région d'Ouargla se caractérise comme l'ensemble du bas Sahara par un climat de type désertique, dont les amplitudes thermiques entre les maximas et les minimas sont très importantes et par une pluviométrie très faible.

L'hydrologie de la région de Ouargla présente trois nappes principales : La nappe phréatique, l'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT) comprenant trois aquifères différents qui de haut en bas sont le Mio-Pliocène, le Sénonien et le Turonien et l'ensemble aquifère du Complexe Intercalaire

la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols halomorphes et sols hydromorphes

A cet raison l'irrigation dans cette région s'impose d'une manière systématique.

Chapitre III

Matériels et Méthodes

III.1. Matériels d'études

III.1.2. Introduction

Avant de déterminer les résultats des mesures et d'analyses physico-chimiques obtenus par les eaux de la nappe albien et miopliocene au niveau de la région d'Ouargla, nous jugeons utile de présenter le matériel utilisé, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse des échantillons.

III.1.3. Prélèvements

Pour faire notre analyse physico-chimiques nous avons prendre les échantillons d'eau de six (06) forages parmi les 41 forages étudié albien et miopliocene de la même région :



Figure N°25 : Répartition des six forages échantillonnés

Les analyses sont effectuées au niveau :

- 1-Laboratoire Etude et Contrôle (LCE) Ouargla
- 2-Laboratoire Chimie des Eaux & Sol. Ouargla.

III.1.4. Analyses physico-chimiques : au laboratoire on a utilisé :

- Verriers (Entonnoirs ; Bêchers de différents volumes,.....etc) ;
- Capsules en porcelaine ;
- Dessiccateur ;
- Balance Analytique ;
- Agitateur électrique ;
- PH-mètre de laboratoire ;

- Conductimètre de laboratoire ;
- Spectrophotomètre à flamme ;
- Spectrophotomètre à absorption atomique.

III.2.Méthodes d'études

L'objectif de l'étude est de caractériser et de quantifier la salinité de la nappe albien et miopliocene dans la région d'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 :

1. Echantillonnage et analyses des l'eaux de la nappe albien et miopliocene ;
2. utilisation des rapports ioniques caractéristiques, afin d'aboutir à une approche globale des processus d'acquisition de la salinité;
3. Détermination de l'état de saturation des eaux par les principales espèces chimiques;
4. Choix d'un indicateur de l'état de concentration des eaux (facteur de concentration) pour décrire le comportement des espèces chimiques selon ce facteur, et préciser davantage les processus d'acquisition de la salinité de l'eau phréatique et du sol.

La méthodologie adoptée est réalisée à travers les étapes suivantes :

III.2.1. La conductivité électrique et le pH.

- La conductivité électrique a été déterminée par un conductimètre à électrode.
- Le pH est mesuré par un pH mètre à électrode.

III.2.2. 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 (titre) ;
- 5 ml de l'eau à analyser ;
- Ajouter 2gouttes $K_2C_2O_4$ (coloration jaunâtre) ;
- Titrer avec $AgNO_3$ à 0.01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

Expression des résultats :

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

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 appaillage 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°26 : 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 0.1N jusqu'à obtention d'un pH de 4.3.

Expression des résultats :

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{V_A \times N_A \times \text{MHCO}_3^- \times 1000}{\text{PE}}$$

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.2.3. 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°27 : Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY)

b) Calcium et Magnésium

Titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique(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) Ca^{2+} :

- 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) $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$:

- 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:

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

D'où :

- V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.
- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).
- $M_{\text{Ca}^{2+}}$: 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:

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

D'où :

- V_1 : 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) (50ml).
- F: Facteur

III.2.4. 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 pendant ¼ d'heure au dessiccateur ;
- Peser immédiatement et rapidement.

Expression des résultats :

$$[RS] = (PP - PV) 10 \times 1000$$

D'où :

- PP : Poids plein de la capsule.
- PV : Poids vide de la capsule.

La concentration du résidu sec est exprimée en mg/l.

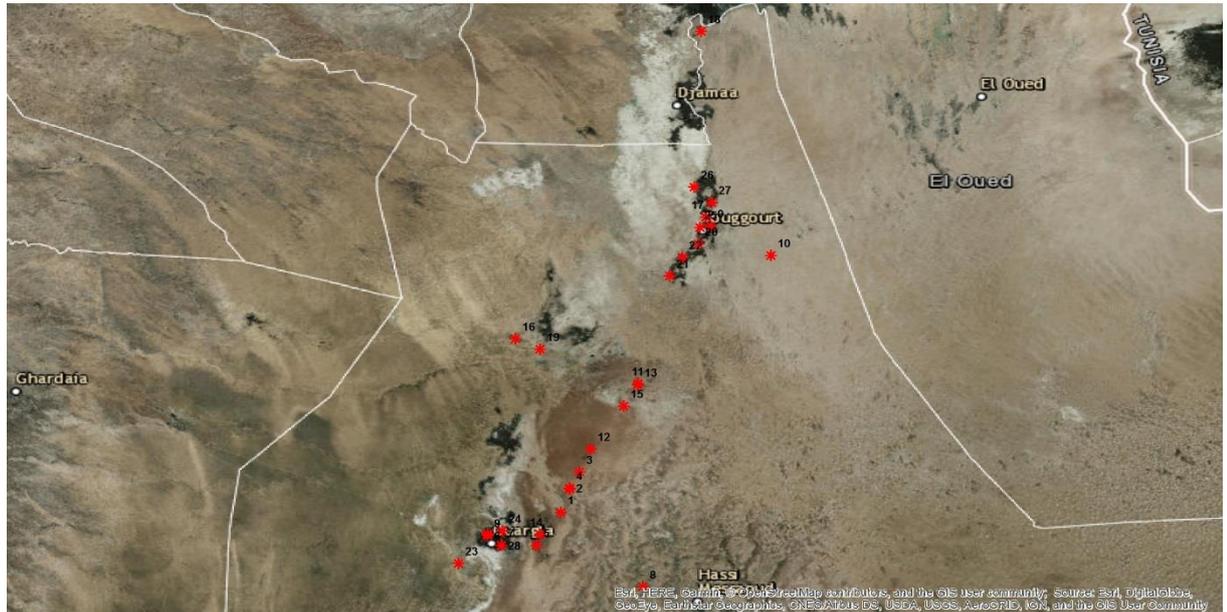


Figure N°28 : Répartition des forages miopliocene

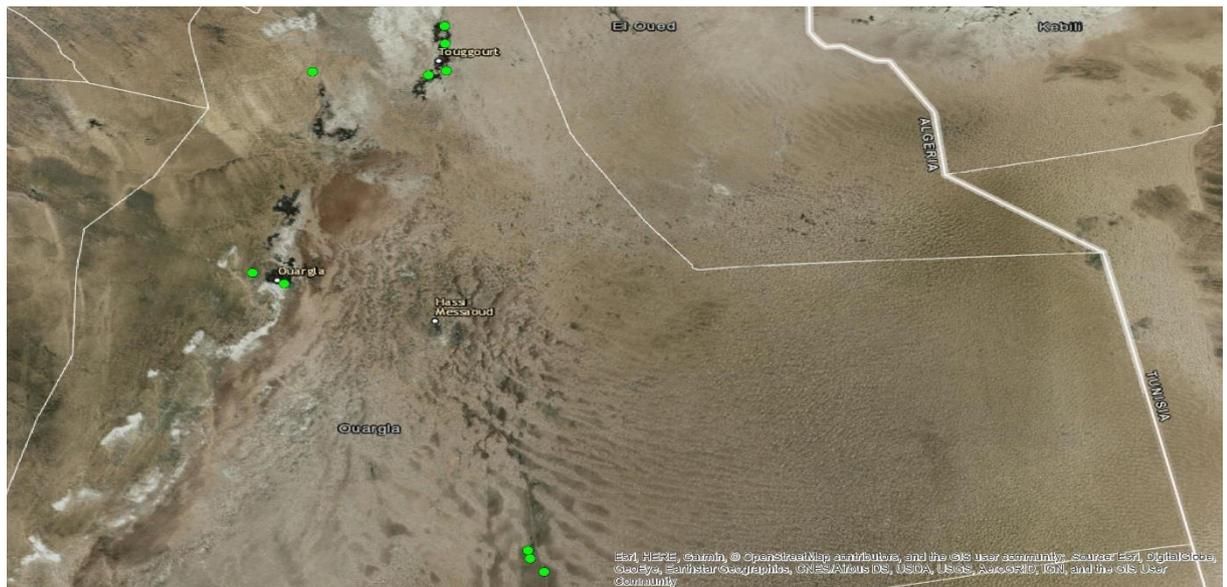


Figure N°29 : Répartition des forage albiennes

III.3.Conclusion :

Ce chapitre est une synthèse des principales techniques modernes de traitement statistique des données, mise en œuvre pour la connaissance, l'évaluation et la caractérisation spatio-temporelle de la qualité les eaux du nappe albien et miopliocene dans la région de Ouargla, avec une carte déterminé la répartition des forages au niveau de la région d'étude.

Chapitre IV

Résultat et Discussion

VI.1. Donnée collectés et résultats des mesures et des analyses :

VI.1.1. Introduction :

Dans cette partie, nous rapportons les données collectés et les résultats de mesure de différentes analyses que nous avons effectuées sur quelques forages de la nappes albien et miopliocène échantillonnées à la région de Ouargla. Sous forme des tableaux, les valeurs des différents paramètres sont présentées pour chaque nappe.

IV.1.2. Résultats des mesures et des analyses des eaux :

IV.1.2.1. Conductivité (CE) et Résidu Sec (RS) :

Les conductivités (Tableau 14) des eaux d'irrigation miopliocènes varient entre 2340 $\mu\text{S/m}$ et 6520 $\mu\text{S/m}$. et celle albienne varient entre 2330 $\mu\text{S/m}$ et 7550 $\mu\text{S/m}$. Les valeurs de résidu sec à 105 °C indiquent une minéralisation excessive qui dépasse 6 g/l pour les eaux miopliocène et de 4,9 g/l. Cette variation indique que la nappe miopliocène est plus salée par rapport à la nappe albienne.

Tableau N°12 : Variations du CE et RS pour les eaux d'irrigation albien et miopliocène.

	Nappes			
	Miopliocène		Albienne	
	CE ($\mu\text{S/m}$)	RS (mg/l)	CE ($\mu\text{S/m}$)	RS (mg/l)
Max	6520	6110	7550	4900
Min	3340	2500	2330	1544
Moyenne	4786,37	4011,23	3840,71	2765,42
Ecart-type	877,05	846,68	1775,5	995,58

IV.1.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Les valeurs de pH pour les eaux des forages albiens et miopliocènes, paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins, avec de faibles écarts types (0,31) pour les eaux albiennes et de 0,27 pour les miopliocènes. Ces eaux possèdent des pH variant entre (7,24 à 8,41).

Tableau N°13 : Variations du PH des eaux d'irrigation albiens et miopliocènes.

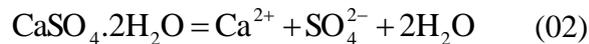
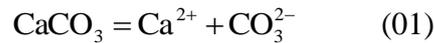
	Nappe	
	miopliocène	Albienne
	PH	
Max	8,2	8,41
Min	7,24	7,22
Moyenne	7,75	8,11
Ecart-type	0,27	0,31

IV.1.2.3. Electrolytes minéraux :

a) Cations

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 dépasse la concentration de **550 mg/l** pour les eaux miopliocènes et dépasse les 270 mg/l pour les albiennes, voir une moyenne aux alentours de 350 mg/l et 180 mg/l respectivement.

Magnésium (Mg²⁺)

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

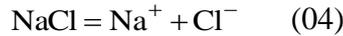
La teneur élevée du Magnésium dans la nappe miopliocène est liée à sa présence dans la composition des argiles qui constituent des formations imperméable et semi-perméable des toits et /ou des murs des horizons renfermant les nappes.

Tableau N°14 : Variations du Ca²⁺ et Mg²⁺ des eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.

	Nappes			
	Miopliocène		Albienne	
	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)
Max	561,2	355,8	275	184
Min	217,5	41,31	121,5	96
Moyenne	365,82	190,22	182,46	138,52
Ecart-type	104,71	85,69	47,88	29,37

Sodium (Na⁺)

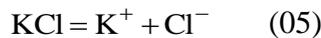
L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'Halite (04) (NaCl), qui se fait selon la relation suivante :



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 plus de 880 mg/l dans la nappe miopliocène.

Potassium (K⁺)

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



Les teneurs en potassium observées dans les eaux de la nappe albienne et miopliocène (Tableau 17) 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°15 : Variations du K⁺ et Na⁺ dans les eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.

	Nappes			
	Miopliocène		Albienne	
	Na⁺ (mg/l)	K⁺ (mg/l)	Na⁺ (mg/l)	K⁺ (mg/l)
Max	885	65,1	680	79,5
Min	330	9,5	230	13,5
Moyenne	545,29	28,69	451,96	37,76
Ecart-type	165,04	15,50	137,04	20,27

Alcalinité :

Le S.A.R (Sodium adsorption ratio), il s'agit également d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinisation.

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2} \quad (06)$$

Na+, Ca++ et Mg++ exprimés en méq / l.

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 miopliocène, cette valeur indique que l'alcalinité est moyenne par contre dans les 88% des échantillons le risque de l'alcalinité est faible.

Tableau N°16 : Variation du SAR des eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes.

	Nappes	
	Miopliocène	Albienne
	SAR	
Max	11,66	8,28
Min	4,03	3,46
Moyenne	7,30	6,00
Ecart-type	2,09	1,63

b) Anions**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 miopliocènes 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.

Sulfates (SO₄²⁻)

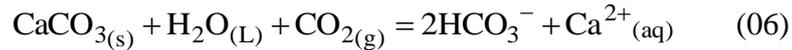
La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation (02). Les concentrations des sulfates dans les eaux analysées dépassent 2800 mg/l, avec une concentration moyenne de 1523,2 mg/l et un écart-type de 530,61. Toutefois, d'un forage à un autre, cette teneur est variable ceci s'explique par la lithologie gypseuse de la région.

Tableau N°17: Variations du SO₄⁻ et Cl⁻ pour les eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes

	Nappes			
	Miopliocène		Albienne	
	SO ₄ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
Max	2900	3976	1075	1350
Min	649,4	118	575	355
Moyenne	1523,2	1269,13	833,64	781,64
Ecart-type	530,61	735,04	142,39	285,84

Bicarbonates (HCO₃⁻)

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 vis-à-vis des bicarbonates dans la nappe albienne et miopliocène.

Dans les eaux miopliocène, les concentrations moyennes en bicarbonates observées 122,17 mg/l (Tableau 20) dépassent la valeur guide (30mg/l). Pour les eaux d'irrigation albiennes la valeur maximale de bicarbonate dépasse la valeur de 200 mg/l.

Nitrate (NO₃)

Le nitrate représente la teneur en azote dans les eaux des forages à étudier les valeurs présentées dans le tableau N° montre une valeur minimale de 1 mg/l, et une valeur max de 127.9 mg/l.

Tableau N°18 : Variations du NO₃⁻ et HCO₃⁻ des eaux d'irrigation albiennes et miopliocènes

	Nappes			
	Miopliocène		Albienne	
	NO ₃ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
Max	42	350	127,9	213,5
Min	0	15	0	56
Moyenne	10,95	122,17	15,97	152,41
Ecart-type	10,97	65,46	33,63	51,48

VI.1.3. Conclusion :

Les données collectées et les analyses effectués sur les eaux des forages étudier révèle des pH alcalins à neutres, et une minéralisation très excessive, exprimée par la conductivité électrique et le résidu sec, des valeurs très élevées et variables dans les eaux de ces forages agricoles.

Dans ces eaux, les teneurs en éléments majeurs sont très élevées, renseignent sur une lithologie riche en évaporites (Halite, Gypse...) de la roche réservoir. En effet les eaux des nappes albienne et miopliocène, est très influencées par l'effet du climat (hyperaride), montrent des concentrations excessives en élément minéraux indiqués.

VI.2. Discussion de résultats :

Cette partie a pour objectif de donner une idée générale sur la qualité de l'eau destinée à l'irrigation et de caractériser l'état du sol dans la zone étudiée afin de les comparer avec les normes de validité en vigueur.

VI.2.1. Classification des eaux :

a) Faciès géochimique :

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux d’irrigation utilisées dans la région de Ouargla, on a utilisé le diagramme de Piper et Schöeller Berkalloff. Le diagramme de piper montre que les eaux de notre région présentent un faciès chlorurée sodique et magnésien ce sont des eaux calci-magnésienne. Le diagramme de Schöeller Berkalloff montre clairement que les eaux présentent le même groupe.

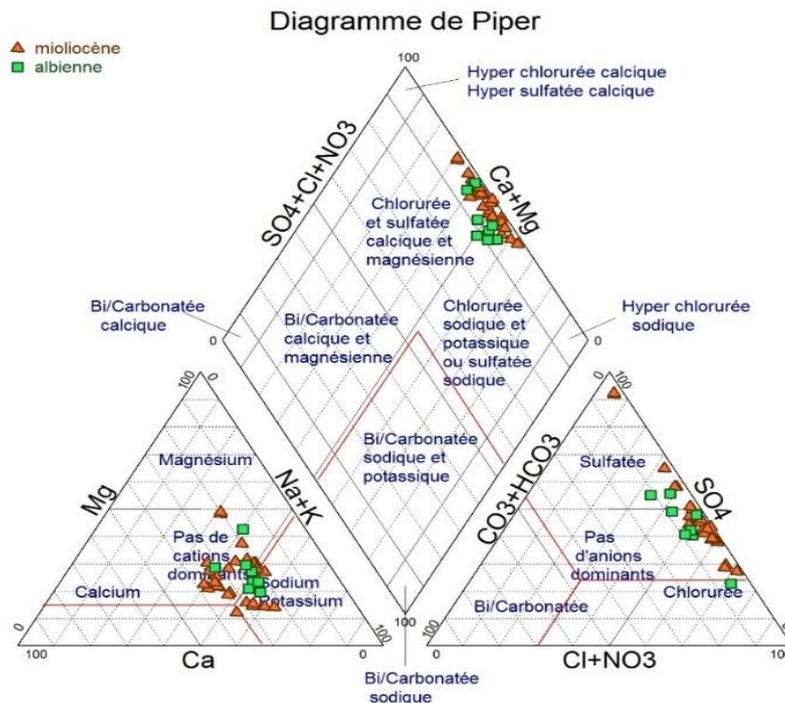


Figure N°30 : Représentation des résultats des analyses sur le diagramme de Piper

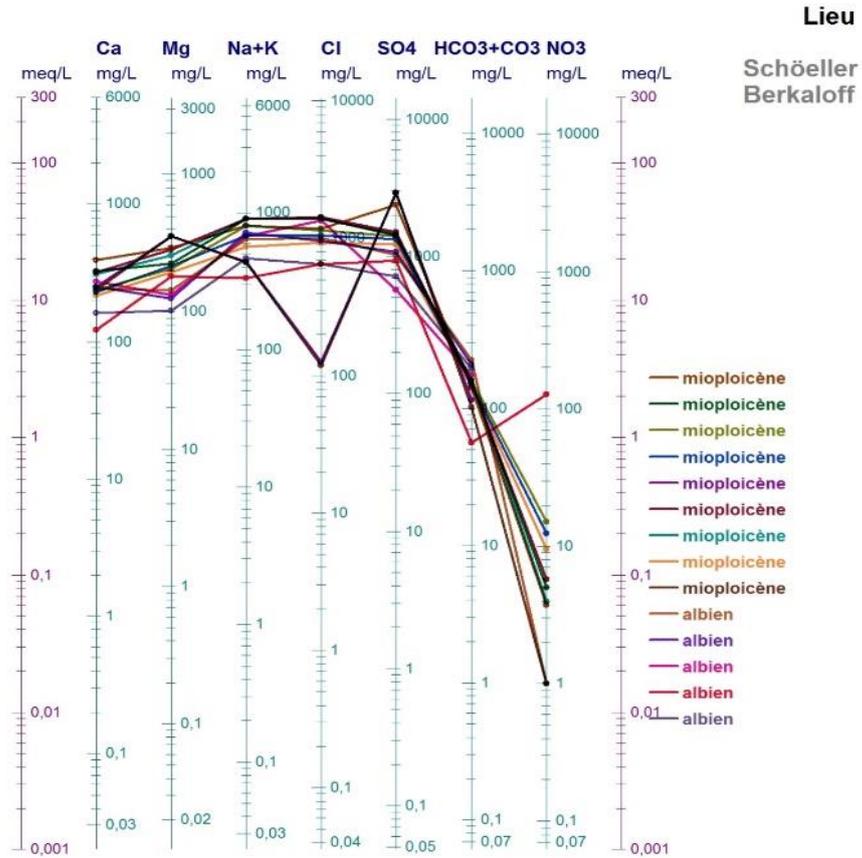


Figure N°31 : Représentation des résultats des analyses sur le diagramme de Schoeler Berkaloff

La projection des différents points sur le diagramme ($Mg^{2+}/Na^+ : SO_4^{2-}/Cl^-$), nous donne une vue d'ensemble sur la répartition spatiale des faciès géochimiques au niveau des nappes étudiées dans la wilaya de Ouargla (Fig n°30).

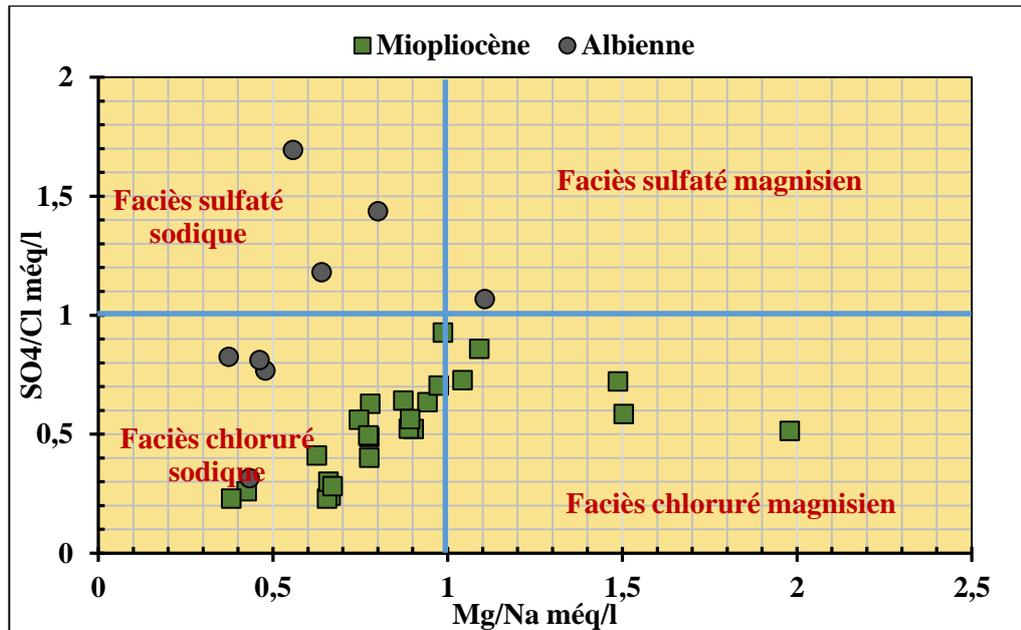


Figure N°32: Faciès géochimiques de l'eau miopliocène et Albiennne par les rapports Mg^{2+}/Na^+ et SO_4^{2-}/Cl^-

La figure n°30 montre que 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. La présence des eaux chlorurées magnésiennes, et sulfatées sodiques, en l'absence du faciès sulfaté calcique, peut être à l'origine d'un échange de base ; qui peut se produire entre le Na^+ , et le Mg^{2+} , Ca^{2+} , ou un déséquilibre chloro-alcalin. 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, ce dernier est présent dans le forage albiennne dans la zone de Hassi Ben Abdallah.

b) Taux de sodium adsorption SAR :

La présence d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration, ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles du sol et cause la dispersion des particules dans le sol.

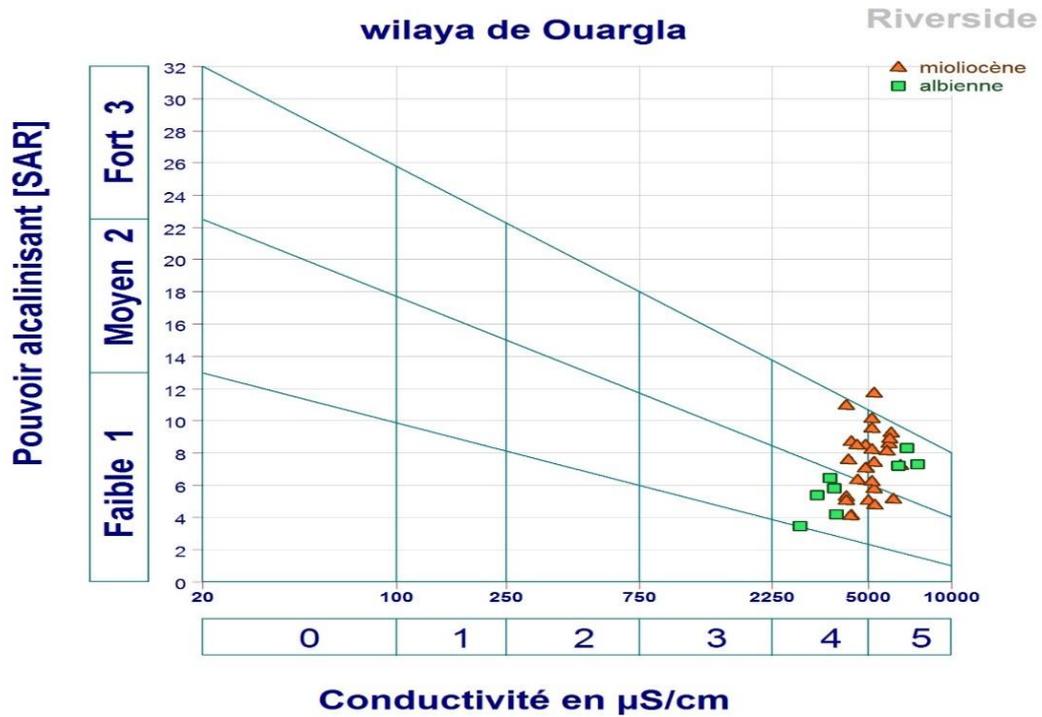
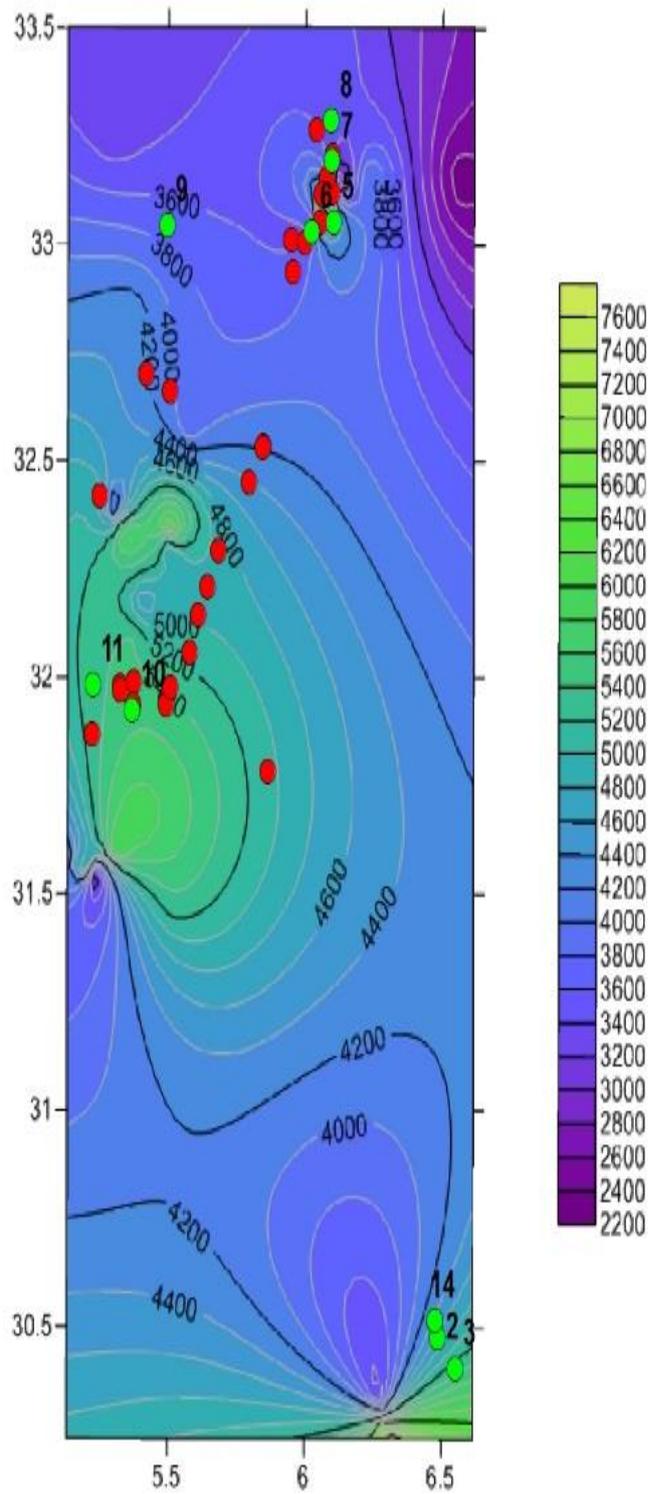


Figure N°33 : Représentation des résultats des analyses sur le diagramme de Riverside qualité

Les points d’eaux d’irrigation étudiés dans la région de Ouargla sont moyennement alcalins à forte alcalinisants. D’après le diagramme de Riverside (Figure n° 31), on remarque que les eaux exploitées en irrigation se placent dans la classe S2-C4 et S3-C5, cette dernière est caractérisée par une mauvaise qualité vu la forte teneur en Sodium et la conductivité élevée.

c) Variation Spatiale de la minéralisation totale :

La conductivité de l’eau d’irrigation miocène de différents forages varie entre 3340 et 6520 $\mu\text{S/cm}$. Ces valeurs indiquent une minéralisation très élevée, leurs variations horizontales notables à cause de l’hétérogénéité lithologique. Nous remarquons aussi une augmentation du sens Nord vers le sud où les eaux de la région de Oued Righ à Touggourt est plus salée que la zone de Ouargla. Les eaux de type albienne enregistrent des valeurs moindres en conductivité que les miocènes, sauf au forage situé dans la zone de Gassi Touil qui porte le nom GT110 où la conductivité augmente à une valeur pique de 7550 $\mu\text{S/cm}$ (figure 33).



● forages albiennes ● forages miocènes

Figure N°34 : Carte de la répartition spatiale de la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ des eaux d'irrigation miocène et albiens au niveau de la wilaya de Ouargla.

VI.2.2. Caractéristiques géochimiques :

Les conditions climatiques et hydrogéologiques défavorables, constituent, les principaux facteurs générateurs d'une salinité très élevée au niveau des nappes dans la région de Ouargla; la conductivité électrique est variable, dans l'eau miopliocène (Figure n°33 et Figure n°34). Elle dépasse les 4500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans la majorité des forages, voire plus de 6000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans le forage F9 dans la région de l'Houdjira et F7 dans la zone de Hassi Ben Abdallah et dans la zone de Boufgoussa à la commune de M'nagueur.

Pour la nappe albiene la valeur de la conductivité électrique dépasse les 3500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ où la zone de Gassi Touil à la commune de Hassi Messaoud enregistre une minéralisation qui dépasse 7500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Elle diminue lorsque nous allons vers le Nord de la wilaya et elle se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates et tant par les chlorures que par les sulfates. Elle est associée, le plus souvent, à des pH légèrement alcalins, ($7 < \text{pH} < 8,25$). Les conséquences de cette salinité se font sentir dans cet environnement, par : la salure des sols, la dégradation de l'état des structures urbaines,....etc.

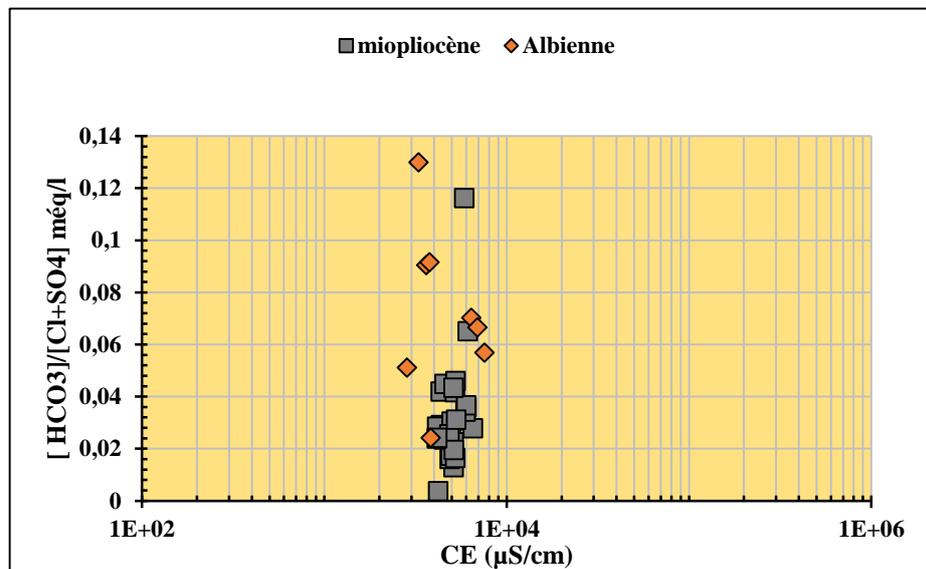


Figure N°35 : Evolution de la CE en fonction du rapport : $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ dans les deux nappes

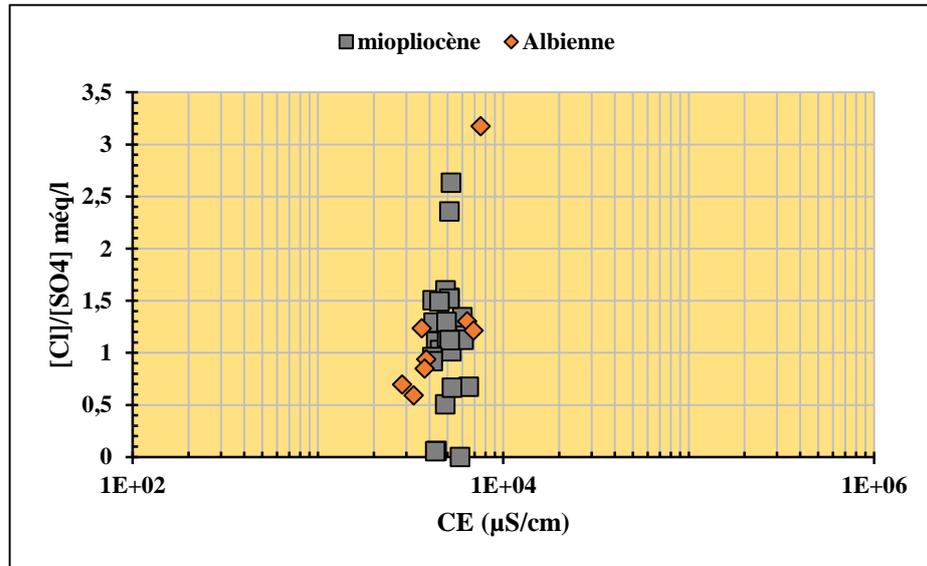


Figure N°36 : Evolution de la CE ²en fonction du rapport : Cl⁻/SO₄²⁻ dans les deux nappes

VI.2.3. Chlorures et sodium

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'évaporation dans les milieux fermés (systèmes endoréiques). L'halite se dissout en donnant le cation Na⁺ et l'anion Cl⁻.

L'examen des valeurs de ces deux éléments montre que les concentrations sont très fortes dans l'eau d'irrigation au niveau de la région d'étude. La relation entre ces deux éléments est caractérisée par un coefficient de corrélation R²= 0,73.

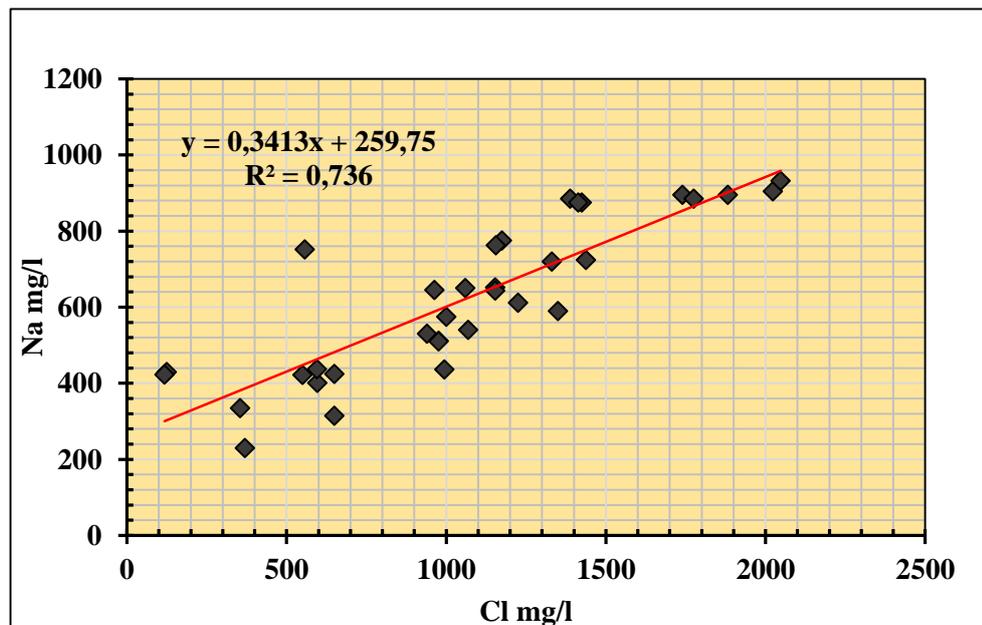


Figure N°37 Relations entre sodium et chlore dans la nappe miopliocène et albienne

VI.2.4. Variation en éléments majeurs :

Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau où les concentrations sont exprimées en milliéquivalent (még/l) et qui présente des valeurs très diversifiées des éléments majeurs.

a) Anions :

Les données collectées montrent une concentration très élevée en chlorures qui varie de 3,32 még/l à 57,7 még/l avec une moyenne de 32,8 még/l. Le diagramme de concentrations des anions ci-dessous confirme une augmentation du sulfate et de bicarbonate par rapport au chlorure et les sulfates ont des teneurs assez proches et assez élevés (Figure. 36).

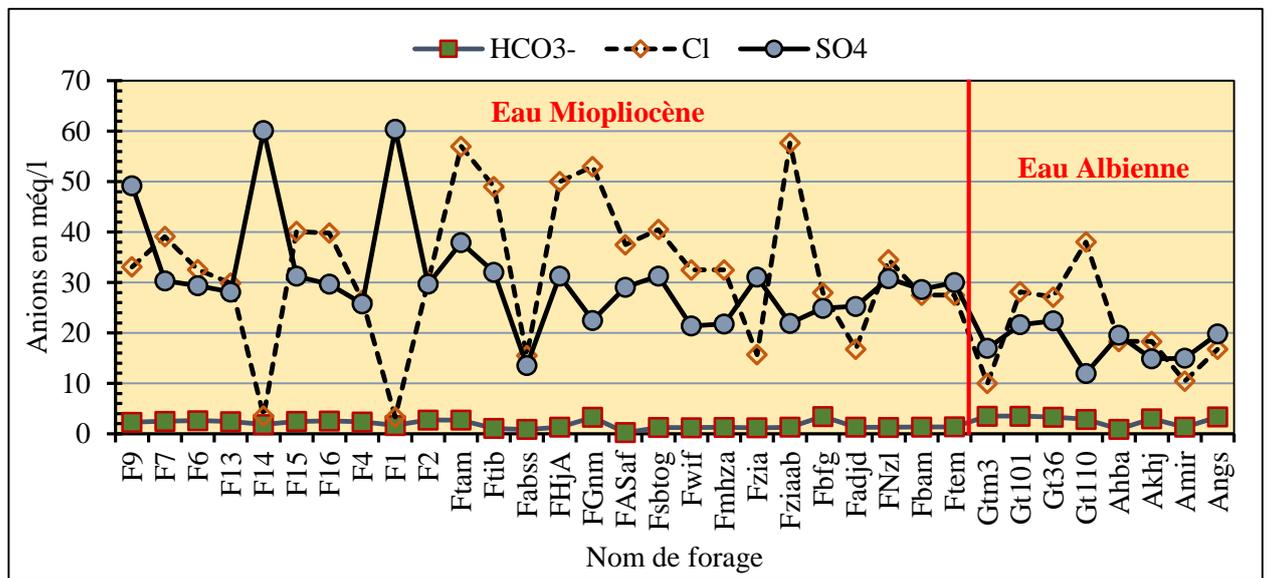


Figure N°38 : Concentrations des anions des eaux de la nappe miopliocène et albienne en még/l

b) Cations :

Les concentrations des cations est illustrées par la figure 37 qui montre que le cation le plus abondant par rapport aux autres est le sodium qui présente des concentrations qui varient entre 17,43 még/l et 40,52 még/l avec une moyenne proche de 30 még/l, cet enrichissement en sodium est dû à l'existence des formations d'encroûtements de sodium appartenant au miopliocène.

Le Sodium présent par des concentrations élevé par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le calcium, ce dernier se trouve dans les eaux d'irrigation en teneur moyenne. Puis le magnésium en troisième degré. Alors que le potassium est faible avec des teneurs qui ne dépassent pas 1,30 még/l (figure 37).

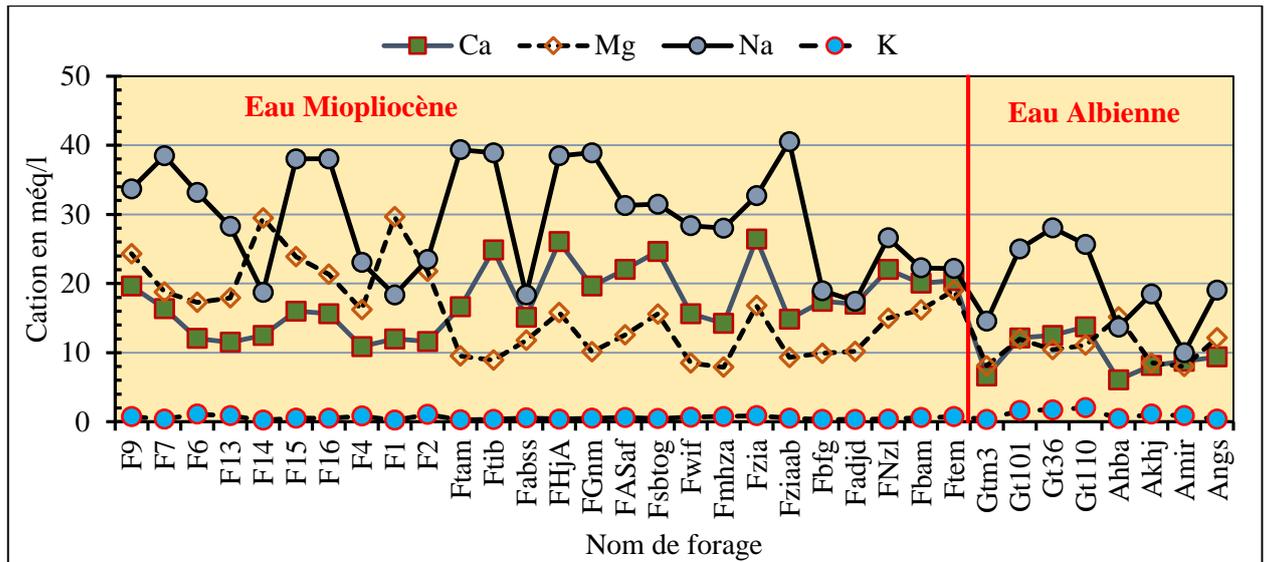


Figure N°39 : Concentrations des cations des eaux de la nappe miopliocène et albienne en méq/l

VI.1.3.Conclusion :

Les deux nappes exploitées comme ressource d’irrigation révèlent une minéralisation très élevée. Le faciès chimique le plus dominant dans l’eau miopliocène est chloruré sodique et d’un degré moindre le faciès chloruré magnésien puis le faciès sulfaté sodique, pour les eaux d’irrigation albienne le faciès dominant est le sulfaté sodique et le chloruré sodique.

Les résultats d’analyses chimiques des eaux montre une concentration très élevée des chlorures suivi les sulfates qui ont des teneurs assez proches.

Concernant pour concentrations des cations on constate que le sodium est présent en grande quantité, cet enrichissement est liée principalement à la dissolution de l’Halite, la présence de sodium peuvent être affecte la perméabilité du sol et constitue un problème sérieux d’infiltration en deuxième degré le calcium présent par des riches concentration à cause de l’existence des formations d’encroûtements de calcaires appartenant au Miopliocène.

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

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons évalué la qualité des eaux souterraines des deux nappes albiennes et miopliocène destinées à l'irrigation dans la région de Ouargla. Cette question revêt une grande importance du fait des problèmes que connaît la région, en raison de la sécheresse, de la non-disponibilité d'eaux superficielles et de la forte demande résultant des activités agricoles. L'évaluation de la qualité des eaux par des méthodes classiques a révélé que la majorité des paramètres dosés dépassent les normes préconisées. La salinité de ces eaux varie de 1,5 à 6 g/l, de ce fait, elles sont classées comme eaux saumâtres.

En effet, nous avons abordé en détail les différentes qualités de l'eau d'irrigation ainsi que leurs provenances tout en spécifiant leur aptitude à être utilisée 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 ça soit en termes de quantité ou bien en qualité.

La combinaison de la conductivité électrique et du SAR (Sodium Absorption Ratio) permet de discerner le risque qui est d'autant plus grand que la salinité est élevée.

L'utilisation de ces eaux a un impact sur le sol et les plantes, car ils peuvent causer des changements dans la structure du sol (modifiant ainsi sa perméabilité et son aération) et perturber le développement des plantes.

Références bibliographiques

- [01] El Asslouj J ; e Kholtei S ; El Amrani N et Hilali A. 2007 Analyse de la qualité physico chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique SCIENCE 03(1) (2007) 109 – 122.
- [02] Milos H. 1971.L'eau et l'environnement Bull. FAO. 8 :32-38pp. Rome.
- [03] Plauchu. 2004.Economie de l'environnement
- [04] Conac F. 1978.Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens et danubiens
- [05] Tiercelin, J-R. 1998. Traité d'irrigation, Lavoisier TEC & DOC, Paris, 1011p
cfppa.reunion.free.fr/cfppa/cdr/irri_books.htm
- [06] Maton, 1983.Maton, L. (2006). Représentation et simulation des pratiques culturales des agriculteurs à l'échelle régionale pour estimer la demande en eau d'irrigation. Application à un bassin versant maïsicole du sud ouest de la France. Thèse de Doctorat. INP-Toulouse, France, 223p.
- [07] Nadia.Saiyouri.projetprojet projet d'eau 2012 ;méthode d'irrigation en milieu aride
- [08] TRAVI Y ; hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal ,1993.
- [09] SANDRE: Dictionnaire des données ; Mesure de la qualité Mesure de la qualité des eauxsouterraines des eaux souterraines, 2011.
- [10] HCEFLCD : Haut Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification. Etude sur la pisciculture au barrage Almassira ; CR dar CHAFAAI ; Cercle d'ELBROUGE ; Province de Settat ; 201p, 2006.
- [11] RODIER .J, BAZIN .C, BROUTIN. J.P, CHAMBON. P, CHAMPSAUR. H, RODI .L ;L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer ; 8e édition. Paris: DUNOD ;1384 p, 1996.
- [12] KUHN.R.C, Rock. C.M, Oshima. K.H; Effects of pH and magnetic material onimmunomagnetic separation of Cryptosporidium oocysts from concentrated water samples.Applied and Environment Microbiology ; vol. 68 pp. 2066-2070, 2002

- [13] Di GIOVANNI .G.D, HASHEMI. F.H, SHAW. N.J, ABRAMS. F.A, Le CHEVALLIER.M.W, ABBASZADEGAN; Detection of infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts insurface and filter backwash water samples by immunomagnetic separation and integrated cellculture-PCR;Apply Environmental Microbiology; vol. 65. Pp 3427-3432,1999.
- [14] MARSILY. J.L; Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution; vol. 2, pp 1-15; WDSLEY, 1995.
- [15] CHAPMAN.D, KIMSTACH.V; Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN SPON; London; pp 59-126, 1996.
- [16] RODIER .J, l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; éditiondunod,8 eme édition ; pages (945 à1075), 1976.
- [17] PECK.H.D; Sulphur requirements and metabolism of microorganisms, 1970.
- [18] SAMAKE .H ; Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001 ; 77p, 2002.
- [19] BENGOUMI .M , TRAOURE. A, BOUCHRITI. N, BENGOUMI D et EL HRAIKI. A ;Qualité de l'eau en aviculture .Revue trimestrielle d'information scientifique et technique – Volume 3 – N°1 ; Maroc; pp 5-25, 2004.
- [20] DOUAOUI A., GASCUEL-ODOUX C., WALTER C. 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, vol. 11, n°4, 379.
- [21] 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 Doct. d'état, INA –Alger, p. 115.
- [22] B.H. Wiebe, R.G Eilers, W.D. Eilers et J.A. Brierley ; Risque de salinisation et d'alcanisation des sols.1981
- [23] 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.

[24] lahlou, M., et al, 2000. "the deliberate indirect wastewater reuse scheme at Essex & Suffolk water". colloque de colloque de Noirmoutier.

[25] DPAT de Ouargla 2014 Direction de la planification et de l'aménagement du territoire. Annuaire statistique 2015 de la wilaya de Ouargla. P 38.

[26] James B. Beard, Turf Management for golf Courses, 1982, Macmillan Publishing page 642.

[27] Farnham et al, Wastewater Reuse for golf course irrigation adapté de Westcot et Ayers, 1984.

[28] CRAAQ, 2003. Guide de production des annuelles en caissettes 313p

[29] Gaucher G, Burdin S, 1974 – Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés E.D.P.U.F, Paris, 231p.

[30] Hafouda. L, 2005. Caractérisation et quantification de la salinité du sol et de la nappe dans la vallée de oued Rhir, Thèse de magister INA, Alger.

[31] Mission IIB, 2004. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation, Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique, Mission IIB Caractérisation environnementale de la situation actuelle.

[32] Khadraoui. A, 2004. Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes, caractérisation-contraintes et proposition d'aménagement, p163.

Résumé :

Le Sahara est connu par l'aridité de son climat et les terres arides et hyperarides qui représentent 84 % de la superficie de l'Algérie. La partie septentrionale de son territoire recèle d'importantes ressources en eau souterraines emmagasinées dans les deux grands aquifères, principalement le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium sur le milieu adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes.

Le présent travail sera réalisé à la base de l'utilisation des données collectées relatives aux analyses physico-chimiques des eaux miopliocènes et albiennes qui sont utilisées en irrigation au niveau de la région de Ouargla. L'objectif de ce travail est d'utiliser ces données pour créer un modèle de classification de ces eaux selon leur qualité et leur aptitude à l'irrigation. Les résultats de ce modèle vont nous aider à contribuer à l'établissement d'une stratégie de gestion de ces ressources hydriques.

Mots clés : Irrigation, Ouargla, Salinisation, climat, Sol.

الملخص:

تشتهر الصحراء بمناخها الجاف وارضها القاحلة و التي تمثل 84% من مساحة الجزائر. يحتوي الجزء الشمالي من اراضيها على موارد مائية كبيرة تحت الأرض مخزنة في اثنين من طبقات المياه الجوفية الرئيسية، ولا سيما المتداخل القاري و المركب النهائي.

يمكن أن يؤدي الري بالماء الغني بالأملاح إلى تثبيت الصوديوم على الوسط الماص للتربة، وبالتالي عملية تملح، مع عواقبها المحتملة على خواص التربة: الميل إلى تشتت الطين إلى تدهور هيكل التربة، وفقدان النفاذية، واختناق النباتات.

سيستند العمل الحالي إلى استخدام البيانات التي تم جمعها عن التحليلات الفيزيائية والكيميائية لمياه الميوليبوسين والالبيان المستخدمة في الري في منطقة ورقلة الهدف من هذا العمل هو استخدام هذه البيانات من اجل إنشاء نموذج تصنيف لهذه المياه وفقاً لجودتها وقدرتها على الري ستساعدنا نتائج هذا النموذج على المساهمة في وضع استراتيجية لإدارة هذه الموارد المائية

كلمات مفتاحية: ري, ورقلة, ملوحة, مناخ, تربة