

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERCITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département agronomique



Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme de MASTER Académique

Domaine : Science de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Protection de la ressource sol-eau et environnement
Présenté par : - CHETIOUI Saoussen
- ZEHRI Nadjet

Thème

Essai de traitement chimique des eaux d'irrigation par l'acide sulfurique le cas des eaux de l'exploitation agricole de l'université Kasdi Merbah Ouargla.

Soutenu publiquement le : 04/07/2019

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. KARABI Mokhtar	M.C.B (U.K. M., Ouargla)
Examineur :	Mme. LAMRANI Cherifa.	M.A.A (U.K. M., Ouargla)
Encadreur :	Mr. BELAROUSSI Med. E. H	M.C.B (U.K. M., Ouargla)
Co-encadreur :	Mr. IDDER. Abdelhak.	M.A.A (U.K. M., Ouargla)

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **ALLAH**, le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la volonté pour mener à terme ce travail.*

*Nous remercions notre promoteur M. **BELAROUSSI Mohamed. Elhafdh**,
pour avoir proposé et dirigé ce travail.*

*Nous remercions également notre Co promoteur M. **IDDER. Abdelhak**
, à l'Université Kasdi Merbah-Ouargla*

*Nous remercions M. **KARABI Mokhtar**, Maître de Conférences B à
l'Université Kasdi
Merbah - Ouargla, pour l'honneur qu'il nous a fait de présider notre jury et
d'évaluer ce travail.*

*Merci à M^{me}. **LAMRANI Cherifa**, Maître Assistant A, à l'Université Kasdi
Merbah-Ouargla, en acceptant d'examiner ce travail et de faire partie du jury.*

*Merci également à tous les personnels des laboratoires : Phoeniciculture
: Préservation et valorisation, de l'Université Kasdi Merbah-
Ouargla et les laboratoires pédagogiques de l'Université Kasdi Merbah
Ouargla.*

*Aussi nous remercions infiniment le personnel de la bibliothèque de la faculté
des sciences de la Nature et de la Vie.*

*Un grand merci pour les ouvriers de l'exploitation de l'université d'Ouargla,
pour leur accueil et leur patience.*

Dédicaces

Je rends grâce à Dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont proches spécialement ;

*À l'être la plus chère dans l'univers, ma source de tendresse, la femme la plus patiente qui éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue; ma mère **Fatima**.*

*A la personne qui m'a offre tout ce que je besoin toute au long de mes études; mon cher père **Mansour**.*

*À mes chers frères **Ali, Billel, Tarek et Kossay**.*

*À mes sœurs **Hassina et Farizad**.*

*À toute la famille **CHETIOUI** ainsi que **DEROUICHE***

*À mes proches amis **Imane, Selma et Imane**.*

*À toute la promotion protection de la ressource Sol & Eau et l'environnement **2018/2019**.*

À tous mes enseignants du primaire jusqu'à l'université.

CHETIOUI Saoussen, 2019

Dédicaces

Je rends grâce à Dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont proches spécialement ;

*A l'être la plus chère dans l'univers, ma source de tendresse, la femme la plus patiente qui éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue; ma mère. **Zoubida***

*A la personne qui m'a offre tout ce que je besoin toute au long de mes études; mon cher père. **Mahmoud***

*A mon mari **MAHDJER. Med el-Walid** qui m'a donné l'aide et le soutien moral.*

*A mon fils **Safouan***

*A mon frère **Yacine** et mes chères sœurs **Mabrouka, Hadjer, Akila, Sara** et **Kenza***

*A tout la famille **ZEHRI, BOUTABBA** et **MAHDJER.***

*A mes amies : **Souhila, Lamia, Imane.***

*Toute la promotion protection de la ressource Sol & Eau et l'environnement **2018/2019.***

A tous mes enseignants du primaire jusqu'à l'université.

ZEHRI Nadjjet, 2019

Liste des abréviations

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
T	Température
C	Concentration
P	Précipitation
HCO₃⁻	Ion Bicarbonate
SO₄²⁻	Ion Sulfate
Cl⁻	Ion Chlorure
Ca²⁺	Ion Calcium
Mg²⁺	Ion Magnésium
K⁺	Ion Potassium
Na⁺	Ion Sodium
H⁺	Ion Hydrogène
H₂SO₄	Acide sulfurique
SAR	Sodium Adsorption Ration
ESP	Pourcentage de sodium échangeable
FAO	Food Alimentation Organisation
ONM	Office National de Météorologie

Liste des figures

Figure 1. Situation géographique de la zone de Ouargla (GOOGLE Earth, 2019)	5
Figure 2. Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla (2009 – 2018)	8
Figure 3. Méthodologie de travail.....	22
Figure 4. Situation géographique de l'exploitation de l'Université Ouargla (Google Earth, 2019).....	23
Figure 5. Schéma du dispositif expérimental.....	30
Figure 6. Degré de salinité des eaux d'irrigation étudié (C.E. à 25°C en dS/m).....	34
Figure 7. Diagramme de PIPER pour les eaux d'irrigation étudié.....	35
Figure 8. pH des eaux traitées par l'acide sulfurique.....	36
Figure 9. Effet de l'acide sulfurique sur le pH de différente eau d'irrigation sur 2L	37
Figure 10. Effet de dose de l'acide sulfurique sur le pH de 2L d'eau.	38
Figure 11. CE des eaux traitées par l'acide sulfurique	38
Figure 12. Effet de l'acide sulfurique sur la CE de différente eau d'irrigation sur 2L.	39
Figure 13. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur CE de 2L d'eau.....	40
Figure 14. PH des eaux traitées par l'acide sulfurique.	41
Figure 15. Effet de H ₂ SO ₄ sur le pH de différente eau d'irrigation sur 20L.....	42
Figure 16. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur le pH de 20L d'eau.	43
Figure 17. CE des eaux traitées par l'acide sulfurique sur terrain	43
Figure 18. Effet de H ₂ SO ₄ sur la CE de différente eau d'irrigation sur 20L.....	44
Figure 19. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur la CE de 20L d'eau.....	45
Figure 20. pH du sol irrigué par l'eau traitée par l'acide sulfurique.....	46
Figure 21. pH du sol après l'irrigation par l'eau traitée.....	47
Figure 22. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur pH de sol	47

Liste des tableaux

Tableau 1. Les données climatiques de la station de Ouargla sur la période 2009- 2018 (O.N.M Ouargla, 2019).....	6
Tableau 2. Résultats des analyses des eaux d'irrigation avant traitement.....	33
Tableau 3. Analyses de la variance du pH de l'eau.....	37
Tableau 4. Analyses de la variance de CE de l'eau.....	39
Tableau 5. Analyses de la variance du pH de l'eau.....	41
Tableau 6. Analyses de la variance de CE de l'eau.....	44
Tableau 7. Analyses de la variance du pH de l'eau.....	46

Liste des photos

Photo 1. Echantillonnage de l'eau	24
Photo 2. Acide sulfurique à 30%	26
Photo 3. Mesure de pH.....	27
Photo 4. Mesure de la conductivité électrique.	27
Photo 5. Echantillonnage de sol	28
Photo 6. Mesure du pH et la de CE par le multiparamètre de terrain.	29

Table des matières

Introduction 1

Partie I. Synthèse bibliographique

Chapitre I. Cadre général de la région d'étude

I.1. Situation et limites géographiques 5

I.2. Caractéristiques de la région d'étude 5

I.2.1. Caractéristiques climatiques5

I.2.1.1 Température6

I.2.1.2. Précipitation..... 6

I.2.1.3. Humidité relative7

I.2.1.4. Evaporation..... 7

I.2.1.5. Insolation7

I.2.1.6. Vent7

I.2.1.7. Diagramme Ombrothermique7

I.2.2. Caractéristiques pédologiques8

I.2.3. Caractéristiques hydrogéologiques8

I.2.3.1. Nappe phréatique..... 9

I.2.3.2. Nappe du Méo-pliocène9

I.2.3.3. Nappe Sénonienne9

I.2.3.4. Nappe Albienne 9

Chapitre II. Salinité et traitement des eaux

II. Définitions 11

II.1.1. Salinité 11

II.1.2. Salinisation 11

II.1.3. Sols salins..... 11

II.1.4. Sels solubles 11

II.2. Origines et types de la salinité	11
II.2.1. Salinisation primaire	12
II.2.2. Salinisation secondaire	12
II.3. Paramètres de caractérisation des sols salés	12
II.3.1. Conductivité électrique (CE)	13
II.3.2. Potentiel hydrogène (pH)	13
II.3.3. Composition ionique de la solution du sol	13
II.3.4. Sodium adsorption ration (SAR)	13
II.3.5. Taux de sodium échangeable (ESP)	14
II.3.6. Faciès chimique (Diagramme de PIPER)	14
II.4. Effets de la salinité sur les sols et les plantes	14
II.4.1. Effet sur les Sols.....	15
II.4.1.1. Propriétés physiques du sol.....	15
II.4.1.2. Propriétés physico-chimiques du sol	15
II.4.2. Effet sur les plantes	15
II.5. Mise en valeur des sols salés	15
II.6. Techniques d'éliminations des sels de l'eau	16
II.7. Acide sulfurique (H_2SO_4)	17
II.7.1. Définition	17
II.7.2. Propriété physique	17
II.7.3 Soufre	17
II.7.3.1. Rôles du soufre pour les plantes.....	17
II.7.3 .2.Utilisation du soufre comme amendement du sol	18
II.7.3.3.Comment le soufre acidifie le sol ?	18
II.7.3.4.Comment le soufre agit sur la salinité sodique?	18

III.1. Approche méthodologique	21
III.2. Présentation de site d'étude	23
III.2.1. Localisation de l'exploitation	23
III.3. Matériel et méthodes d'étude au niveau du laboratoire	24
III.3.1. Matériel utilisé	24
III.3.2. Échantillonnage de l'eau d'irrigation	24
III.3.3. Traitement de l'eau par l'acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	25
III.3.4. Analyse au laboratoire après traitement	26
III.4. Matériel et méthodes d'étude au niveau du terrain et au laboratoire	28
III.4.1. Échantillonnage du sol	28
III.4.2. Analyses du sol	28
III.4.3. Matériel utilisé	28
III.4.4. Estimation de la dose d'irrigation	29
III.4.5. Traitement de l'eau par l'acide sulfurique H ₂ SO ₄ sur le terrain	29
III.4.6. Préparation des solutions	29
III.4.7. Dispositif expérimental	30
III.4.8. Analyse statistique	31
Chapitre VI. Résultats et discussion	
VI.1. Analyse chimique physico-chimique de l'eau d'irrigation et de l'eau potable.	33
VI.1.1. Caractérisation de l'eau	34
VI.1.1.1. pH des eaux	34
VI.1.1.2. Salinité des eaux (CE).	34
VI.1.1.3. Danger d'alcalinisation	35
VI.1.1.4. Faciès chimique	35
VI.2. Résultats du traitement de l'eau par H ₂ SO ₄ au laboratoire.	
VI.2.1. Mesures du pH	36

VI.2.1.1. Analyse de la variance du pH	36
VI.2.1.2. Test de Fisher (LSD).	37
VI.2.2. Mesures de la conductivité électrique	38
VI.3.1. Analyse de la variance de CE	39
VI.3.2. Test de Fisher (LSD)	39
VI.3. Essais de traitement par l'acide sulfurique sur 20L d'eau d'irrigation.....	40
VI.3.1. Mesures du pH	40
VI.3.1.1. Analyse de la variance du pH	41
VI.3.1.2. Test de Fisher (LSD).	41
VI.3.2. Mesures de la CE des eaux traitées par H ₂ SO ₄ sur terrain.	43
VI.3.2.1. Analyse de la variance de la CE	43
VI.3.2.2. Test de Fisher (LSD).	44
VI.4. Irrigation du sol salé par les eaux traitées	
VI.1.1. Caractérisation du sol initial	45
VI.5.1. Mesures du pH du sol irrigué par l'eau traitée	45
VI.5.2. Analyse de la variance du pH	46
VI.5.3. Test de Fisher (LSD).	46
Conclusion	50
Références bibliographiques	53
Annexes	59

Introduction

Introduction

Les sols sont de ressources limités, ce que signifie que leur perte et leur dégradation ne sont pas récupérables au cours d'une vie humaine (FAO, 2015). La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation (IPTRID, 2006). 10 à 15 % des surfaces irriguées soit (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation. En Afrique, près de 40 Millions d'hectares sont affectés par ce problème, soit près de 2% de la surface totale (MERMOUD, 2006).

La salinité reste la plus grande contrainte, qui a franchi les sols agricoles et les parcours parce qu'elle diminue gravement le taux de la fertilité de ses sols, même arrivant à être stérile non adaptés à la culture ou pour le développement d'une végétation multi- espèces sauf les halophytes. Elle entraîne une réduction des surfaces cultivables, combinée à d'autres facteurs, elle représente une menace pour l'équilibre alimentaire des régions Arides et Semi-arides (DUTUIT, 1999).

Les variations spatio-temporelles de la salinité des sols, déjà sensibles dans les systèmes naturels, sont accélérées sous irrigation en raison de la forte mobilité des sels (BOIVIN *et al.*, 1988). Le contrôle de la salinité du sol, par la connaissance de sa distribution spatiale et de son évolution dans le temps, devient nécessaire en vue d'aboutir à des stratégies de développement agricole durable (DAKAK *et al.*, 2011).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958 ; DURAND, 1983, HALITIM, 1988). Les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique. Ils sont largement affectés par la salinisation secondaire. Cette dernière participe aux chutes des rendements agricoles (DJILI *et al.*, 2003).

Les sols de la région d'Ouargla, sont parmi les sols affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs : l'aridité du climat, l'importance de l'évaporation la remontée de la nappe phréatique qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation-drainage (HAMDI AISSA, 2001).

Les propriétés physiques et chimiques d'un sol nous permettent d'estimer la salinité globale dans le sol, Ces paramètres nous permettent d'apprécier le degré et la charge saline (HADDAD et ABBES, 2015).

L'objectif de notre travail est d'améliorer la qualité des eaux d'irrigation par un traitement à l'acide sulfurique, les notions élémentaires de chimie stipulent que l'acidification des eaux permet une diminution du pH et par conséquent une libération des éléments nutritifs dans la solution du sol. Les essais ont été menés sur des eaux de la nappe du méo-pliocène et des eaux de la nappe du sénonien ainsi que des essais sur l'eau potable pour cela on a utilisé trois doses d'acide sulfurique. La dernière étape de notre travail est un essai d'irrigation d'un sol salé par des eaux traités à l'acide sulfurique dans l'exploitation de l'université d'Ouargla.

Dans le cadre de cette approche et afin de mieux comprendre l'effet combiné de différentes qualités d'eau et les différentes doses de l'acide sulfurique sur les paramètres physico-chimiques de l'eau et du sol. Nous avons jugé nécessaire de présenter notre document sous une structure composée de deux parties :

La première partie de ce travail aborde une étude bibliographique sur la présentation de la région, ainsi que la salinité et l'acide sulfurique.

Dans la deuxième partie expérimentale, nous décrirons le matériel et les méthodes adaptées à notre expérimentation, et les résultats obtenus, ainsi que la discussion des résultats constituant l'essentiel de ce mémoire

L'ensemble a été complété par une conclusion finale qui intègre nos principaux résultats finaux et nos perspectives.

Partie I.

Synthèse bibliographique

Chapitre I.

Cadre général de la région d'étude

Chapitre I. Cadre général de la région d'étude

I.1. Situation et limites géographiques

Notre région d'étude est située dans la wilaya d'Ouargla. Elle s'étend sur une superficie de 163 238 km², et limitée au Nord-est par la wilaya d'El Oued, Nord-ouest par la wilaya de Ghardaïa, au Sud-est par la wilaya d'Illizi. Ses coordonnées géographiques sont: les longitudes 5°25' Est et les latitudes 31°55' et 32°00' (figure 1) (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975; ANAT 1995).

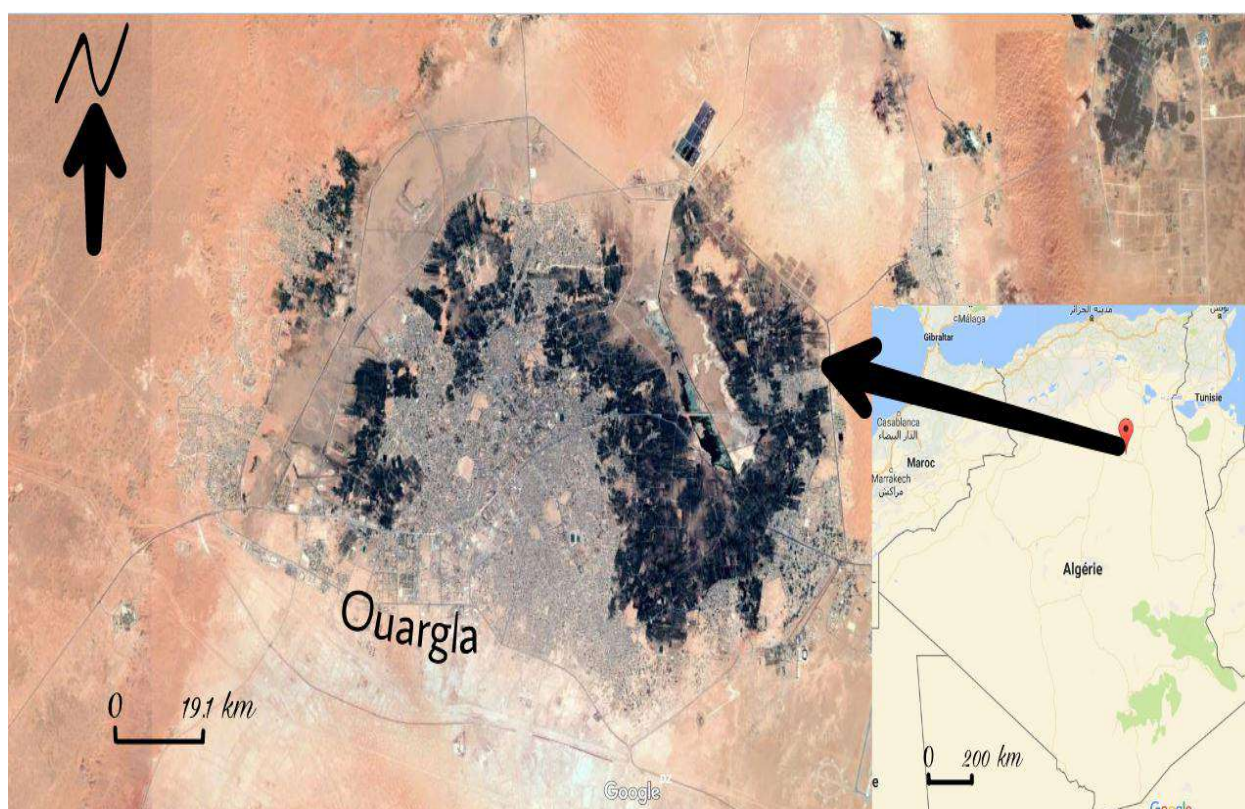


Figure 1. Situation géographique de la zone d'Ouargla (Google Earth, 2019).

I.2. Caractéristiques de la région d'étude

I.2.1. Caractéristiques climatiques

La région d'Ouargla est caractérisée par un climat contrasté, bien exprimé par des précipitations rares et irrégulières et des températures élevées, une luminosité intense ainsi qu'une forte évaporation due à la sécheresse de l'air. L'amplitude thermique est importante entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver) (NAJI, 2015). Les données climatiques de la région de Ouargla sont reportées dans le tableau 1.

Tableau 1. Les données climatiques de la station de Ouargla sur la période 2009- 2018 (O.N.M Ouargla, 2019)

	Température (°C)			Humidité (C%)	Vent (Km/h)	Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (h/mois)
	Minimal.	Maximal.	Moyenne					
Janvier	5,23	19,52	12,37	55,33	8,17	7,95	97,85	248,38
Février	6,97	21,19	14,08	47,96	9,20	3,69	120,69	237,43
Mars	10,68	25,67	18,17	42,26	9,74	5,08	180,62	266,82
Avril	15,35	30,76	23,06	36,21	10,26	1,48	231,34	285,33
Mai	19,99	35,34	27,67	30,69	10,56	2,07	302,61	316,25
Juin	24,81	40,42	32,61	26,97	9,96	0,77	366,88	229,30
Juillet	28,14	44,04	36,09	22,94	8,92	0,35	447,18	317,54
Août	27,26	42,42	34,84	26,79	8,95	0,38	388,00	341,44
Septembre	23,54	38,14	30,84	35,68	9,14	4,85	266,76	268,06
Octobre	17,15	31,83	24,49	41,47	7,87	3,81	207,61	270,72
Novembre	10,45	24,59	17,52	51,21	7,26	2,76	124,50	248,21
Décembre	5,87	19,83	12,85	58,09	6,93	3,74	86,17	238,98
Moyen	16,29	31,15	23,72	39,63	8,91	3,08	235,02	272,37
Cumul	/	/	/	/	/	36,92	2820,21	3268,46

I.2.1.1 Température

A Ouargla, les températures sont en moyennes très élevées, le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température moyenne de 36,09°C et le mois le plus froid est le mois de janvier avec 12,37°C. La température moyenne maximale et de 31,15°C et la température moyenne minimale atteindra 16,29°C (Tableau.1).

I.2.1.2. Précipitation

Les précipitations dans la région d'Ouargla sont rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Leurs répartitions sont marquées par une période de sécheresse étalée sur toute l'année.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 3,08mm/an., avec un cumul annuel de 36,92 mm : Janvier est le mois le plus pluvieux 7,95 mm, et Juillet est le mois le plus sec 0,35 mm (Tableau.1).

I.2.1.3. Humidité relative

L'humidité de l'air est très sèche avec une moyenne annuelle de 39,63%. Elle varie entre 22,94% (Juillet) à 58,09% (Décembre) qui se manifeste par une sécheresse atmosphérique pendant toute l'année (Tableau.1).

I.2.1.4. Evaporation

L'évaporation est très importante surtout pendant les mois chauds où on note un maximum de 447,18 mm au mois de juillet, un minimum de 86,17 mm au mois de décembre (Tableau.1).

I.2.1.5. Insolation

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation durant la journée où on enregistre une moyenne de 272,37 h/mois. Avec un maximum de 341,44 h au mois d'aout et un minimum de 229,6 h au mois de décembre (Tableau.1).

I.2.1.6. Vent

Ouargla en générale est caractérisée par des vents fréquents et soufflent durant toute l'année avec des vitesses qui varient d'un mois à un d'autre. La vitesse moyenne est de 8,91 m/s, la direction des vents dominants est de nord, nord- est et sud, sud-est (Tableau.1).

I.2.1.7. Diagramme Ombrothermique

Selon BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois est considéré biologiquement sec, lorsque le cumul des précipitations(P) exprimé en mm est inférieur ou égal au double de la température (T) exprimée en °C. Elle peut s'exprimer par $P \leq 2T$ (BAGNOULS et GAUSSEN, 1957). Sur la Figure 2 caractérisant la région de Ouargla, il est remarqué que la courbe des précipitations est toujours inférieure à celle des températures. Ceci laisse apparaître une période sèche qui s'étale durant toute l'année (figure 2).

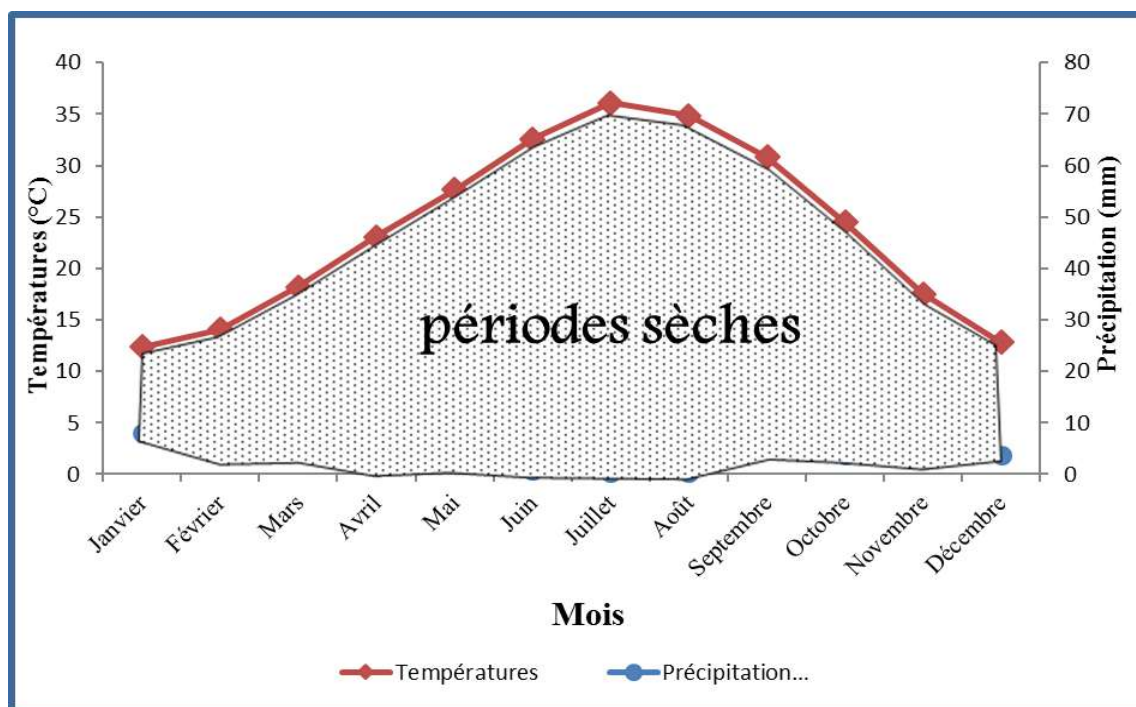


Figure 2. Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla (2009 – 2018)

I.2.2. Caractéristiques pédologiques

La région d'étude est caractérisée par des sols légers, à prédominance sableuse et à structure particulière. Elle est caractérisée également par des sols à un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une faible activité biologique et une forte salinité (HALILAT, 1993 in BOUHOERIERA, 2013).

Les sols d'Ouargla dérivent du grès argile quartzeux du Mio-pliocène non gypseux. Ils sont constitués de sable quartzeux. Dans l'ensemble des sols, les squelettes sableux sont très abondants, constitués en quasi-totalité par du quartz. La couleur devient moins rouge et l'épaisseur de la pellicule diminue dans les sols en aval en particulier dans les dunes. Sur les sols de la dépression la masse basale argileuse présente un aspect poussiéreux (HAMDI AISSA, 2001).

I.2.3. Caractéristiques hydrogéologiques

Les eaux souterraines représentent le principal patrimoine hydrique de la région du Ouargla. Elles sont constituées de quatre nappes différentes (BEN BATOCHE, 2007):

I.2.3.1. Nappe phréatique

La profondeur varie entre 1 et 8 mètres selon les zones et les saisons parfois elle affleure à la surface. Elle s'écoule du sud vers le nord selon la pente de la vallée de l'oued M'ya. Cette nappe est la principale source pour la palmeraie bours (non irriguée) mais elle n'est pas exploitée car ses eaux présentent une forte salinité (**ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975**).

I.2.3.2. Nappe du Mio-pliocène

Elle appartient à l'aquifère du complexe terminal, elle s'écoule du sud-ouest vers le nord et du nord-est en direction du chott MELRHIR. La température de ses eaux est de l'ordre de 23 à 25° avec une salinité variant de 1,89 à 4.60 g/l pour une profondeur de 60 à 200 m. son exploitation est très ancienne et elle est la plus exploitée à Ouargla (**ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975**).

I.2.3.3. Nappe Sénonienne

Elle fait partie de l'aquifère précédent, l'exploitation de cette nappe est de 20% voire 25% ses eaux en surface atteignent une température d'environ 30° (**ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975**).

I.2.3.4. Nappe Albienne

Cette nappe est contenue dans les argiles sableuses et les grés continentaux intercalaires. Elle est située entre 1120 et 1800 m de profondeur avec un écoulement général du sud vers le nord. Les eaux de l'albienne sont beaucoup plus chaudes avec une température de l'ordre de 56°C et une faible teneur en sel variant entre 1,7 à 2 g/l(**ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975**).

Chapitre II.

Salinité et traitement des eaux

Chapitre II. Salinité et traitement des eaux

Dans ce chapitre nous rappellerons quelques définitions, Pour permettre de juger de l'importance du sujet et de quantifier l'importance bibliométrique des recherches, en exposant les principaux contextes de salinité.

II. Définitions

II.1.1. Salinité

La salinité se réfère à la quantité de sels solubles qui se trouve dans le sol (**CHESWORTH, 2008**). Elle est mesurée à l'aide de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (**MATHIEU et LOZET, 2011**).

II.1.2. Salinisation

La salinisation est le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols (**GRÜNBERGER, 2015**). Elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol (**MERMOUD, 2006**).

II.1.3. Sols salins

Selon **GIRARD et al. (2005)** les sols sont dits salins lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée. Ils comprennent plusieurs types de sols qui se sont formés à partir de trois processus physicochimiques: la salinisation, la sodisation et l'alcalisation.

II.1.4. Sels solubles

Les sels solubles sont tous les sels plus solubles dans l'eau que le gypse, leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique (**HALITIM., 1988**).

Selon **MATHIEU et LOZET (2011)**, les sels solubles sont un ensemble des anions et des cations présents dans le sol soit sous forme solide cristallisée soluble, soit sous forme dissoute dans la solution du sol, à l'exclusion des matières organiques solubles.

II.2. Origines et types de la salinité

La présence des sels solubles dans les sols se justifie par diverses causes. Deux processus sont signalés :

II.2.1. Salinisation primaire

C'est un processus lié à la pédogenèse, en autre terme à l'altération des roches salifères qui libèrent des sels sous l'effet de différents facteurs géologiques, géomorphologiques et climatiques (**GUCHER et BRUDIN, 1974 in MISSAOUI, 1991**).

Les sels solubles peuvent provenir :

- Soit le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, ou encore dissolution des évaporites, qui sont des accumulations salines anciennes).
- Soit par l'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine), ou encore due à la présence de lentilles d'eau sur salées lorsque les zones basses sont isolées de la mer par un colmatage alluvial (salinisation lagunaire) ;
- Soit une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire (IRD ,2008).

II.2.2. Salinisation secondaire

La salinisation d'origine secondaire est induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées. Les principales causes de la salinisation secondaire sont (**GUCHER et BRUDIN, 1974 in MISSAOUI, 1991**) :

- La remonté de la nappe souterraine à proximité de surface et transport de sels par remontées capillaires (**LACHARME, 2001**)
- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement lorsqu'il existe;
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration;
- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodisation;
- L'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement (**BADRAOUI et al, 2000**).

II.3. Paramètres de caractérisation des sols salés

Le diagnostic de la salinité des sols se base sur un ensemble de mesures physicochimiques (CE, pH et CEC) et chimiques (cations solubles, anions solubles et sodium échangeable). Ces

paramètres nous permettent d'apprécier le degré et la charge saline ainsi que le faciès chimique des sels et le taux de sodium échangeable. La mesure de la conductivité électrique et du pH nous permettent d'estimer la salinité globale dans le sol (**HADDAD et ABBES, 2015**).

II.3.1. Conductivité électrique (CE)

La salinité du sol est généralement définie et mesurée sur des extraits aqueux de pâtes de sol dites saturées (**USSL, 1954**), ou l'extrait diluée avec un rapport eau/sol variable du sol (**MATHIEU et PEILTAIN, 2009**). Elle est exprimée en mmhos/cm, en siemens/m, ou en déci Siemens/m (**MATHIEU et LOZET, 2011**).

L'échelle agronomique mise au point par United State Salinity Laboratory (**USSL**) **1954** est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 mmhos/cm. Un sol considéré salé lorsque la CE est supérieure à 4 mmhos /cm (4 dS/m) à 25°C (**USSL, 1954 ; CALVET, 2003**).

II.3.2. Potentiel hydrogène (pH)

Selon (**SOLTNER, 1989 in HADDAD et ABBES**) la notion de pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol salin. Les sols salés ont un pH supérieur à 7, et il augmente en corrélation avec le rapport Na^+ / CEC .

La mesure du pH du sol s'effectue dans une suspension de l'échantillon de sol dans l'eau (pH_{eau}) ou dans l'eau plus de chlorure de potassium (pH_{KCl}) dans laquelle on mesure la concentration en ions H^+ et OH^- à l'état dissocié, dans le liquide surnageant. Le rapport sol/eau étant généralement de 1/2,5. Aussi dans le sol, le pH de la solution varie habituellement de 4,5 à 9,5 (**MATHIEU et LOZET, 2011**).

II.3.3. Composition ionique de la solution du sol

Afin de connaître la concentration en anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et en cations solubles (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à donner le type de faciès salin selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ pour classer les solutions du sol (**SERVANT et SERVAT, 1966**).

II.3.4. Sodium adsorption ration (SAR)

Il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol. (**RICHARDES, 1954**).

D'après (MATHIEU, 2009) Dans l'étude de mécanisme de sodisation, l'Ecole de Riverside aux Etats-Unis utilise depuis 1969 un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées ; il s'agit de SAR « Sodium Adsorption Ration » ou taux de sodium adsorbé :

Selon DURAND, 1958, in BOUTLLI, 2012. Le SAR est déterminé par la relation suivante

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}} ; \text{ Avec l'unité de } (\text{Na}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}) \text{ définie par méq/l}$$

II.3.5. Taux de sodium échangeable (ESP)

Il exprime le taux de saturation du complexe adsorbant en sodium échangeable par rapport à tous autres cations échangeables. En effet, il exprime la sodicité édaphique. Or, le sodium échangeable peut détruire la structure à partir d'un seuil qui est souvent fixé à 15 % de la CEC (USSL, 1954).

De nombreuses recherches ont essayé d'établir une relation entre le SAR et ESP, celle de l'USSL (1954) s'écrit de la façon suivante :

$$\text{ESP} = \frac{100 * (-0.0126 + 0.0147 * \text{SAR})}{1 + (-0.0126 + 0.0147 * \text{SAR})}$$

$$\text{Où } \text{SAR} = \frac{\text{Na}}{((\text{Ca} + \text{Mg}) / 0.5)^{0.5}}$$

II.3.6. Faciès chimique (Diagramme de PIPER)

Le faciès chimique représente la/les anion(s) et cation(s) prédominant dans l'eau ou dans une solution de sol.

II.4. Effets de la salinité sur les sols et les plantes

La salinité du sol peut affecter d'une manière négative sur le sol comme sur les plantes, ces effets sont sur :

II.4.1. Effet sur les Sols

II.4.1.1. Propriétés physiques du sol

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols en plus la stabilité structurale disparaît complètement à un ESP égale à 15 % (DIARRA, 1991).

II.4.1.2. Propriétés physico-chimiques du sol

La présence d'un taux élevé de sels peut entraîner une augmentation de la CE qui dépasse 4 dS/m. La salinité peut augmenter le pH dans le cas du sol sodique qui dépasse 8,5 (MATHIEU *et al.*, 2007, *in* KEMASSI, 2015).

Selon DIARRA (1991), une élévation du pH peut créer des problèmes de fertilité par :

- le blocage du phosphore sous des formes non ou peu assimilables ;
- l'évolution de l'azote tout à fait particulière (volatilisation) ;
- les carences induites de certains éléments minéraux (Zn, Mn, Fe, Cu) ;
- la dispersion de la matière organique.

II.4.2. Effet sur les plantes

Les sels dissous ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes (CALVET, 2003), provoquant ainsi son flétrissement « sécheresse physiologique » (DIARRA, 1991).

II.5. Mise en valeur des sols salés

Les sols salés présentent une évolution par la présence de fortes quantités de sels, notamment les chlorures et les sulfates de sodium, il s'avère nécessaire d'exploiter les terres salées qui sont parfois très riches en éléments nutritifs (MISSAOUI, 1991).

La réhabilitation des terres salinisées est coûteuse : il peut représenter de 65% à 100% des coûts d'investissement. Il est parfois impossible techniquement (IPTRID, 2006).

La mise en valeur des sols consiste à faire diminuer le pH à partir de la régulation de l'eau d'irrigation par de différentes méthodes, pour maintenir le niveau d'élimination des sels solubles et les accumulations minérales.

II.6. Techniques d'éliminations des sels de l'eau

La disponibilité de ressources en eau de qualité médiocre, telles que les eaux souterraines salines, les eaux de drainage et les eaux usées traitées, représente désormais un enjeu important, notamment pour l'agriculture irriguée dans les zones Arides et Semi-arides des pays disposant de peu de ressources en eau. Le dessalement de l'eau est une technologie bien établie pour l'approvisionnement en eau (FAO, 2005).

Parmi les techniques les plus récentes de dessalement de l'eau sont :

a-Distillation thermique : Permet de transformer l'eau salée en vapeur qui est alors condensée pour obtenir de l'eau dessalée.

b-Electrodialyse inverse : les sels sont séparés de l'eau sous l'action d'une charge électrique.

c-Osmose inverse : prévoit l'application d'une pression sur l'eau introduite dans le système, qui est ainsi forcée à travers une membrane semi-perméable retenant la plupart des sels, la pression exercée doit être d'autant plus forte que la concentration en sel de l'eau est élevée.

d-Technologie des membranes : est utilisée pour le dessalement d'eaux saumâtres avec une concentration en sel inférieure à 10 g/l, tandis que les procédés d'osmose inverse et de distillation thermique sont appliqués pour dessaler l'eau de mer dont la concentration en sel est supérieure à 30 g/l.

Il y a aussi d'autres méthodes de dessalement de l'eau d'irrigation par des traitements chimiques, qui consiste à débarrasser les sels afin de baisser le pH, il est possible d'injecter de l'acide. L'acide phosphorique et l'acide nitrique peuvent être utilisés mais l'acide sulfurique reste l'acide le mieux indiqué.

II.7. Acide sulfurique (H₂SO₄)

II.7.1. Définition

L'acide sulfurique (H₂SO₄) est un diacide minéral fort. L'acide sulfurique pur est un liquide huileux incolore, inodore, hygroscopique qui se colore en jaune brun en présence d'impuretés, Il libère des ions hydroniums, H₃O⁺, et des ions sulfates, SO₄²⁻ dans l'eau (**Futura-science, 2019**).

II.7.2. Propriété physique

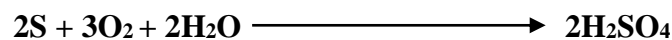
L'acide sulfurique est miscible à l'eau. La dissolution dans l'eau ou dans un mélange eau-alcool s'accompagne d'un grand dégagement de chaleur et d'une contraction du liquide.

On trouve, dans le commerce, l'acide sulfurique à diverses concentrations ; l'acide sulfurique concentré est aux environs de 98 %, l'acide sulfurique pour batteries a une concentration de 30 %.

II.7.3 Soufre

La synthèse de l'acide sulfurique est opérée à partir du soufre, qu'il est un élément essentiel pour les plantes. Il se classe quantitativement juste après les trois éléments majeurs que sont l'azote, le phosphore et le potassium. Bien qu'il soit considéré comme un élément secondaire, les besoins des plantes en soufre sont égaux, et parfois supérieurs à ceux en phosphore. (**INRS, 2014**)

Le soufre peut également agir avec grande intérêt sur les terres salées surtout si ces terres sont riches en carbonates de sodium. Le soufre après l'oxydation produit de l'acide sulfurique, qui transforme le carbonate de sodium en sulfate mais nuisible et lessivable et réduit au même temps l'alcalinité excessive:



II.7.3.1. Rôles du soufre pour les plantes

Le soufre est un élément essentiel pour la croissance et le développement des plantes. La quasi-totalité est absorbé par les racines à partir de la solution du sol sous forme d'ions sulfates SO₄²⁻. Les fonctions du soufre sont étroitement liées à celles de l'azote et les deux éléments agissent en synergie.

Il est nécessaire de respecter un bon rapport entre S et N à tout moment du cycle végétatif (ELFELAH K, 2017).

II.7.3 .2.Utilisation du soufre comme amendement du sol

Le soufre est l'un des rares produits qui, en incorporation dans le sol, peut résoudre les problèmes des pH alcalins, de la salinité sodique, du calcaire ou d'un excès d'apport de calcium. La forme granulée du soufre élémentaire est la plus facile à l'emploi. Elle doit être mélangée au sol et suivie d'un arrosage. En contact avec l'eau du sol, elle se divise en fines particules. Le sol doit être maintenu humide durant la période d'oxydation qui, normalement, dure quelques semaines. Si le sol est très alcalin ou très salé, l'oxydation sera plus lente et prendra quelques mois (ELFELAH K, 2017).

II.7.3.3.Comment le soufre acidifie le sol ?

Pour baisser le pH, on peut procéder à l'injection des acides, mais cette méthode reste onéreuse et a un effet éphémère. Une autre solution, plus économique et efficace, consiste en l'épandage du soufre élémentaire. Ce dernier est insoluble dans l'eau et son oxydation dépend largement de la taille des particules. Plus elle est fine, plus l'action est rapide. Il réagit avec l'eau (humidité du sol) et l'oxygène pour se transformer en acide sulfurique, ci-après, et permettre de baisser le pH de façon régulière dans le temps (ELFELAH K, 2017).

II.7.3.4.Comment le soufre agit sur la salinité sodique?

Le traitement des sols salins par le soufre ne permet pas seulement de baisser le pH, mais sert également à lessiver les ions de sodium de la zone racinaire. Le gypse permet de lessiver le sodium responsable de la salinité sodique.



Le sodium sera ainsi lessivé sous forme de sulfate de sodium et remplacé par le calcium. Le calcium permet le maintien de la structure cellulaire et de la rigidité des tissus. Ce qui agit favorablement sur la fermeté des fruits et permet une meilleure conservation, surtout pour les fruits périssables (ELFELAH K, 2017).

Partie II.

Partie expérimentale

Chapitre III.

Matériel et méthodes

Chapitre III. Matériel et méthodes

Avant d'exposer les résultats des traitements et des analyses physico-chimiques obtenus sur les eaux d'irrigation au niveau du site d'étude dans l'exploitation agricole de l'université de Ouargla, nous jugeons utile de présenter le matériel utilisé ainsi que les méthodes de mesure et d'analyse des échantillons.

III.1. Approche méthodologique

L'objectif de notre travail est de faire des essais de traitement des eaux d'irrigation par l'acide sulfurique, afin d'améliorer les propriétés physiques et chimiques de l'eau d'irrigation qui est à l'origine de la salinisation des sols principalement dans les régions du sud est algérien.

La démarche adoptée au cours de cette recherche (figure 3), a commencé par une phase de laboratoire. Cette phase est préliminaire à partir de laquelle on a effectué l'échantillonnage de l'eau d'irrigation et le sol pour réaliser des analyses physico chimiques au niveau du laboratoire, et faire des essais sur l'eau pour déterminer les doses de l'acide sulfurique qu'il faut ajouter à l'eau d'irrigation. La phase de terrain à partir de laquelle nous avons l'eau d'irrigation traitée comme un principal matériel d'étude, suivi par des analyses statistiques.

Les résultats obtenus vont être traités et analysés pour aboutir à une conclusion finale ou on va exposer nos principaux résultats et les perspectives.

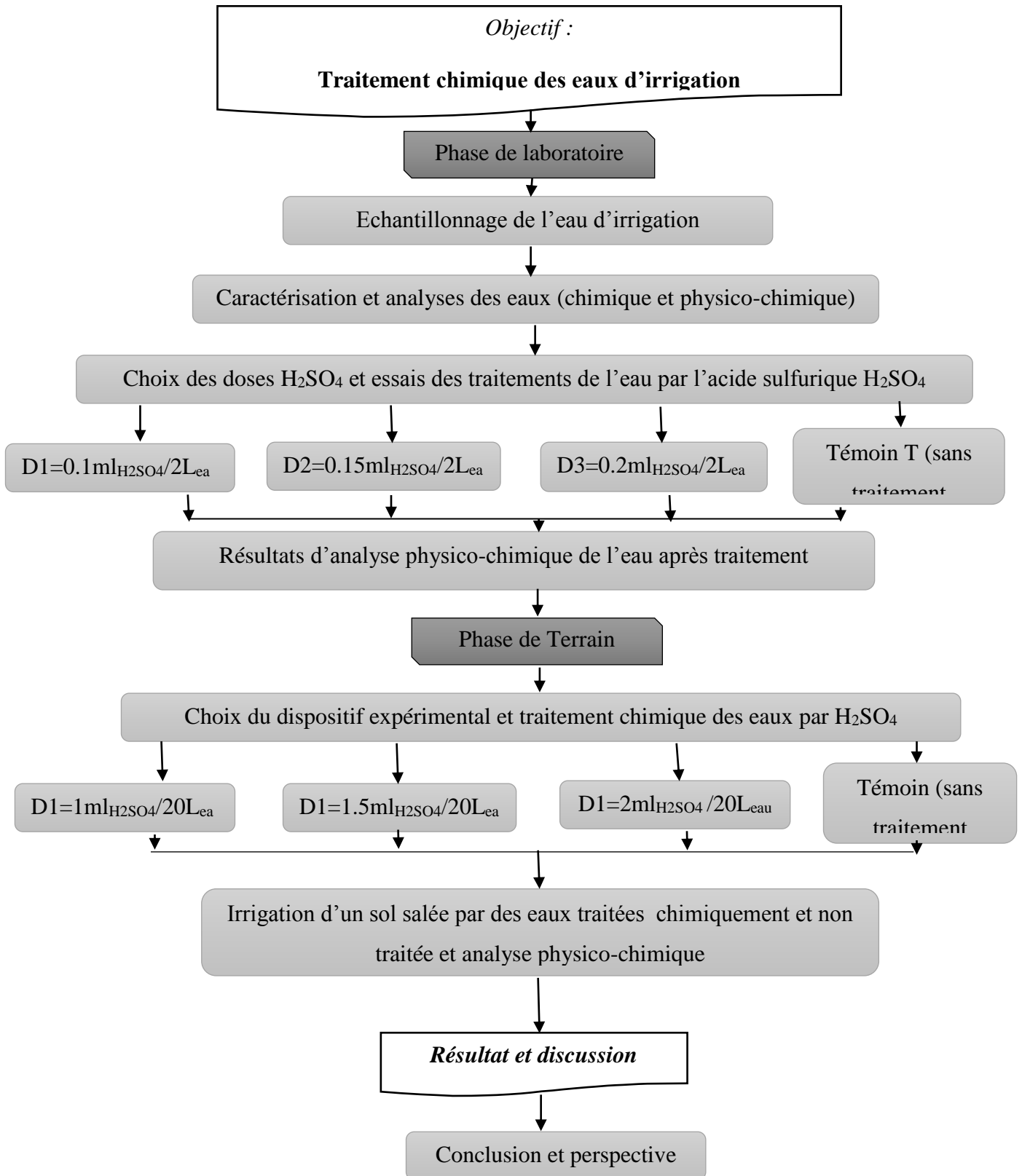


Figure 3. Méthodologie de travail.

III.2. Présentation de site d'étude

L'exploitation agricole de l'université de Ouargla (ex : I.T.A.S).

III.2.1. Localisation de l'exploitation

L'exploitation est située au sud-ouest de la ville de Ouargla, à six kilomètres environ du centre-ville. Elle se présente sous forme d'un glaciais, d'une grande homogénéité topographique.

Elle se trouve dans une zone peu élevée, à la bordure d'un chott. La dénivelée topographique entre le chott et l'exploitation est d'environ deux mètres. Ses coordonnées sont les suivantes

- Latitude : 31°,57' Nord ;
- Longitude : 5°,20' Est ;
- Les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m.

L'exploitation s'étend sur une superficie initiale totale de 32 ha, dont 16 hectares sont aménagés et répartis en quatre secteurs, à savoir : A1, A2, C1 et C2. Le reste des secteurs E, F, G et H correspond à l'extension non exploitée (figure 4). Actuellement, une partie de la superficie a été attribuée au pôle universitaire.

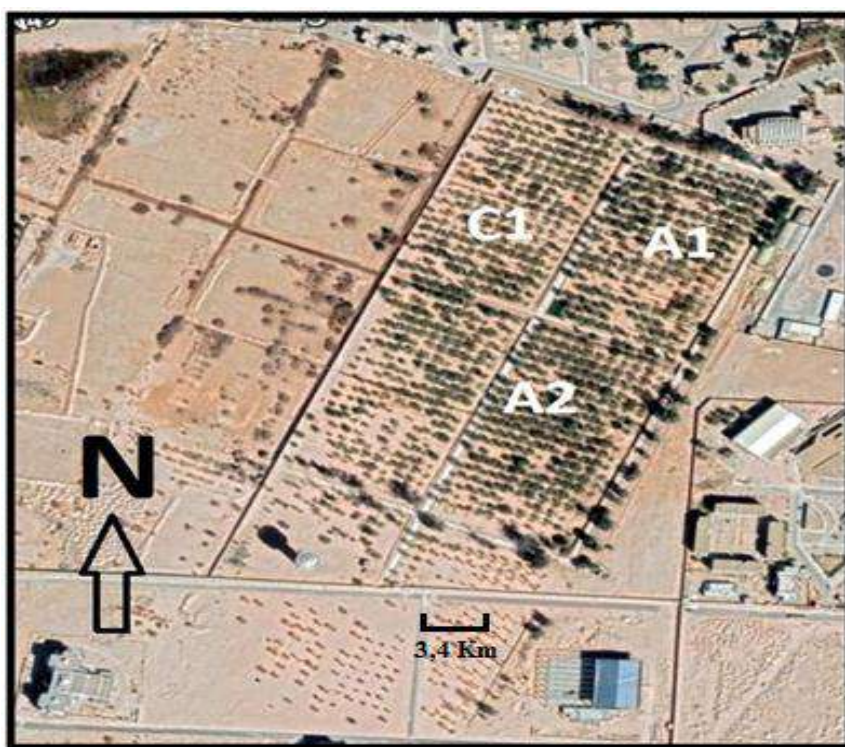


Figure 4. Situation géographique de l'exploitation de l'Université Ouargla (Google Earth, 2019).

III.3. Matériel et méthodes d'étude au niveau du laboratoire

III.3.1. Matériel utilisé

- pH-mètre : pour mesurer le pH
- Conductimètre : pour mesurer le taux de salinité
- Micropipette
- Agitateur : pour l'agitation des échantillons
- Balance numérique : pour peser les échantillons.
- Etuve : pour le séchage des échantillons.
- Tamis de 2mm: pour la préparation des échantillons pour faire les différentes analyses
- Verreries (Becher, pipette, éprouvette..).

III.3.2. Échantillonnage de l'eau d'irrigation

Le prélèvement d'un échantillon de l'eau pour les analyses (**Photo 1**) permet de caractériser la qualité de cet eau. Cette opération se fait à l'aide d'un échantillonneur en plastique durant la période d'essai.



Photo 1. Echantillonnage de l'eau

a. Analyses de l'eau

Les analyses des eaux physico-chimiques et chimiques, sont faites dans le laboratoire de l'ANRH, pour connaître la qualité des eaux d'irrigation avant traitement. Les paramètres analysés sont:

Le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et la température, sont mesurés à l'aide d'un multi paramètres de terrain.

Les analyses chimiques mesurées au niveau de laboratoire de l'ANRH :

a.1. Dosage des cations (AUBERT, 1978).

- Les cations Na^+ et K^+ sont dosés par spectrophotomètre à flamme;
- Les cations Ca^{2+} , Mg^{2+} (EDTA) sont dosés par le titre alcalin.

a.2. Dosage des anions (AUBERT, 1978)

- Cl^- : par titré avec nitrate d'argent: méthode de MOHR;
- SO_4^{2-} : Spectrophotomètre visible ;
- HCO_3^- et CO_3 : méthode titrimétrie avec H_2SO_4 ;

Pour déterminer le faciès chimique des eaux sur le diagramme de PIPER. Nous avons utilisé logiciel d'hydrochimie version 6.48.

III.3.3. Traitement de l'eau par l'acide sulfurique (H_2SO_4)

Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire de recherche sur la Phoeniciculture de l'université de Ouargla. Pour la première étape, c'est de faire des essais pour déterminer les concentrations de l'acide sulfurique destiné à diminuer le pH de l'eau jusqu'au point voulu.

L'acide sulfurique (H_2SO_4) utilisé dans notre expérience est un produit commercial appelé acide de batterie d'une concentration approximative de 30 % Photo2



Photo 2. Acide sulfurique à 30%

Au préalable l'application de l'acide sulfurique sur les eaux d'irrigation du Mio-pliocène, Sénonien et l'eau potable a fait l'objet de plusieurs essais au laboratoire, le but est d'arrêter la dose idéale pour corriger le pH à hauteur de 6, selon **COUTURE, (2006)** un pH de 6 constitue le domaine et la forme d'assimilabilité de la plus part des éléments nutritifs. A cet effet nous avons effectué des tests de dosage par le H_2SO_4 à des doses connues de cet acide sur les trois types d'eau cités. Après des essais, les mesures de pH sont effectuées, plusieurs doses du H_2SO_4 sont appliquées sur des volumes d'eau connus. Le but est de mesurer à chaque fois le pH.

Les doses d'acides appliquées sur 2L de chaque eau sont 0,1ml, 0.15ml, 0.2ml. Il a été remarqué que la dose de 0.2 ml de l'acide sur 2L a considérablement baissé le pH jusqu'à la valeur de 3. La concentration de 0.15 ml de l'acide a baissé le pH de 8 à 6 environ et enfin celle de 0.1ml d'acide à nettement affiché des pH sensiblement proche de 7 inférieur.

III.3.4. Analyse au laboratoire après traitement

Les échantillons de l'eau ont fait l'objet des analyses physico-chimiques, les doses de l'acide sulfurique choisies et les résultats Mesurés (pH et CE) sont présentées en :

a. pH

Il permet de déterminer l'acidité de sol. Il est mesuré par un pH mètre (**Photo 3**) (**MATHIEU et PIELTIN, 2003**).



Photo 3. Mesure de pH.

b. Conductivité électrique

Elle permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau (**MATHIEU et PIELTAIN, 2003**). Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre est corrigé à 25°C. (**Photo 4**).



Photo 4. Mesure de la conductivité électrique.

III.4. Matériel et méthodes d'étude au niveau du terrain et au laboratoire

III.4.1. Échantillonnage du sol

Le prélèvement d'un échantillon de sol pour les analyses (Photo4) permet de caractériser le niveau de salinité de ce sol. Cette opération se fait à l'aide d'une tarière.

III.4.2. Analyses du sol

Les échantillons ont été séchés et tamisés à 2 mm puis la préparation d'une solution de sol dans le laboratoire (laboratoire pédagogique du département des sciences agronomiques) afin de réaliser les analyses physico-chimiques (pH et, CE).



Photo 5. Echantillonnage de sol

III.4.3. Matériel utilisé

Pour la réalisation de notre travail nous avons utilisé le matériel suivant :

- Bloc-notes : pour noter toutes les remarques et les informations.
- Appareil photo numérique : pour photographier la station étudiée.
- Tarière: pour faire le sondage du sol.
- Sachets en plastique avec des étiquettes : pour transporter les échantillons du sol.
- Pots pour essais
- Appareil Multi paramètre de terrain.

III.4.4. Estimation de la dose d'irrigation

Afin de calculer la quantité d'acide nécessaire pour abaisser le pH dans 20L de l'eau d'irrigation, il faut faire une règle de 3 pour corriger le volume total d'eau d'irrigation, les doses déterminées au laboratoire (D1 : 0.1ml, D2 : 0.15 ml, D3 : 0.2 ml) devenus traitements (D1 : 1ml, D2 : 1.5 ml, D3 : 2 ml). On prend un bidon de 20l rempli d'eau d'irrigation et rajouter l' H_2SO_4 en prenant soin de bien mélanger la solution.

III.4.5. Traitement de l'eau par l'acide sulfurique H_2SO_4 sur le terrain

Le travail a été réalisé au niveau de l'exploitation de l'université KASDI Merbah Ouargla. Après les essais au niveau du laboratoire, on a réalisé avec les mêmes proportions des traitements d'un volume de 20 l calculé pour l'irrigation du sol.



Photo 6. Mesure du pH et la de CE par le multiparamètre de terrain.

III.4.6. Préparation des solutions

L'irrigation du sol se fait par l'eau des trois sources (forage Mio-pliocène, forage Sénonien et l'eau potable) traitées avec l'acide sulfurique à des doses (D1, D2, D3) et l'eau témoin(T) sans traitement. Chaque type d'eau est traité comme Suit:

- 1 ml de H_2SO_4 à 30 % pour un volume de 20 litres d'eau.
- 1,5 ml de H_2SO_4 à 30 % pour un volume de 20 litres d'eau.

- 2 ml de H₂SO₄ à 30 % pour un volume de 20 litres d'eau.
- Le témoin est l'eau non traitée.

III.4.7. Dispositif expérimental

Les pots sont posés suivant un dispositif en bloc, chaque bloc présenter :

Facteur 1 : Dose de H₂SO₄ (**D1** : 1ml, **D2** : 1,5 ml, **D3** : 2 ml et le témoin), **Facteur 2** : Qualité d'eau (forage Sénonien, forage Mio-pliocène, Eau potable). Le nombre de traitement dans chaque bloc comporte 12 traitements (figure 5).





































<i>Bloc : 1</i>	<i>Bloc : 2</i>	<i>Bloc : 3</i>
 E1; D1	 E1; D1	 E1; D1
 E1; D2	 E1; D2	 E1; D2
 E1; D3	 E1; D3	 E1; D3
 E1; T	 E1; T	 E1; T
 E2; D1	 E2; D1	 E2; D1
 E2; D2	 E2; D2	 E2; D2
 E2; D3	 E2; D3	 E2; D3
 E2; T	 E2; T	 E2; T
 E3; D1	 E3; D1	 E3; D1
 E3; D2	 E3; D2	 E3; D2
 E3; D3	 E3; D3	 E3; D3
 E3; T	 E3; T	 E3; T

Figure 5. Schéma du dispositif expérimental

E1 : eau de forage Mio-pliocène

E2 : eau de forage Sénonien

E3 : eau potable

D1: 1ml_{H₂SO₄}/20l _{eau}

D2: 1.5ml_{H₂SO₄}/20l _{eau}

D3: 2ml_{H₂SO₄}/20l _{eau}

T: Témoin sans traitement

III.4.8. Analyse statistique

Les données de pH et de la conductivité électrique des eaux sont traitées par le logiciel statistique XLStat version 2009.6 .01 . Après codage et discrétisation nous avons commencé par une analyse ANOVA. Descriptive dans le but d'avoir les premières interprétations.

Nous avons procédé à une analyse de variance à deux facteurs qui sont la qualité d'eau (forage Mio-pliocène, forage Sénonien et l'eau potable) et les doses de l'acide sulfurique (D1, D2, D3)

Cette analyse va permettre la mise en évidence de l'existence ou pas des différences entre les moyennes et la signification de cette différence si elle existe, Nous avons retenues les seuils de signification suivants :

- Très hautement significative à $\alpha = 0,001$
- Hautement significative à $\alpha = 0,01$
- Significative à $\alpha = 0,05$

Le test de Fisher est le test qu'on a utilisé pour la comparaison entre les facteurs

Chapitre VI.
Résultats et discussion

Chapitre VI. Résultats et discussion

Ce chapitre présentera les résultats des analyses physico-chimiques et chimiques et la caractérisation des eaux d'irrigation des deux nappes à savoir la nappe du Sénonien et du Mio-pliocène ainsi que celle de l'eau potable. Nous analyserons aussi dans ce chapitre les résultats de l'effet des différentes doses d'acide sulfurique sur le pH et la conductivité électrique des eaux d'irrigation et de l'eau potable et en fin un essai d'irrigation d'un sol salé avec des eaux traité chimiquement à base d'acide sulfurique.

VI.1. Analyse chimique physico-chimique de l'eau d'irrigation et de l'eau potable.

Les résultats d'analyse des eaux d'irrigation de la nappe du Sénonien du Mio-pliocène ainsi que celle de l'eau potable sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 2. Résultats des analyses des eaux d'irrigation avant traitement

Eaux	Sénonien	Mio-pliocène	Eau potable	
Paramètres				
CE (dS/m) à 25°C	3.38	5.01	3.74	
pH	7.93	8.15	8.02	
Bilan ionique (meq/l)	Cations			
	Na⁺	15.22	25.99	17.73
	K⁺	0.45	0.69	0.51
	Ca⁺²	2.21	2.87	2.40
	Mg⁺²	3.42	3.58	4
	Anions			
	HCO₃⁻	3	2.90	2.50
	Cl⁻	14.89	24.06	21.59
	SO₄⁻	4.45	6.25	5.37
	Co₃⁻	00	00	00
SAR	/	6.33	10.22	7
Faciès chimique	/	Cl- Na	Cl- Na	Cl- Na

VI.1.1. Caractérisation de l'eau

VI.1.1.1. pH des eaux.

Le pH de l'eau de la nappe du Sénonien, Mio-pliocène et l'eau potable sont varié entre 7,5 et 7,8 (tableau 1). D'après l'échelle de pH de l'eau donnée par **BAISE (2000)** (Annexe1) cette eau est basique. Selon **HEBERT (1997)**, il appartient à la classe A (Annexe 3).

VI.1.1.2. Salinité des eaux (CE).

Les eaux de la nappe du Sénonien présentent une CE de 3,38 dS/m, les eaux de la nappe du Mio-pliocène présentent une CE de 5 dS/m, les eaux potables présentent une CE de 3.74 dS/m (Tableau1).

D'après la figure 6, qui représente le diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après RIVERSIDE réalisé par le logiciel DIAGRAMES, les trois échantillons d'eau provenant des trois nappes à savoir les eaux d'irrigation de la nappe du Sénonien et du Mio-pliocène ainsi que l'eau potables appartiennent à la classe C4 qui exprime une qualité d'eau à très forte salinité. Il faut signaler que l'eau de la nappe du Méo-pliocène est à la limite de la classe C4, cette eau présente un degré de salinité beaucoup plus élevé que les deux nappes étudiées.

Selon **SERVANT (1978)**., c'est une classe inutilisable normalement pour l'irrigation exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et une dose d'irrigation en excès pour assurer une forte lixiviation du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

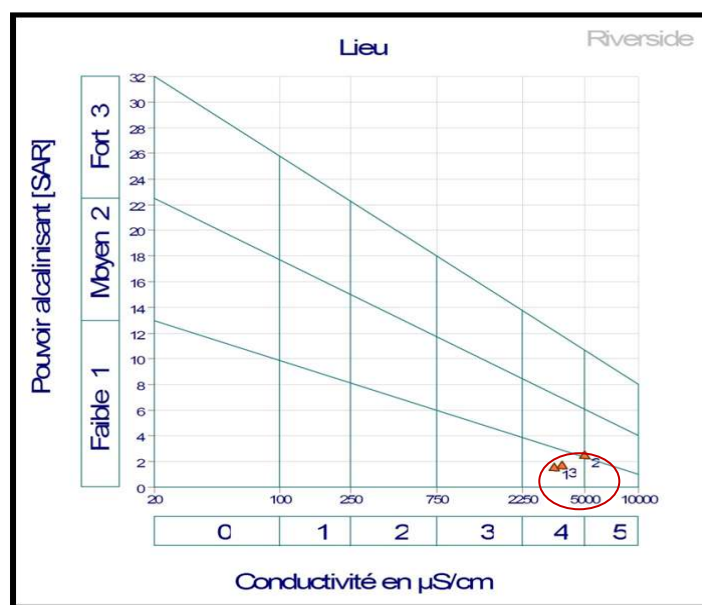


Figure 6. Degré de salinité des eaux d'irrigation étudié (C.E. à 25°C en $\mu\text{S}/\text{m}$).

VI.1.1.3. Danger d'alcalinisation

Le SAR de l'eau de la nappe du Sénonien est de 6,33, le SAR de l'eau de la nappe du Mio-pliocène est de 10.22 et celui de l'eau potable est de 7 (Tableau 2).

Selon la classification FAO des eaux souterraines (Annexe 4), l'eau des trois nappes a un faible degré d'alcalinisation, le SAR est compris entre $4 < SAR < 8$.

VI.1.1.4. Faciès chimique

Le diagramme de Piper est celui qui présente le plus grand intérêt. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs.

Le diagramme de Piper permet de catégoriser le faciès chimique d'une eau et d'étudier l'évolution spatiotemporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère. Le faciès des cations est sodique et celui des anions est chloruré, ce qui donne un faciès global chloruré sodique pour les trois types d'eau d'irrigation la nappe du Sénonien du Mio-pliocène ainsi que celle de l'eau potable (figure 7).

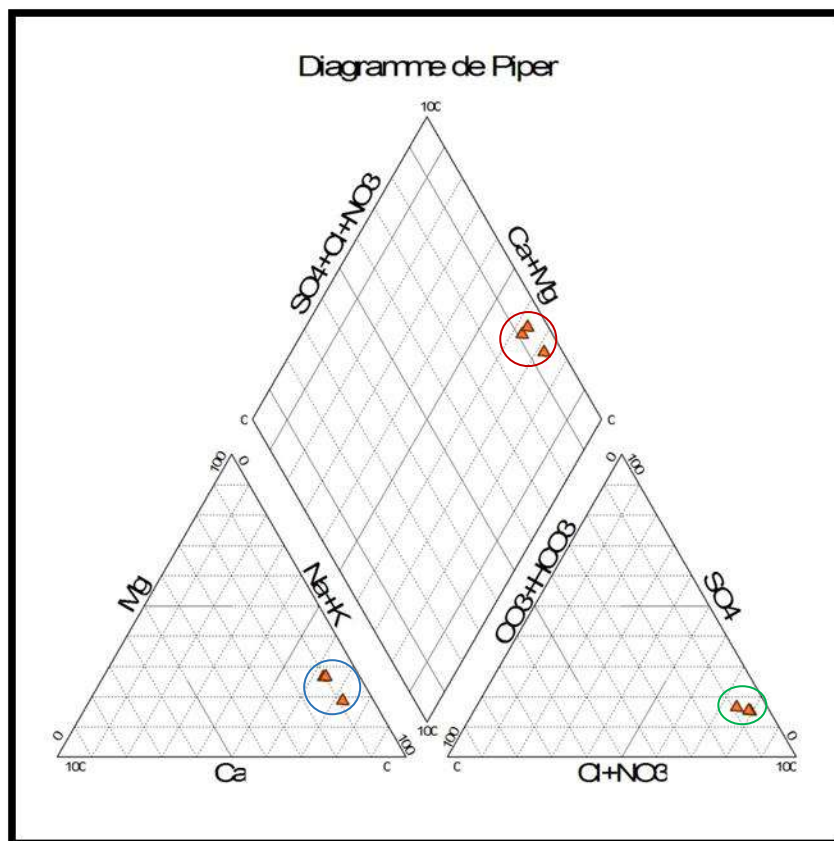


Figure 7. Diagramme de PIPER pour les eaux d'irrigation étudiées.

VI.2. Résultats du traitement de l'eau par H₂SO₄ au laboratoire.

Les analyses au laboratoire présentent les résultats de mesures du pH et de la conductivité électrique, sous l'influence de deux facteurs, la qualité d'eau avec trois modalités (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau potable) et le facteur dose de l'acide sulfurique avec quatre niveaux (D1: 0,1ml, D2: 0,15ml, D3: 0,2 ml et le témoin).

VI.2.1. Mesures du pH

Les résultats des mesures du pH, montre une relation inversement proportionnelle au différents traitement de l'acide sulfurique (figure 8). On note des pH très bas engendrés par la dose la plus élevé 0,2 ml qui peut atteindre un pH de 3.77 pour l'eau potable.

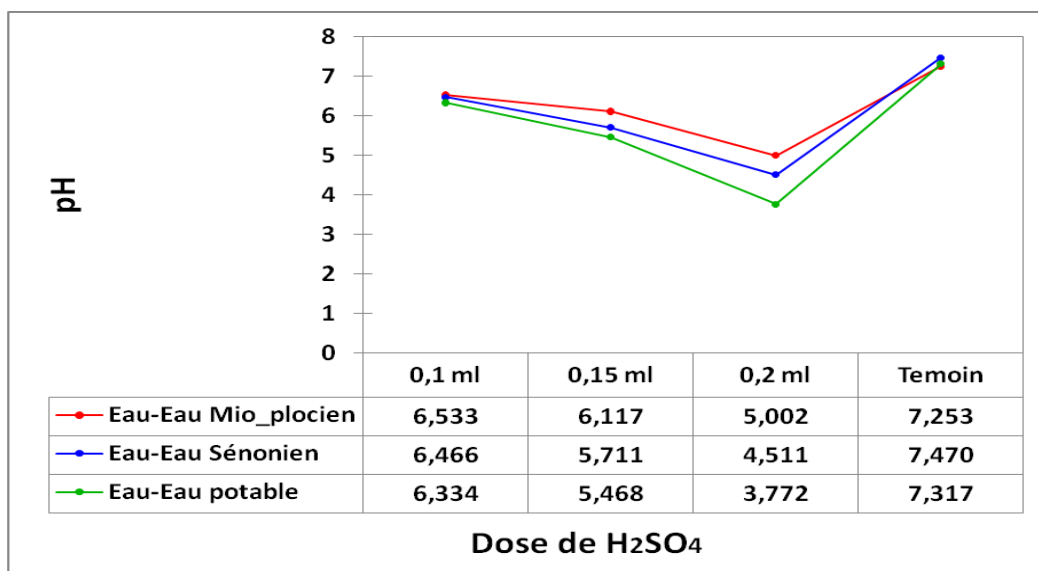


Figure 8. pH des eaux traitées par l'acide sulfurique

VI.2.1.1. Analyse de la variance du pH

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative avec une probabilité d'erreur de l'ordre de 0,0001 (seuil α : 0,001), pour les deux facteurs étudiés à savoir le facteur eau, entre les trois modalités (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau potable), et le facteur doses acide sulfurique entre les quatre niveaux (D1 : 0,1ml, D2 : 0,15 ml, D3 : 0,2 ml et témoin). L'interaction entre le facteur eau et le facteur dose d'acide sulfurique présente une différence non significative.

Tableau 3. Analyses de la variance du pH de l'eau

Source	DDI	Sommes des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Eau	2	6.458	3.229	10.422	<0.0001
Dose H ₂ SO ₄	3	89.657	29.886	96.465	<0.0001
Eau* dose de H ₂ SO ₄	6	3.639	0.606	1.958	0.080

VI.2.1.2. Test de Fisher (LSD).

a. Modalité du facteur eau.

Selon le test de Fisher (LSD) analyse des différences entre les modalités du facteur eaux avec un intervalle de confiance de 95%, on observe deux groupes (figure 9). Un groupe A, présente l'eau des deux forages Mio-pliocène et Sénonien avec une moyenne de pH successivement égale à 6,22 et 6,02, et un groupe B qui présente l'eau potable avec un moyen de pH 5,7.

Il est important de remarquer que l'eau potable est le plus sensible à la réaction avec l'acide sulfurique par rapport aux autres eaux en l'occurrence l'eau des forages Sénonien et Mio-pliocène puisque le pH qui était de 8,02 est passé visiblement à presque 5 (Figure 8).

La baisse de pH peut s'expliquer avec la réaction suivante: $H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{2-}$

Libération rapide des protons H⁺, ainsi que l'état chimique initial de cet eau.

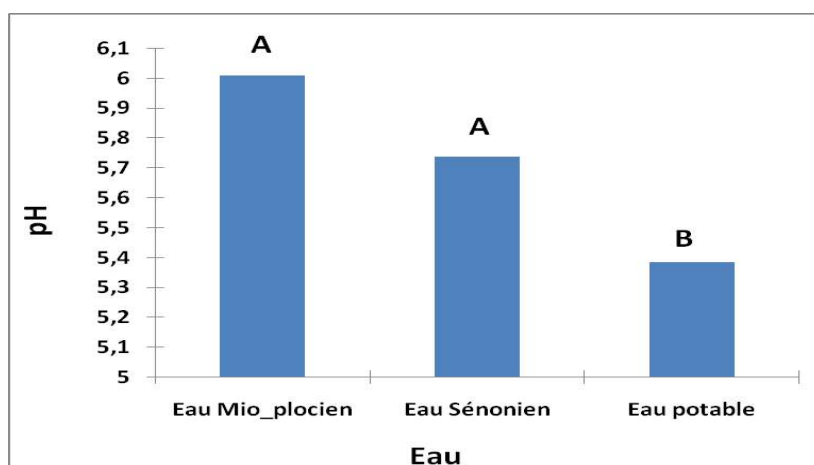


Figure 9. Effet de l'acide sulfurique sur le pH de différente eau d'irrigation sur 2L

b) Modalité du facteur doses H₂SO₄

Selon le test de Fisher (LSD), analyse des différences entre les modalités du facteur dose H₂SO₄ avec un intervalle de confiance à 95%, (figure 10) présente quatre groupes. Le Témoin avec le pH le plus élevé de 7,3 (groupe A), la doses H₂SO₄ 0,1 ml avec une moyenne de pH égale à 6.4, (groupe B), la concentration 0,15 ml avec une moyenne de pH égale à 5.7 (groupe C) et la dose 0.2 ml avec un pH le plus faible de 4,4 (groupe D).

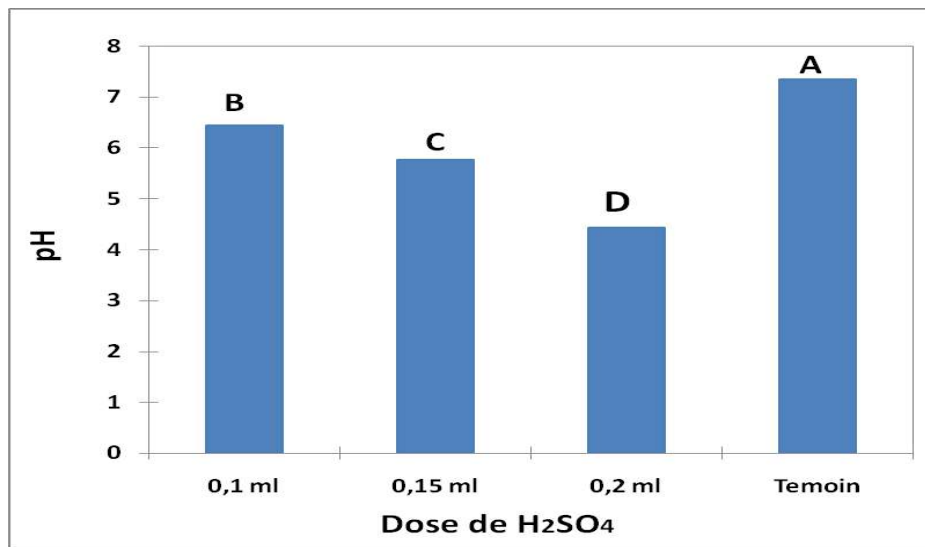


Figure 10. Effet de dose de l'acide sulfurique sur le pH de 2L d'eau.

VI.2.2. Mesures de la conductivité électrique

Les résultats des mesures de la conductivité électrique, montre une relation proportionnelle aux différents traitements à l'acide sulfurique sauf pour l'eau potable qui montre une légère diminution de la conductivité (figure 11).

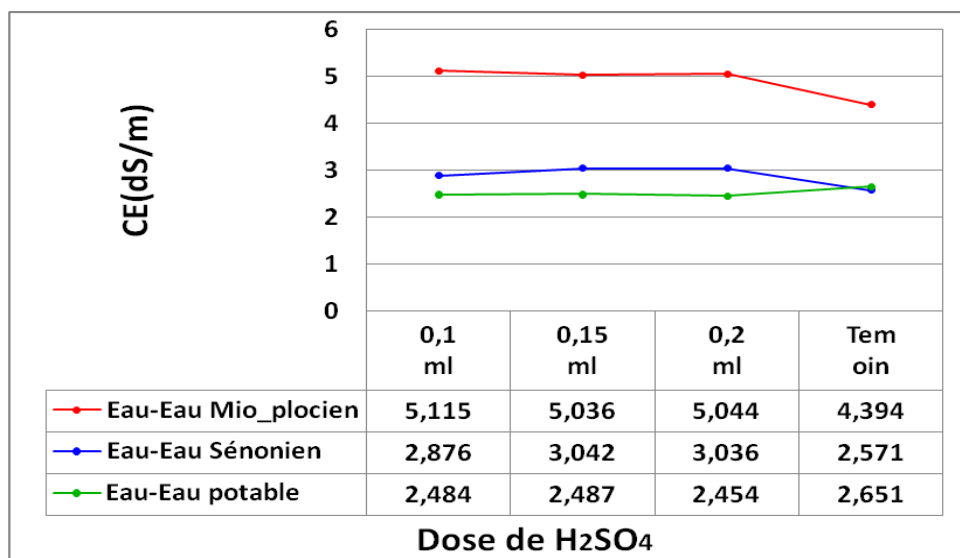


Figure 11. CE des eaux traitées par l'acide sulfurique

VI.3.1. Analyse de la variance de CE

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative avec une probabilité d'erreur de l'ordre de 0,0001 (seuil α : 0,001), pour les deux facteurs étudiés à savoir le facteur eau, entre les trois modalités (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau de potable), et le facteur doses acide sulfurique entre les quatre niveaux (D1 : 0,1ml, D2 : 0,15 ml, D3 : 0,2 ml et témoin). Ainsi que pour l'interaction entre le facteur eau et le facteur dose acide sulfurique.

Tableau 4. Analyses de la variance de CE de l'eau.

Source	DDL	Sommes des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Eaux	2	118.283	59.142	2311.630	<0.0001
Doses H ₂ SO ₄	3	0.764	0.255	9.955	<0.0001
Eau* Doses H ₂ SO ₄	6	1.237	0.206	8.058	0.0001

VI.3.2. Test de Fisher (LSD).

a. Modalité du facteur eau.

Selon le test de Fisher (LSD) analyse des différences entre les modalités du facteur eaux avec un intervalle de confiance de 95%, on observe trois groupes (figure 12). Un groupe A, présente l'eau de forage Mio-pliocène avec une moyenne de CE égale à 5, un groupe B présente l'eau de forage Sénonien avec une moyenne de CE égale à 2.9, et un groupe C qui présente l'eau potable avec une moyenne de CE égale à 2.5.

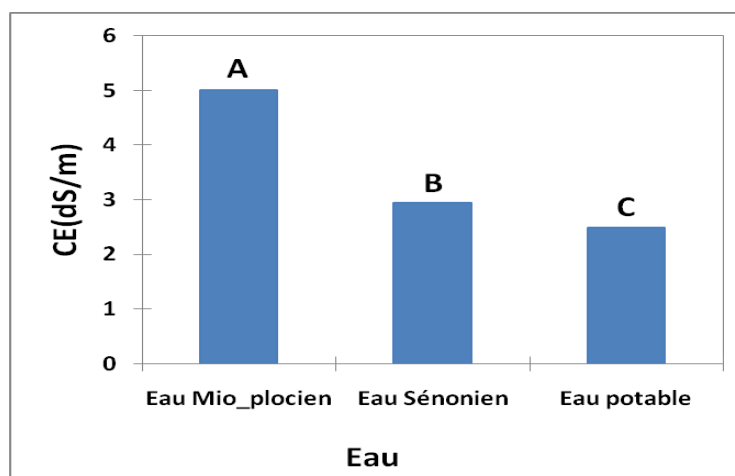


Figure 12. Effet de l'acide sulfurique sur la CE de différente eau d'irrigation sur 2L.

b) Modalité du facteur doses H₂SO₄

Selon le test de Fisher (LSD), analyse des différences entre les modalités du facteur dose H₂SO₄ avec un intervalle de confiance à 95%, (figure 13) présente deux groupes. Le groupe A présente les doses H₂SO₄ (0,1 ml, 0,15 ml et 0,2 ml) avec un moyen de CE successivement (3,49, 3,52 et 3,51 dS/m). Le témoin présent dans le groupe B avec une moyenne la plus faible de CE égale à 3,22 dS/m

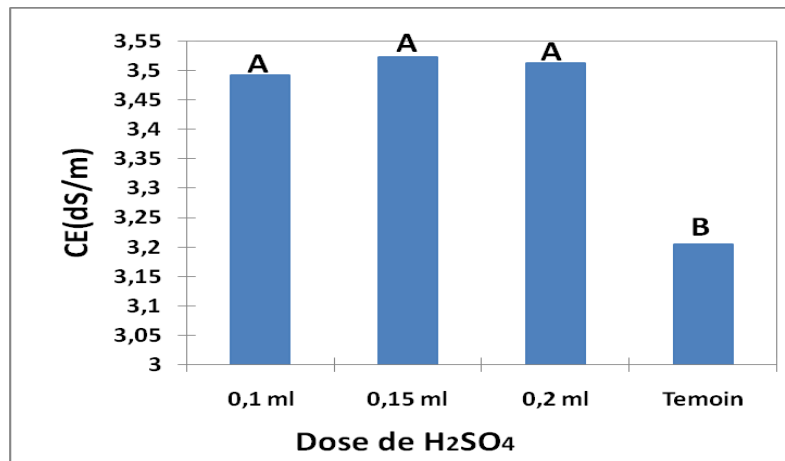


Figure 13. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur CE de 2L d'eau.

VI.3. Essais de traitement par l'acide sulfurique sur 20L d'eau d'irrigation.

Les résultats sur terrain sur le terrain présentent les résultats du pH et de la conductivité électrique sur un volume d'eau de 20 L, sous l'influence de deux facteurs, la qualité d'eau avec trois modalités (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau potable) et le facteur dose de l'acide sulfurique avec quatre niveaux (D1: 1ml, D2: 1,5ml, D3: 2 ml et le témoin).

VI.3.1. Mesures du pH

Les résultats des mesures du pH, montrent une relation inversement proportionnelle au différents traitement de l'acide sulfurique (figure 14). Il faut noter que avec l'augmentation du volume d'eau traité, (2 L au laboratoire et 20 L sur terrain) il y a une différence nette entre les pH mesurés. Pour le volume 20 L des trois types d'eau traitées (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau potable) avec les différentes doses d'acide sulfurique (D1: 1ml, D2: 1,5ml, D3: 2 ml et le témoin) on note une diminution plus faible de pH. Le plus faible pH est noté pour l'eau potable avec la dose 0,2 ml de H₂SO₄ est de 5,07.

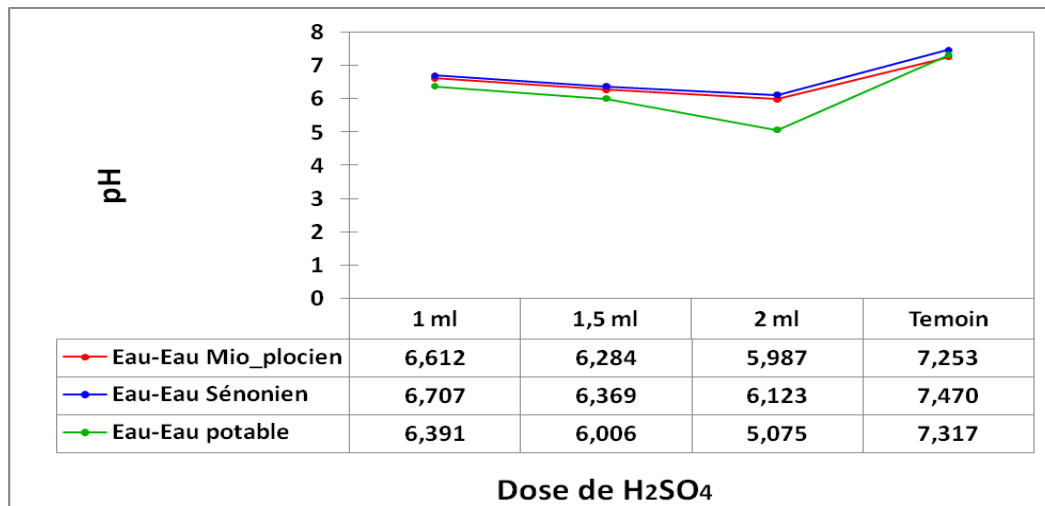


Figure 14. PH des eaux traitées par l'acide sulfurique.

VI.3.1.1. Analyse de la variance du pH

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative avec une probabilité d'erreur de l'ordre de 0,0001 (seuil α : 0,001), pour le facteur eau, entre les trois modalités (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau de potable), pour le facteur doses acide sulfurique entre les quatre niveaux (D1 : 1ml, D2 : 1,5 ml, D3 : 2 ml et témoin) ainsi que pour l'interaction entre le facteur eau et le facteur dose acide sulfurique.

Tableau 5. Analyses de la variance du pH de l'eau.

Source	DDI	Sommes des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Eau	2	5.279	2.640	133.666	<0.0001
Dose H ₂ SO ₄	3	22.002	7.334	371.393	<0.0001
Eau* dose de H ₂ SO ₄	6	2.537	0.423	21.413	<0.0001

VI.3.1.2. Test de Fisher (LSD).

a. Modalité du facteur eau.

Selon le test de Fisher (LSD) analyse des différences entre les modalités du facteur eaux avec un intervalle de confiance de 95%, on observe trois groupes (figure 15). Un groupe A, présente l'eau de forage Sénonien avec un moyen pH de 6,5, un groupe B qui présente l'eau de

forage Mio-pliocène avec une moyenne de pH égale à 6,3 et l'eau potable présente un groupe C avec une moyenne de pH égale à 5.9.

Les différents qualités d'eau réagissant différemment avec le traitement par l' H_2SO_4 , parce que chaque eau a un pouvoir à neutraliser les acides, c'est un peu comme le «pouvoir tampon de l'eau». Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonates de calcium et de magnésium dissous dans l'eau (Isabelle COUTURE, 2006)

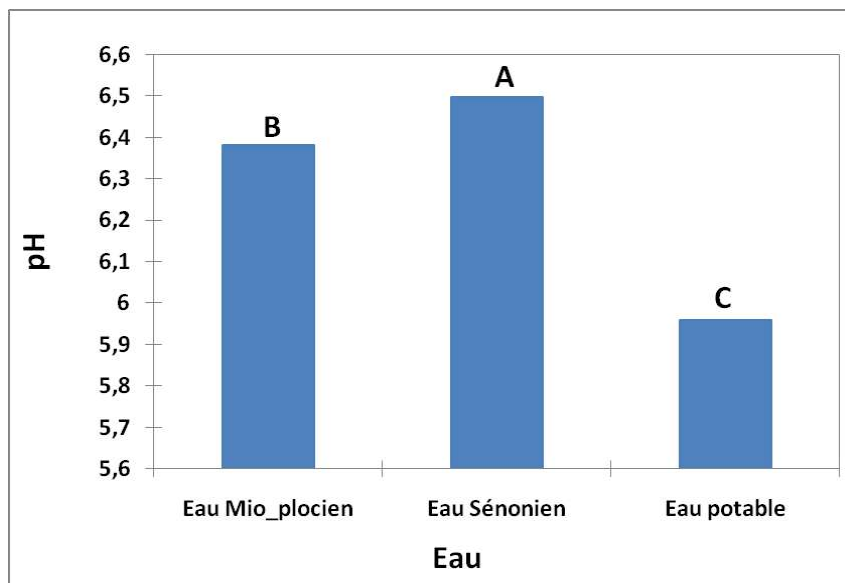


Figure 15. Effet de H_2SO_4 sur le pH de différente eau d'irrigation sur 20L.

b. Modalité du facteur doses H_2SO_4

Selon le test de Fisher (LSD), analyse des différences entre les modalités du facteur dose H_2SO_4 avec un intervalle de confiance à 95%, (figure 16) présente quatre groupes. Le Témoin avec le pH le plus élevé de 7,3 (groupe A), la doses H_2SO_4 1 ml avec une moyenne de pH égale à 6.5, (groupe B), la dose 1,5 ml avec une moyenne de pH égale à 6.2 (groupe C) et la dose 2 ml avec un pH le plus faible de 5.7 (groupe D).

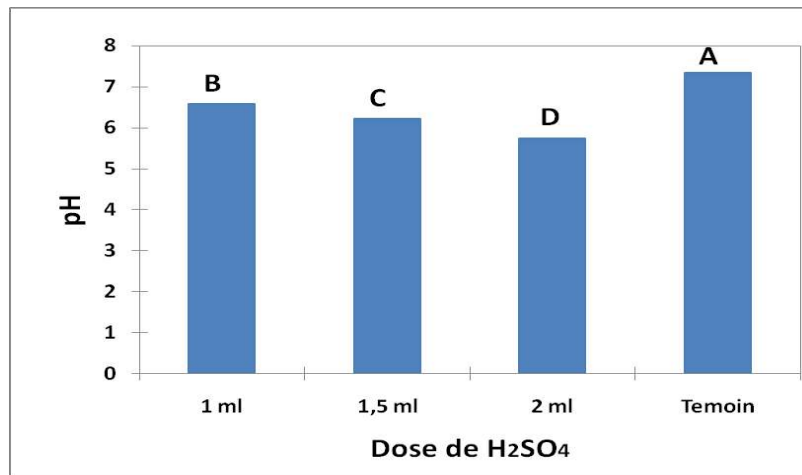


Figure 16. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur le pH de 20L d'eau.

VI.3.2. Mesures de la CE des eaux traitées par H₂SO₄ sur terrain.

Les résultats des mesures de la conductivité électrique, montre une certaine proportionnalité au différents traitement à l'acide sulfurique (figure 17). On assiste à un même comportement de l'eau à la variation de la CE que celui des mesures au laboratoire avec une diminution parfois plus importante de la conductivité électrique.

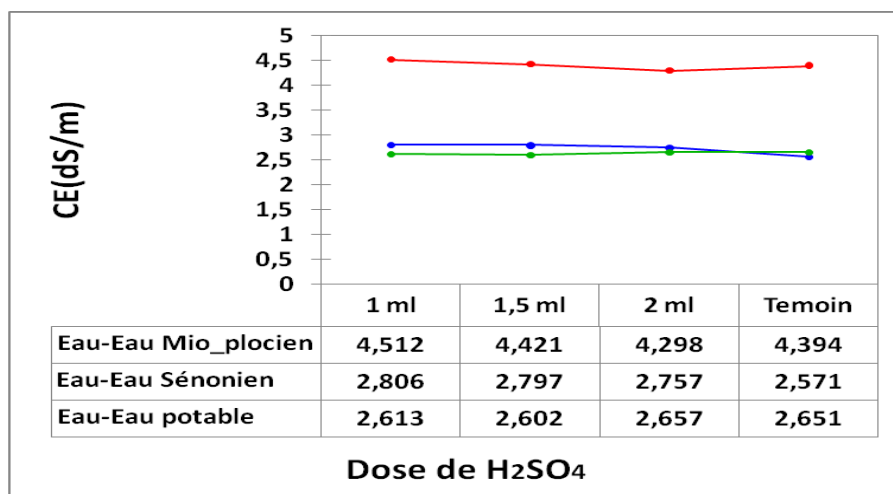


Figure 17. CE des eaux traitées par l'acide sulfurique sur terrain

VI.3.2.1. Analyse de la variance de la CE

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative avec une probabilité d'erreur de l'ordre de 0,0001 (seuil α : 0,001), pour le facteur eau, entre les trois modalités (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau de potable), pour le facteur doses acide sulfurique entre les quatre niveaux (D1 : 1ml, D2 : 1,5 ml, D3 : 2 ml et témoin) ainsi que pour l'interaction entre le facteur eau et le facteur dose acide sulfurique.

Tableau 6. Analyses de la variance de CE de l'eau.

Source	DDI	Sommes des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Eau	2	64.788	32.394	2943.676	<0.0001
Dose H ₂ SO ₄	3	0.118	0.039	3.588	0.017
Eau* dose de H ₂ SO ₄	6	0.272	0.045	4.127	0.001

VI.3.2.2. Test de Fisher (LSD).

a. Modalité du facteur eau.

Selon le test de Fisher (LSD) analyse des différences entre les modalités du facteur eaux avec un intervalle de confiance de 95%, on observe trois groupes (figure 18). Un groupe A, présente l'eau de forage Mio-pliocène avec une moyenne de CE égale à 4.4 dS/m, un groupe B présente l'eau de forage Sénonien avec une moyenne de CE égale à 2.7 dS/m, et un groupe C qui présente l'eau potable avec une moyenne de CE égale à 2.6 dS/m.

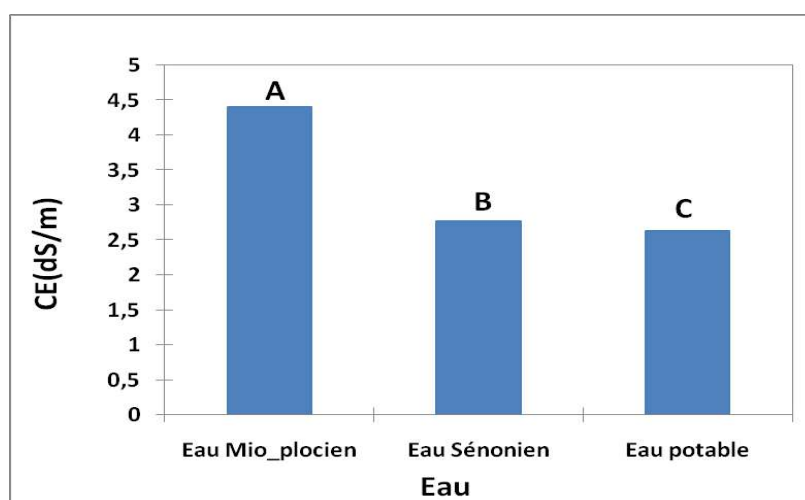


Figure 18. Effet de H₂SO₄ sur la CE de différente eau d'irrigation sur 20L.

b. Modalité du facteur doses H₂SO₄

Selon le test de Fisher (LSD), analyse des différences entre les modalités du facteur dose H₂SO₄ avec un intervalle de confiance à 95%, (figure 19) présente trois groupes. Le groupe A présente la dose H₂SO₄ 1ml avec une moyenne la plus élevée de CE 3.3 dS/m. La dose 1.5 ml présente dans le groupe intermédiaire AB avec une moyenne de CE égale à 3.27 dS/m et la dose 2 ml ainsi que le témoin présent dans le groupe B avec une moyenne la plus faible de CE 3.2 dS/m.

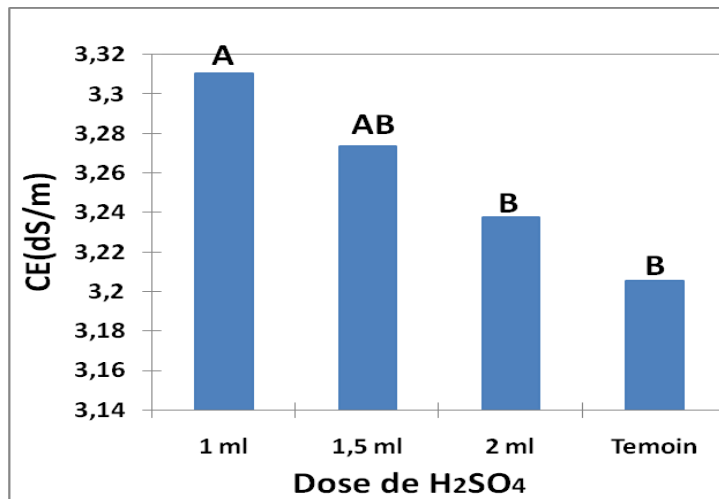


Figure 19. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur la CE de 20L d'eau.

VI.4. Irrigation du sol salé par les eaux traitées

VI.1.1. Caractérisation du sol initial

Le sol choisi de l'exploitation de l'université d'Ouargla est un sol irrigué, les résultats de l'analyse du sol de la parcelle étudiée affiche un pH de 7,81, selon l'échelle de **SOLTNER (1989)** (Annexe 5), le pH est légèrement alcalin ($7,6 < \text{pH} < 8$). La CE dS/m est de 4,62 le sol appartient à la classe des sols très salés ($2,4 < \text{CE} < 6$) d'après l'échelle d'interprétation (**AUBERT, 1978**).

VI.5.1. Mesures du pH du sol irrigué par l'eau traitée

Les résultats des mesures du pH de la solution du sol montrent une diminution de ce paramètre par rapport au témoin irrigué par de l'eau non traitée, les pots irrigués par l'eau potable montre une augmentation du pH (figure 20).

Le sol doit être maintenu humide durant la période d'oxydation qui, normalement, dure quelques semaines. Si le sol est très alcalin ou très salé, l'oxydation sera plus lente et prendra quelques mois (**ELFELAH K., 2017**).

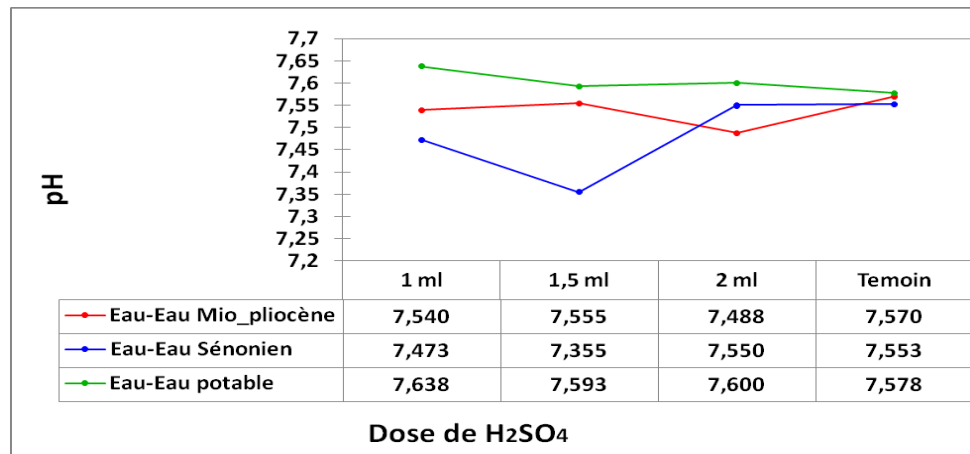


Figure 20. pH du sol irrigué par l'eau traitée par l'acide sulfurique

VI.5.2. Analyse de la variance du pH

L'analyse de la variance montre une différence significative avec une probabilité d'erreur de l'ordre de 0,013 ($0.05 < \alpha < 0,01$), pour le facteur doses acide sulfurique entre les quatre niveaux (D1 : 0,1ml, D2 : 0,15 ml, D3 : 0,2 ml et témoin). On note une différence très hautement significative avec une probabilité d'erreur de l'ordre de 0.0001 pour le facteur eau ainsi que pour l'interaction entre le facteur eau et le facteur doses acide sulfurique.

Tableau 7. Analyses de la variance du pH de l'eau

Source	DDL	Sommes des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Eaux	2	0.114	0.057	24.807	<0.0001
Dose H ₂ SO ₄	3	0.029	0.010	4.130	0.013
Solution du sol* dose de H ₂ SO ₄	6	0.098	0.016	7.099	<0.0001

VI.5.3. Test de Fisher (LSD).

a. Modalité du facteur eau.

Selon le test de Fisher (LSD) l'analyse des différences entre les modalités du facteur eaux avec un intervalle de confiance de 95%, on observe trois groupes du pH de la solution du sol (figure 21). Un groupe A présente l'eau potable avec une moyenne de pH égale à 7,60, un groupe B qui présente l'eau de forage Mio-pliocène avec une moyenne de pH égale à 7,54 et un groupe C qui présente l'eau de forage Sénonien avec une moyenne pH égale à 7,48.

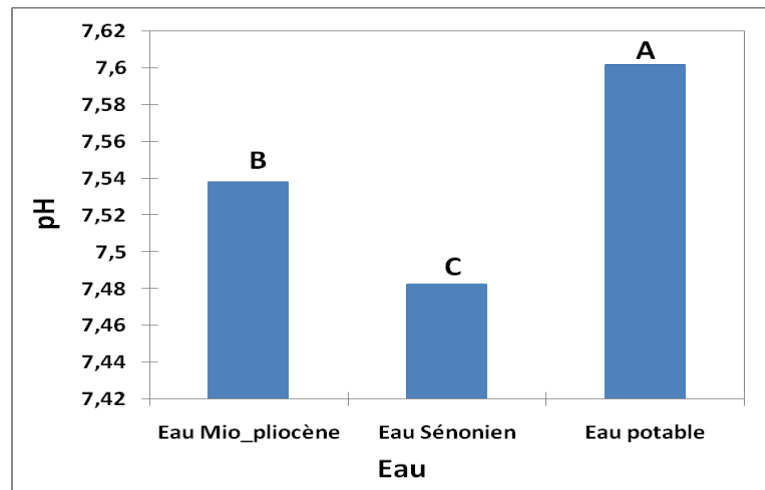


Figure 21. pH du sol après l'irrigation par l'eau traitée.

b. Modalité du facteur doses H₂SO₄

Selon le test de Fisher (LSD), analyse des différences entre les modalités du facteur dose H₂SO₄ avec un intervalle de confiance à 95%, (figure 21) on observe trois groupes. Les sols irrigués par l'eau traité par la dose 1,5 ml de H₂SO₄ présente le groupe B avec un pH de 7,56, les sols irrigués par les doses 1ml et 2ml de l'H₂SO₄ présente le groupe intermédiaire AB avec un pH de 7,55 pour la dose 1 ml et un pH de 7,54 pour la dose 2 ml, le témoin présente le groupe A avec le pH le plus élevé 7,56.

L'irrigation par l'eau traitée concentrée à 2 ml a anormalement affiché un pH supérieur à celui de l'échantillon irrigué par la concentration de 1.5 ml, cela peut être en relation avec la forte salinité de l'échantillon de sol avant traitement par l'acide (figure 22).

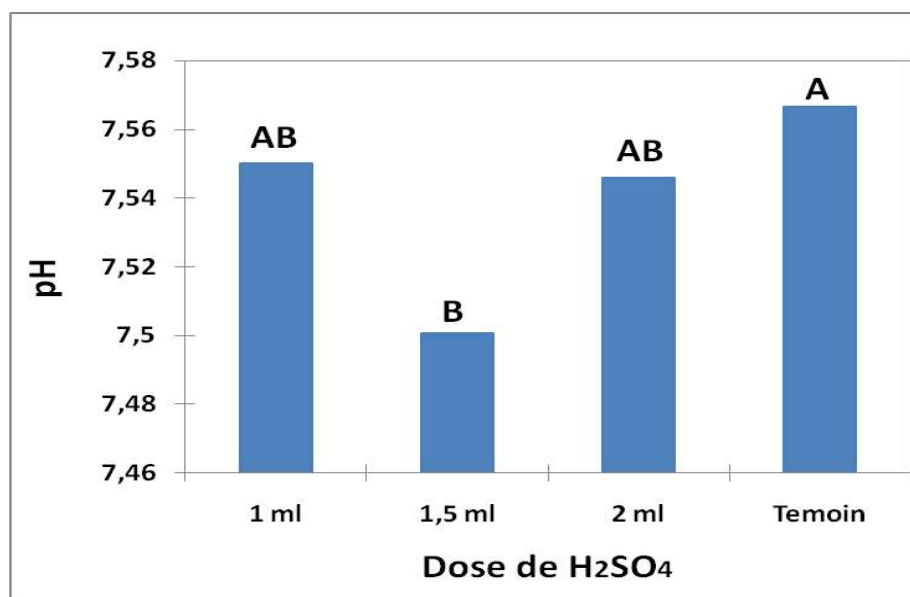


Figure 22. Effet de concentration de l'acide sulfurique sur pH de sol

Le pH n'a pas enregistré de diminutions significatives après (7 semaines) d'irrigation par l'eau traitée. Les protons apportés par l'eau ont été neutralisés par la dissolution du carbonate de calcium. Ce résultat montre que, malgré le fait d'irrigation avec une eau à pH 6 durant 7 semaines, le pH du sol n'a pas significativement diminué. L'excès de proton H^+ amené par l'eau d'irrigation est continuellement neutralisé par les carbonates (**MADREF, 2002**).

L'acidification du sol résulte de l'apport direct ou indirect de protons et a pour conséquence une diminution de son alcalinité déterminant sa capacité à neutraliser les acides, autrement dit de son pouvoir tampon (**GEORGES P, 2007**).

Conclusion

Conclusion

En réponse au travail mené sur la thématique, essais de traitements chimiques sur les eaux d'irrigation réputés pour leur grande salinité. Nous avons utilisé l'acide sulfurique porteur des anions SO_4^{2-} responsable de l'acidité. Ainsi plusieurs concentrations de cet acide à 30% ont été essayées sur des eaux d'origine différentes (Mio-pliocène, Sénonien et l'eau potable). Les doses retenues sont D1=1ml, D2=1.5ml, D3=2ml après des essais au laboratoire sur un volume de 2 L et d'autres essais sur terrain sur un volume de 20L d'eau, représentant un pourcentage insignifiant soit 0.01% de l'acide dans l'eau.

Ce travail qui se propose d'améliorer la qualité des eaux et des sols par le traitement des eaux par l'acide sulfurique, a permis de tirer les conclusions suivantes

- Le pH des différentes eaux a diminué considérablement et cela en fonction de la concentration de l'acide sulfurique, on assiste à une relation inversement proportionnelle dans la plus part des cas étudiés.
- Concernant le sol traité par l'eau acidifiée le pH n'a pas connu de diminution considérable et cela peut être dû à l'insuffisance du temps de réaction. Et à la haute salinité du sol remarquée avant traitement.
- Après le traitement des différentes eaux par les différentes concentrations d'acide sulfurique la conductivité électrique a marqué une légère augmentation grâce à l'ajout des ions SO_4^{2-} .

D'après nos investigations et notre recherche bibliographique Le traitement par l'acide sulfurique est une nouvelle technique pour le traitement des eaux en Algérie. La vulgarisation de ces résultats nécessite plus d'expérimentations sur différentes eaux, sols et plantes. Pour répondre aux objectifs du développement de cette méthode, il est nécessaire d'étudier plus profondément l'efficacité et les performances de ce traitement, à ce niveau nous recommandons pour l'avenir ce qui suit :

- Des essais doivent être menés à l'acide sulfurique pur, avec une composition et une concentration connue, pour mieux caractériser la qualité de l'eau avant et après traitement.
- Etablir un bilan ionique entier de l'eau et du sol.
- Nous proposons de faire des essais avec des plantes sensibles qui ne tolèrent pas la salinité et qui ont un cycle végétatif court.

- Essayer d'autres produits acidifiants ou à base d'acide pour traiter les eaux d'irrigation, en l'occurrence les acides phosphorique, nitrique et d'autres. Le choix des acides par rapport aux autres substances est préférable à cause de leurs effets multiples à savoir l'acidification et la nutrition.

En Fin, nous souhaitons que ce travail se pour suivra par d'autres travaux en vue de mieux cerner le problème de la salinisation des sols et approfondir d'avantage l'expérimentation sur le traitement des eaux, dont les retombées seront positives pour le développement agricole de cette région.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **A.N.R.H., 2019.** Agence National des Ressources Hydrique de la région de Ouargla.
2. **AUBERT G., 1975** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de l'I.N.A. Alger 6 (1), pp.185-195.
3. **AUBERT G., 1978** - Méthodes d'analyse des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 189 p.
4. **BADRAOUI M., AGBANI M., et SOUDI B., 2000** -Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat. Maroc. 11p.
5. **Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, 2002** – Le générateur d'acide sulfurique (SAG), bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA n°92, P4.
6. **BAIZE D., 2000** - Guide des analyses courantes en pédologie, 2^{ème} édition revue et augmentée.I.N.R.A., Paris, 257p.
7. **BEN BATOUCHE I., 2007** - *Contribution de l'effet des différents types d'engrais potassiques sur cultures maraichères. cas du concombre (cucumissativusl .var président) à hassi den abdellah*, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie Saharienne, Université KasdiMerbah Ouargla, 83 p
8. **BAGNOULS F., GAUSSEN G., 1953-** Période de sécheresse et végétation. Les Comptes rendus de l'Académie des sciences, 236 : 1076-7
9. **BAGNOULS F. et GAUSSEN G., 1957-** Climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 355 : 193-220.
10. **BOUHOERIERA W., 2013** - *Biodiversité des arthropodes dans la région de Ouargla (cas de Hassi Ben Abdallah)* ; Mémoire D'ingénieur d'Etat en Agronomie, Université KasdiMerbah Ouargla ; 68 p
11. **CALVET R., 2003** - Le sol : Propriétés et fonctions. édition France Agricole. 511p.
12. **CHESWORTH W., 2008** - Encyclopedia of Soil Science, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902 p.
13. **DAKAK H., SOUDI B., BEN MOHAMMADI A., DOUAIK A., BADRAOUI M., MOUSSADEK R., 2011-** Prospection de la salinité des sols par induction

électromagnétique sur la plaine du Tadala (Maroc) : tentative d'optimisation par analyse géostatistique. Sechresse. Vol. 22. 178-85 p.

14. **DIARRA L., 1991** - Contribution a l'étude de la résistance de quelques espèces fourragères aux phénomènes de salinisation – alcalinisation. Mémoire d'Ingénieur, Ministère de l'éducation Nationale du Mali. Sciences Appliquées de IIPR de Katibougou. spécialité Agriculture.63p.
15. **DJILI K. DAOUD Y. GAOUAR A. BELJOUDI Z., 2003** - La salinisation secondaire des sols au Sahara, conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Sécheresse. 4: 241-6.
16. **DURAND A., 1983** - Les sols irrigables. Presses universitaires de France. Paris. 322p.
17. **DURAND J., 1983**, Les sols irrigables: Étude pédologique, presses universitaires de France, Paris339p.
18. **DURAND J. H., 1958** - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190p.
19. **DUTUIT P., 1999**- étude de la diversité biologique de l'Atriplexhalimus pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes de milieu et constitution de clones. Univ. Paris –Sud. P138.é. InstNati de Reche Agro de Tunisie. Sécheresse Volume 12, Numéro 3, 167-74.
20. **EDDOUD A ., 2003** . Caractérisation et évaluation des palmiers mâles (Dokkars) de l'exploitation de l'université de Ouargla (ITAS) et étude de quelques aspects liés à la fructification des dattes chez trois variété : degletnour , et ghars et degletbeida.
21. Etude de l'impact des vers de terre sur l'évolution de la matière organique en régions sahariennes (Cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire de Magister. Université de Ouargla. 127p.
22. **FAO., 2015** – les sols sont une ressource non renouvelable leur préservation est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire et un avenir durable. Italie.
23. **FUTURE-SCIENCES, 2019**_ Définition de l'acide sulfurique, disponible sur :<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-acide-sulfurique-15032/>, visité le : 10/05/2019.
24. **GAUCHER G., BUBDIN S., 1974** - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Université de France. 230p .In **MISSAOUI Y.**,

1991. Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p.
- 25. GIRARD J. F., LEGCHENKO A., BOUCHER M., 2005** - Stability of MRS signal and estimating data quality. *Near Surface Geophysics*. 187 -194p.
- 26. GRÜNBERGER O., 2015** - Dynamiques salines des sols des milieux arides et semiarides. *Sciences de la Terre*. Université de Montpellier.
- 27. GEORAGES PEDRO, 2007**- Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux, *Académie des sciences*, p427.
- 28. HADDAD S., ABBES K., 2015** - Etude de l'impact de l'irrigation-drainage sur la salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla. 42p.
- 29. HALITIM A., 1988** - Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384p.
- 30. HAMDI AISSA B., 2001** – Le Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon. 310p.
- 31. HEBERT S., 1997.**, Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau pour les rivières de Québec, Ministère de l'environnement et de la faune, Québec, 20p.
- 32. IPTRID (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage) 2006**- Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation Du 6 Février au 6 Mars 2006.
- 33. IRD 2008.***Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles* : 1er partie Salinisation et sodisation des sols. 2ème partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.
- 34. INRS, 2014**_ Acide sulfurique, Fiche toxicologique n°30, disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>, visité le : 16/03/2019.
- 35. ISABELLE COUTURE, 2006**_ Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation, *COLLOQUE SUR L'IRRIGATION L'EAU, SOURCE DE QUALITÉ ET DE RENDEMENT*, p12, disponible sur agrireseau.qc.ca, visité le 13-01-2019.

36. l'irrigation-drainage sur la salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla. 42p.
37. **LACHARMEM., 2001** - Le contrôle de la salinité dans les rizières (Fascicule 9). Coopération Française du Développement Rural et de l'Environnement Direction de la Recherche Formation Vulgarisation. Sénégal.16p.
38. **MATHIEU C., AUDOYE P., CHOSSAT J.C., 2007** - Bases techniques de l'irrigation par aspersion. Edit TEC & DOC. Paris. 474 p. In KEMASSI S., 2015-
39. **MATHIEU C., LOZET J., 2011**- Dictionnaire encyclopédique de science du sol. Lavoisier. Edition Tech&Doc. Paris. 733 p.
40. **MERMOUD A., 2006**-Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
41. **MERMOUD., 2006** -Maîtrise de la salinité des sols. Ecole ploytechnique fédérale de Lausanne.15p.
42. **MISSAOUI Y., 1991** -Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p.
43. **SERVANT J., SERVAT E., 1966** - Introduction à l'étude des sols salés littoraux de Languedoc-Roussillon. Ann. Agro., 17(1), 53-73.
44. **SERVAT E, DUPUIS M, FAVROT C., 1972**, Étude pédologique préalable au drainage(premier volume) Ministère de l'agriculture, France, No271_272,pop:723_748.
45. **NAJI S., 2015** – *Enquête sur l'état d'infestation des cultures maraichères par les meloïdogyne (NomatodaMeloïdogynidae) dans les régions d'Adrar et d'Ouargla*, Mémoired'Ingénieur d'Etat en Agronomie Saharienne, 43 p
46. **SOLTNER D., 1989** - Les bases de la production végétal. Tome I: Le sol, 17ème Ed. C.S.T.A., Angers, 468 p. in HADDAD S., ABBES K., 2015- Etude de l'impact de
47. **USSL., 1954** - Diagnostic and improvement of saline and alckali soils. U.S.A.D, Handbook. N°60. 160p.
48. **ONM, 2019** -, *rapport sur les données climatiques de la région de Ouargla*, Office National de la Météorologique de Ouargla, 10 p.
49. **ROUVILLOIS-BRIGOLM., 1975**-*le pays de Ouargla, Sahara algérien-Ed-département de géographie de l'université de paris-soobonne*.P389.

- 50. RICHARDS L.A,1954.,**Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils, United States Salinity Laboratory Staff, Agricultural handbook N° 60, United States Department of Agriculture, 160p.
- 51. ELFELAH Khalid, 2017, Agriculture du Maghreb.,** (www.agri-mag.com/2017/06/le-soufre-dans-la-nutrition-des-plantes/) consultée le :25-04-2019

Annexes

Annexes

Annexe I- Annexes en relation avec les eaux d'irrigation

Annexe N°01. Échelle de pH (BAIZE, 2000).

pH<3,5	Hyper acide
3,5<pH<4,2	Très acide
4,2<pH<5,0	Acide
5,0<pH<6,5	Peu acide
6,5<pH<7,5	Neutre
7,5<pH<8,7	Basique
pH>8,7	Très basique

Annexe N°02. Classement des eaux en fonction de leurs salinités (DURAND,1983).

Classe	CE à 25°C (dS/m)	Appréciation	Utilisation
C1	<0,25	Eaux non salines	Utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de la salinité dans le sol.
C2	0,25 à 0,75	Eaux à salinité moyenne	Utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité
C3	0,75 à 2,25	Eaux à forte salinité	Inutilisables pour les sols à drainage restreint. même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées.

C4	2,25 à 5	Eaux à très forte salinité	Inutilisables normalement pour l'irrigation exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.
C5	>5	Eaux à salinité excessive	Inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes aux sels.

Annexe N°03. Appréciation de la qualité de l'eau selon pH (HEBERT,1997).

Valeur de pH	Classe	Appréciation
6,9-8,6	A	Bonne qualité
6,5-6,8 ou 8,7-9	B	Qualité satisfaisante
6,2-6,5 ou 9,1-9,3	C	Qualité douteuse
5,8_6,1 ou 9,4-9,6	D	Mauvaise qualité
<5,8 ou >9,6	E	Très mauvaise qualité

Annexe N°04. Classification FAO des eaux souterraines selon leur salinité (In GANA, 2002).

SAR	Degré d'alcalinisation
<4	Basse d'alcalinisation
4< SAR< 8	Faible d'alcalinisation
8< SAR< 12	Alcalinisation moyenne
12< SAR<18	Alcalinisation forte
>18	Alcalinisation inters

Annexe N°5. Classification des sols selon le pH de l'extrait 1/2,5 du sol (SOLTNER,1989).

pH	Classes
5 à 5,5	Très acide
5,6 à 5,9	Acide
6 à 6,5	Légèrement acide

6,6 à 7,2	Neutre
7,3 à 8	Alcalin
>8	Très alcalin

Annexe N°6. Échelle de la conductivité électrique d'extrait 1/5 du sol (AUBERT, 1978).

CE à 25 (dS/m)	Sol
<0,6	Non Salé
0,6 à 1,2	Peu Salé
1,2 à 2,4	Salé
2,4 à 6	Très Salé
>6	Extrêmement Salé

NORMES D'INTERPRÉTATION D'UNE ANALYSE D'EAU

Le tableau ci-après résume les valeurs acceptables pour différents éléments trouvés dans l'eau d'irrigation. Ce sont des valeurs souhaitables lorsque l'eau est utilisée de façon continue.

Annexe N°7. Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles

Paramètres	Concentration maximale
Alcalinité (CaCO ₃)	1 à 100 ppm (pas supérieure à 200)
Aluminium (Al ³⁺)	0 à 5 ppm
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	30 à 50 (pas supérieure à 150)
Bore (B)	0,2 à 0,5 (pas supérieure à 0,8)
Calcium (Ca ²⁺)	40 à 120 ppm
Chlore (Cl ⁻)	0-100 ppm (pas supérieure à 140)
Cuivre (Cu ²⁺)	0,08 – 0,15 ppm (pas supérieure à 0,2)
Fluor (F ⁻)	0 (pas supérieure à 1)
Fer (Fe ³⁺)	1 à 2 ppm (pas supérieure à 5)
Magnésium (Mg ²⁺)	6 à 25 ppm

Manganèse (Mn ²⁺)	0,2 à 0,7 ppm (pas supérieure à 2)
Molybdène (Mo)	0,02 à 0,05 ppm (pas supérieure à 0,07)
pH	5 à 7
Potassium (K ⁺)	0,5 à 5 ppm
Ratio d'absorption du sodium (RAS)	0 à 4 ppm
Sodium (Na ⁺)	0 à 30 ppm (pas supérieure à 50)
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	24 à 240
Matière dissoute totale	70 à 700 ppm (pas supérieure à 875)
Zinc (Zn ²⁺)	0,1 à 0,2 ppm (pas supérieure à 2,0)
Salinité (mS)	Inférieure à 1,0-1,5

Sources: H.G. Peterson 1999. Water quality and Micro-irrigation for horticulture. Agriculture et Agroalimentaire Canada. http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_e.htm

Essais de traitements chimiques des eaux d'irrigation par l'acide sulfurique. Le cas des eaux de l'exploitation agricole de l'université Kasdi Merbah Ouargla.

Résumé

Dans les zones sahariennes en l'occurrence dans le bas Sahara, les sols et les eaux sont réputés pour leurs grandes halomorphie.

Notre travail qui se propose de diminuer la salinité dans l'eau ensuite dans le sol en introduisant des doses différentes d'acide sulfurique a relevé les résultats suivants.

La démarche adoptée commence par une phase de laboratoire qui consiste à faire l'échantillonnage de trois types d'eau (forage Sénonien, Mio-pliocène et l'eau potable) et le sol pour réaliser des analyses physico chimiques, et faire des essais sur l'eau pour déterminer les doses de l'acide sulfurique qu'il faut ajouter à l'eau d'irrigation. Et une phase de terrain pour faire des essais sur les sols salée par l'eau traitée.

L'eau potable comparé aux eaux des forages Sénonien, Mio-pliocène a répondu le mieux à l'action de l'acide sulfurique et cela est attesté par les valeurs limites des pH.

Le pH des différentes eaux des forages Sénonien et Mio-pliocène et l'eau potable a diminué proportionnellement avec l'augmentation des concentrations de l'acide sulfurique, Contrairement aux conductivités électriques (CE) qui n'ont pas connu d'augmentation nette.

En outre le pH du sol n'a pas subi de changement à la baisse remarquable avant et après traitement.

Mots clés: salinité, eau d'irrigation, acide sulfurique, Ouargla, Algérie

Testing of chemical treatment of irrigation water with sulphuric acid. The case of water from the agricultural holding of the Kasdi Merbah Ouargla University.

Abstract :

In the Saharan areas, in this case in the lower Sahara, soils and waters are famous for their great halomorphism.

Our work which proposes to reduce the salinity in the water then in the soil by introducing different doses of sulfuric acid raised the following results.

The approach adopted begins with a laboratory phase consisting of sampling three types of water (Senonian borehole, Mio-pliocene and drinking water) and the soil to perform physico-chemical analyzes, and to test water to determine the doses of sulfuric acid that must be added to the irrigation water. And a field phase to test saline soils with treated water.

Drinking water compared to the waters of Senonian boreholes, Mio-pliocene responded best to the action of sulfuric acid and this is attested by the pH limit values.

The pH of the various waters of the Senonian and Mio-Pliocene boreholes and the drinking water decreased proportionally with the increase of sulfuric acid concentrations, unlike the electrical conductivities (EC) which did not experience a net increase.

In addition the soil pH did not undergo a remarkable downward change before and after treatment.

Key words: salinity, irrigation water, sulfuric acid, Ouargla, Algeria.

محاولات العلاج الكيميائية لمياه الري من قبل حمض الكبريتيك. حالة مياه مزرعة جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

ملخص:

في المناطق الصحراوية، وبالذات في حالة الصحراء السفلى، تشتهر التربة والمياه بتطورها الكبير.

عملنا الذي يقترح تقليل الملوحة في الماء ثم في التربة عن طريق إدخال جرعات مختلفة من حمض الكبريتيك ادلى النتائج التالية.

تبدأ المنهجية المتبعة بمرحلة مختبرية تتكون من أخذ عينات من ثلاثة أنواع من المياه (بئر السنون، وميو-البليوسين ومياه الشرب) والتربة لإجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية، واختبار الماء لتحديد جرعات حمض الكبريتيك التي يجب إضافتها إلى مياه الري. ومرحلة ميدانية لاختبار التربة المالحة بالماء المعالج.

مياه الشرب مقارنة بمياه الآبار السنونية وميو بلوسين، استجابت بشكل أفضل لعمل حامض الكبريتيك و ذلك بدلالة القيم الحدية لدرجة الحموضة.

انخفض الرقم الهيدروجيني (pH) لمختلف مياه الآبار السنونية والميوسينية ومياه الشرب بشكل متناسب مع زيادة تركيزات حمض الكبريتيك، على عكس الناقلية الكهربائية