

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des ressources sol-eau et environnement

Présentée par: M^{elle} Kazouz Zahratel aula

M^{elle} Rouabeh Aicha

Thème

***Caractérisation des eaux d'irrigation et leur
influence sur la salinité du sol dans la région de
Ouargla***

Soutenu Publiquement

Le :04 /10/ 2020

M^{me} LAMRANI C.

Encadreur

MAA

UKM Ouargla

M. DJILI B.

Président

MAA

UKM Ouargla

M. LADJICI A.

Examineur

MAA

UKM Ouargla

Année universitaire 2019/2020

Liste des abréviations

Liste des abréviations

A : Albien

CE: Conductivité Electrique.

CI : continental intercalaire.

CT : complexe terminal.

D.S.A. :Direction des services agricoles

M : Miopliocène

Méq/l :Milliéquivalent/litre

Mg/l :milligramme/liter

O.N.M : Office Nationale de Météorologie.

S : Sénonienne

SAR: Taux d'Adsorption du Sodium.

U.S.D.A:United States Department of Agriculture

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classification des eaux d'irrigation proposée par (USDA).....	5
Tableau 2 : Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation du sol (SAR).....	7
Tableau 3 : Niveau du risque dû au carbonate de sodium résiduel (Smedema&Rycroft, 1983).....	8
Tableau 4 : Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la FAO, (1988) (AYERS et WESTCOT, 1988).....	10
Tableau 5 : Interprétation des classes du diagramme de RIVERSIDE.....	11
Tableau 6 : Résultats des analyses physico-chimiques des forages étudiés (mars 2015) .	47
Tableau 7: Les valeurs moyennes de la conductivité électrique dans la zone d'étude....	49
Tableau 8 : Les faciès chimiques des forages étudiés.....	50
Tableau 10 : La classification des eaux des forages étudiés selon la CE25°C (USDA)....	54

Liste des figures

Liste des Figures

Figure 1 : Diagramme de Wilcox	11
Figure 2 : Situation géographique de la wilaya de Ouargla	21
Figure 3 : Carte topographique de la cuvette d’Ouargla (I.G.N., 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010)	23
Figure 4 : Diagramme ombrothermique de la cuvette d’Ouargla (période 1996-2018)..	25
Figure 5 : Coupe hydrogéologique du système aquifère du Sahara septentrional (UNESCO, 1972).....	26
Figure 6 : Image satellite montrant la région de (Hassi Ben Abdellah), et la station expérimentale (Google Earth, 2020)	38
Figure 7 : Résumé de la démarche méthodologique tracée.	40
Figure 8: Les sondages de prospection	41
Figure 9: Plan de situation des forages étudiés.....	47
Figure 10 : Diagramme de Piper et Berkaloff des forages de la nappe Moi-pliocène.....	51
Figure 11: Diagramme de Piper et Berkaloff des forages de sénonien.....	52
Figure 12 : Diagramme de Piper et Berkaloff des forages de l’Alibien.....	53
Figure 13 : Diagramme de Riverside pour les forages étudiés.....	55

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Table des Matières

I Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I.1 Les ressources en eau pour l'irrigation	3
I.1.1 Les eaux de surface	3
I.1.2 Les eaux souterraines	3
I.1.3 Les eaux usées épurées	4
I.2 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation :	4
I.2.1 les critères d'évaluation d'une qualité des eaux d'irrigation :	4
I.2.3 Méthode d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation :	9
I.3 La salinisation des sols irrigués	12
I.3.2 Salinisation des terres dans le monde et en Algérie	14
I.3.3 Types de la salinisation	15
I.3.4 Conditions climatiques de la salure	16
I.3.5 Classification des sols salés	16
I.3.6 Caractères des sels	17
I.3.7 Mesures de la salinité	17
I.3.8 Répartition et importance des sols salés	18
II Présentation de la région d'étude	21
II.1 Situation géographique :	21
II.2 Géologie	21
II.3 Topographie :	22
II.4 Pédologie :	23

II.5 Climat	23
II.6 Classification du climat.....	25
II.6.1 Diagramme ombrothermique de GAUSSEN.....	25
II.7 Hydrogéologie :.....	26
II.1 La nappe phréatique superficielle	27
II.7.2 Les nappes du Complexe Terminal	27
II.7.3 Le Continental Intercalaire	28
II.8 Agriculture	28
III Irrigation et dégradation des sols dans la région de Ouargla	29
III.1 Irrigation dans la région de Ouargla	29
III.1.1 Aperçu historique sur l'irrigation dans la région.....	29
III.1.2 le réseau d'irrigation	29
III.1.3 le réseau de drainage	30
III.1.4 Situations actuelle de l'irrigation dans la région de Ouargla.....	31
III.1.5 ressources en eau mobilisable	31
III.1.6 conséquence de l'irrigation dans la région de Ouargla.....	32
III.2 Caractérisation et dégradation des sols dans la région de Ouargla :	33
III.2.1 Caractérisation des sols dans la région de Ouargla.....	33
III.2.2 Classifications pédologiques	33
III.2.2 Cause de la dégradation des sols	34
III.2.3 Conséquence de la dégradation de sol	35
IV Matériel et Méthode.....	37
IV.1 Choix de la zone et de la station expérimentale	37
IV.1.1 Zone d'étude	37
IV.1.2 Station expérimentale	37
IV.2 Méthodes de travail	38
IV.2.1 Choix des points de prélèvement du sol :.....	38

IV.2.2 Caractérisation du sol et analyse au laboratoire :	39
IV.2.3 prélèvement des monolithes de sol et leur installation au laboratoire	39
IV.3 Résultat	41
IV.3.1 les sondages de prospection.....	41
IV.3.2 Les profils	42
V. Caractérisation de la qualité des eaux de la zone d'étude	46
V.1 Caractérisation des eaux des forages étudiés.....	46
V.1.1 Echantillonnage et méthodes d'analyse.....	46
V.2 Fiabilité des résultats.....	48
V.3 La qualité physique	48
V.3.1 PH	48
V.3.2 Conductivité électrique	49
V.4 Concentration en, Cl ⁻ et Hco ₃ ⁻	49
V.5 Le faciès chimique des eaux étudiées	49
V.5.1 Formules ioniques.....	49
V.3.2 La représentation sur le diagramme de Piper et schoellerBerkalof.....	50
V.4 Aptitude à l'irrigation	53
V.4.1Aptitude à l'irrigation selon le SAR	53
V.4.2. Aptitude à l'irrigation selon la CE à 25°C	54
V.4.3 Aptitude à l'irrigation selon SAR et CE à 25°C	54
V.5 Conclusion.....	55
Conclusion générale	56
Références bibliographique	58

Remerciements

Tous mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail en particulier, je tiens à remercier en premier lieu Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné courage et santé pour achever ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement Mme LAMRANI C pour avoir encadré patiemment ce travail, pour ces précieuses remarques constructives et son suivi pour mener à terme ce travail.

Que mes vifs remerciements aillent à M DJILI B, qui m'a fait l'honneur de présider ce travail, à M. LADJICI A., pour avoir acceptés d'examiner ce travail.

Et n'oubliez pas de remercier spécialement M ROUABEH S et M AYAT C pour ses aidés et sa permission de travailler sur ses terres.

A tous les enseignants du département de science agronomique et biologique qui nous ont permis d'acquérir le savoir durant notre cursus universitaire.

Dédicace

Avant tout, Je remercie Allah le miséricordieux car c'est grâce à lui que j'ai réussi à atteindre mon but et obtenir ce diplôme.

Je dédie ce travail à mes parents, à mes frères et sœurs ainsi qu'à toute ma famille pour m'avoir soutenu durant toute cette période.

Je le dédie aussi à mes chers amis, à tous mes professeurs que j'ai côtoyés durant toute ma carrière scolaire et anniversaire, à tous mes collègues de classe et à tous ceux qui ont laissé leurs belles empreintes.

Je dédie aussi ce travail à toute personne qui m'a aidé, assisté et encouragé.

Enfin, merci à tout le monde.



Aicha - Zahrat et aula

I Introduction générale

La région de Ouargla, située dans le Sahara septentrional algérien (sud-est), se caractérise par un climat aride qui ne permet l'installation d'aucune culture sans le recours à l'irrigation (**BERKAL I, 2016 ; DJERBI, 1994 ; BENAÏSSA, 2017**). Malheureusement, le développement de l'irrigation, s'il constitue un espoir pour cette région, se traduit souvent par une dégradation considérable de son environnement édaphique (**BOULAINÉ, 1957 ; DAOUD, 1993 ; AZIBE, 2010**)

Les sols sahariens en général et au niveau de la cuvette de Ouargla en particulier sont confrontés à une dégradation physique et chimique causées par un ensemble de facteurs naturels et humains. Naturellement, le cadre endoréique de la cuvette de Ouargla avec une nappe phréatique, chargée en sels (50g/l), et à fleur de sol (**SLIMANI, 2016**), conjugué à une évaporation intense, favorisant ainsi l'installation des croûtes de gypses en profondeur et l'accumulation des sels en surface. Une situation naturelle critique, aggravée par l'intervention de facteur anthropique, par l'utilisation des eaux qui ne répondent pas aux normes de l'irrigation, des techniques inadaptées aux conditions locales et un drainage presque inexistant ou bien toujours déficient s'il est installé (**DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDÏ AÏSSA, 2001 ; DADDÏ BOUHOUN, 2010**).

Selon **NESSON, (1978) & GUENDAÛZ et al. (1992)** les eaux de CT et de CI, utilisées en irrigation, ont beaucoup contribué à la dégradation des sols, de fait, de leur salinisation excessive (CE qui varie entre 2 et 3ds/m) (**REZAGUI, 2017**). Cette dégradation est le résultat d'une mauvaise gestion de l'irrigation et le mauvais fonctionnement du réseau de drainage, où cette situation a conduit à la remontée de la nappe phréatique (**DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDÏ-AÏSSA, 2001**).

Dans le nord du Sahara, une baisse de productivité a été observée au fil du temps, dans les terres mises en valeur, cette baisse est souvent liée à la qualité des eaux d'irrigation soit par une influence directe sur le végétal ou bien par la dégradation du sol par salinisation. Il est donc impératif de connaître la qualité des eaux d'irrigation dans cette région et son impact sur l'évolution de la qualité physicochimique des sols afin de les préserver et garantir leur durabilité.

Dans cette optique, on va tenter de cerner l'impact de l'irrigation par les eaux de CT et de CI sur les sols de la région de Ouargla et pour se faire, on a scindé notre travail sur cinq

chapitres : Le premier donne une lumière bibliographique sur l'eau d'irrigation et les notions de base de la salinisation et de la salinité des sols ; Le deuxième résume l'ensemble des caractéristiques générales et particulières de la région de Ouargla ; le troisième explicite la méthodologie générale adoptée pour la réalisation de ce travail et le cinquième donne une caractérisation des eaux utilisées en irrigation dans cette région.

On termine par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Les ressources en eau pour l'irrigation

L'irrigation 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 est inévitable pour augmenter la production et permettre le développement normal des végétaux, et se fait généralement par des eaux souterraines ou bien les eaux usées épurées en raison de manque des eaux de surface.

I.1.1 Les eaux de surface

Les eaux de surface proviennent surtout des pluies, et sont constitué d'un mélange d'eau de ruissèlement et d'eau souterraines, l'eau de pluie qui ne pénètre pas dans le sol reste à sa surface, elle peut donc s'écouler et former les cours d'eau ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement ce qui forme les lacs, les mares, et les étangs naturels ou bien les barrages artificiels dans le cas de l'intervention de l'homme.

I.1.2 Les eaux souterraines

L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle provient principalement de l'infiltration des eaux superficielles ; accessoirement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques ou dans les pores du sol. Des hypothèses font intervenir aussi la condensation des gaz émis par le magma, l'infiltration des eaux marines, la diagenèse ou transformation des roches meubles en roches compactes par expulsion de l'eau. Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non :

- **Les nappes d'eau libre** ; situées sous un sol perméable, elles sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables.
- **Les nappes d'eau captives** ; situées entre deux couches imperméables leur niveau ne peut monter, l'eau ne pouvant s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres. Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et

plus, et si leur pente est forte, l'eau y est sous pression. La pression est même par fois suffisante pour que le creusement d'un puits permette à l'eau de jaillir en surface : une telle nappe est alors dite artésienne (TERCHI. S, 2014).

I.1.3 Les eaux usées épurées

Les eaux usées ont différentes origines : Domestique, industrielle et agricole. Dans le passé, les volumes rejetés étaient pris en charge par les cours d'eau, mais l'amélioration du niveau de vie et l'augmentation des volumes exploités, surtout en matière d'eau souterraine, a fait que l'autoépuration ne suffisait pas pour éliminer ces volumes importants de pollution. Et dans le but de protéger l'environnement de ces charges polluantes, on a créé des usines de traitement ou bien des stations d'épuration des eaux usées.

Les eaux usées épurées ont constitué, ces dernières décennies, une nouvelle ressource et une bonne alternative pour remédier au manque d'eau causé, d'une part par la croissance démographique importante, accompagnée d'un besoin grandissant en eau; une eau qui sera, après utilisation, rejetée avec une charge polluante de différentes natures et de ce fait, impropre à une ultérieure utilisation, d'autre part, les aléas climatiques et les épisodes de sécheresse qui ont aggravé cette pénurie d'eau.

I.2 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

D'après (HISCOCK et al, 1991), la qualité chimique naturelle des eaux dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que des conditions physico-chimiques caractéristiques du milieu, et parfois d'activités humaines (agricole, industrielle).

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.

I.2.1 les critères d'évaluation d'une qualité des eaux d'irrigation :

D'après (COUTURE, 2006), les cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation sont :

1. Salinité : contenu total en sels solubles.
2. Sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.

3. Alcalinité et dureté : concentration d'anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})

4. Concentration en éléments qui peuvent être toxiques

5. pH de l'eau d'irrigation.

I.2.1.1. la salinité

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines. L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs :

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

La concentration en sel est donnée par le TDS (quantité totale de matière dissoute) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m^3). Elle peut être aussi mesurée grâce à la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (CE_w), qui est exprimée en milli-mhos par centimètre (mmhos/cm) ou déci-siemens par mètre (ds/m) ou micro-siemens par mètre (s/m) ou micro-siésmes par centimètre, sachant que $1\text{ds/m}=1000\mu\text{s/cm}$ (TERCHI, 2014).

Tableau 1 : Classification des eaux d'irrigation proposée par (USDA)

Nomination	Classe	Interprétations
Classe 1 (C1)	< 0,25 dS/m	Risquefaible
Classe 2 (C2)	0,25 dS/m à 0,75 dS/m	Risquemoyen
Classe 3 (C3)	0,75 S/m à 2,25 dS/m	Risqueélevé
Classe 4 (C4)	2,250 dS/m à 5 dS/m	Risquetrèsélevé
Classe 5 (C5)	>5 dS/m	Non utilisableen irrigation

(Harivandi, 1999).

I.2.1.2 l'alcalinité (excès en sodium)

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

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple, les sols sableux ne subiront pas de dommages si facilement en comparaison aux plus lourds s'ils sont irrigués avec de l'eau à haut taux d'adsorption de sodium.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

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

Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium (**még/l**)

Tableau 2 : Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation du sol (SAR)

Nom de la classe	Classe	Interpretation
Classe S1	$0 < SAR \leq 10$ bas taux de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
Classe S2 :	$10 < SAR \leq 18$ taux moyen de sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe S3	$18 < SAR \leq 26$ haut taux de sodium	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
Classe S4	$SAR > 26$ très haut taux de sodium	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

Source : Durand (1982)

I.2.1.3 les carbonates et les bicarbonates

Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important. Ceci causera un effet d'alcalinisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ça peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

- Carbonates de sodium résiduel (RSC)

Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante :

$$RSC = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$$

Tableau 3 : Niveau du risque dû au carbonate de sodium résiduel (SMEDEMA & RYCROFT, 1983)

Niveau du risque	Nul	Léger à modéré	Sévère
RSC (meq/l)	<1,25	1,25-2,5	>2,5

- En présence de carbonates, le SAR devient insuffisant pour déterminer les risques d'alcalinisation, pour cela on doit déterminer le SAR ajusté (RYCROFT, 1983) :

$$SAR_{ajusté} = SAR * [1 + (8,4 - pH_c)]$$

- pH_c : c'est le pH théorique d'une eau d'irrigation en équilibre avec de la calcite.
- $H_c = (PK_2 - PK_c) + P(Ca + Mg) + p(Alk)$
- PK_2 : c'est le log négatif de la deuxième constante de dissociation de l'eau
- PK_c : c'est le produit de solubilité de $CaCO_3$
- $P(Ca + Mg)$: C'est le log négatif de la concentration de Ca et Mg
- $p(Alk)$: c'est le log négatif de la concentration en ions carbonates et bicarbonates dans l'eau. avec

$pH_c > 8,4$	$SAR_{ajusté} < SAR$	L'eau a tendance de dissoudre le $CaCO_3$ du sol
$pH_c < 8,4$	$SAR_{ajusté} > SAR$	L'eau a tendance à précipité le $CaCO_3$

Source : (SMEDEMA & RYCROFT, 1983)

I.2.1.4 les éléments toxiques

Les éléments toxiques les plus réputés sont : Bore (B), les Chlorures (Cl) et le Sodium (Na)

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

Le bore peut être toxique à très faible concentration. Une concentration en bore inférieure à 1mg/l est essentielle pour le développement des plantes, mais des niveaux plus élevés peuvent poser des problèmes pour les plantes sensibles (**TERCHI, 2014**).

I.2.1.6. Les métaux lourds

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

Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont {cadmium (Cd), cuivre(Cu), Molybdène (Ni) et zinc (Zn)}.Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques. Au contraire, le molybdène et surtout, le cardium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité

I.2.3Méthode d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

I.2.3.1 Tableau des Directives de la FAO

La FAO, et suite aux travaux de **AYERS et WESTCOT ; (1988)**, a mis des directives permettant d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

Elles constituent une première étape pour détecter les restrictions dues à une eau d'irrigation, elles mettent l'accent sur l'influence, à long terme, de la qualité de l'eau d'irrigation sur la dégradation des sols et la production des cultures.

Le tableau 2 est un instrument de gestion, comme beaucoup d'outils de ce type en agriculture. Il constitue, selon la FAO, une première étape dans la détermination des limites de qualité d'une ressource en eau en agriculture (**BRADAÏ, 2017**).

Tableau 4 : Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la FAO, (1988) (AYERS et WESTCOT, 1988).

Nature du problème	Unité	Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité : <i>influe sur l'eau disponible pour la plante.</i>				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
Infiltration : <i>influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR.</i>				
SAR = 0 - 3 et CEi =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
SAR = 3 - 6 et CEi =	dS/m	> 1.2	1.3 - 0.3	< 0.3
SAR = 6 - 12 et CEi =	dS/m	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
SAR = 12 - 20 et CEi =	dS/m	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
SAR = 20 - 40 et CEi =	dS/m	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité de certains ions : <i>affectent les cultures sensibles.</i>				
Sodium (Na) :				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	> 3	> 9
Chlore (Cl) :				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Éléments traces	Concentration maximale d'éléments à l'état traces recommandés pour les eaux d'irrigation.			
Effets divers : <i>Affecte les cultures sensibles</i>				
Azote (NO ₃ -N)*	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃) pour aspersion sur frondaison	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5 - 8.4		

I.2.3.2 Diagramme de RIVERSAID

Les classes des eaux d'irrigation (C1S1,...C5S4) correspondent, dans le diagramme de Riverside au SAR (en ordonnées par la lettre S) et à la conductivité (en abscisses par la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C5S4 (coin haut à droite) est la plus mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum.

Les classes du diagramme de Riverside et leurs interprétations, sont résumées et présentés respectivement dans tableaux suivant.

Tableau 5 : Interprétation des classes du diagramme de RIVERSIDE.

CLASSES	Interprétation des classes
C1S1	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
C1S2-C2S1	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles.
C3S1- C2S2- C1S3-	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C4S1- C3S2- C2S3- C1S4	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensible, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
C5S1- C4S2- C3S3- C2S4	Eau de qualité très mauvaise, utilisé que pour les sols légers et bien draines et pour les plantes résistante avec nécessité des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C5S2- C4S3- C3S4	Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
C5S3- C4S4- C5S4	Eau déconseillée pour l'irrigation

Source : (CLEMANT et GALAND, 1979)

I.2.3.3 Diagramme de WILCOX

D'après (SEDRATI, 2011), La classification de (WILCOX, 1948), est fondée sur la conductivité électrique (CE en $\mu\text{S/cm}$) en abscisse et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage en ordonnées :

$$\text{Na}(\%) = \left[\frac{\text{Na} + \text{k}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}} \right] * 100$$

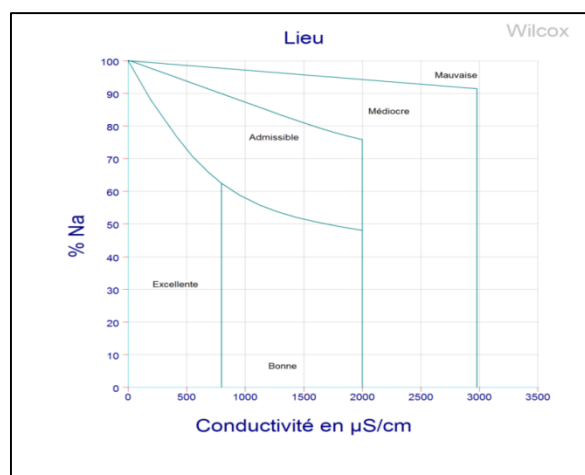


Figure 1 : Diagramme de Wilcox

A l'issue de la classification de Wilcox, cinq classes pourront être attribuées à une eau d'irrigation; excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

I.3 La salinisation des sols irrigués

La salinité est le facteur limitant le plus sévère qui affecte l'agriculture irriguée. Il a été estimé que la salinité limite la production agricole pour un tiers des terres irriguées dans le monde (FAO, 1998)

I.3.1 Salinité et salinisation

I.3.1.1. Définition de la salinisation

Il y'a plusieurs définitions de la salinisation :

- La salinisation est défini par **SERVANT (1975)**, comme étant l'ensemble des mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert, à un degré plus ou moins fort, le caractère salé. **CHERBUY (1991)** a ajouté qu'il s'agit d'un processus résultant de la migration des sels à travers le profil du sol et de leur accumulation, par précipitation en profondeur.
- **MERMOUD (2001)** a indiqué que la salinisation est un processus d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilisation du sol.
- **FRANÇOIS(2008)**, a actualisé la définition de la salinisation comme étant un phénomène par lequel un sol devient sur salé. La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation des sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation des sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

I.3.1.2. Définition de la salinité

Les sols salés appelés aussi sols halomorphes caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles, plus solubles que le gypse dans l'ensemble ou dans une partie du profil, ou par la dégradation de la structure de l'un de leur horizons ou de tous les horizons sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels en particulier le sodium (**AUBERT, 1983; BAIZE, 2000**).

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées. Un sol salé indique la prédominance de NaCl (**ASLOUM., 1990**).

La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

I.3.1.3 Définition des sols salés (sols halomorphes)

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (**GIRARD et al, 2005**).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (**ROBERT., 1996**).

Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (**BOUTEYRE et LOYER., 1992**).

Genèse de conditions salines et /ou sodique

La formation d'un sol salin (parfois dit « salé ») ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (**CHURCHMAN et al. 1993 ; NAIDU & RENGASAMY 1993 ; SUMNER 1993 ; KEREN 2000 ; LEVY 2000 ; BRADY & WEIL 2002 ; ESSINGTON 2004**). Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel. Lorsque le climat est chaud et sec, entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation, les sels sont accumulés en surface. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- (**KEREN 2000 ; ESSINGTON 2004**).

De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions Na⁺ dépasse celles des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (**SUMNER 1993, LEVY 2000, ESSINGTON 2004**). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physicochimiques du sol. Selon (**BOLT et al 1978**).

La salinité se produit si :

$$CE_i \times Q_i > CE_d \times Q_d$$

Où : CE_i : conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.

Q_i : quantité d'eau d'irrigation.

CE_d : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.

Q_d : quantité d'eau de drainage

I.3.1.4 Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

Selon **WYN JONES et GOUSTON (1991)**, la salinisation des sols peut être due à : La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols. En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (**RAJU et al., 1995**).

I.3.2 Salinisation des terres dans le monde et en Algérie

Les terres émergées représentent 13,5 milliard d'ha. Mais quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'antarctique, le Groenland, il reste 3 milliard d'ha cultivable, soit 22% du total ; c'est seulement 50 fois la France (**NAHON, 2008**). Et la moitié de ces 3 milliards d'ha cultivable sont déjà cultivés. Comme on prévoit à court terme d'un doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible et menacé (**LEGROS, 2007**). La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la terre. En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (**DURAND, 1958**). Les sols salins

sont très répons dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de setif et de constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. (**DURAND, 1958**). Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 dS/m.

I.3.3 Types de la salinisation

D'après **CHERBUY (1991)**, la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

I.3.3.1 Salinisation primaire ou naturelle

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

Salinisation géologique

Les sels solubles peuvent provenir :

- Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place ; dans les dépressions fermées.
- Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
- Soit de l'altération des roches volcaniques (**SERVANT, 1975**).

I.3.3.2 Salinisation secondaire

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (**SZABLOCS, 1994**). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir. En effet, (**HAMDY et al., 1995**) ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon **CHEVERRY (1995)** occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions d'hectares.

I.3.4 Conditions climatiques de la salure

Les climats comportent deux caractéristiques qui s'ajustent parfaitement aux mécanismes de la mobilisation et de l'accumulation du salant (**GAUCHER ET BURDIN, 1974**) :

- Un régime irrégulier des précipitations avec une dominance des averses brutales qui sont séparées par des périodes de sécheresse : ce mécanisme de mobilisation du salant est assuré par les averses, qui peuvent éventuellement détacher des matériaux solides salés à partir des gisements originels et les transporter par ruissellement. Ces eaux vont par la suite s'accumuler dans des zones de dépression et causer ainsi une remontée du niveau phréatique.
- Une saison sèche prolongée, pendant laquelle la chaleur et l'insolation provoquent une évaporation intense : ce mécanisme s'opérant en période sèche, il est le résultat d'une évaporation qui provoque l'ascension du salant par remontée capillaire.

I.3.5 Classification des sols salés

Selon **DUCHAUFOR (1983)**, deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées, sols à complexe sodique ou sols alcalins et Sols salins à complexe calcique.

I.3.5.1 Sols à complexe sodique ou sols alcalins

Caractérisés par une saturation marquée en Na et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique).

La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes :

- Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (**DUCHAUFOR, 1983**). Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

I.3.5.2 Sols salins à complexe calcique

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des actions en solution (**DAJOZ, 1982**). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation est supérieure à 4,5 dS/m à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm); 15 dS/m dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (**DUCHAUFOR, 1983**); avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol. Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (**AUBERT, 1978**).

I.3.6 Caractères des sels

I.3.6.1 Solubilité des sels

Les sels présents dans les sols n'ont pas la même solubilité, il en ressort que les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement soluble. Lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles (**AUBERT, 1978**).

I.3.6.2. Mobilité des sels

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles mais leur mobilité dépend : des états physiques de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de sa texture (**AUBERT, 1978**).

I.3.7 Mesures de la salinité

I.3.7.1 La conductivité électrique

La salinité d'un sol se mesure par la conductivité électrique (CE) d'un extrait de la pâte saturée. Le « US Salinity Laboratory Staff » en 1954 a proposé le seuil de 4 dS/m pour définir un sol salin (**ESSINGTON, 2004**). Dans les années 70, on reconnaissait que la distinction entre un sol non salin et un sol salin est intimement rattachée à la tolérance aux sels des plantes considérées. On peut distinguer deux grands groupes de sols affectés par l'excès de sels :

- Les sols salins : ont un excès de sels solubles de toutes sortes, excès suffisants pour affecter la production végétale sans affecter les propriétés physiques.
- Les sols sodiques : ont un niveau de saturation du complexe adsorbant par du Na⁺ suffisant pour affecter la structure du sol et la production végétale (**CHURCHMAN et al., 1993 ; NAIDU & RENGASAMY, 1993 ; SUMNER, 1993 ; KEREN, 2000 ; LEVY, 2000 ; BRADY & WEIL, 2002 ; ESSINGTON, 2004**).

I.3.7.2 Sels totaux dissous

Historiquement, la salinité du sol ou de l'eau a été évaluée en déterminant la quantité totale de sels dissous dans la solution (TDS). On la réalisait en faisant évaporer l'eau jusqu'à faire précipiter les sels dont le poids est ensuite déterminé. Selon **ESSINGTON (2004)** L'extraction des sels dans le sol s'effectue par :

- Extrait 1:5 : Détermination de la salinité dans un filtrat d'une suspension de sol dans l'eau dans un ratio sol / eau de 1/5. Mais elle donne des valeurs élevées car elle cause la dissolution de CaCO₃ et du gypse (CaSO₄, 2H₂O).
- Extrait de la pâte saturée : Détermination de la salinité dans un extrait (filtré) de la pâte saturée. C'est la méthode la plus appropriée du fait que cette humidité est la plus proche de celles rencontrées sous les conditions au champ. Mais elle est fastidieuse comparée aux autres extraits plus dilués.

I.3.8 Répartition et importance des sols salés

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares (**ZID et GRIGNON, 1991 ; HASAN, 1995**). Il a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées (**FLOWERS et FLOWERS, 2005**) et 15% (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité (**MUNNS, 2002**).

En Afrique du nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (**LE HOUEROU, 1986**). Quinze millions d'hectares de terres agricoles sont touchées par une salinité croissante des sols au Maghreb, au Moyen-Orient (**BEN AHMED et al., 1996**). Ainsi, en Tunisie, les sols salés couvrent environ 10% de la superficie globale du pays, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables (**BEN AHMED et al., 2008**). En Egypte, 35% des aires cultivées sont salinisées, 90% d'entre elles souffrent d'engorgement (**MAINGUET, 2003**).

En Algérie les zones semi-arides et arides couvrent près de 95% du territoire (**BENKHELIF et al., 1999**). Les sols salés sont très répandus dans les régions arides, représentant environ 25% de la surface (**HALITIM, 1988**) soit 3,2 millions d'hectares (**HAMDY, 1999**)

I.3.9.1 Mise en valeur des sols salés

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite (**GIRARD et al., 2005**):

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.

Conclusion

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.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

II Présentation de la région d'étude

II.1 Situation géographique :

La wilaya de Ouargla se situe dans le sud-est de l'Algérie. Elle couvre une superficie de 154 300 Km² (RGPH, 1998). Elle est limitée au nord par la wilaya de Biskra, à l'ouest par la wilaya de Ghardaïa, au nord-ouest par la wilaya de Djelfa, à l'est par la wilaya d'El Oued et la Tunisie, au sud-est par la wilaya d'Illizi et au sud par la wilaya de Tamanrasset.

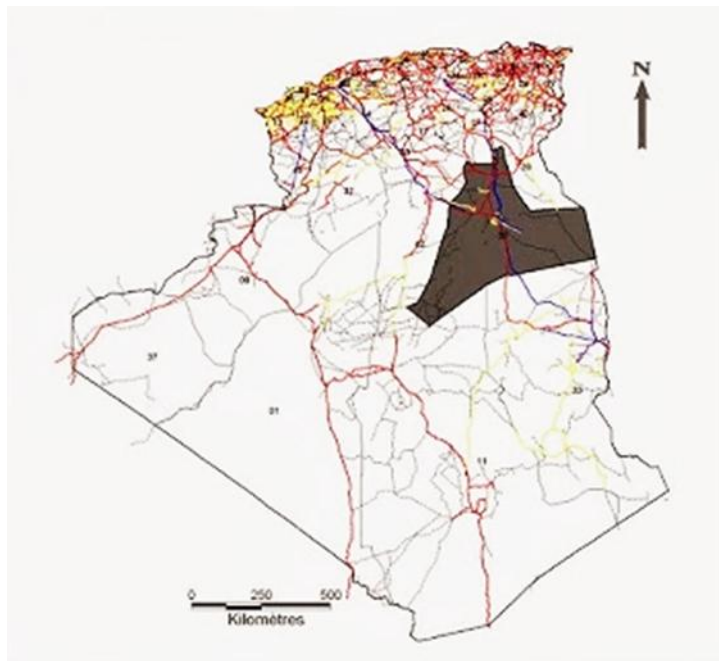


Figure 2 : Situation géographique de la wilaya de Ouargla

La ville de Ouargla et ses alentours se situent à une altitude moyenne de 140 m. La ville est construite dans le lit de la vallée fossile (Quaternaire) de l'oued M'ya qui draine le versant nord du plateau de Tademaït et qui s'achève à Sebkhât Sefioune (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975 ; HAMDI-AÏSSA ET GIRARD, 2000 ; KOUZMINE, 2003).

II.2 Géologie

La région d'étude fait partie de la plateforme saharienne qui est constituée d'un bouclier précambrien composé de morceaux de la plateforme africaine (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975). Elle se subdivise en trois sous-domaines constitués par les bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont séparés par l'anticlinal du M'Zab, et par le bassin du plateau de la Hamada El Hamra (UNESCO, 1972;NEZLI, 2009).

KOUZMINE (2003) rapporte que la cuvette du Bas-Sahara (Grand Erg Oriental) et le Grand Erg occidental sont séparés par une dorsale de 200 à 230 m d'altitude en moyenne d'orientation nord-sud liée à une surélévation structurale. Il s'agit d'un plateau gréseux (hamada) qui s'abaisse lentement vers l'est et qui se termine par un escarpement à l'ouest. Le même auteur fait remarquer que cette dorsale joue un rôle majeur dans la structuration de l'espace saharien.

La carte des affleurements géologiques de la cuvette de Ouargla (Figure1, annexe) montre un revêtement tabulaire de terrains d'âge Tertiaire et de dépôts détritiques Quaternaires. Elle montre également un dépôt continental du Mio-Pliocène dans lequel alternent des sables siliceux, des grès, des argiles et parfois des marnes. Le Pliocène continental constitue la structure des regs sous forme d'une croûte calcaire, avec des poudingues ou des calcaires lacustres (**O.N.A, 2004; Nezli, 2009**).

II.3 Topographie :

Le long de la vallée, les sebkhas et les massifs dunaires alternent avec des bas-fonds dans lesquels sont installées les cultures irriguées et les parcelles agricoles délaissées

La vallée est pratiquement plane. Sa pente générale est légèrement inférieure à 1‰ (52 m de dénivelée par 55 Km) mais elle n'est pas rectiligne. Elle se subdivise en trois tronçons (**ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975**) :

- du pied du Djebel Abbad à la rive nord de la Sebkha de Ouargla, la pente est de 2‰.
- du nord de la Sebkha jusqu'à la palmeraie de N'Goussa, nous notons une pente régulière de 1,8 ‰.
- après le seuil de N'Goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives de la sebkha Safioune où la pente est réduite à 0,6 ‰.

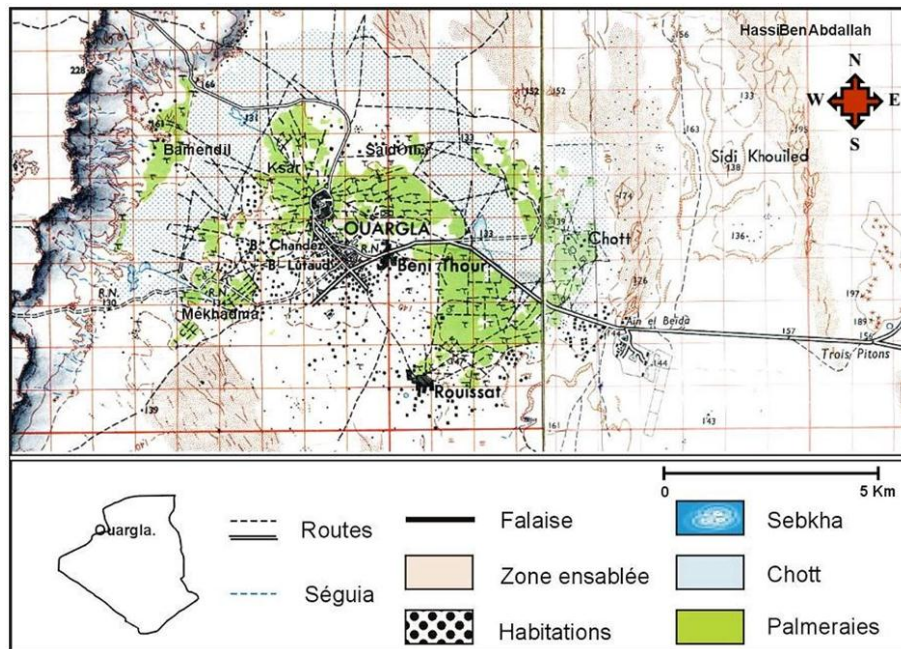


Figure 3 : Carte topographique de la cuvette d’Ouargla (I.G.N., 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010)

II.4 Pédologie :

La région de Ouargla est caractérisée par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulière (HAMDAL AISSA, 2001). La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible, et ne permet pas une bonne agrégation. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles, car leur rétention en eau est très faible. Ils sont caractérisés par un pH alcalin, une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération (HALILAT, 1993).

II.5 Climat

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

D’après ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), le climat de Ouargla est un climat particulièrement contrasté. L’aridité s’exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l’importance de l’évaporation due à la sécheresse de l’air.

Nous avons utilisé les données climatiques fournies par l'Office National de Météorologie (ONM) pour la période de (1996-2018) (Tableau1 Annexe).

Température

La température moyenne annuelle est de 23,6°C. En Juillet, pour le mois la plus chaud, elle est de 35,9°C, pour le mois le plus froid elle est de l'ordre de 12.0°C(voire Annexe).

Précipitation

Les précipitations sont très rares et irrégulières. Leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue de juin jusqu'à août, et par un maximum au mois de mai avec 3,4mm. La valeur maximale est enregistrée durant le mois de janvier (7 mm) et le cumul annuel de pluviosité est de l'ordre de 37.3 mm (voire Annexe).

Evaporation

La région est caractérisée par une évaporation très importante. Elle est de 3051.7 mm/an avec un minimum de 93.5 mm au mois décembre, le maximum enregistré est de 459.0 mm au mois de Juillet (voire Annexe).

Insolation

La région d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation. La durée d'insolation moyenne mensuelle est de 264.3 heures/an avec un maximum de 315.0 heures au mois de Aoute et un minimum de 207.0 heures au mois de décembre (voire Annexe).

Humidité relative

L'humidité relative de l'air à Ouargla est très forte avec une moyenne annuelle de 42.4% (Tableau 1, Annexe). Elle atteint son maximum au mois de décembre (60.1 %) et sont minimum au mois de juillet (25.2%).

Vent

Les vents sont fréquents durant toute l'année. Ils soufflent au printemps, en moyenne 50 jours par an. Les vents les plus fréquents sont de direction NNE-SSW, tandis que les plus violents sont de directions N, NE et W et sont à l'origine des tempêtes de sables (**BERKAL, 2016**). D'après les données de l'O.N.M, 2020 pour la période de 1996-2018, La vitesse maximale moyenne est de 53.1 Km/h (voir Annexe).

II.6 Classification du climat

II.6.1 Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de **GAUSSEN (1955)** permet de suivre et de déceler la période sèche et humide au cours de l'année. Il est représenté : En abscisse par les mois de l'année ;

- en ordonnées à gauche par les précipitations en mm ;
- en ordonnées à droite par les températures moyennes en °C ;
- Une échelle de $P=2T$.

L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ouargla, la période sèche s'étale sur toute l'année (Fig 5). Et selon le climagramme d'Emberger la région de Ouargla est située dans un climat Saharien avec un hiver tempéré.

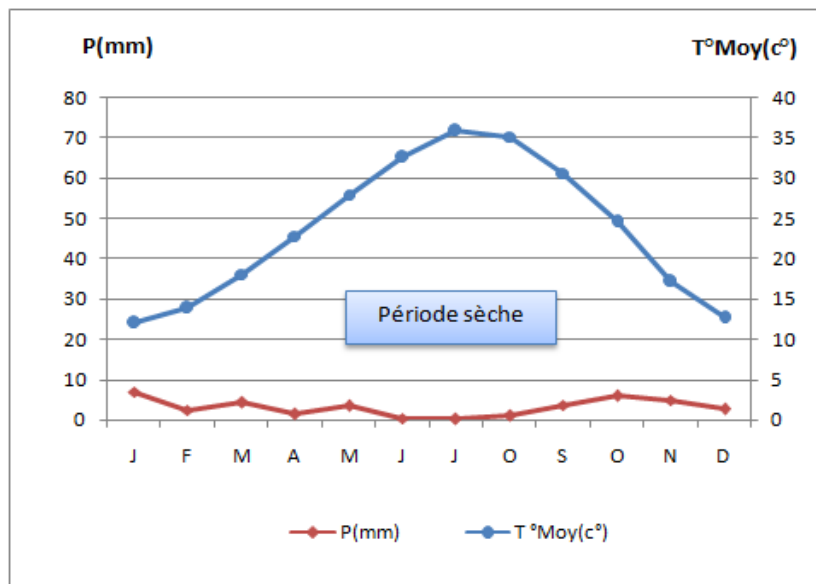


Figure 4 : Diagramme ombrothermique de la cuvette d'Ouargla (période 1996-2018)

II.7 Hydrogéologie :

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire de 1000 km², en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines de ces couches, 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 (UNESCO, 1972).

Ces trois nappes ont fait l'objet de nombreuses études dont la première synthèse a été réalisée par UNESCO (1972). (Figure5)

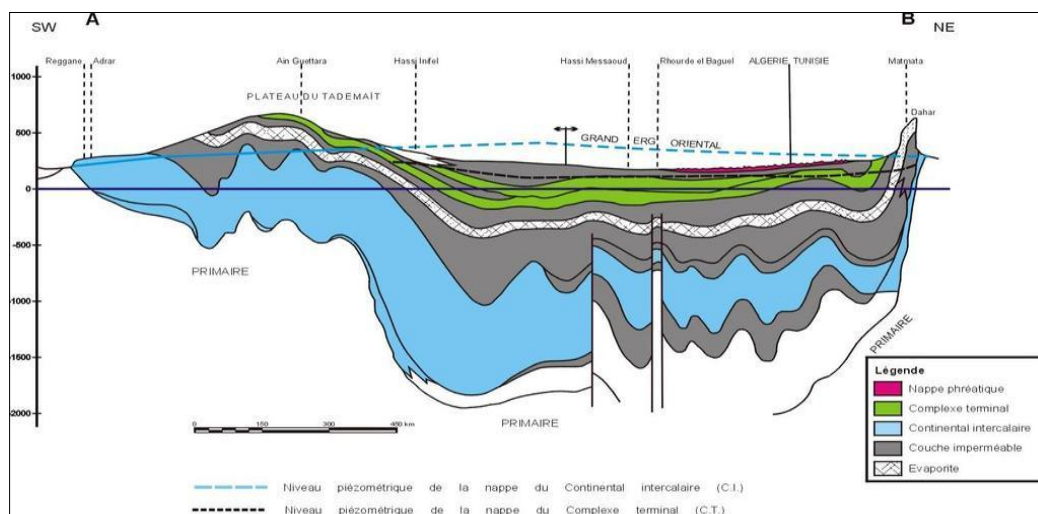


Figure 5 : Coupe hydrogéologique du système aquifère du Sahara septentrional (UNESCO, 1972).

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles Superposés :

- les nappes phréatiques des formations continentales superficielles.
- la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène et les nappes artésiennes du Continental Terminal sableux (Moi-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal (sub surface).
- la puissante nappe artésienne du Continental Intercalaire gréseux (profonde).

Le système transfrontalier de Complexe Terminal (CT) et de Continental Intercalaire (CI) recouvre une étendue de plus d'un million de km² partagée entre l'Algérie, la Tunisie et

la Libye, dont l'accumulation ne peut être expliquée par le climat actuel. En effet, la recharge actuelle n'est que de 109 m³/an avec une durée de renouvellement plus longue de la nappe du Continental Intercalaire (**OULDBABASSY et BESBES, 2006; BESBES et HORRICHE, 2007; O.S.S, 2008; NEZLI, 2009; O.S.S, 2010**).

II.1 La nappe phréatique superficielle

La nappe phréatique superficielle est épaisse de 1 à 8 m. Elle repose sur des argiles évaporitiques épaisses, imperméables et étanches qui occupent tout le fond de la vallée de Ouargla et l'isole des nappes artésiennes sous-jacentes (**O.N.A, 2004**).

La lithologie des formations constitutives de la nappe a été mise en évidence par des sondages réalisés par **ENAGEO (1990)**. C'est ainsi qu'on distingue des sables fins à moyens argileux au sud de la ville et des sables riches en gypse vers la sebkha Safioune.

L'alimentation de la nappe phréatique ne peut provenir que d'une cause anthropique. Le niveau de la nappe phréatique est réglé par un équilibre entre les entrées et les sorties. Les entrées sont principalement constituées par les eaux de drainage des agricole et l'eau destinée aux ménages (provenant des nappes artésiennes profondes), des rares crues des oueds M'zab et N'sa. Les sorties sont essentiellement dues à la transpiration de la végétation, à l'évaporation des eaux de la nappe remontant par capillarité (lorsque la nappe phréatique est peu profonde) et par l'écoulement vers les points bas constitués par le Chott et les sebkhas (**IDDER, 1998; O.N.A, 2004; NEZLI, 2009; NEZLI et al., 2009**).

La conductivité électrique des eaux de cette nappe présente des variations spatiales et temporelles notables. Dans leur évaluation de la qualité des eaux des nappes du bas Sahara, **TABOUCHE et ACHOUR (2004)** l'avaient mesurée entre 4 et 6 dS/m, **HAMDI-HISSA et GIRARD (2000)** à 18 dS/m, alors que **NEZLI (2009)** l'a trouvée autour de 15 dS/m avec des extrêmes qui peuvent atteindre les 100 dS/m. Elle est exceptionnellement à 800 dS/m dans les chotts (**NEZLI, 2009**) et rejoint de ce fait le résultat de **DAOUD et HALITIM (1994)** pour la cuvette de Ouargla.

II.7.2 Les nappes du Complexe Terminal

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes (**UNESCO, 1972; O.N.A, 2004; OULDBABASSY ET BESBES, 2006; BESBES ET HORRICHE, 2007; NEZLI, 2009**). Cette nappe a été désignée sous le nom de Complexe Terminal car elle est

contenue dans diverses couches perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire, essentiellement le Sénonien supérieur carbonaté, l'Eocène inférieure carbonatée et le Mio-Pliocène sableux. C'est un réservoir qui intègre également les formations carbonatées du Turonien (**BERKAL, 2016**).

La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et le débit exploité était de l'ordre $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ou environ 62 million de m^3/an en 2002 (**O.N.A, 2004; BESBES ET HORRICHE, 2007; O.S.S, 2008**). Les salures selon l'UNESCO (1972), sont de l'ordre de 3 à 7 g/l (**3 à environ 12 dS/m**) alors que **NEZLI (2009)** distingue une conductivité électrique moyenne mesurée en 2007 de l'ordre de 5 dS/m pour le Mio-Pliocène et 4 dS/m pour le Sénonien.

II.7.3 Le Continental Intercalaire

Ce système hydrologique souvent appelé « nappe albiennne » est constituée de grès fins, gris, à ciment argileux, parfois dolomitiques, avec intercalation de marnes dolomitiques et argiles sableuses. A Ouargla, le Continental Intercalaire est exploité entre 1150 m et 1350 m de profondeur (**UNESCO, 1972; DUBOST, 1992; O.N.A, 2004; BESBES ET HORRICHE, 2007; NEZLI, 2009**).

Selon **BESBES ET HORRICHE (2007)**, le débit total exploité (Algérie, Tunisie et Libye) atteint $30 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 950 millions de m^3/an . Le niveau d'artésianisme a régressé dans les régions exploitées mais reste important dans le secteur central du bassin. La conductivité électrique des eaux de cette nappe est de 3,4 dS/m (**NEZLI, 2009**).

II.8 Agriculture

Dans la région de Ouargla, l'agriculture a toujours constitué un élément clé dans le développement. D'une part, elle constitue sur le plan économique une activité non négligeable pour les populations oasiennes et d'autre part, sur le plan écologique, la palmeraie représente un maillon important dans l'adoucissement d'un climat austère et remplit des fonctions écologiques et sociales indéniables (**BOUAMMAR, 2010**).

La végétation à Ouargla change en fonction de la géomorphologie de la zone et la nature des sols. Elle varie entre le plateau, les pentes, les bas-fonds de la cuvette et la sebkha (**BARRY et al., 1968, 1973**).

La végétation naturelle est plutôt due au fait de la nature des sols et leur structure ainsi que le climat. Elle est plus ou moins présente suivant les régions. Ainsi, une végétation

arbustive à acacias est rencontrée notamment dans les lits d'Oued, les vallées et les alentours des Gueltas.

Selon le service des statistiques de la direction des services agricoles ; l'évolution des surfaces agronomiques est comme suite : La surface agronomique totale de la wilaya est de 4877393 ha ; la surface réellement utilisée est de 29839,5 ha ; et jusqu'à l'année 2005 la surface agronomique irriguée est de 17955.5 ha, avec un débit total d'irrigation de 49.7 hm³/an (**BOUTELLI, 2012**).

Chapitre III

Irrigation et dégradation des sols dans la région de Ouargla

III Irrigation et dégradation des sols dans la région de Ouargla

III.1 Irrigation dans la région de Ouargla

III.1.1 Aperçu historique sur l'irrigation dans la région

Le Sahara algérien, l'agriculture irriguée, aurait dépassé en 1998 les 150.000 ha, répartis sur 60.000 ha de palmier, 30.000 de maraîchage et 60.000 ha de céréales. Pour la zone exploitant les eaux du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T). La superficie actuellement irriguée est de l'ordre de 100.000 ha. L'évolution de la consommation en eau pour l'irrigation des périmètres irrigués n'a pas été linéaire du fait des changements des stratégies intervenues au cours des trente dernières années

L'irrigation, une pratique qui consiste pour l'homme à apporter de l'eau aux cultures, ne cesse d'étonner et de lancer des défis. Elle ne concerne que 273 millions d'hectares dans le monde, éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents. Pourtant elle a une importance très supérieure à la surface modeste, bien qu'en continuelle augmentation, qu'elle couvre. A l'origine de plus des deux tiers de la production agricole, elle a une productivité en moyenne supérieure au double de celle de l'agriculture pluviale. Elle permet de spéculations fructueuses, deux à trois récoltes par an, et des cultures sur des terres stériles, ou sous les climats les plus secs. Pourtant, au XXe siècle, ses échecs sont nombreux, surtout dans le tiers-monde et tendent à éclipser ses réussites indéniables et ses rapides progrès techniques (HALILAT, 2004).

III.1.2 le réseau d'irrigation

L'irrigation superficielle avait été pendant des siècles la seule méthode d'application de l'eau dans les terres cultivées et quoique des techniques d'irrigation modernes et très perfectionnées telles que l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte aient été développées durant ce siècle, les fondements globaux des méthodes d'irrigation superficielle continuent à être utilisés dans les deux tiers des terres irriguées. Il est possible que ce pourcentage augmente dans le futur si l'augmentation du coût de l'énergie prouve qu'il est un facteur prohibitif pour l'utilisation alternative et la grande énergie des techniques d'application de la consommation d'eau.

Selon **J-R.TIERCELIN ; Alain VIDAL(2006)** L'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la répartition de l'eau se fait entièrement par gravité, par simple écoulement sur la surface du sol. Elle est caractérisée par la méthode d'application de l'eau sur les terres cultivées, c'est à dire que l'eau, à la tête de la planche de la surface à irriguer s'écoule sur la surface de la terre et s'infiltré dans le sol.

Les techniques de l'irrigation de surface sont dites aussi techniques de l'irrigation traditionnelle du fait qu'elles sont utilisées par l'homme depuis l'antiquité.

L'agriculteur au fil du temps a pu développer ces techniques traditionnelles en relation avec la ressource hydrique dont il dispose et, généralement basées sur l'écoulement gravitaire. Ce système gravitaire classique malgré ses inconvénients (exigent en main d'œuvre, gaspillage d'eau etc.) peut rivaliser les systèmes dit modernes s'il est bien mené. Des modèles de simulation du phénomène ont permis d'obtenir des rendements très positifs qui ne demandent qu'à être généralisés chez l'agriculteur. De nos jours, beaucoup de techniques dites traditionnelles ont été modernisées grâce au progrès scientifique et technologique.

III.1.3 le réseau de drainage

La mise en valeur des terres salées ou soumises à un excès d'eau est plus difficile que celle des terres saines. Ces deux fléaux se traduisent par des conséquences directes sur le peuplement végétal. L'une des techniques qui contribue à la sauvegarde et à l'amélioration des conditions de mise en culture de ces terres est le drainage.

Le drainage selon FAO, est une technique de suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraine et de surface et des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, marécages, fleuves et rivières. Dans un système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface.

Il est utile de souligner que dans la plus part des cas, la réalisation, le suivi et l'entretien ne sont pas pris en charge comme il se doit. De même l'absence de drainage ne doit pas être perçue uniquement comme un problème mineur mais comme un risque géré par les agriculteurs au prix d'une réduction de la productivité des terres agricoles et de contraintes pour l'environnement et les écosystèmes qu'il convient d'évaluer. Une bonne connaissance et maîtrise du drainage sont donc des conditions de la durabilité de l'investissement pour le

développement agricole. Il importe donc de mettre en place des outils et des compétences pour faire face au déficit du développement agricole et rural.

Le réseau de drainage de la région de Ouargla est alimenté essentiellement par des eaux d'irrigation. Il a évalué énormément depuis 1986, sa longueur est passée 11 km ; avec une répartition plus développée au sud de la cuvette.

Le réseau de drainage de la cuvette de Ouargla est de type des canaux à ciel ouvert à une profondeur qui varie entre (0,5 à 1,0 m), ce réseau n'est pas dense et son état est médiocre. Le collecteur principal qui existe sur la périphérie de la ville et les palmeraies s'étend sur une longueur totale de 13600 ml environ et une profondeur varie de 1 à 2 m, avec une pente varie entre (1 à 2 ‰) ; celui-ci à pour objectif de drainer toutes les eaux excédentaires d'irrigation et eaux usées, et de rabattre la nappe phréatique (SEDAT,2008).

III.1.4 Situations actuelle de l'irrigation dans la région de Ouargla

A Ouargla, comme sur un grand nombre d'oasis, le type d'irrigation est gravitaire ou appelé irrigation de surface. La méthode consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée. Elle est dite aussi irrigation par planche ou irrigation contrôlée. C'est un mode d'irrigation assez rudimentaire et non coûteux en investissement. Traditionnellement, les séguias sont réalisés en terre. L'eau, à partir du forage, est conduite sur des seguias en terre 247 jusqu'aux bassins répartiteurs. L'eau est amenée au niveau de la parcelle puis distribuée dans des canaux de terres qui alimente les raies. Les pertes par infiltration et la difficulté de contrôler les débits conduisent à un gaspillage d'eau et à un arrosage hétérogène.

Le système est à base de la céréaliculture sous centre pivot. Ouargla sont précurseurs à ce type d'agriculture capitaliste. Dès les années 1988, après l'installation des premières fermes céréalières à Gassi Touil, ce moyen d'irrigation a pris place dans les activités agricoles au Sahara (SALHI A, 2017)

III.1.5 ressources en eau mobilisable

La région de Ouargla se distingue, comme toutes celles du Sahara septentrional, par l'immensité des réserves hydriques qu'elle renferme dans son sous-sol. Ces réserves sont essentiellement constituées de 04 nappes d'aquifères dont la profondeur varie entre un mètre et 1800 mètres. Cette région a vu ces dernières années une mobilisation très importante des

ressources hydriques malgré les risques qu'elle peut engendrer (AZIB,2010). Sur les 14 802 l/s d'eau d'irrigation mobilisée dans la région, 1040 l/s proviennent de la nappe CI et 13762 l/s de la nappe du CT, soit respectivement 7,01% et 92,9%, confirmant l'orientation actuelle de la région vers l'utilisation de la nappe du CT (CHAOUCH, 2006). Selon AZIB (2010), la nappe phréatique est alimentée par les eaux de drainage, les eaux urbaines (à travers l'assainissement), les rares crues des Oueds (comme l'Oued N'Sa) et aussi les très faibles précipitations, Elle est caractérisée à Ouargla par une profondeur qui varie entre 1 à 8 mètres suivant les saisons et les endroits ; Une salinité excessivement élevée et une importante perméabilité.

III.1.6 conséquence de l'irrigation dans la région de Ouargla

L'irrigation entraîne généralement la remontée des nappes dans les sols jusqu'à l'engorgement de la zone racinaire des cultures. La nature saline des nappes phréatiques, en particulier dans les régions arides et semi-arides du monde, provoque l'accumulation des sels dans la zone racinaire (YEO, 1999). La remontée des sels solubles par ascension capillaire dépend de la texture des sols et la profondeur de la nappe phréatique (DUBOST, 1991) La dégradation des sols par salinisation augmente avec le niveau des eaux phréatiques, provoquant un phénomène d'hydro-halomorphie, la formation de croûtes gypseuses. Cette situation peut s'aggraver davantage en l'absence d'aménagements hydro-agricoles cohérents adaptés (DADDI BOUHOUN et al, 2012). Selon BENAÏSSA (2017), le sol des stations irriguées par les eaux de mi-pliocène ont enregistré une augmentation remarquable dans le pH et la conductivité électrique comparés à ceux irrigués par les eaux de l'albien.

L'élévation du taux de calcaire et du niveau de la nappe phréatique procure aux sols, respectivement un pH plus alcalin et une salinité plus élevée. Les sels solubles sont sous l'influence de deux dynamiques de sels, la première ascendante, de remontée capillaire à cause de l'évapotranspiration, et la deuxième descendante, de lixiviation avec l'irrigation. Le rapport d'intensité entre les deux types de dynamiques de sels et l'importance des apports en sels par les eaux phréatiques et d'irrigation déterminent le degré d'accumulation des sels dans les sols. Ces dernières deviennent importantes au fond de la cuvette, avec l'élévation du niveau des eaux phréatiques chargées en sels. (DADDI BOUHOUN, 2010)

III.2 Caractérisation et dégradation des sols dans la région de Ouargla :

III.2.1 Caractérisation des sols dans la région de Ouargla

Au Sahara, le facteur de la formation des sols est essentiellement le vent. Il s'y ajoute l'ampleur des variations thermiques, notamment journalières (DUTIL, 1971 ; DUBOST, 1991). Les sols de la région de Ouargla sont constitués de sable quartzeux. La couleur devient moins rouge et l'épaisseur de la pellicule diminue dans les sols en aval et en particulier dans les dunes. Sur les sols de la dépression la masse basale argileuse présente un aspect poussiéreux. Elle est constituée d'un mélange de micrite détritique et de quelques paillettes de micas (HAMDI AISSA, 2001).

Selon HALILAT, 1993 Ouargla est une région caractérisée par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulaire. Ils sont caractérisés également par un faible taux de matière organique La pauvreté organique des sols de Ouargla (HAMDI AÏSSA, 2001) ne favorise pas la structuration des sols. , un pH alcalin, une faible activité biologique et une bonne aération. Ils sont caractérisés également par une faible teneur en éléments fertilisants et une forte salinité (KHADRAOUI, 2007) ainsi qu'une sodisation des sols (NEZLI et al., 2007).

III.2.2 Classifications pédologiques

Selon DAOUD ET HALITIM (1994), la région de Ouargla se caractérise par une grande hétérogénéité de sols représentés par les Leptosols (yermic), les Arenosolaridic, les Stagnosols, Gleysols, les Solonchaks et par les Gypsisols.

L'étude de HAMDI-AÏSSA (2001) réalisée avec la télédétection et la prospection sur terrain a montré que les sols dans la cuvette de Ouargla sont à prédominance salsodique, hydro-halomorphe et minéraux bruts. L'étude des états de surface des sols, après classification ascendante hiérarchique, montre qu'ils sont constitués de cinq Pédopaysages :

1. Un plateau à 180-200 m d'altitude, caractérisé par une croûte pétrocalcaire, surmontant une croûte pétrogypsique.
2. Les glacis et les versants Ouest de la cuvette, sont en grande partie recouverts de matériaux alluvio-éoliens, sans développement pédologique notable (Régosols sableux et/ ou à graviers).
3. Les bordures des glacis étagés à 180 m, à 160 m et à 140 m, bien visibles, en partie érodées, se caractérisant par l'affleurement du substrat gréseux du Moi-pliocène (Lithosols).

4. La cuvette comprend un ensemble légèrement surélevé, constituant le pédopaysage gypseux, caractéristique du chott situé entre 140 et 135 m d'altitude. Il est subdivisé:

- Sols à croûtes gypseuses de surface,
- Sols gypso-salins, à croûtes gypseuses de sub-surface et croûtes salines de surface.

5. Le centre de la cuvette de 135-130 m d'altitude, correspond au pédopaysage salin à croûtes salines de surface.

Les études de sols dans la cuvette de Ouargla de **DUTIL (1971)** et les cartes pédologiques établies par **HAMDI-AÏSSA (2001)** montrent que les sols de la cuvette présentent des encroûtements et croûtes gypseuses à gypso-calcaires de nappes.

III.2.2 Cause de la dégradation des sols

La dégradation de sol au niveau des oasis varie en fonction du type de problèmes posés. Au Sahara algérien, les problèmes recensés ces dernières années sont principalement la remontée des eaux phréatiques et la salinisation des sols (**DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDI-AÏSSA, 2001**).

III.2.2.1 Remontée de la nappe phréatique

Les causes de la remontée des eaux phréatiques dans les régions du Sud Est algérien sont multiples, d'ordre naturel et anthropique. Elles sont principalement, la mauvaise gestion des eaux usées et agricoles, jumelée par une prédisposition hydrogéologique et topographique non favorable (**DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDI-AÏSSA, 2001**).

Le niveau des nappes phréatiques dans les régions du Sud Est algérien est variable en fonction du niveau de drainage dans les régions phoenicoles. Il peut être profond à Biskra, situé plus au Nord. Cependant, il devient de plus en plus superficiel, de 0 à 3 m de profondeur, vers certaines régions situées plus au Sud, comme Tolga, Oued Rhir, Oued Souf et Ouargla (**DUTIL, 1971 ; MUNIER, 1973 ; DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; HAMDI-AÏSSA, 2001**).

III.2.2.2 Salinisation des sols

L'intensité de l'évaporation et le niveau élevé de la nappe phréatique tend à aggraver ce problème, en déplaçant les sels solubles dans la zone racinaire et vers la surface du sol (**HORNEY et al., 2005**).

La salinisation secondaire existe depuis longtemps en agriculture, particulièrement dans les régions arides et semi-arides (**SZABOLOCS, 1986**). La salinisation est un problème général au Sahara. Il est causé par la non maîtrise de l'irrigation-drainage dans les palmeraies (**DURAND, 1958**). Le drainage reste difficile dans les régions du Sud Est algérien soumises au phénomène de remontée des eaux phréatiques, qui ont un problème d'exutoire pour les eaux de drainage (**CÔTE, 1998**).

III.2.3 Conséquence de la dégradation de sol

La dégradation des conditions édaphiques dans la région de Ouargla, par salinisation et remontée des eaux phréatiques, présente des conséquences néfastes sur le sol (**DJERBI, 1994**). La salinisation est à l'origine de plusieurs problèmes pour le sol et les plantes. Ils sont de nature et d'intensité variables selon le sol, le climat, la plante et la conduite culturale (**AYERS et WESTCOT, 1988**). Les problèmes les plus rencontrés sont associés à la salinité, la sodicité et la toxicité spécifique de certains ions (**ARAGUES, 1983**).

III.2.3.1 Effets de la nappe phréatique

Le niveau élevé de la nappe phréatique présente des conséquences néfastes sur le sol (**DJERBI, 1994**). Ce problème produit trois types d'effets au niveau des sols, d'ordre physique, physico-chimique, chimique et biologique.

Les problèmes d'ordre physique sont l'instabilité structurale et la réduction de l'aération des sols (Hydromorphie). La pauvreté en oxygène dans les sols produit l'asphyxie et la pourriture racinaire chez les végétaux (**CALLOT et al., 1982**).

La salinisation et l'alcalinisation des sols sont des problèmes physico-chimiques qui touchent les zones mal drainées (**DURAND, 1958**). D'après **DUBOST et al. (1983)**, l'augmentation du niveau de la nappe phréatique augmente l'évaporation des eaux phréatiques et les dépôts salins dans le sol.

L'action néfaste des nappes superficielles sur les propriétés chimiques du sol se traduit à deux niveaux. Le premier par la modification des formes de Fe et Mn, notamment la réduction des oxydes ferriques, en faisant apparaître des tâches verdâtres de gley (**DUBOST, 1991**). Le deuxième problème chimique, ce sont les accumulations gypseuses. La remontée des nappes phréatiques chargées en sels, dans les climats hyper-arides favorise l'accumulation du gypse (**DURAND, 1958**). Les études effectuées par les chercheurs montrent que la nature des sols au Sud Est algérien change en fonction des régions phoenicicoles. Ils peuvent être de types éoliens, alluvionnaires, alluvio-éoliens et de texture sableuse à argileuse. Il est observé que les sols des zones de nappes peu profondes, présentent des accumulations gypseuses, gypso-salines et gypso-calcaires (**DUTIL, 1971; SAKER, 2000 ; HAMDI AÏSSA, 2001**).

Enfin, l'activité biologique diminue au niveau des sols de nappes superficielles (**DJERBI, 1994**). Cela agit négativement sur l'évolution de la décomposition de la matière organique des sols (**ROBERT, 1992**).

III.2.3.2 Effets de la salinisation

Actuellement, deux aspects de salinisation des sols sont admis, la salinisation par excès de sels solubles et l'alcalinisation qui commence à se manifester dès que le taux de sodium échangeable dépasse les 15 % de la C.E.C. (**DERDOUR, 1981**). Les problèmes engendrés sont la salinité et la sodicité des sols (**ARAGUES, 1983**). D'après **SERVANT (1978)**, les sels les plus abondants dans les zones arides et sub-arides, sont de deux types, neutres (tel : NaCl, Na₂SO₄·10H₂O, Na₂SO₄, MgSO₄, 7H₂O, CaSO₄, 2H₂O) et alcalines (tel : Na₂CO₃, NaHCO₃, 2H₂O, NaHCO₃, 2Na₂SO₄, Na₂CO₃). Les sels non sodiques ne présentent pas de danger pour le sol, contrairement pour ceux qui sont sodiques.

La sodicité des sols se traduit par des conséquences négatives sur les propriétés du sol: la dispersion des argiles, la dégradation de la structure, la perte de perméabilité et l'asphyxie du milieu (**MCNEAL et COLEMAN, 1966 ; ISRAELSEN et HANSEN, 1965 ; CHEVERRY, 1972 ; AGASSI et al., 1981 ; ZARTMAN et GICHURU, 1984 ; YOUSAF et RHOADES, 1987**). Il est remarqué que cela engendre à la surface des sols du Sud Est algérien une structure boursouflée (**HAMDI-AÏSSA, 2001**).

L'action du sodium sur les propriétés du sol dépend de la nature de l'anion accompagnateur du sodium. Il est prouvé que les carbonates ont un effet inhibiteur et que l'action néfaste des sulfates est plus élevée par rapport aux chlorures (**LONGENECKER,**

1959 ; DARAB, 1965 ; EL-SWAIFY, 1973 ; DAOUD et ROBERT, 1989 ; DAOUD et al., 1993). L'effet du sodium est plus important dans les sols de texture fine (MCNEAL, 1968 ; PUPISKY et SHAINBERG, 1979), riches en argiles expansibles ou smectites (HALITIM et al., 1984), et pauvres en potassium et en silice soluble (U.S.S.L., 1954). L'humus dans les sols, agit contre l'action du sodium, mais ce dernier inhibe l'activité biologique et présente ainsi une action néfaste sur l'évolution de la matière organique (GOLDBERG et al., 1988 ; MALLOHI, 1982 ; MALLOHI et JACQUIN, 1988 ; MALLOHI, 1989).

Chapitre IV

Matériel et Méthode

IV Matériel et Méthode

Introduction

Comme on vient de le constater, dans la région de Ouargla, et malgré les potentialités hydro-édaphiques importantes, l'agriculture reste confrontée à des problèmes de disponibilité d'eau en quantités et surtout en qualité et une dégradation de l'environnement édaphique, suite à des pratiques culturales inadaptées. Les eaux souterraines constituent une principale ressource en eau dans les régions sahariennes Compte tenu de la rareté des ressources en eau de surface.

L'objectif de l'étude est de caractériser la qualité des eaux d'irrigation et leur influence sur la salinité des sols, dans la région de Hassi Ben Abdallah (Ouargla).

IV.1 Choix de la zone et de la station expérimentale

IV.1.1 Zone d'étude

L'étude sera menée dans une exploitation de coté de la commune de Hassi Ben Abdallah, cette dernière est située à 30 km à l'est de la wilaya de Ouargla, et à 8 km de son chef-lieu de daïra Sidi Khouiled. Elle s'étend sur une superficie de 1762 km², avec une population de 4950 habitants (**APC de HBA, 2009**). Selon la D.S.A. (2015), la superficie agricole totale de Hassi Ben Abdallah est estimée à 265281,8 hectares et la superficie agricole utile est estimée à 7203,31 hectares.

Le choix de la zone de Hassi Ben Abdallah est guidé par un ensemble de facteurs :

- Cette région reste sans conteste l'une des régions pilotes en matière de mise en valeur et qui a connu une dynamique agricole notable par rapport aux autres régions de la wilaya de Ouargla. Cela est encouragé par le fait qu'elle possède suffisamment de bonnes terres installées sur un reg dont l'altitude est de 160 m, et ne nécessitant pas de réseau de drainage qui semble s'effectuer naturellement de manière satisfaisante (**AZYBE, 2010**).
- La profondeur considérable de la nappe phréatique (**BENAISSA, 2016**) et de ce fait l'élimination d'une éventuelle contamination du sol par les sels de cette dernière.

IV.1.2 Station expérimentale

Les monolithes du sol seront prélevés dans une jeune palmeraie, dont la situation est donnée par (la figure 06). Les caractéristiques de cette exploitation sont : Une superficie de 1,5 ha ; plantée par de jeunes plants de palmier dattier ; l'irrigation est localisée, et l'eau

d'irrigation est puisée dans une fosse creusée dans l'exploitation, dont la profondeur de l'eau ne dépasse pas les 3 m (selon le propriétaire ces eaux proviennent du drainage des exploitations sises à l'amont de sa terre).



Figure 6 : Image satellite montrant la région de (Hassi Ben Abdellah), et la station expérimentale (Google Earth, 2020).

IV.2 Méthodes de travail

Ce travail consiste en un suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques d'un sol, dans des conditions contrôlés. La méthode est basée sur le prélèvement des monolithes de sols et leur installation au laboratoire. On procède à leur irrigation avec les eaux des deux aquifères (Albien et CT) pendant une durée déterminée. L'étude est réalisée en trois phases.

IV.2.1 Choix des points de prélèvement du sol :

Au cours de cette phase on a effectué une analyse préliminaire du terrain dont la situation de la station, son historique cultural, le système d'irrigation et l'eau utilisée, par la suite on a procédé à des sondages multiples couvrants la superficie à étudier. Sur la base de ces fosses de prospections on a réalisé trois profils de sols d'une profondeur de 1.5 m (figure 06).

IV.2.2 Caractérisation du sol et analyse au laboratoire :**IV.2.2.1 Caractérisation morphologique**

L'étude morphologique des sols a été réalisée dans des profils de 1,5 m de profondeur loin des palmiers dattiers. Cette caractérisation consiste à faire une description des horizons pour déterminer certaines caractéristiques principales qui sont de type:

a. Physique : le nombre et la profondeur des horizons, la couleur par la charte de MUNSELL, et apprécier la texture par le touché, ainsi la présence des éléments grossiers, le type de structure, la compaction, la cimentation et notamment la profondeur d'obstacle mécanique de croûtes gypso-calcaire ;

b. Chimique : la présence des sels solubles par le goutter et la formes des accumulations gypso-calcaire, par l'observation, le toucher et le test d'effervescence à l'HCl ;

c. Biochimique : La présence de matière organique ;

d. Biologique : La présence d'activité biologique.

IV.2.2.2 Étude analytique des sols

L'étude analytique consiste à mesurer certaines propriétés de type :

1. Physiques : les paramètres de texture, de densité apparente (D_{app}), l'humidité pondérale du sol (H), l'humidité au point de flétrissement (H_{pf}) et l'humidité à la capacité de rétention (H_{cr}).

2. Chimique : taux de calcaire ($CaCO_3$), taux de gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), Carbone organique (M.O), le bilan ionique cationique (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et anionique (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}).

3. Physico-chimiques : le degré d'Alcalinité (pHe1:5), le degré de salinité (C.Ee1:5) et la charge saline en résidu sec (R.s)

Pour la réalisation de cette analyse un échantillonnage de sol, de chaque horizon, était programmé pour le mois de mars 2020.

IV.2.3 prélèvement des monolithes de sol et leur installation au laboratoire

Ce prélèvement également était programmé pour le mois de Mars 2020.

Remarque : Vu les conditions exceptionnelles qui ont touchées le pays au cours de la période (Mars/septembre) 2020, (épidémie de COVID 19°) on a été contraint d'arrêter l'ensemble des travaux qui nécessitent tout contact entre étudiants ou bien avec le personnel du labo.

La figure suivante résume la démarche méthodologique tracée

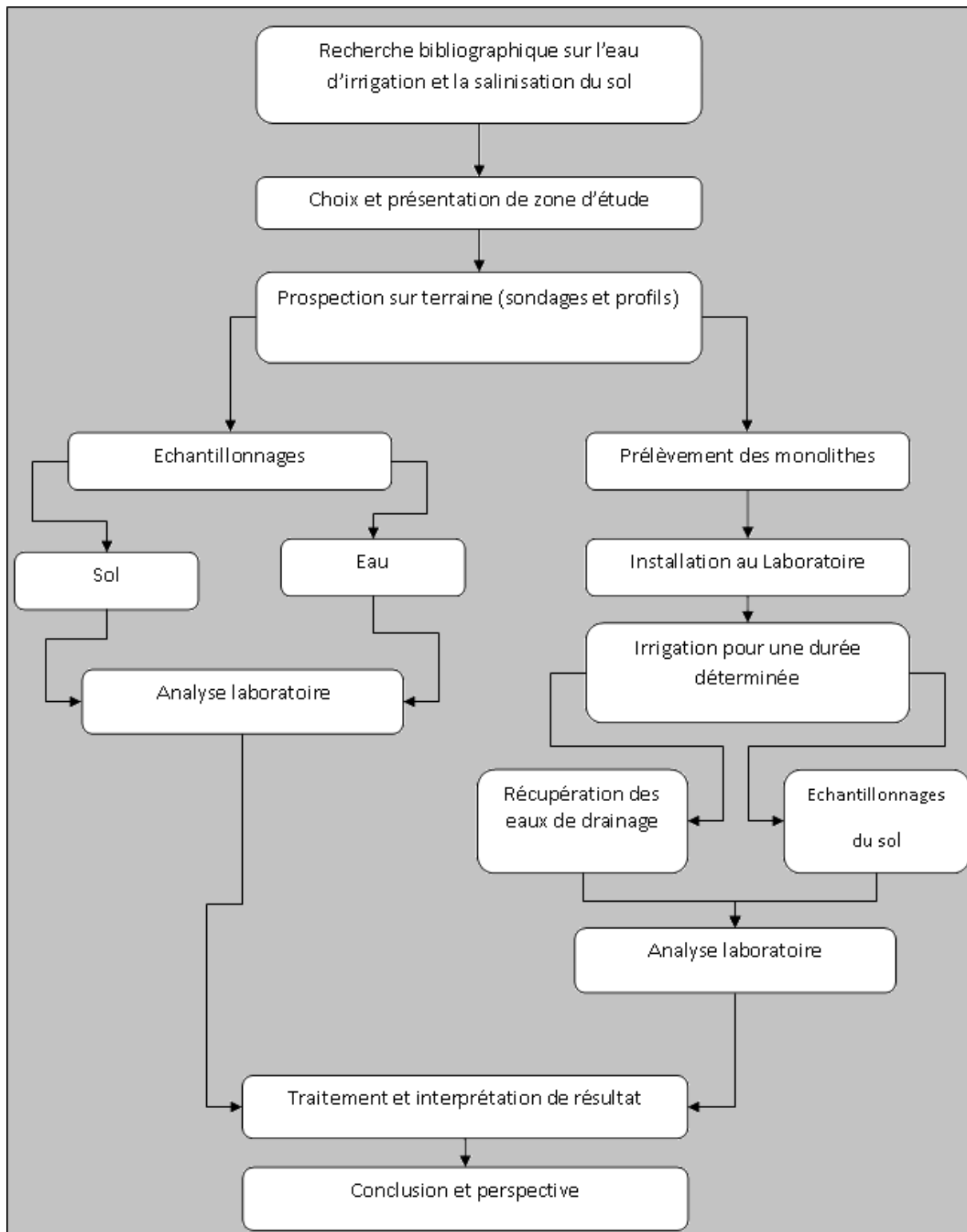


Figure 7 : Résumé de la démarche méthodologique tracée.

IV.3 Résultat

IV.3.1 les sondages de prospection

Nous avons effectué des sondages dans la région à l'aide d'une tarière de 1.5 m, et on a conclu que:

- La terre est généralement homogène
- il existe une légère hétérogénéité résiduelle dans l'épaisseur des horizons d'un sondage à l'autre.
- Dans l'ensemble des sondages on a 3 horizons :

H1 : texture sableuse, forte effervescence, présence des éléments grossiers, épaisseur varie 0 à 50 cm, très compact, couleur Yellow 10YR7/8 (à l'état humide).

H2 : texture sableuse, moyen à forte effervescence à l'HCL, tache blanche (calcaire), épaisseur varie 50 à 1 m, couleur Yellow 10YR7 /8 (à l'état humide).

H3 : texture sableuse, forte effervescence, Afficher dans les limites 1m, couleur riddishyellow 7.5YR7/8 (à l'état humide).

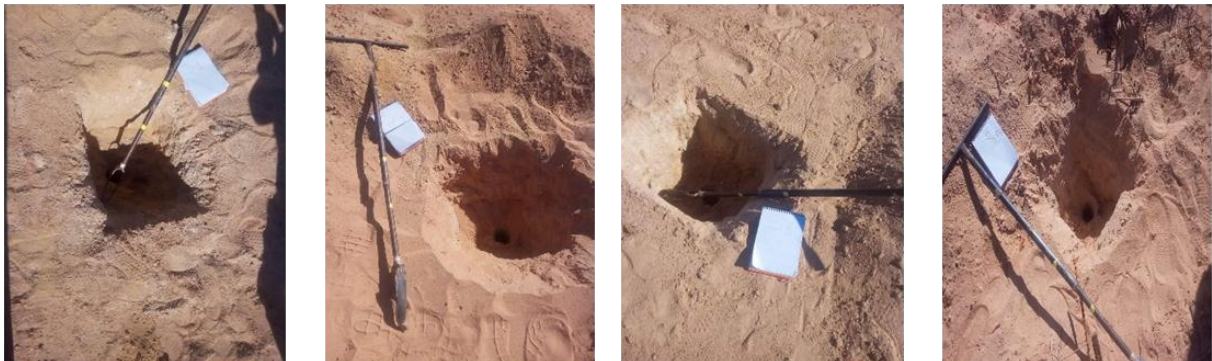


Figure 8: Les sondages de prospection

IV.3.2 Les profils

Vu la légère variabilité révélée par les sondages, on a opté pour trois profils (figure 06).

a- Profile 1 :

Description de l'environnement


Localisation : Coordonnées : X = 32°00'05.456"N ; Y = 5°27'12.783"E

Végétation : aucune végétation.

Temps : ensoleillé.

Date : 02/09/2020.

Description du profil

	0-45cm : Sec, Sableux, 45% d'élément grossier (1-3cm arrondie, lisse), forte effervescence à HCl, Yellow 10YR7/8 (à l'état humide), taches blanches, structure consolidée (particulaire après fragmentation), transition progressive, limite régulière.
	45-85cm : Sableux, 50 % d'élément grossier (2mm-4cm arrondie), fort effervescence, brawnish Yellow 10YR6/8 (à l'état humide), taches blanches, frais, légèrement consolidé, transition progressive, limite régulière.
	85-125cm : Sableux, pas d'élément grossier, moyenne effervescence, riddish yellow 7.5YR7/8 (à l'état humide), taches blanches et noire, sec, consolidé, transition distincte, limite régulière.
	125< :Roche blanche légèrement dure (Grès).

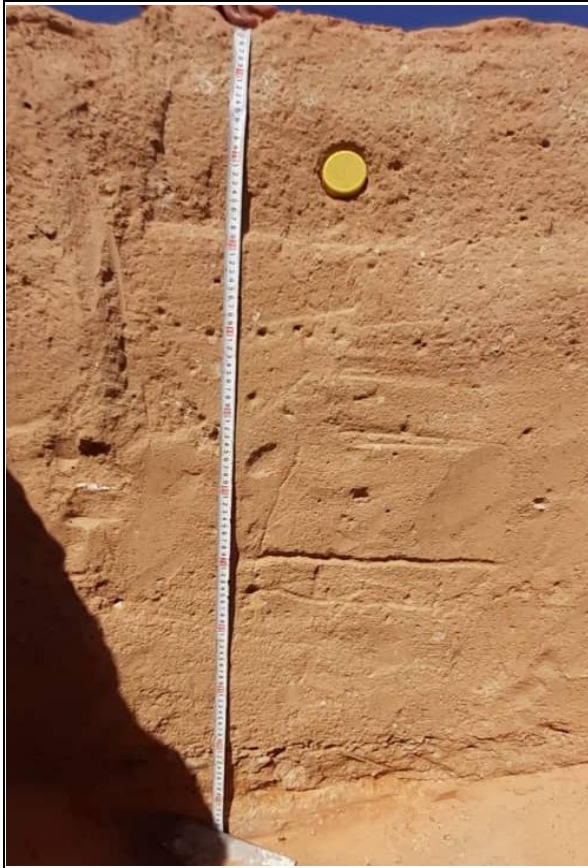
b- Profil 2 :**Description de l'environnement**

Localisation : Coordonnées : X = 32°00'05.688"N; Y = 5°27'14.378"E

Végétation : aucune végétation.

Temps : ensoleillé.

Date : 02/09/2020.

Description du profil

0-110cm : sableux, 20% d'éléments grossiers arrondies, forte effervescence, Brawnish yellow 10YR6/8 (à l'état humide), taches blanches, sec, structure consolidée (particulière après fragmentation), transition progressive, limite régulière.

110-125cm : sableux, forte effervescence, riddish yellow 7.5YR7/8 (à l'état humide taches noires (dark yellowish brown (10YR3/6)), frais, légèrement consolidée.

c- Profil 3

Description de l'environnement


Localisation : Coordonnées : X = 32°00'05.688"N; Y = 3°20'56.063"E

Végétation : aucune végétation.

Temps : ensoleillé.

Date : 02/09/2020.

Description du profil

	0-20cm ; couche superficielle, Sableux, sec, particulaire, transition progressive, limite régulière.
	20-35cm : Sableux, 50% d'éléments grossiers (2mm-4cm arrondie), forte effervescence, Yellow 10YR7/8 (à l'état humide), présence de taches blanches, frais, structure légèrement consolidée, présence des racines mortes, transition progressive, limite régulière.
	35-120cm : Sableux, petits éléments grossiers (40%), forte effervescence, Brawnish yellow 10YR6/8 (à l'état humide), taches blanches, sec structure légèrement consolidée.

En conclusion, on peut retenir de cette description que :

- Le type des profils est A C.
- Le sol est caractérisé par une texture sableuse, une structure particulaire, présence de pourcentage différent d'éléments grossiers et absence de matière organique.
- Le sol est généralement Homogène, il ya une différence perceptible dans épaisseur des horizons.

Chapitre IV

Caractérisation de la qualité des eaux de la zone d'étude

V. Caractérisation de la qualité des eaux de la zone d'étude

Dans la région de Ouargla, le recours à l'irrigation est indispensable pour une éventuelle mise en valeur des terres ; avec un tel climat dont les précipitations sont rares et l'évaporation est très importante ; menée une culture nécessite des quantités énormes d'eau. La principale ressource disponible dans cette zone sont les eaux souterraines des deux aquifères (CT) et (CI). Pour un bon développement des végétaux, l'eau d'irrigation doit être sans danger pour le végétal lui-même et aussi pour le sol.

L'objectif de l'étude est de caractériser, dans un premier temps, la qualité physico-chimique des eaux de quelques forages exploitant les deux nappes de (CT) et la nappe profonde de (CI) et par la suite évaluer leur aptitude à l'irrigation.

Remarque : Vu les raisons citées précédemment, les résultats des analyses physico-chimiques de 23 forages, (18 exploitant les nappes de CT et 5 la nappe de l'albien), sont reportés des travaux de (BELHADJ AISSA, 2017).

V.1 Caractérisation des eaux des forages étudiés

V.1.1 Echantillonnage et méthodes d'analyse

Selon BELHADJ AISSA (2017), L'échantillonnage des eaux souterraines du bassin de Ouargla a été réalisé dans les mois de février et mars 2016, ils ont effectué un total de vingt-trois (23) prélèvements pour l'analyse physico-chimique répartis comme suit: dix-huit (18) forages captant le complexe terminal et cinq (05) pour le continental intercalaire (Figure 09). Les échantillons d'eau ont été conservés dans des flacons en polyéthylène d'une capacité de 1000 ml, à une température de 4 ° C, puis transportés au laboratoire dans un délai n'excédant pas 4 heures selon les normes (GUENDOZ et al., 1992).

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des échantillons ont été réalisées au laboratoire de l'ADE, unité de Ghardaia. Les procédures de dosage sont déduites de la méthode analytique standard.

- Le pH a été mesuré par un pH-mètre ;
- La conductivité est donnée directement en $\mu\text{S} / \text{cm}$ par un conductimètre.
- Les paramètres chimiques sont dosés par différentes méthodes:
 - Le calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}), chlorure (Cl^-) par titrimétrie.
 - Le sodium Na^+ , le potassium K^+ sont dosés par photométrie à flamme.

• L'ions Sulfate (SO_4^{--}) est précipité à l'état de sulfate de baryum et dosé par gravimétrie.

Le plan de situation des forages étudiés est représenté par la figure suivante et les résultats, de la qualité physico-chimique, sont résumés dans le (tableau 06).

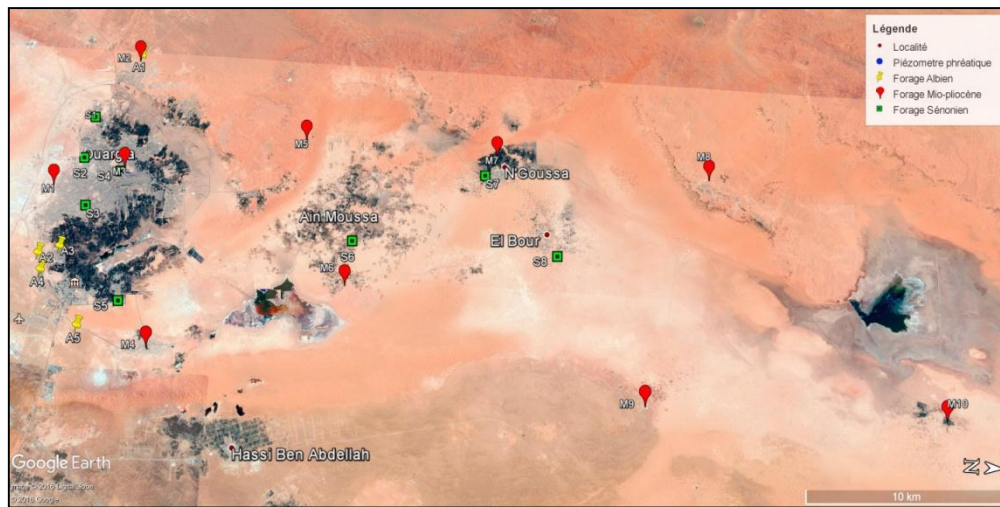


Figure 9: Plan de situation des forages étudiés

Tableau 6 : Résultats des analyses physico-chimiques des forages étudiés (mars 2015)

Forages	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	No ₃ ⁻ mg/l	CE ms/cm	pH	SAR
Mio pliocène											
M1	316,60	196,87	600,00	39,00	1291,10	980,00	146,00	16,20	5,70	7,47	9.2
M2	256,50	92,35	500,00	14,00	899,79	745,00	122,00	21,50	4,20	7,40	9.6
M3	276,50	148,23	321,00	24,00	1006,80	463,40	353,00	26,50	4,40	7,81	5.4
M4	256,50	138,51	430,00	22,00	652,33	762,19	475,00	36,30	3,80	7,62	7.6
M5	184,30	87,48	285,00	15,00	504,85	508,26	243,00	34,00	2,49	7,66	6.1
M6	250,00	109,80	288,00	16,00	635,31	752,72	270,00	38,50	3,07	7,45	5.4
M7	227,60	158,43	580,00	27,00	1113,20	772,06	204,00	23,00	4,27	7,50	10.2
M8	206,80	79,70	605,00	13,50	442,45	693,87	226,00	30,50	2,47	7,64	6.4
M9	238,80	49,50	421,00	27,00	677,15	705,80	241,00	40,50	3,21	7,48	9.1
M10	229,20	104,00	290,00	12,00	648,79	516,08	237,00	36,00	3,10	7,59	5.6
Sémonien											
S1	214,83	89,42	322,00	17,00	604,11	511,96	258,00	30,01	2,94	7,84	6.6
S2	140,00	110,00	295,00	15,50	470,00	719,00	176,90	18,00	2,98	7,35	6.4
S3	384,76	102,06	500,00	42,00	1090,60	1020,00	125,50	31,63	5,30	7,26	8.2
S4	148,29	85,06	300,00	29,00	639,85	456,00	105,70	23,50	2,84	7,20	6.8
S5	432,86	252,72	532,00	27,00	1106,00	1281,90	500,00	39,53	9,80	7,64	7.1
S6	340,68	182,25	420,00	21,00	1075,00	804,58	268,00	41,34	6,73	7,27	6.4
S7	242,08	169,12	439,50	19,00	1372,00	369,98	253,00	39,60	4,29	7,52	7.5
S8	216,43	104,51	450,00	14,00	879,80	600,00	138,30	22,30	4,01	7,48	8.8
Albien											
A1	292,58	55,90	400,00	31,00	746,86	880,00	105,70	0,00	4,10	7,08	7.9
A2	172,34	68,05	250,00	19,00	537,02	430,00	113,90	1,50	2,68	7,12	5.7
A3	192,38	99,65	300,00	25,00	559,87	675,00	122,00	0,50	3,25	7,02	6.2
A4	180,00	102,40	250,00	29,00	430,00	644,00	234,90	3,00	2,28	7,52	5.2
A5	180,36	63,19	300,00	18,00	830,28	232,00	126,10	7,30	2,42	7,43	6.9

Source (BELHADJ AISSA, 2017)

V.2 Fiabilité des résultats

La vérification de la fiabilité des résultats des analyses chimiques des eaux se fait par l'établissement de la balance ionique pour les quatre anions (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- et SO_4^{2-}) et les quatre cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+). Pour que la neutralité électrique de la solution soit respectée, la somme des cations doit être égale à celle des anions. La précision d'une analyse ou le pourcentage d'erreur de la balance ionique est donnée par l'expression suivante :

$$E = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{(\sum r^+ + \sum r^-)} \times 100$$

Avec :

E : l'erreur ; r^+ : quantité en réaction des cations ; et r^- : quantité en réaction des anions.

Et :

$$r \text{ (meq)} = \frac{\text{Poids de l'élément en solution (mg)}}{\text{Equivalent atomique } \frac{A}{N}}$$

Avec :

A : masse atomique, et N : valence.

En analysant le pourcentage d'erreur calculé pour les résultats des analyses de la qualité physico-chimique des eaux (Tableau 02Annexe) on constate que cette dernière ne dépasse pas les 5 % pour chaque forage ; et selon **RODIER (2005)**, ces résultats sont fiables et peuvent être utilisés dans des traitements ultérieurs.

V.3 La qualité physique

V.3.1 PH

Le pH est en relation directe avec l'origine de l'eau, il est influencé par la nature géologique des aquifères ainsi que la nature des roches constituant le bassin versant traversé.

Le pH influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (**CHAPMAN et al, 1996**).

Le pH des eaux analysées a varié pour la nappe de l'albien de 7,02 à 7,52, et de 7,02-7,84 pour les eaux de continental intercalaire. Ces résultats révèlent que le pH des eaux des deux aquifères est légèrement neutre à alcalin et selon les directives de la FAO, ces eaux peuvent causer des problèmes croissants en les utilisant dans l'irrigation.

V.3.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire le courant électrique et elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau (**DERWICH E et al, 2010**). Le tableau suivant résume les valeurs moyennes, minimales et maximales de la conductivité électriques des eaux étudiées

Tableau 7: Les valeurs moyennes de la conductivité électrique dans la zone d'étude

La nappe	Conductivité électrique (ms/cm)		
	Min	Max	Moy
Moi-pliocène	2,47	5,7	3,67
Sénonienne	2,84	9,8	4,86
Albienne	2,28	4,1	2,95

La conductivité minimale (2,28 ms/cm) pour tous les échantillons prélevés dans les couches de la région d'étude, dépasse les normes des directives de la FAO, et donc elle présente un problème croissant et grave, si elles sont utilisées pour l'irrigation.

V.4 Concentration en, Cl⁻ et Hco₃⁻

En analysant le tableau 6 on peut avancer que les eaux étudiées présenteront de graves et croissants problèmes, vis-à-vis les paramètres, Cl⁻(varié de 12.3méq/l à 39méq/l) et Hco₃⁻ (varié de 8.2méq/l à 1.7méq/l) si elles sont utilisées pour l'irrigation (F.A.O, 1976). Quand à l'ion nitrate (varié de 0.0mg/l à 41.3mg/l), les eaux de complexe terminal présentent des concentrations élevées, qui selon les directives de la F.A.O. peuvent causer des problèmes croissants ; en revanche les eaux de la nappe albienne sont sans risque pour l'irrigation.

V.5 Le faciès chimique des eaux étudiées

V.5.1 Formules ioniques

La formule ionique d'une eau permet de mettre en évidence la teneur relative des différents éléments et également le classement des eaux dans les différentes catégories. Ces dernières sont obtenues en plaçant de gauche à droite et par ordre décroissant les quantités en réaction (en %) des anions, ensuite, celles des cations.

Chapitre V : Caractérisation de la qualité des eaux de la zone d'étude

Les formules ioniques des eaux des différents forages étudiés sont données dans le tableau (Tableau 01 Annexe). Ces formules montrent que les eaux souterraines de la zone d'étude sont principalement chlorurées et sulfatées sodiques. Le tableau suivant résume les faciès de l'ensemble des forages.

Tableau 8 : Les faciès chimiques des forages étudiés

Faciès chimique	Forages
Chloruré sodique	M1, M2, M3, M7, M10, S1, S3, S4, S6, S7, S8, A2, A5
Sulfaté sodique	M4, M5, M6, M8, M9, S2, S5, A1, A3, A4

Selon **DAOUD & HALITIM (1994)**, la qualité de l'eau au Sahara se détériore du sud au nord et cela est dû à la nature lithologique de réservoir. L'analyse du tableau précédent montre que le faciès chimique dominant est le chloruré sodique (dans 13 forages sur 23) et selon plusieurs auteurs (**VALLIRON, 1991 ; SLIMANI et al 2017 ; HOUARI, 2013**), ce faciès est dû à la dissolution des roches évaporitiques (gypse, anhydrite, halite, ... etc.) qui sont les principaux constituants du réservoir.

V.3.2 La représentation sur le diagramme de Piper et schoellerBerkaloff

La représentation des résultats des analyses chimiques sur les diagrammes de piper et Schoeller-berkaloff permet d'avoir une appréciation rapide de chimisme des eaux ainsi qu'une classification des eaux selon les anions et cations dominants.

• Représentation du faciès chimique des forages de Moi-pliocène:

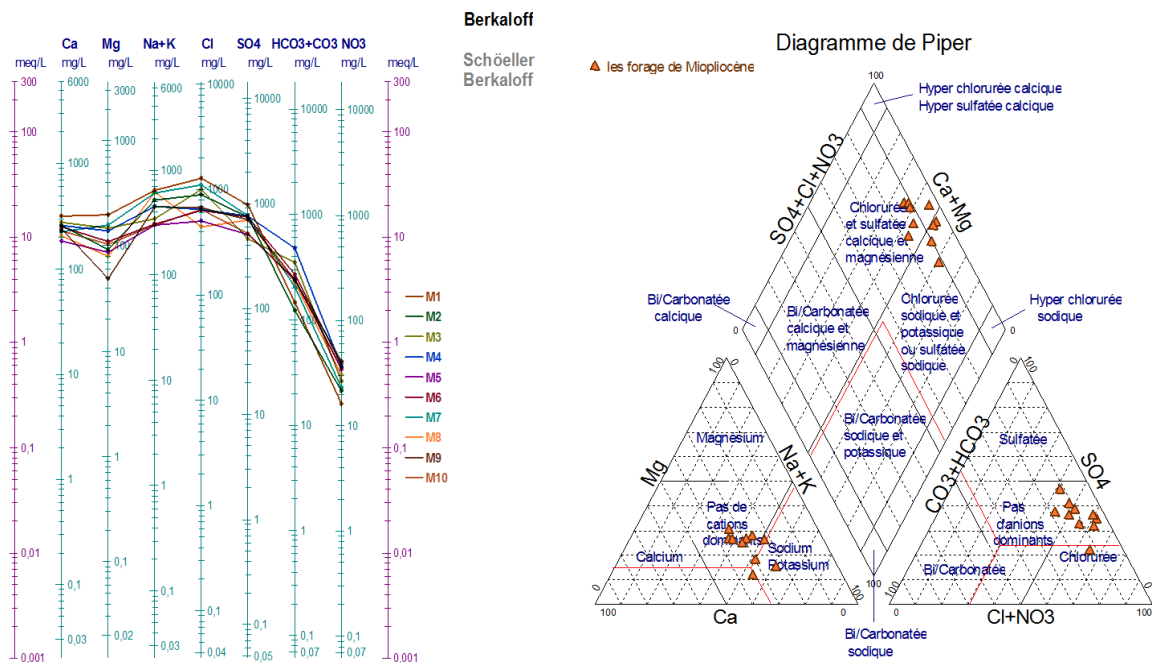


Figure 10 : Diagramme de Piper et Berkaloff des forages de la nappe Moi-pliocène

L'analyse de la figure précédente montre que les eaux de la nappe de moi-pliocène sont divisées en deux groupes : des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes ; et des eaux à tendance chlorurée sodique et potassique .

Les cations dominants sont le calcium et le magnésium, qui seront surpassés par le sodium et le potassium avec le sens de l'écoulement. Les anions dominants sont les chlorures $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ qui change également avec le sens de l'écoulement ; pour laisser place au sulfates $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$

• Représentation du faciès chimique des forages de la nappe Sénonienne :

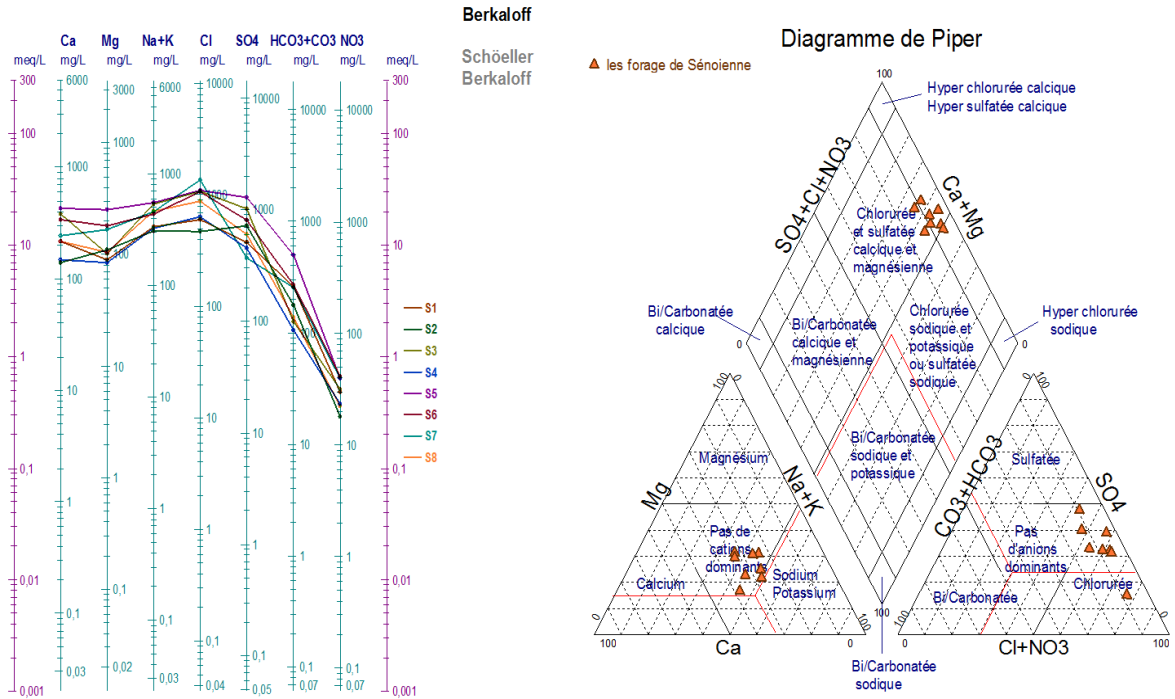


Figure 11: Diagramme de Piper et Berkaloff des forages de sénonien.

- Le faciès chimique des eaux de sénonien est principalement chloruré et sulfaté calcique avec une tendance à devenir chloruré sulfaté et potassique. Les cations dominants sont le calcium (Ca^{+2}) et le magnésium (Mg^{+2}). Les anions dominants sont les chlorures $Cl^- > SO_4^- > HCO_3^-$, avec une tendance sulfatée en aval.

• Représentation du faciès chimique des forages de l'Albien :

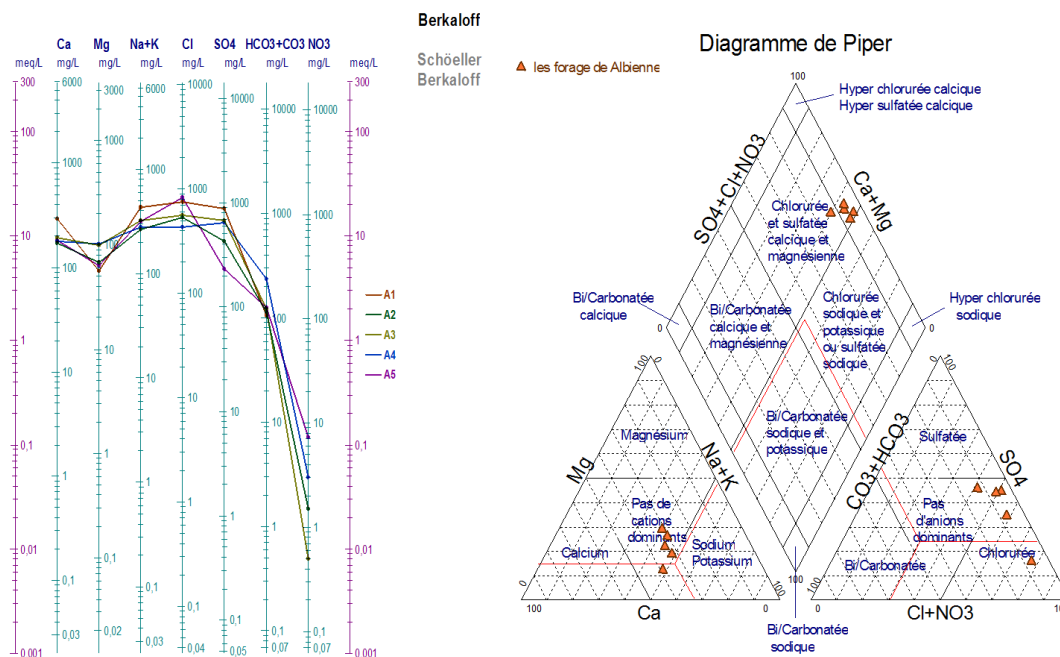


Figure 12 : Diagramme de Piper et Berkaloff des forages de l'Albien.

Présenté sur les graphiques (figure 12), le faciès chimique observé est le chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Les anions dominants sont les chlorures $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ qui seront dominés par les sulfates toujours avec le sens de l'écoulement.

V.4 Aptitude à l'irrigation

Dans la région étudiée, l'irrigation des cultures est assurée par le pompage des eaux souterraines (CI et CT), pour caractériser l'eau d'irrigation, on utilise les valeurs de la conductivité électrique à 25°C et celles du taux d'adsorption du sodium (SAR).

V.4.1 Aptitude à l'irrigation selon le SAR

Selon les valeurs de SAR (Tableau 6) les eaux étudiées appartiennent à la classe S1 (DURAND, 1982). De ce fait, ils pouvant être utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols, Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

Selon la directive de la FAO (1976) l'irrigation par les eaux des deux forages de Moi-pliocène M7 et M2 cause des problèmes graves.

V.4.2. Aptitude à l'irrigation selon la CE à 25°C

D'après **DURAND (1958)**, les eaux peuvent également être classées en fonction de leur conductivité électrique à 25°C. Le tableau ci-après donne les classes de salinité des forages étudiés.

Tableau 9 : La classification des eaux des forages étudiés selon la CE25°C(USDA).

	Les classes selon CE 25°C				
	C1	C2	C3	C4	C5
moi-pliocène	/	/		M2-M10	M1
Sénonien	/	/		S1, S2, S4, S7, S8	S3, S5, S6
Albien	/	/		A1-A5	/

(Source :**Harivandi, 1999**).

A partir de la classification ci-dessus on constate que les eaux étudiées sont sans exception d'une salinité très forte à excessive donc elle est non utilisable pour l'irrigation.

V.4.3 Aptitude à l'irrigation selon SAR et CE à 25°C

La représentation des résultats des analyses de l'eau des forages étudiés sur le diagramme de **RIVERSIDE DE L'USSSL (1954)** figure 13 on peut constater que :

- les eaux de nappe de l'Albien appartiennent à la classe **C4S2** et donc d'une qualité très mauvaise. Ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation des sols légers et bien drainés et pour les plantes résistante, avec nécessité des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
- les eaux de Complexe terminal, distribuées entre les classes **C4S2, C4S3, C5S2 C5S3**, sont de très mauvaise qualité et déconseillées pour l'irrigation sauf dans des conditions exceptionnelles.

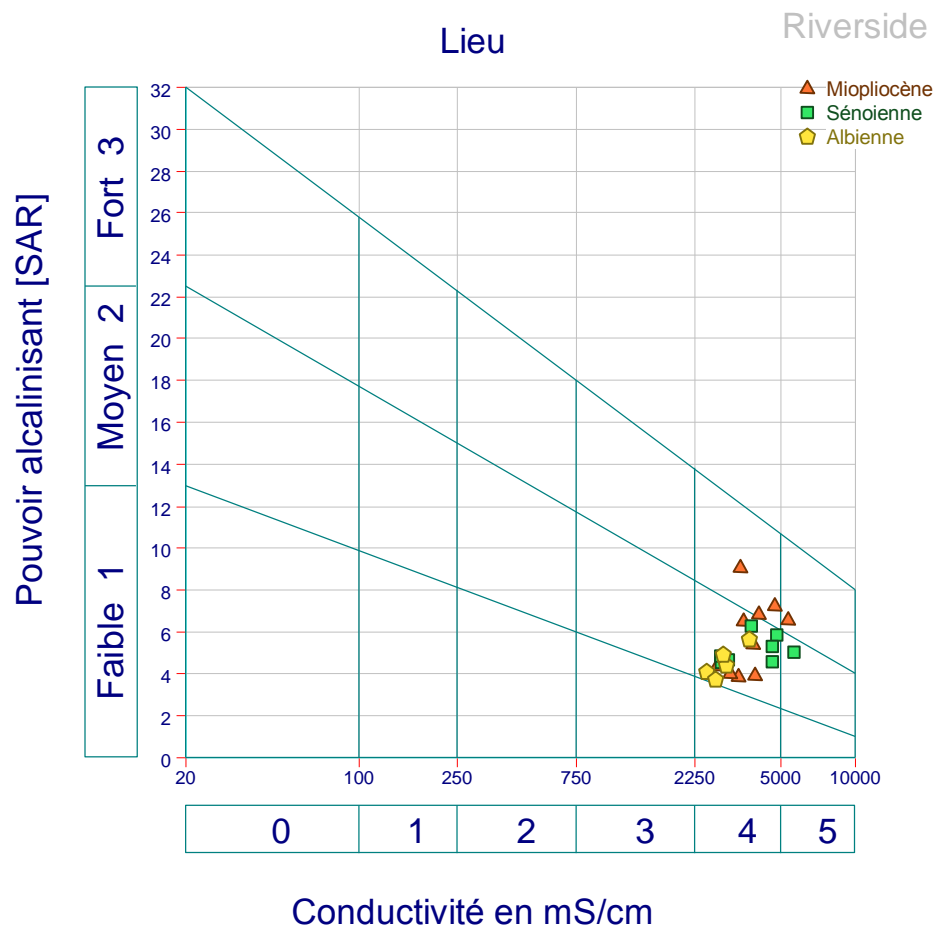


Figure 13 : Diagramme de Riverside pour les forages étudiés

V.5 Conclusion

Les eaux des forages de la région d'étude sont caractérisés par un pH neutre à alcalin et une dominance des chlorures et du calcium et magnésium en amont et par la suite l'apparition des sulfates comme anion dominant et de sodium comme cation dominant en se dirigeant vers l'aval. Les eaux des deux aquifères sont déconseillées pour l'irrigation.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous nous sommes appliqués à définir l'évolution de la qualité physico-chimique des sols de la région de Ouargla, irrigués avec les eaux souterraines de complexe terminale et de continentale intercalaire.

De cette présente étude, nous retiendrons en premier lieu les différentes caractéristiques de la région de Ouargla. En effet cette dernière présente :

Un climat désertique chaud de type Saharien, caractérisé par des précipitations très peu abondantes et irrégulières (cumul interannuel <50 mm), des températures élevées accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes, une faible humidité relative de l'air et une évaporation très importante avoisinant les 3000 mm/an.

La synthèse des travaux pédologiques réalisés, montre que les sols sont légers à prédominance sableuse et à structure particulaire. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles, Car leur rétention en eau est très faible. Ils sont caractérisés par une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération.

L'hydrogéologie de la région montre que le système aquifère renferme trois nappes de typologie différentes : une nappe phréatique à surface libre située dans les formations de quaternaire, et deux nappes profondes captives à semi captives : la nappe de CI contenue dans les formations du crétacé inférieur et la nappe de CT regroupant plusieurs aquifères, logée dans les formations géologiques du sénonien et l'Eocène carbonatés ou du Moi-pliocène sableux.

Une mobilisation accrue des eaux souterraines des deux aquifères profonds et une utilisation des pratiques culturales inadaptées (systèmes d'irrigation de surface, drainage défectueux), a engendré des remontées de la nappe phréatique déjà à fleur de sol. De ce fait, une dégradation de l'environnement hydro-édaphique des palmeraies de la région sous l'effet jumelé de la salinité des eaux d'irrigation et ceux de la nappe superficielle.

L'analyse des caractéristiques physico-chimiques des deux nappes de CT et de celle de CI, montre que les eaux étudiées ont un pH légèrement neutre à alcalin ($\text{pH} > 7$).

Les résultats des eaux des forages de l'albien sont fortement à très fortement salées (Classe c4), avec un faciès dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien ; les anions

dominants sont les chlorures qui seront dominés par les sulfates et les cations dominants sont le calcium et le magnésium qui seront surpassés par le sodium suivant le sens de l'écoulement. Ces eaux présentent un risque d'alcalinisation léger à modéré avec un rapport d'adsorption de sodium ($SAR < 10$). La projection sur le diagramme de Riverside montre que les eaux de l'albien appartiennent à la classe C4S2 et donc d'une qualité très mauvaise. Ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation des sols légers et bien drainés et pour les plantes résistante, avec nécessité des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Les eaux d'irrigation des forages de CT sont excessivement salées, les faciès chimiques dominant sont le chloruré et sulfaté calcique et magnésien ; et des eaux à tendance chlorurée sodique et potassique. Les cations dominants sont le calcium et le magnésium, qui seront surpassés par le sodium et le potassium avec le sens de l'écoulement. L'anion dominant sont les chlorures qui change également avec le sens de l'écoulement ; pour laisser place aux sulfates. Les eaux de Complexe terminal, distribuées entre les classes C4S2, C4S3, C5S2 C5S3, donc ils accusent une très mauvaise qualité et sont déconseillées pour l'irrigation sauf dans des conditions exceptionnelles.

En fin, dans le souci de préserver l'environnement hydro-édaphique de la région de Ouargla il est impératif de prendre les mesures suivantes :

- Utilisation des systèmes d'irrigation économes en eau avec la nécessité d'ajout des doses de lessivage ;
- L'installation des systèmes de drainage pour l'évacuation des eaux excédentaires et des sels en dehors de la zone cultivée ; et garder un niveau de nappe phréatique acceptable ;
- se diriger vers les eaux non conventionnelles (eaux usées épurées) si ces dernières présentent une qualité plus intéressante en matière d'irrigation

Références bibliographique

AGASSI M., SHAINBERG I., MORIN J., 1981.-Effect of electrolyte concentration and soilsodicity on infiltration rate and crust formation. Soil Sci, Soc, Am. J, 45, p848-851. Algérie, p 243.

ARAGUES R., 1983. - The quality and availability of water used in irrigation systems. Proc.17 th coll. Int. Potash Institued Bern, CRIDA, Zaragoza, p 315-323.

ASLOUM H., 1990. - Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes, utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis, p 24-32.

AUBERT G., 1978.- Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.A El-Harrach, Vol VI, N° 1, p195.

AUBERT G., 1983.- Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah, ORSTOM Ser., Péd., Vol. XX N°1, p 73-78.

AYERS R.S., WESTCOT D.W., 1988.-La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, 29 Rév. 1, p165.

AZIB S., 2010.- Gestion des périmètres agricoles au niveau de la zone de mise en valeur de Hassi Ben Abdallah. Mémoire Magistère, Université KasdiMerbah- Ouargla, p 48.

BAISE D., 2000.- Guide des analyses en pédologie. Ed, I.N.R.A, Paris, p257.

Baize D., 1988.-Guide des analyses courantes en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation. INRA, Paris.

Belhadjaissa R., Boutoutaou D., 2017. - Characterization of groundwater in arid zones (case of Ouargla basin). International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, 21-24 April 2017, Beirut Lebanon, univOuargla.

BENAISSA A., 2016.-Impact de la qualité des eaux des forages Albien et Miopliocène sur certains paramètres physico-chimiques du sol dans la zone de Hassi Ben Abdallah (Wilaya de Ouargla). Mémoire de Master, université kasdiMerbah-Ouargla, P 2.

BENMOUAFFEKI Dj., 2011.- Etude de la variabilité spatio-temporelle de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla. Mém, Ing, p 3-31.

Berkal I., 2016.- Dynamique spatiotemporelle de la salinité de sols sableux irrigués en milieu aride, Application à une palmeraie de la cuvette de Ouargla en Algérie. Thèse doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique (ENSA, Alger), P. 26,33.

Besbes M., Horriche J.F., 2007.- Définition d'un réseau de surveillance piezométrique du système aquifère du Sahara septentrional. *Sécheresse*, p 18, 13-22.

Boulaine S., 1957.- Les sols des plaines du Cheliff. Thèse Doc d'Etat Université d'Alger, p 357.

BRADAÏ H., 2017.- Evolution de la qualité géochimique des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation et leur impact sur la dégradation des sols de la plaine du Bas – Chélif. Thèse de doctorat, Univ Hassiba Benbouali de Chlef, p 18-86.

CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982.- Les interactions sol-racine, incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A, Paris, p 325 .

CHAOUCH S., 2006. - Développement agricole durable au Sahara, nouvelles technologies et mutations socio-économiques : Cas de la région de Ouargla. Thèse Doctorat de l'université Aix-Marseille I, p 389.

CHAPMAN D., KIMSTACH V., 1996.- Selection of water quality variables. Water quality assessments, à guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, p 59-126.

CHERBUY B., 1991. - Les sols salés et leur réhabilitation. Cemagref, Rennes, 124 p

CHEVERRY C., 1972. - Exemple d'application des travaux de l'U.S. Salinity Laboratory (1963-1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action d'eaux bicarbonatées. Cah, O.R.S.T.O.M, Sér, Pédol, 10 (2), p 193-203.

CLEMENT R., GALAND A., 1979.- Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression, Ed. Eyrolles 1979, p 227.

CÔTE M., 1998.- Des oasis malades de trop d'eau? *Sécheresse*, 9 (2) ,p 123 - 130.

DADDI BOUHOUN M., 2010.- Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Thèse de Doctorat, Université BADJI Mokhtar, Annaba. P 365.

Daoud Y., 1993.- Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélif-le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse doctorat. P

DAOUD Y., CHEVERRY C., ROBERT M., 1993.- Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols salés des plaines du Cheliff (Algérie). *Sci, Sol*, 31(4), p 281-293.

DAOUD Y., HALITIM A., 1994.- Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse*. Vol.5. N°(3), P151-160.

DAOUD Y., HALITIM O., 1994.- Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse, V 5. N° 3, p151 – 160.

DAOUD Y., ROBERT M., 1989.- Influence de la nature de l'anion, et du pH sur la conductivité hydraulique et la rétention en eau des pâtes de Kaolinite sodique. Agronomie, 9, p 629-633.

DARAB K., 1965.- The chemical and physico-chemical effects of sodium carbonate in soils. Agrokémia és Talajtan, p 14,175-181.

DDER Med A., 2006. - Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla. Mém., Mag., I.N.A. El Harrach,

DERDOUR H., 1981.- Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols au compactage. Thèse Magister, I.N.A, Alger, p 146.

DERWICH E., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O., et BELGHITY D., 2010. - Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa Confluence avec oued Fès. *In Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, P101-112.

DJERBI M., 1994.- Précis de phéniciculture. F.A.O, Rome, p 192.

Djili K., 2000.- Contribution a la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Création d'une banque des données informatisées et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la valorisation des données pédologiques. . Science du sol, INA,

DUBOST D., 1991.- Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doctorat, Univ-François Rabelais, Tours, p 546.

Dubost D., 1992.- Aridité, agriculture et développement, le cas des oasis algériennes.

DUBOST D., HADDAD D., KAFI A., MAANE H., 1983.-Rapport préliminaire sur les essais d'irrigation localisée du palmier dattier à la station expérimentale de Sidi Mahdi (Touggourt). Bull, Agr, Saha, 5, p 26-60.

DURAND J.H., 1958.- Les sols irrigables. Etude pédologique, Impr, Imbert, Alger,p191.

DURAND J.H., 1982. Les sols irrigables : étude pédologique. p399

DUTIL P., 1971.- Contribution à l'étude des sols et des paléosols de Sahara. Thésedoctorat. Univ.

EL-SWAIFY S.A., 1973.-Structural changes in Tropical soils due to anions in irrigation water. SoilSci, 115 (1), p 64 -72.

ENAGEO, 1990. - Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla. ENAGEO, Ouargla, P 35.

ESSINGTON M.E., 2004.-Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA, p553.

F. A. O, 1988.- Salt-affected soils and their management, Bulletin No. 39. FAO, Rome.

F.A.O., 2003.-L'irrigation avec des eaux traitées- manuel d'utilisation

F.A.O., 2005.- Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, p 61.

F.A.O.,2006.-Guidelines for soil description Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FLORET C., PONTANIER R., 1984.- Aridité climatique, aridité édaphique, Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques, P 265 – 275.

FRANÇOIS R., 2008.- Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Edition DUNOD, Paris, p1152.

GOLDBERG S., SUAREZ D.L., GLAUBIG R.A., 1988.- Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. Soil Sci, 146 (5), p 317-325.

Guendouz A., Reghis Z., and Moulla A., 1992.- Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, p 30-60.

HALILAT M.T., 1993.- Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (Région de Ouargla). Mémoire Magister, Univ -Batna, p 132.

HAMDI AISSA B., 2001.- Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla). Approches micro morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale, Thèse doct, I.N.A-P.G, Paris, p310.

Hamdi-Aïssa B et Girard M, 2000.- Utilisation de la télédétection en régions sahariennes,pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. Sécheresse P 11, 179-188.

HARIVANDI A., (1999): Interpreting turfgrass irrigation Water test result. Water journal of California, Publication 8009 University of California, Division of agriculture and natural resources. 9p.

HISCOCK K.M., LLOYD J.W., LERNER D.N., 1991.- Review of natural and artificial de nitrification of groundwater, Wat. Res, p 9, 25.

HORNEY R.D., TAYLOR B., MUNK D.S., ROBERTS B.A., LESCH S.M., PLANT R.E., 2005.- Development of practical site-specific management methods for reclaiming saltaffected soil. Computers and Electronics in Agriculture, 46, p 379–397.

<http://www.technique-ingenieur.fr>.

<http://www.webreview.dz/IMG/pdf/9-Tabouche.pdf>.

ISRAELSEN O.W, HANSEN V, 1965.-Traité pratique de l'irrigation. Paris / New-York.

JOHNSTON M.A., SAVAGE M.J., MOOLMAN J.H., DU PLESSIS H.M., 1997.- Evaluation of calibration methods for interpreting soil salinity from electromagnetic induction measurements. SoilSci. Soc. Am. J., 61, 1627-1633.

KHADRAOUI A., 2005.-Eaux et sols en Algérie: gestion et impact sur l'environnement. Recueil de communications, Ouargla.

KHADRAOUI A., 2007.- Eau et impact environnementale dans le Sahara algérien, Définition- évaluation et perspectives de développement. Ed, ISBN, p 299.

Kouzmine Y., 2003.- L'espace saharien algérien, Dynamiques démographiques et migratoires.U.F.R Sciences du Langage, de l'Homme et de la Société. Institut de Géographie,Laboratoire THEMA. Université de Franche-Comté Bourgogne,P. 202.

LONGENECKER D.E., 1959.- Influence of soluble anions on some physical and physicochemical properties of soils. SoilSci, 88, p 185-191.

Luis Santos P., Pedro Leao d., S., 2006 - Irrigation de surface. traité d'irrigation, coordonnateur, jean tierce lin, p 450-459

MAHDI H., 2008.- Cartographie de la salinité d'un sol sableux par la conductivité électromagnétique. Mém. Ing. INA, EL Harrach, p 104.

MALLOHI N., 1982.- Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matière organique. Thèse Doctorat. Etat, I.N.P.L, Nancy, p 127.

MALLOHI N., 1989.- Etude de la dynamique de la matière organique dans les sols affectés par la salinité. Tropicultura, 7 (3), p 90-97.

MALLOHI N., JACQUIN F., 1988.- Influence des ions sodium sur les mécanismes d'humification. *Sci. Sol*, 26 (4), p 215-222.

MC NEILL J.D., 1980.-Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction *Tec et Doc*, 275p.

MCNEAL B.L., 1968.-Prediction of the effects of mixed-salt solutions on soil hydraulicconductivity. *Soil Sci, Soc, Am, Proc*, 32, p 190-193.

MCNEAL B.L., COLEMAN N.T., 1966.- Effect of solution composition on soil hydraulicconductivity. *SoilSci, Soc, Am, Proc*, 30, p 308-312.

MERMOUD A., 2001.- Cours de physique du sol, Maitrise de la salinité du sol. Version provisoire, Ecole Fédérale de Lausanne, p14.

MermoudA, 2006.- Cours physique du sol, Maitrise de la salinité des sols, p 1-14.

MIHAI GH.I., DINCUI., 1976.-Influence des travaux d'amélioration des caractères des sols à excès de sels solubles. *Ann., I.N.A. EL HARRACH, Vol.1, Alger*, p 195-215.

MUNIER P., 1974.- Le problème de l'origine du palmier dattier et l'Atlantide. *Fruits*, 29, p 235-240.

NEZLI I.E., ACHOUR S., DJABRI L., 2007.- Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). *Larhyss Journal*, N° 6, p 121-134.

Nezli, I.E, 2009.- Approche hydrogéochimique a l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Hydraulique, Université Mohamed Kheider – Biskra, Algérie*, p 117.

O.N.A., 2004.- Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique, *ONA, Ouargla*, P 110.

O.S.S., 2008.- Système aquifère du Sahara septentrional (Algérie, Tunisie, Libye), gestion commune d'un bassin transfrontalier. In : *Synthèse (Ed.), OSS, Tunis*, p 48.

ONM., 2020.- Officie National de la Météorologie, Ouargla. Données climatiques de la région de Ouargla (Algérie).

OuldBabassy L., et Besbes M., 2006.-Recharge des aquiferes sahariens durant l'Holocene et recharge actuelle. Etude sur modèle numérique, *AquifersSystems Management, Dijon, France*, p 16.

OULED SIDI BELA M., 2001.- Dynamique de sels solubles dans un sol irrigué et leurs impacts sur la composition minérale du palmier dattier dans la région de Ouargla, Mém, Ing, ITAS, Ouargla, p 85.

PUPISKY H., SHAINBERG I., 1979.- Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. SoilSci, Soc, Am, J, 43, p 429-433.

REZAGUI D., 2017.- Etude de lessivage des sols salés dans la cuvette de Ouargla, Cas de l'exploitation agricole de l'université. Thèse de Doctorat, univKasdiMerbah- Ouargla, p 82.

ROBERT M., 1992.- Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. Cah. Agr, 1, p 20-34.

Rouillois-Brigol M., 1975.- Le pays de Ouargla (Sahara Algérien), Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Département de géographie Université de Paris-Sorbonne, Paris, P389.

SAKER M.L., 2000.- Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, p 335.

SALHI A., 2017.- Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis de Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Thèse de Doctorat en Géographie à l'université Aix-Marseille, p 406.

SEDAT, 2008. - Etude de la protection des Berges des émissaires de la Sebkhha de Bamendil et du Chott, phase 01, Etude préliminaire, p10-11.

SEDRATI N., 2011.- Origine et caractéristiques physique-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud Est Algérien. Thèse de doctorat, UnivBadji Mokhtar –Annaba, p1-138.

SERVANT J. M., 1975.- Etude pédologique des sols halomorphes. Thèse de Doctorat, Uni-Montpellier, p194.

SERVANT J.M., 1978.- La salinité dans le sol et les eaux caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage. Bull, B.R.G.M, Sect, III, 2, p 123-142.

SLIMANI R., 2017.- Etude qualitative des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité environnementale d'un aquifère au climat aride méditerranéen : cas de la cuvette de Ouargla Algérie, Thèse de Doctorat, UniversitékasdiMebahOaurgla, p 132.

Smedema K., Rycroft S., 1983. -“land drainage”.abtsfordbookDOGAR M A., 1980. Méthodes d'analyses des sols salés alcalins, Polycopie, I.N.E.S.A., Batna, p 33.

STEWART P., 1969.- Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique, quelques réflexions. Bull, Soc, Hist, Nat, Afr. Nord, 59, P 23-36.

SZABOLCS I., 1986.-Agronomical and ecological impact of irrigation on soil and water salinity. Advances in Soil Science, Volume 4, p 189-218.

Tabouche N. et Achour, S., 2004.- Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. Larhyss (Université de Biskra), P 3, 99-113.

TERCHI S.,2014.- Etude De L'impact De La Qualite Des Eaux D'irrigation Sur La Fertilité Du Sol, La Plante Et Le Rendement Des Systemes D'irrigation, Master En Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique -Arbaoui Abdellah-p 55.

U.S.S.L, 1954. - Diagnostic and improvement of saline and alckalisoils, U.S.A.D, Handbook. P 60, 160.

UNESCO, 1972. - Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. In: UNESCO (Ed.), Conclusion et recommandation UNESCO, Algérie, Tunisie, p 116.

YOUSAF M., ALI O.M, RHOADES J.D, 1987. - Clay dispersion and hydraulic conductivity of some salt affected arid land soils. Soil Sci, Soc, Am, J, 51, p 905-907.

ZARTMAN R. E., GICHURU M., 1984. - Saline irrigation water, effects on soil chemical and physical properties. SoilSci., 136 (6) : 417-422.

Annexe

Tableau 1 :Données climatiques de la région d'Ouargla. Période 1996-2018(ONM, 2018)

Paramètre	Températures			Humidité Relative (%)	Précipitation (mm)	Vent Max (Km/h)	Evaporation (mm)	Insolation (heure)
	T min °c	T moy °c	T max °c					
Janvier	4,7	12,0	19,3	59,1	7,0	48,1	95,7	235,0
Février	6,4	13,8	21,2	51,6	2,4	51,7	129,4	238,7
Mars	10,3	18,1	26,0	44,2	4,2	55,1	202,3	272,9
Avril	14,9	22,8	30,8	37,9	1,5	66,0	261,9	281,9
Mai	20,0	27,9	35,7	33,7	3,4	63,4	337,2	297,5
Juin	24,6	32,6	40,5	28,5	0,4	51,1	397,4	272,8
Juillet	27,8	35,9	43,9	25,2	0,2	57,5	459,0	314,2
Août	27,4	35,1	42,8	29,0	1,0	54,3	418,8	315,0
Septembre	23,3	30,6	38,0	38,7	3,7	54,4	301,5	253,2
Octobre	17,1	24,6	32,1	46,0	6,0	47,7	223,2	252,0
Novembre	10,1	17,2	24,4	54,6	5,0	45,8	131,8	231,5
Décembre	5,8	12,7	19,6	60,1	2,6	41,6	93,5	207,0
				42,4	37.3*	53,1	3051.7*	264,3

Tableau2 : les analyses chimiques des eaux des forages étudiés

		A/N	C en (mg/l)	C en (méq/l)	Σ r	E(%)	SAR	r%	
M1	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	316,60	15,83	59,32	0,5365285	9,18933236	26,6845171
		Mg ⁺⁺	12,00	196,87	16,41	59,32			27,6564958
		Na ⁺	23,00	600,00	26,09	59,32			43,9766631
		K ⁺	39,00	39,00	1,00	59,32			1,68577208
	les anions	Cl ⁻	35,00	1291,10	36,89	59,96			61,5219967
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	980,00	20,42	59,96			34,0504781
		HCO ₃ ⁻	61,00	146,00	2,39	59,96			3,99173219
		NO ₃ ⁻	62,00	16,20	0,26	59,96			0,43577439
M2	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	256,5	12,83	42,62	1,10897771	9,59786567	30,0922561
		Mg ⁺⁺	12,00	92,35	7,70	42,62			18,0568591
		Na ⁺	23,00	500	21,74	42,62			51,0068757
		K ⁺	39,00	14	0,36	42,62			0,84226738
	les anions	Cl ⁻	35,00	899,79	25,71	43,58			58,9965777
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	745	15,52	43,58			35,6145786
		HCO ₃ ⁻	61,00	122	2,00	43,58			4,58926113
		NO ₃ ⁻	62,00	21,5	0,35	43,58			0,79571866
M3	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	276,5	13,83	40,75	4,54906904	5,45560738	33,9268746
		Mg ⁺⁺	12,00	148,23	12,35	40,75			30,3128834
		Na ⁺	23,00	321	13,96	40,75			34,2491331
		K ⁺	39,00	24	0,62	40,75			1,5101463
	les anions	Cl ⁻	35,00	1006,8	28,77	44,63			64,4477186
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	463,4	9,65	44,63			21,6315632
		HCO ₃ ⁻	61,00	353	5,79	44,63			12,9663573
		NO ₃ ⁻	62,00	26,5	0,43	44,63			0,95769517
M4	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	256,5	12,83	43,63	0,85607756	7,57469461	29,3967614
		Mg ⁺⁺	12,00	138,51	11,54	43,63			26,4554206
		Na ⁺	23,00	430	18,70	43,63			42,8504519
		K ⁺	39,00	22	0,56	43,63			1,29292359
	les anions	Cl ⁻	35,00	652,33	18,64	42,89			43,4560323
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	762,19	15,88	42,89			37,0225188
		HCO ₃ ⁻	61,00	475	7,79	42,89			18,1554797
		NO ₃ ⁻	62,00	36,3	0,59	42,89			1,36508247
M5	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	184,3	9,22	29,28	0,45053844	6,10013232	31,471006
		Mg ⁺⁺	12,00	87,48	7,29	29,28			24,897541
		Na ⁺	23,00	285	12,39	29,28			42,3200285
		K ⁺	39,00	15	0,38	29,28			1,31357713
	les anions	Cl ⁻	35,00	504,85	14,42	29,55			48,8213619
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	508,26	10,59	29,55			35,8333333
		HCO ₃ ⁻	61,00	243	3,98	29,55			13,4809021
		NO ₃ ⁻	62,00	34	0,55	29,55			1,8557939

Suite de Tableau 2

M6	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	250	12,50	34,58	5,85426675	5,38227269	36,1459766
		Mg ⁺⁺	12,00	109,8	9,15	34,58			26,4603817
		Na ⁺	23,00	288	12,52	34,58			36,2109287
		K ⁺	39,00	16	0,41	34,58			1,18639795
	les anions	Cl ⁻	35,00	635,31	18,15	38,88			46,6858137
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	752,72	15,68	38,88			40,3335048
		HCO ₃ ⁻	61,00	270	4,43	38,88			11,3843352
		NO ₃ ⁻	62,00	38,5	0,62	38,88			1,59713925
M7	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	227,6	11,38	50,49	1,09263127	10,1722524	22,5381351
		Mg ⁺⁺	12,00	158,43	13,20	50,49			26,1487423
		Na ⁺	23,00	580	25,22	50,49			49,9453185
		K ⁺	39,00	27	0,69	50,49			1,37117784
	les anions	Cl ⁻	35,00	1113,2	31,81	51,61			61,6323788
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	772,06	16,08	51,61			31,1656333
		HCO ₃ ⁻	61,00	204	3,34	51,61			6,47987269
		NO ₃ ⁻	62,00	23	0,37	51,61			0,71879043
M8	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	206,8	10,34	30,59	1,13746388	6,43587471	33,8029752
		Mg ⁺⁺	12,00	79,704	6,64	30,59			21,7129781
		Na ⁺	23,00	305	13,26	30,59			43,3503418
		K ⁺	39,00	13,5	0,35	30,59			1,13159152
	les anions	Cl ⁻	35,00	442,45	12,64	31,29			40,3958142
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	693,87	14,46	31,29			46,1988655
		HCO ₃ ⁻	61,00	226	3,70	31,29			11,8405818
		NO ₃ ⁻	62,00	30,5	0,49	31,29			1,57218116
M9	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	238,8	11,94	35,06	4,87734883	9,13364001	34,0542961
		Mg ⁺⁺	12,00	49,5	4,13	35,06			11,7655448
		Na ⁺	23,00	421	18,30	35,06			52,2086361
		K ⁺	39,00	27	0,69	35,06			1,97463689
	les anions	Cl ⁻	35,00	677,15	19,35	38,66			50,0503562
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	705,8	14,70	38,66			38,0345749
		HCO ₃ ⁻	61,00	241	3,95	38,66			10,219399
		NO ₃ ⁻	62,00	40,5	0,65	38,66			1,68966841
M10	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	229,2	11,46	33,04	0,20202703	5,62100835	34,6820236
		Mg ⁺⁺	12,00	104	8,67	33,04			26,2308313
		Na ⁺	23,00	290	12,61	33,04			38,1619118
		K ⁺	39,00	12	0,31	33,04			0,93127212
	les anions	Cl ⁻	35,00	648,79	18,54	33,17			55,8780546
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	516,08	10,75	33,17			32,4138278
		HCO ₃ ⁻	61,00	237	3,89	33,17			11,7131321
		NO ₃ ⁻	62,00	36	0,58	33,17			1,750513

Suite de Tableau 2

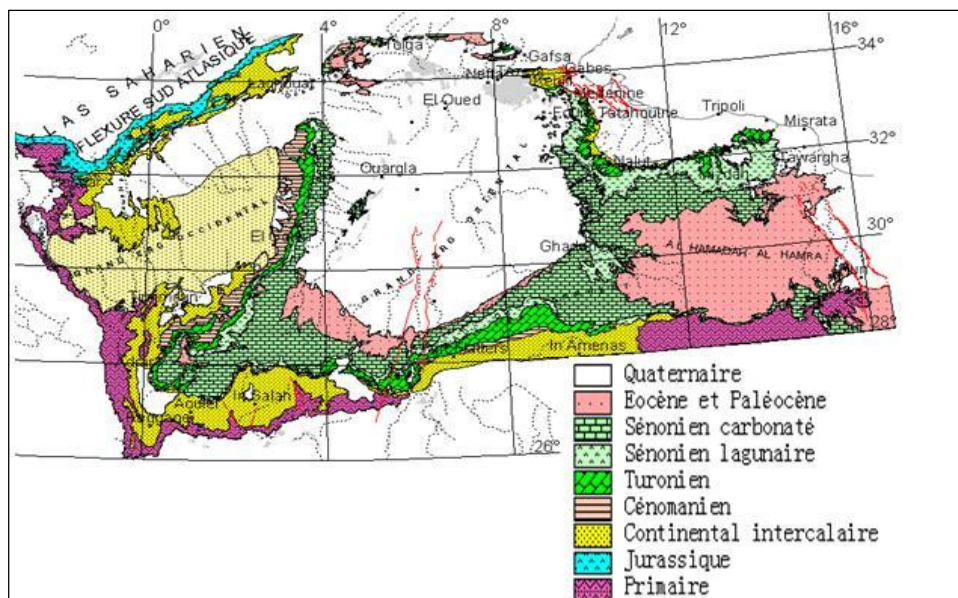
S1	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	214,83	10,74	32,63	0,01479938	6,56447357	32,9197008
		Mg ⁺⁺	12,00	89,424	7,45	32,63			22,8378793
		Na ⁺	23,00	322	14,00	32,63			42,9053019
		K ⁺	39,00	17	0,44	32,63			1,33587936
	les anions	Cl ⁻	35,00	604,11	17,26	32,64			52,881329
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	511,96	10,67	32,64			32,6771855
		HCO ₃ ⁻	61,00	258	4,23	32,64			12,9580521
		NO ₃ ⁻	62,00	30,01	0,48	32,64			1,48294197
S2	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	140	7,00	29,39	3,62048022	6,37990091	23,8174715
		Mg ⁺⁺	12,00	110	9,17	29,39			31,1897471
		Na ⁺	23,00	295	12,83	29,39			43,64099
		K ⁺	39,00	15,5	0,40	29,39			1,35228274
	les anions	Cl ⁻	35,00	470	13,43	31,60			42,4980874
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	719	14,98	31,6			47,4024262
		HCO ₃ ⁻	61,00	176,9	2,90	31,6			9,17721519
		NO ₃ ⁻	62,00	18	0,29	31,6			0,91874234
S3	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	384,76	19,24	50,56	4,18575078	8,25458897	38,0505541
		Mg ⁺⁺	12,00	102,06	8,51	50,56			16,8215981
		Na ⁺	23,00	500	21,74	50,56			42,9966979
		K ⁺	39,00	42	1,08	50,56			2,12999026
	les anions	Cl ⁻	35,00	1090,6	31,16	54,98			56,6776923
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	1020	21,25	54,98			38,6504183
		HCO ₃ ⁻	61,00	125,5	2,06	54,98			3,74204629
		NO ₃ ⁻	62,00	31,63	0,51	54,98			0,9279034
S4	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	148,29	7,41	28,29	2,75551431	6,85010118	26,2089991
		Mg ⁺⁺	12,00	85,06	7,09	28,29			25,055968
		Na ⁺	23,00	300	13,04	28,29			46,1063212
		K ⁺	39,00	29	0,74	28,29			2,62845438
	les anions	Cl ⁻	35,00	639,85	18,28	29,89			61,1557123
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	456	9,50	29,89			31,7832051
		HCO ₃ ⁻	61,00	105,7	1,73	29,89			5,79721273
		NO ₃ ⁻	62,00	23,5	0,38	29,89			1,26809053
S5	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	432,86	21,64	66,53	0,45675876	7,07920679	32,5332709
		Mg ⁺⁺	12,00	252,72	21,06	66,53			31,6548925
		Na ⁺	23,00	532	23,13	66,53			34,7669244
		K ⁺	39,00	27	0,69	66,53			1,04059476
	les anions	Cl ⁻	35,00	1106	31,60	67,14			47,0654457
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	1281,9	26,71	67,14			39,7769586
		HCO ₃ ⁻	61,00	500	8,20	67,14			12,2084023
		NO ₃ ⁻	62,00	39,53	0,64	67,14			0,9496286

Suite de Tableau 2

S6	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	340,68	17,03	51,02	18,2658131	6,43396321	33,3863632
		Mg ⁺⁺	12,00	182,25	15,19	51,02			29,7677381
		Na ⁺	23,00	420	18,26	51,02			35,7915907
		K ⁺	39,00	21	0,54	51,02			1,05539306
	les anions	Cl ⁻	35,00	1057	30,20	35,26			85,6489345
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	804,58	16,76	35,26			47,5385234
		HCO ₃ ⁻	61,00	268	4,39	35,26			12,4601322
		NO ₃ ⁻	62,00	41,34	0,67	35,26			1,89102154
S7	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	242,08	12,10	45,79	6,05653973	7,46676522	26,4318671
		Mg ⁺⁺	12,00	169,12	14,09	45,79			30,7781903
		Na ⁺	23,00	439,5	19,11	45,79			41,7311545
		K ⁺	39,00	19	0,49	45,79			1,06394297
	les anions	Cl ⁻	35,00	1372	39,20	51,69			75,8306053
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	369,98	7,71	51,69			14,911814
		HCO ₃ ⁻	61,00	253	4,15	51,69			8,02387499
		NO ₃ ⁻	62,00	39,6	0,64	51,69			1,23565424
S8	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	216,43	10,82	39,45	1,02119207	8,85433888	27,4275474
		Mg ⁺⁺	12,00	104,51	8,71	39,45			22,0764681
		Na ⁺	23,00	450	19,57	39,45			49,5949744
		K ⁺	39,00	14	0,36	39,45			0,90994768
	les anions	Cl ⁻	35,00	879,8	25,14	40,26			62,430762
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	600	12,50	40,26			31,0481868
		HCO ₃ ⁻	61,00	138,3	2,27	40,26			5,6314285
		NO ₃ ⁻	62,00	22,3	0,36	40,26			0,89338654
A1	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	292,58	14,63	37,47	9,14000584	7,92001598	39,0382438
		Mg ⁺⁺	12,00	55,9	4,66	37,47			12,432168
		Na ⁺	23,00	400	17,39	34,47			50,4534504
		K ⁺	39,00	31	0,79	34,47			2,30598142
	les anions	Cl ⁻	35,00	746,86	21,34	41,40			51,5369371
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	880	18,33	41,4			44,2834138
		HCO ₃ ⁻	61,00	105,7	1,73	41,4			4,18547557
		NO ₃ ⁻	62,00	0	0,00	41,4			0
A2	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	172,34	8,62	25,64	1,04843219	5,75120675	33,6016447
		Mg ⁺⁺	12,00	68,05	5,67	25,64			22,1171347
		Na ⁺	23,00	250	10,87	25,64			42,3930001
		K ⁺	39,00	19	0,49	25,64			1,900076
	les anions	Cl ⁻	35,00	537,02	15,34	26,18			58,5999837
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	430	8,96	26,18			34,2182327
		HCO ₃ ⁻	61,00	113,3	1,86	26,18			7,09464114
		NO ₃ ⁻	62,00	1,5	0,02	26,18			0,09241233

Suite de Tableau 2

A3	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	192,38	9,62	31,61	0,71745105	6,16191982	30,4324863
		Mg ⁺⁺	12,00	99,65	8,30	31,61			26,2706949
		Na ⁺	23,00	300	13,04	31,61			41,2637718
		K ⁺	39,00	25	0,64	31,61			2,02792041
	les anions	Cl ⁻	35,00	559,87	16,00	32,07			49,8841813
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	675	14,06	32,07			43,849392
		HCO ₃ ⁻	61,00	122	2,00	32,07			6,23635797
		NO ₃ ⁻	62,00	0,5	0,01	32,07			0,0251466
A4	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	180	9,00	29,15	0,76863918	5,191704	30,8785055
		Mg ⁺⁺	12,00	102,4	8,53	29,15			29,2738708
		Na ⁺	23,00	250	10,87	29,15			37,2883884
		K ⁺	39,00	29	0,74	29,15			2,55090821
	les anions	Cl ⁻	35,00	430	12,29	29,60			41,5035653
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	644	13,42	29,6			45,3265766
		HCO ₃ ⁻	61,00	234,9	3,85	29,6			13,0095259
		NO ₃ ⁻	62,00	3	0,05	29,6			0,16346992
A5	les cations	Ca ⁺⁺	20,00	180,36	9,02	27,79	5,04108177	6,90241437	32,4518646
		Mg ⁺⁺	12,00	63,19	5,27	27,79			18,9486626
		Na ⁺	23,00	300	13,04	27,79			46,93587
		K ⁺	39,00	18	0,46	27,79			1,66080771
	les anions	Cl ⁻	35,00	830,28	23,72	30,74			77,1692996
		SO ₄ ⁻⁻	48,00	232	4,83	30,74			15,7232704
		HCO ₃ ⁻	61,00	126,1	2,07	30,74			6,72483121
		NO ₃ ⁻	62,00	7,3	0,12	30,74			0,38302516



Figuer1 : Extrait de la carte géologique du Sahara (Nezli, 2009)

Résumé

La région de Ouargla a connue ces dernières décennies une mise en valeur intense des terres. Et pour réussir cette initiative, le recours à l'irrigation est inévitable, de ce fait, les particuliers et les pouvoirs publics ont augmenté le nombre de forages exploitants les aquifères de (CT, CI). L'objectif de ce travail est de caractériser la qualité physico-chimique des eaux des deux aquifères et d'évaluer leur aptitude à l'irrigation, selon des normes standards. L'analyse des caractéristiques physico-chimiques des deux nappes de CT et de celle de CI, montre que les eaux étudiés ont un pH légèrement neutre à alcalin ($pH > 7$). La grande partie des forages présentent un faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien, les anions dominants sont les chlorures qui seront dominés par les sulfates et les cations dominants sont le calcium et le magnésium, qui seront surpassés par le sodium et le potassium avec le sens de l'écoulement. Les eaux étudiés ne présentent pas de danger d'alcalinisation vis-à-vis le SAR ($SAR < 10$), en revanche, leur projection sur le diagramme de Riverside révèle que : les eaux de l'albien appartiennent à la classe C4S2 et donc d'une qualité très mauvaise ; Ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation, après refroidissement, des sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes, avec nécessité des doses de lessivage et/ou apport de gypse. Les eaux de CT sont distribuées entre les classes C4S2, C4S3, C5S2 et C5S3, donc de très mauvaise qualité et déconseillées pour l'irrigation sauf dans des conditions exceptionnelles.

Mots clés : Ouargla, irrigation, eau souterraine, CT, CI, salinité.

Characterization of irrigation water and its influence on soil salinity in the Ouargla region

Abstract

Region of Ouargla has experienced intense land development in recent decades. And to succeed in this initiative, recourse to irrigation is inevitable; therefore individuals and public authorities have increased the number of boreholes exploiting the aquifers of (CT, CI). The objective of this work is to characterize the physico-chemical quality of the waters of the two aquifers and to assess their suitability for irrigation, according to standard standards. The analysis of the physico-chemical characteristics of the two layers of CT and that of CI, shows that the waters studied have a slightly neutral to alkaline pH ($pH > 7$). Most of the boreholes present a chemical facies chlorinated and sulphated calcium and magnesium, the dominant anions are the chlorides, which will be dominated by the sulphates, and the dominant cations are calcium and magnesium, which will be surpassed by sodium and potassium with the direction of flow. The waters studied do not present any danger of alkalinization with respect to SAR ($SAR < 10$), on the other hand, their projection on the Riverside diagram reveals that: the waters of the albian belong to the class C4S2 and therefore of very poor quality; These waters can be used for irrigation, after cooling, for light, well-drained soils and for resistant plants, with the need for leaching doses and / or adding gypsum. CT water is distributed between classes C4S2, C4S3, C5S2 and C5S3, therefore of very poor quality and not recommended for irrigation except in exceptional conditions.

Key words: Ouargla, irrigation, groundwater, CT, CI, salinity.

دراسة خصائص مياه الري وتأثيرها على ملوحة التربة بمنطقة ورقلة

ملخص:

شهدت منطقة ورقلة تطوراً مكثفاً في الأراضي الزراعية في العقود الأخيرة. ولتحقيق النجاح في هذه المبادرة، فإن اللجوء إلى الري أمر لا مفر منه، وبالتالي فقد زاد الأفراد والسلطات العامة من عدد الآبار التي تستغل طبقات المياه الجوفية (CT, CI). الهدف من هذا العمل هو وصف الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه الخزانين وتقييم مدى ملاءمتهما للري، وفقاً للمعايير القياسية. يوضح تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لطبقتين من CT و CI أن المياه المدروسة لها درجة حموضة محايدة إلى قلوية ($pH > 10$) تحتوي معظم الآبار على مادة كيميائية من الكلور وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم، والأنيونات السائدة هي الكلوريدات تليها الكبريتات والكاتيونات السائدة هي الكالسيوم والمغنيسيوم، والتي سيتم تجاوزها بالصوديوم والبوتاسيوم مع اتجاه تدفق. لا تشكل المياه المدروسة أي خطر قلوية فيما يتعلق بـ (SAR < 10)، من ناحية أخرى، يكشف إسقاطها على مخطط ريفرسايد أن: مياه الألبان تنتمي إلى الفئة C4S2 وبالتالي ذات نوعية رديئة للغاية؛ يمكن استخدام هذه المياه للري، بعد التبريد، للتربة الخفيفة جيدة الصرف والنباتات المقاومة، مع الحاجة إلى جرعات الترشيح و / أو إضافة الجبس. يتم توزيع المياه الميوليبوسان و السينوئيان بين الفئات C4S2 و C4S3 و C5S2 و C5S3، وبالتالي فهي ذات جودة رديئة للغاية ولا يوصى بها للري إلا في ظروف استثنائية

الكلمات المفتاحية: ورقلة، ري، مياه جوفية، CT، CI، ملوحة.