

UNIVERSITE KASDI MERBAH , OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER Académique

Domaine: Sciences de la nature et de la vie

Filière: Biologie

Spécialité: Sciences de l'environnement

Présenté par: M^{elle} BOUKHALIFA NOURA.

M^{elle} HAMMYA HANANE.

Thème

Effet de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la pollution des eaux de la nappe phréatique

Soutenu publiquement le : 31 / 05 / 2016.

Devant le jury :

Président:	M. CHELOUFI H	Professeur	Université K.M. Ouargla
Examineur	M. CHAICH K	M.A.A.	Université K.M. Ouargla
Promoteur	M. DADDI BOUHOUN M	M.C.A	Université K.M. Ouargla
Co-promoteur	M. IDDER T	Professeur	Université K.M. Ouargla

Année universitaire: 2015/2016.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail:

À mon cher père ABD ALRREHMANE, et ma cher mère LATIFA, qui sont tous les deux la cause de mon existence dans ce monde, qui je ne remercierai jamais assez.

A mes frères MOUSSA et MOHAMED et ma sœur IMANE et MANO,

A toute la famille,

A mes amies Widda, Raboa, Nana, Toma, Zizo, Imi, Imo, Didda, Limo, Assma, Frah, Fayza, Hajar, Abela et Saliha

A de nombreux (es) amis (es) qu'il ne serait pas possible de citer ici.

A mes collègues de la promotion de master Ecologie (2015 /2016)

Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pendant ma vie scolaire.

HANANE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À mon cher père MOUSTAFA, Et ma cher mère : HALIMI N,
qui sont tous les deux la cause de mon existence dans ce
monde, qui je ne remercierai jamais assez.*

Tous mes frères

CHARAF ADIN, MARWA, AYAT ELRAHMAN, SALIMA.

A toute la famille

*A de nombreux (es) amis (es) qu'il ne serait pas possible de
citer ici.*

*Je remercie également BOUKHALIFA E pour son soutien
pendant les années d'étude en université.*

*Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin
pendant ma vie scolaire.*

NOURA

Remerciements

Au terme de cette étude, nous remercions avant tout, Dieu tout puissant de nous avoir guidé durant toutes nos années de formation et nous avoir permis la réalisation de ce présent travail.

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à

Mr. DADDI BOUHOUN.M, pour ces orientations, ces conseils très bénéfiques et encourageants et leur bon encadrement.

Je remercie mon co-promoteur Mr. IDDER T, qui a bien voulu, par son aimable bienveillance Nos remerciements profonds s'adressent également à M^{elle} BOUHANNA A pour ces aides afin de corriger de ce travail, ainsi pour ces orientations très bénéfiques.

A Mr. CHELOUFI H par sa présence en tant que présidents de jury.

A Mr. CHAICH K Qui ont bien voulu examiner ce présent travail.

Je remercie le chef des laboratoires de ADE M^{elle} CHIBANI A

Je remercie Mr. HAMMYA A pour leur soutien et leur présence pendant tout les sorties.

Nos plus grands respects à tout les enseignions de 2^{eme} année master écologie

Je remercie mes collègues de la promotion, de la cité universitaire qui ont rendu les années d'étude plus belles et plus bénéfiques.

En fin nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

BOUKHALIFA.N & HAMMYA.H

Liste des figures

Figures	Page
Figure 01: Différents types de réutilisation Dans le monde	10
Figure 02 : Coupe hydrogéologique à traverse le Sahara	16
Figure 03 : présentation la région de Ouargla	17
Figure 04 : Localisation de la zone d'étude.	18
Figure 05 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'Ouargla	21
Figure06 : Climmagrame d'Emberger de la région de Ouargla	21
Figure07 : Vue général de la zone d'étude par google Earth	22
Figure 08 : Approche méthodologique de l'étude	25
Figure 09 : Schéma d'un profil réalisé	26
Figure 10 : Suralimentation de la nappe phréatique par l'irrigation des palmiers.	33
Figure 11 : Profondeurs de la nappe phréatique dans la région de Ouargla	34
Figure 12 : Composition spatiale du périmètre d'enquête	35
Figure 13 : Qualité de l'eau d'irrigation dans le périmètre agricole	36
Figure 14 : profondeur de la nappe phréatique dans le périmètre agricole	37
Figure 15 : Durée d'irrigation dans le périmètre d'enquête	38
Figure 16 : Types de système d'irrigation dans la zone étude	38
Figure 17: Variation moyenne de pH dans les trois stations.	41
Figure 18: Variation moyenne de la conductivité électrique dans les trois stations.	43
Figure 19: Variation moyenne de la turbidité dans les trois stations.	44
Figure 20 : Variation moyenne d'O ₂ dissout dans les trois stations.	45
Figure 21 : Variation moyenne de matière en suspension dans les trois stations	46
Figure 22 : Variation moyenne de calcium dans les trois stations.	47
Figure 23 : Variation moyennes de magnésium des eaux dans les stations d'études	48
Figure 24 : Variation des valeurs moyennes de sodium.	49
Figure 25 : Variation des valeurs moyennes de potassium dans les eaux étudiées.	50
Figure 26 : Variation des valeurs moyennes de la dureté totale.	51
Figure 27 : Variation des valeurs moyennes de bicarbonate	51
Figure 28 : Variation des valeurs moyennes de chlorure	52
Figure 29 : Variation des valeurs moyennes de sulfate	53
Figure 30 : Variation des valeurs moyennes des ortho phosphates.	54
Figure 31: Variation des valeurs moyennes des nitrites	55
Figure 32: Variation des valeurs moyennes de Nitrate.	56
Figure 33 : Variation des valeurs moyennes d'ammonium	57

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau 01 : Paramètres physico-chimiques utilisés pour l'évaluation des eaux usées traitées réutilisées en agriculture	05
Tableau 02 : Volumes des eaux usées épurées réutilisées par an en Algérie	11
Tableau 03 : Données climatiques moyennes à Ouargla entre 2004 et 2014	19
Tableau 04 : Caractéristiques des propriétés physico-chimique des EC et EUE d'irrigation.	23
Tableau 05 : Calendrier des prélèvements des eaux de la nappe phréatique	28

Liste des potos

Titre	Page
photo 01 : Etapes de réalisation et installation des piézomètres	27
photo 02 : l'échantillonnage des eaux	28
photo 03 : mesure de résidu sec	29
photo 04 : Quelques appareils pour faire les analyses des eaux	31
photo 05 : Dosage de l'ortho phosphate et nitrite	31
photo 06 : Remonté des eaux phréatiques dans la zone d'étude	33
photo 07 : la réutilisation des EUE pour l'irrigation des plantes.	36
photo 08 : Présence de la croûte	39
photo 09 : salinisation de sol	43
photo 10 :Utilisation des engrais	56

Liste des annexes

Titre	Page
Annexe 01 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture.	66
Annexe 02 : Exposition et risques de contamination par les composés chimiques qui se trouvent dans les eaux d'irrigation.	67
Annexe 03 : Plan d'enquête	68
Annexe 04 : les méthodes utilisées pour les analyses des eaux	70
Annexe 05 : Echelle d'interprétation du pH des eaux	71
Annexe 06 : Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de la région de Ouargla	71
Annexe 07 : Résultats des analyses des propriétés physico-chimiques des eaux	72
Annexe 08 : les normes de l'OMS de la nappe phréatique	73

Liste des abréviations

ANRH: agence nationale des ressources hydriques

CE: conductivité électrique

DBO5 : la demande biochimique en oxygène 5 jours.

DCO : Demande chimique en Oxygène

DSA: direction des servissés agricoles

EC : Eaux conventionnelle

EUE : Eaux Usées Epurées

FAO: Food and Agricultural Organization (Organisation des Nations Unies)

MES : les matières en suspension

O.N.M : Office National de Météorologie

OMS Organisation Mondiale de la Santé

ONA: office nationale d'assainissement

pH: potentiel en hydrogène

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées

SPED: station de pompage des eaux de drainage

STEP : Station d'épuration des eaux usées urbain Said Otba Ouargla

TAC: Titre alcalimétrique complet

TC°: température

Table de matière

	Page
Introduction	01
Synthèse bibliographique	
Chapitre I. Pollution des eaux	
1. Définition	03
2. Origine des eaux polluées	03
3. Modes d'assainissement des eaux usées	03
3.1. Assainissement collectif	03
3.2. Assainissement autonome	04
4. Sources de pollution de l'eau	04
4.1. Pollution microbiologique	04
4.2. Pollution physico-chimique	05
5. Procédés de traitement des eaux usées	05
6. Types des procédés d'épuration dans les régions arides	06
6.1. Lagunage	06
6.2. Epuration par boues activées	06
II. Réutilisation des eaux usées épurées	07
1. Historique	07
2. Définition	07
3. Domaine de réutilisation des eaux usées épurées	07
4. Effet de la réutilisation des eaux usées épurées	08
4.1. Sur l'environnement	08
4.1.1. Avantages de la réutilisation de l'eau usée	08
4.1.2. Les risques et les impacts négatifs	08
4.1.2.1. Effets sur le sol	09
4.1.2.2. Effets sur les cultures	09
4.1.2.3. Effets sur les eaux de surface	09
4.1.2.4. Effets sur la nappe phréatique	09
4.1.2.5. Effet de la réutilisation des eaux usées épurées sur la santé	09
5. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde	10
6. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie	11
7. Normes de la réutilisation des eaux usées	11
Chapitre II. Nappe phréatique	
1. Définition	13
2. Répartition des nappes phréatiques au Sahara Algérienne	13
3. Mode d'alimentations des nappes phréatiques	13
4. Méthodes d'études de la nappe phréatique	14
5. Mécanismes de contamination des eaux phréatiques	14
Chapitre III. Matériels d'études	
I. Présentation de la région d'étude	17
1. Situation géographique	17

3. Climat de Ouargla	19
3.1. Températures	19
3.2. Les précipitations	19
3.3. Vents	20
3.4. Humidité	20
3.5. Evaporation	20
4. Classification climatique de la région	20
4.1. Diagramme d'ombrothermique du Gaussen	20
4.2. Climmagrame d'Emberger	21
II. choix de la région d'étude	22
1. Présentation de la zone d'étude	22
2. Caractéristiques édaphiques de la zone d'étude	22
3. Caractéristique hydrique des eaux	23
III. approche méthodologique	24
1. Enquêtes	24
1. Enquête administratif	24
2. Enquête agricole	24
2. la qualité chimique des eaux phréatique	24
2.1. Choix des sites de prélèvement	26
2.2. Réalisation des profils	26
2.3. Installation des piézomètres	26
3. Prélèvement des eaux phréatiques	27
IV. Méthodes des analyses	28
1. analyses physico-chimique	28
a. Ph	29
b. Conductivité électrique	29
c. Résidu sec	29
d. La turbidité	29
e. Les matières en suspension (MES)	29
2. Analyse de bilan hydrique	29
a. Sodium et potassium	29
b. Calcium et Magnésium	30
c. Chlorures	30
d. Bicarbonates	30
e. Sulfates	30
3. Analyse des paramètres de pollution :	30
a. Nitrates	30
b. Nitrite	30
c. Ammonium	30
d. Orthophosphates	31
Chapitre IV : Résultats et discussion	
I. Enquête sur terrain	32
1. Enquête administrative	32

2. Enquête agricole	34
2.1. Composition culturale de périmètre agricole	34
1. Type des eaux d'irrigation	35
2. Profondeur de la nappe	36
3. Durée d'irrigation	37
4. Système d'irrigation	38
5. Présence des croutes	39
Conclusion	40
II. Etude de la qualité des eaux phréatique	41
1. Paramètres physico-chimique :	41
1.1. Le potentiel d'Hydrogène	41
1.2. la conductivité électrique	42
1.3. La turbidité	44
1.4. L'oxygène dissous	44
1.5. Matière en suspension	45
1.6. Cations solubles	46
1.6.1. Le calcium	46
1.6.2. Magnésium	47
1.6.3. Sodium	48
1.6.4. Potassium	49
1.7. Dureté totale	50
1.8. Les anions solubles	51
1.8.1. Bicarbonate	51
1.8.2. Chlorures	52
1.8.3. Sulfate	52
2. Paramètres de pollution des eaux	53
2.1. Ortho-phosphates	53
2.2. Nitrite	54
2.3. Nitrates	55
2.4. Ammonium	56
Conclusion	57
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	61



Introduction

Introduction

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures (OMS, 2012).

Selon ESSAHLAOUI (2011), Les ressources en eau souterraine représente une source important d'eau dans le monde en général et dans les zone arides et semi-aride en particulier. Ces eaux jouent un rôle déterminant dans le développement socio-économique aussi bien au niveau local, régional que national, ainsi elles constituent une source d'alimentation en eau potable, en eaux industrielles, et apportent une contribution considérable au développement de l'irrigation. Les études ont estimé que, dans les 50 années à venir, plus de 40 % de la population mondiale vivra dans des pays confrontés à un stress hydrique ou à la rareté de l'eau (HINRICHSEN, ROBEY et UPADHYAY, 1998 in OMS, 2012).

DADI (2010), a souligné que dans les régions arides et semi-arides, les variations dans les précipitations accompagnées par des périodes de sécheresse successives engendrent des impacts à long terme sur la disponibilité des eaux pour les agriculteurs (KHOURI et *al.*, 1994). Pour cela, d'un point de vue quantitatif, les eaux usées sont une source d'eau toujours disponible étant donné que la consommation d'eau propre ne s'arrête pas. En effet, les eaux usées épurée peuvent assurer l'équilibre du cycle naturel d'eau et préserver les ressources en réduisant les rejets néfastes dans le milieu naturel (BOUCHET, 2008).

Les eaux usées sont celles rejetées par les collecteurs, puis acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées (O.R.S, 2004). Le traitement est presque toujours pour obtenir une eau hygiénique, donc propre à n'importe quel mode d'utilisation (DETAY, 1997). La réutilisation des eaux usées épurées propose de leur appliquer un nouveau traitement et de s'en servir pour toutes sortes d'usages, cette notion agit à deux niveaux : premièrement, elle évite les rejets d'eaux issues de stations d'épuration dans le milieu naturel, et deuxièmement, elle constitue un approvisionnement supplémentaire (O.R.S, 2004).

Ouargla, comme toutes les oasis sahariennes, doit son existence et sa prospérité ressources hydriques souterraines. Elle a souffert de nombreuses années des problèmes des excédents hydriques (IDDER, 2007). A l'échelle cuvette de Ouargla (99000 Ha), l'étude des

flux hydriques faisait ressortir annuellement des entrées de plus de 87 millions de m³ et une déperdition de d'environ 85 millions de m³ (CHAÏCH, 2004).

Dans la région de Ouargla la réutilisation agricole des eaux usées épurées est pratiquée dans un nouveau périmètre de mise en valeur où les effets et les impacts de celle-ci sur les sols agricoles et les eaux de la nappe phréatiques sont restés en phase étude.

C'est sous cet objectif s'insère notre recherche, qui est intéressé à l'étude de l'effet de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la pollution des eaux de la nappe phréatique. Pour l'achèvement de ce modeste prospection plusieurs sorties en été fait sur le site d'étude et les différents acteurs locaux en particulier, l'ONA (Office National d'Assainissement), Direction de l'Hydraulique, l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques l'ADE (Algérienne des Eaux) et D.S.A. (Direction Des Service Agricoles), pour nous idée et orientée à fin de réaliser ce travail.

Ce travail est scindé en trois parties complémentaires : la première partie concerne la synthèse bibliographique qui est consacrée à la présentation des quelques notions concernant la pollution des eaux et la gestion des ressources hydrique, La deuxième partie concerné l'étude expérimentale qui est se divisé en deux principaux chapitres matériels d'études et la méthodologie d'étude. La troisième partie est consacrée à la présentation des principaux résultats obtenus et leurs discussions.



Synthèse bibliographique



Chapiter I

Pollution des eaux

Chapitre I. Pollution des eaux

Les eaux usées est un réservoir à polluants. La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (DADI, 2010).

1. Définition

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels (MEKHALIF, 2009). Ces eaux sont devenues eaux usées.

2. Origine des eaux polluées

D'après SCHRIVER-MAZZUOLI (2012), les eaux usées et polluées comprennent les eaux domestiques, pluviales, industrielles et agricoles :

- ❖ **Eaux domestiques** : Correspond aux eaux ménagères (eaux de cuisine, de toilette et de nettoyage ...etc.) et en eaux-vannes provenant du rejet des lieux d'aisance et porteuses en particulier de nombreux germes fécaux.
- ❖ **Eaux pluviales** : Ces eaux concernée les pluies, la fonte des neiges ayant touché le sol qui porte avec lui une pollution important.
- ❖ **Eaux industrielles** : Dont les polluants souvent très toxiques varient d'une industrie à l'autre, qui fait l'objet d'un prétraitement par les industriels avant d'être collectées.
- ❖ **Eaux usées agricole** : Les eaux provenant de l'élevage et les surfaces agricoles riches en matières organiques azotées....etc.

3. Modes d'assainissement des eaux usées

3.1. Assainissement collectif

Le transport des eaux usées par les réseaux de collecte souterraines, généralement en ciment ou en PVC, jusqu'à l'épuration se fait généralement par gravité mais aussi par refoulement ou par mise sous pression ou dépression. Le réseau est parfois équipé de postes de pompage pour franchir un obstacle (SCHRIVER-MAZZUOLI, 2012).

Selon SCHRIVER-MAZZUOLI (2012), Il existe deux types de réseaux de collecte,

réseaux unitaire et séparatifs :

- ❖ **Réseaux unitaires**, les plus anciens, qui recueillent dans le même collecteur l'ensemble des eaux domestique, des eaux pluviales et dans certains cas des eaux industrielles.
- ❖ **Réseaux séparatifs**, plus récents, qui comprennent deux émissaires distincts, l'un pour les eaux usées domestiques et industrielles l'autre pour les eaux pluviales.

3.2. Assainissement autonome

Un assainissement autonome non collectif doit obligatoirement comporter : Une fosse toutes eaux (collecte des eaux usées de l'habitation) ou une fosse septique (collecte des eaux-vannes), un système de ventilation de la fosse toutes eaux constitué d'une entrée d'air et d'une sortie d'air, un champ d'épandage et un bac à graisse collectant les eaux de cuisine, de salle de bains et un préfiltre placé avant la zone d'épandage qui sont des annexes facultatives (SCHRIVER-MAZZUOLI, 2012).

4. Sources de pollution de l'eau

D'après RAVEN et *al.*, (2009), La pollution de l'eau est un problème global dont la gravité et la nature varient d'une région à l'autre. Dans de nombreux endroits, en particulier dans les pays en développement, le principal problème est la contamination de l'eau par les agents pathogènes ou bactériologiques et la pollution physico-chimiques.

4.1. Pollution microbiologique

RODIER et *al.*, (2005), indique que les analyses bactériologiques non pas des micro-organismes pathogènes, mais des germes jouant un rôle d'indicateurs sans que leur présence constitue nécessairement un risque en soi pour la santé publique. En distingués deux types d'indicateurs, un de contamination fécale et un autre d'efficacité de traitement :

- ❖ **Indicateurs de contamination fécale:** le risque d'une contamination par des matières fécales pouvant véhiculer des micro-organismes pathogènes.
- ❖ **Indicateurs d'efficacité de traitement :** Permettent d'évaluer la qualité d'un traitement de désinfection de l'eau vis-à-vis de micro-organismes pathogènes dont la présence peut être redoutée dans l'eau brute utilisée.

D'après SCHRIVER-MAZZUOLI (2012), nombreux micro-organismes pathogènes peuvent être présents dans les eaux : bactéries (*Sallmonella*, *Escherichia coli*, *Shigelia*, *Campylobacter* et *Yersina etenterolitica*....), virus (virus de l'hépatite A et E, norovirus, *dysenteriae*, sapporovirus, rotavirus, adenovirus et astrovirus), protozoaires (*Cryptosporidium parvum*, *Giardai lamblia*, *Cyclospora*, *Naegleria*, *Entomoeba histolytica*....), helminthes (ascaris et oxyure....) et cyanobactéries (microcytes, *Anabeana* et

microcystis....).

4.2. Pollution physico-chimique

Il existe plusieurs paramètres physico-chimiques classés comme des indicateurs de pollution des eaux usées. Le Tableau 1 résume les paramètres utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux usées traitées réutilisées en agriculture.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques utilisés pour l'évaluation des eaux usées traitées et réutilisées en agriculture (KANDIAH, 1990).

Paramètres	Symbol	Unité
Physique		
Total des solides dissous	TDS	mg/l
Conductivité électrique	E_{c_w}	dS/m^1
Température	T	$^{\circ}C$
Couleur/Turbidité		NTU/JTU ²
Dureté		mg equiv. $CaCO_3/l$
Sédiments		g/l
Chimique		
Acidité/Alcalinité	pH	
Type et concentration des anions et cations:		
Calcium	Ca^{++}	me/l ³
Magnésium	Mg^{++}	me/l
Sodium	Na^+	me/l
Carbonate	CO_3^-	me/l
Bicarbonate	HCO_3^-	me/l
Chloride	Cl	me/l
Sulfate	SO_4^-	me/l
Sodium adsorption ratio	SAR	
Bore	B	mg/l ⁴
Eléments traces		
Métaux lourds		mg/l
Nitrate-Nitrogen	NO_3-N	mg/l
Phosphate Phosphore	PO_4-P	mg/l
Potassium	K	mg/l

5. Procédés de traitement des eaux usées

L'abattement de pollution des eaux est fait par des différents procédés de traitement au niveau des stations d'épuration sont les traitements préliminaires, primaires, secondaires et tertiaires, comme suit (METAHRI, 2012) :

- **Traitements préliminaires:** Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands

fragments de l'eau usée brute. Le dégrillage, le dessablage, le dégraissage et déshuilage.

- **Traitements primaires:** Enlèvement des solides organiques et inorganiques décantables ainsi que les matériaux flottants.
- **Traitements secondaires:** Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées. Les traitements secondaires également appelée traitement biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter, des micro-organismes mis en contact avec l'eau polluée assimilant la matière organique qui leur sert de substrat de croissance.
- **Traitements tertiaires et/ou avancés.** Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques.

6. Types de procédés d'épuration dans les régions arides

Il y a deux principaux procédés d'épuration des eaux usées utilisés dans les régions arides et semi-arides, à savoir le lagunage et les boues activés (UNESCO, 2008).

6.1. Lagunage

Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels, ou étangs, formés de digues imperméables, dans lesquels les eaux usées sont déversées, et passent successivement d'un bassin à l'autre, par gravitation, pendant un long temps de séjour. Différents assemblages de ces bassins sont possibles en fonction de divers paramètres, tel que les conditions locales, les exigences sur la qualité de l'effluent final et le débit à traiter, ces bassins fonctionnent comme des écosystèmes avec des relations de symbiose entre les différentes populations ou composées de bactéries de champignons, de protozoaires, métazoaires algues, de poissons, de plantes, ces différentes organismes interviennent afin d'éliminer la charge polluantes contenue dans l'eau usée (UNESCO, 2008).

6.2. Epuration par boues activées

DHAOUADI (2008), a souligné que le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester et repose sur la constatation suivante: Une eau d'égout aérée permet le développement rapide d'une flore bactérienne capable de dégrader des matières organiques polluantes. Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en flocons. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation. C'est dans le clarificateur que cette séparation entre la boue et l'eau clarifiée a lieu. Une partie des boues est renvoyée dans l'aérateur pour le réensemencement

permanent ou réinjectée en tête de station, l'autre en excès, est éliminée et doit faire l'objet d'un traitement séparé.

II. Réutilisation des eaux usées épurées

1. Historique

La réutilisation des eaux usées à des fins agricoles n'a pas commencé hier, il s'agit d'une pratique qui date de plusieurs milliers d'années. À l'époque, certains pays d'Asie utilisaient les matières fécales et l'urine comme amendement aux sols agricoles. Ainsi, entre les 17^{ème} et 19^{ème} siècles, certains pays de l'Europe ont commencé à réutiliser les eaux usées dans l'irrigation des cultures, sachant que le gouvernement de Londres était l'un des premiers à obliger le rejet des eaux usées dans des canaux construits à cette fin (CHEVALIER, 2005). Or, l'exploitation des eaux usées dans l'agriculture est devenue une pratique fréquente dans certains pays, comme l'Australie, l'Amérique du Nord et le Mexique, vers la fin du 19^e siècle, et jusqu'à nos jours (KHOURI *et al.*, 1994).

2. Définition

L'eau usée traitée récoltée à l'aval des systèmes d'assainissement représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture, au voisinage des centres urbains. Cependant, en raison de la nature variable de la composition de cette eau (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques); sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes, afin de vérifier les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol, l'eau et les cultures irriguées avec elle, ainsi que sur l'environnement dans son ensemble (F.A.O, 2003).

3. Domaine de réutilisation des eaux usées épurées

Les principales utilisations des eaux usées épurées sont l'utilisation agricole, l'utilisation municipale, l'utilisation industrielle et l'amélioration des ressources...etc. Ils se caractérisent par (O.N.A, 2016) :

- **Utilisation agricole** : la plus répandue, permettant d'exploiter l'eau et la matière fertilisante contenue dans ces eaux, réalisant ainsi une économie d'eau et d'engrais ;
- **Utilisation municipale** : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation des plans d'eau, lutte contre les incendies, l'arrosage des terrains de golf, des chantiers de travaux publics, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes ;
- **Réutilisation urbaine** : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc. ;

- **Utilisation industrielle** : refroidissement ; construction, papeteries, industries textiles, etc. ;
- **Amélioration des ressources** : recharge des nappes pour la lutte contre les rabattements des nappes et la protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer. la recharge de nappe phréatique.

4. Effet de la réutilisation des eaux usées épurées

4.1. Effet sur l'environnement

4.1.1. Avantages de la réutilisation de l'eau usée

L'eau usée et d'autres eaux de mauvaises qualités sont importantes dans le contexte de la gestion globale des ressources en eau. En libérant des ressources d'eau douce pour l'approvisionnement domestique et d'autres usages prioritaires, la réutilisation apporte une contribution à la conservation de l'eau et de l'énergie et améliore la qualité de la vie. L'eau usée peut avoir des résultats agronomiques positifs. D'ailleurs, les systèmes d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, à côté de rendements agricoles accrus (F.A.O, 2003).

Également, lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré avec quelques avantages environnementaux (F.A.O, 2003) :

- ✓ la suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs ;
- ✓ la sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources par l'agriculture. Cette surexploitation pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin ;
- ✓ la possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport de matière organique sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

4.1.2. Risques et impacts négatifs

En plus des problèmes environnementaux, les eaux usées épurées réutilisées peuvent engendrer des problèmes sanitaires à la population exposée du fait de la présence des risques de transmission des microorganismes pathogènes ou des éléments chimiques toxiques aux agriculteurs ou aux ouvriers utilisant cette eau. Cette transmission vers les utilisateurs peut se produire de trois manières : au contact des eaux, par inhalation des eaux pulvérisé en aspersion ou par consommation des produits agricoles irrigués par les eaux usées épurées (BAUMONT et *al.*, 2004).

4.1.2.1. Effets sur le sol

Selon SCHRIVER-MAZZUOLI (2012), les sols des régions arides et semi-arides contiennent d'importantes concentrations de composés minéraux comme les sels, dans ces zones la quantité d'eau qui percole dans le sol en profondeur est minimale du fait que le peu de précipitation s'évapore très rapidement en déposant du sel. A l'opposé, les précipitations importantes des climats humides permettent un lessivage des sels qui sont entraînés dans les nappes et les cours d'eau. Les eaux usées épurées sont très chargées et salées, qui peuvent aggraver la salinité des sols originellement salés.

4.1.2.2. Effets sur les cultures

Les eaux usées épurées produisent un problème de phytotoxicité. Au delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds. Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles de bore. Les aspects de toxicité sont discutés plus en détail en relation avec l'utilisation des boues résiduaires en agriculture (F.A.O, 2003).

4.1.2.3. Effets sur les eaux de surface

Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitants dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation (F.A.O, 2003).

4.1.2.4. Effets sur la nappe phréatique

La dégradation de la qualité des eaux souterraines par des constituants de l'eau usée est possible (salinisation, alcalinisation et pollution causée par les nitrates, les phosphates ou les micropolluants). A titre indicatif, dans le périmètre de Sokra, du côté de Tunis ZEKRI et *al.* (1995 in BELAID, 2010) ont constaté trois effets de l'irrigation par les eaux usées épurées sur la nappe phréatique :

- Une augmentation de la salinité qui est passée de 2,3 à 4 mS/cm après 20 ans d'irrigation ;
- Une contamination microbienne liée à la proximité de la nappe de la surface du sol ;
- Une pollution par les métaux lourds.

4.1.2.5. Effet de la réutilisation des eaux usées épurées sur la santé

Le lien entre eaux usées et risques sanitaires est essentiel. Il porte sur les

contaminations que peuvent engendrer, soit le contact direct avec des eaux usées, soit l'ingestion de produits alimentaires ayant été en contact avec des EU ; ces risques de contamination sont d'ordre microbiologique ou chimique (BRL, 2011).

Du point de vue microbiologie, des maladies peuvent être causées par les bactéries pathogènes, les virus, les protozoaires ou par les helminthes contenus dans les eaux usées épurées (OMS, 1989). D'autre part, l'irrigation à partir des eaux usées épurées, peut apporter des éléments toxiques à la plante, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain (BELAID, 2010).

5. Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

Selon F.A.O. (2003), l'utilisation de l'eau usée en irrigation a été pratiquée, bien que sans contrôle dans beaucoup de pays avec des modes et des quantités en m³/j variables (Fig. 1).

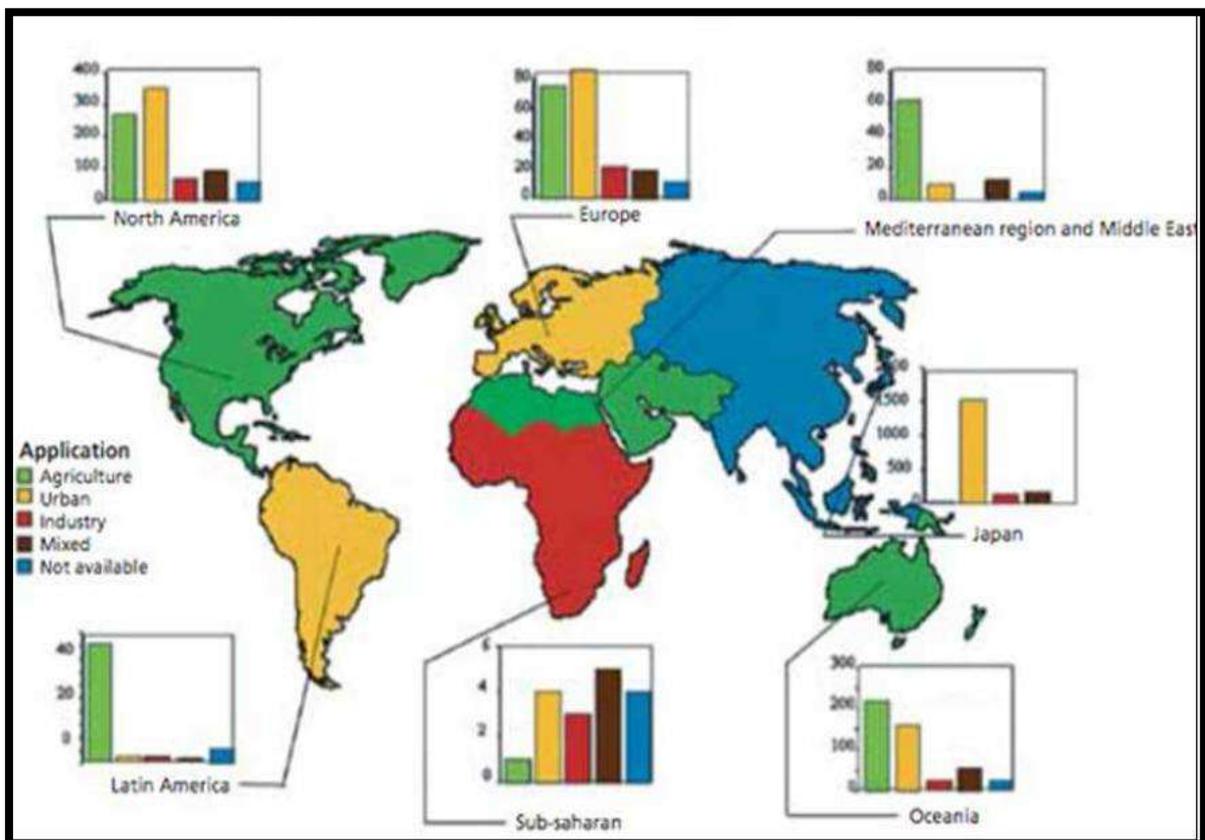


Figure 1. Différents types de réutilisation dans le monde (FAO, 2010)

Dans certains pays l'approvisionnement adéquat en eau se trouve confronté à des problèmes croissants et de nouvelles approches, telles que le dessalement et la réutilisation d'eau usée, sont adoptées. Ceci aidera à résoudre partiellement le problème de la pénurie de l'eau et à faire face au problème environnemental impérieux du rejet des eaux usées. Dans plusieurs pays, le besoin d'eau est bien plus aigu et pressant. Pour cette raison, le traitement

des eaux résiduaires et leur réutilisation devient une nécessité. Cependant, la protection de la santé publique et de l'environnement sont des préoccupations associées à la réutilisation, qui n'ont pas été sérieusement considérées dans un certain nombre de pays. La santé et les risques globaux devraient se situer dans des limites acceptables afin de sauvegarder la santé publique et protéger l'environnement (F.A.O, 2003).

6. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie peut être qualifiée d'embryonnaire et les volumes réutilisés sont très faibles d'environ 14 millions m³/an.

Environ 2% du volume d'eau usée épurée est réutilisée pour irriguer une superficie de 1 285 ha d'une façon réglementaire (DMRE, 2013). Les volumes des eaux usées épurées réutilisées par an en Algérie varient en fonction des domaines d'utilisation (Tabl. 02).

Tableau 2. Volumes des eaux usées épurées réutilisées par an en Algérie (ONA., 2016)

Domaines d'utilisation	Quantité (m ³ / an)
Agriculture	13 424 789
Lutte contre l'incendie	138 066
Arrosage des arbres	1 077 665
Lavage des chaussées	370

7. Normes de la réutilisation des eaux usées (normes de l'OMS)

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) reconnaît, depuis les années 1970, l'importance de la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que ses avantages environnementaux et socio-économiques. En effet, l'OMS a défini quatre mesures pour réduire le risque de la réutilisation des eaux usées sur la santé publique, dont : le traitement de l'eau, la limitation des cultures, le contrôle de l'utilisation des eaux usées et le contrôle de l'exposition avec amélioration (OMS, 1989). Par conséquent, l'OMS a élaboré une directive qui prend en considération ces quatre mesures en vue d'une réutilisation adéquate des eaux usées en agriculture. Elle a été nommée, la directive concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture (annexe 01) (DADI, 2010).

En 2006, l'OMS a publié une nouvelle directive concernant la réutilisation des eaux usées en agriculture (LAZAROVA et BRISSAUD, 2007 in DADI). Cette fois, la directive a conclu qu'il faut tenir compte des aspects environnemental, économique et socioculturel et des questions relatives à la santé publique de chaque région concernée par des projets de réutilisation des eaux usées, en raison que chaque région représente ses risques spécifiques liés à la santé publique. En fait, les risques de la réutilisation des eaux usées sur la santé en

Afrique ne seront pas les mêmes risques que ceux observés en Argentine (O.M.S., 2010). De même, l'O.M.S. a établi des concentrations limites de certains éléments chimiques en fonction des exigences de la plante et non en fonction de l'impact sur la santé (O.M.S., 2006). Ces concentrations sont affichées à l'annexe 02.



Chapitre II

Nappe phréatique

Chapitre II. Nappe phréatique

La nappe phréatique c'est une formation hydrogéologique, consistant en des nappes d'eau souterraines, donc synonyme d'aquifère dans la terminologie française. Elles accumulent l'excès de précipitations pendant les saisons humides et les restituent aux sources en saisons sèches. Les nappes phréatiques ont un taux de renouvellement variable qui dépend de la profondeur à laquelle elles se trouvent (RAMADE, 2003).

1. Répartition des nappes phréatiques au Sahara Algérienne

Dans la plus grande partie de Sahara, une nappe phréatique est rencontrée dans la partie supérieure des formations continentales. Il s'agit généralement de nappes peu profondes de 2 à 10 m. Ces nappes viennent augmenter les réserves hydriques du Bas Sahara. Elles sont présentes dans les oasis de l'Oued Rhigh, du Souf et de Ouargla. Elles permettent dans certains cas seulement l'entretien des palmeraies. On les trouve par ailleurs, à faibles profondeurs, dans une grande partie de la cuvette du bas Sahara ou elles sont exploitées par des puits de parcours (HALILAT, 1998).

La nappe phréatique se localise surtout dans les plates formes marginales, caractérisées par des accumulations épaisses de sédiments meubles ou l'eau de la nappe occupe de vastes régions (HALILAT, 1998).

2. Mode d'alimentations des nappes phréatiques

Dans les régions arides et semi-arides où les précipitations sont nettement inférieures à l'évaporation et l'évapotranspiration, et pour que les réservoirs phréatiques puissent se créer, il est nécessaire qu'interviennent d'autres modes d'alimentation en eau que celui réalisé par l'action directe de la pluie, ces modes sont (GAUCHER et BURDIN, 1974) :

- Le rassemblement et l'accumulation des eaux de ruissellement dans des formes de relief en cuvette.
- Les infiltrations dans le lit des cours d'eau.
- Les inondations qui recouvrent partiellement ou entièrement les zones basses lors des périodes de fortes précipitations.
- Dans les zones où l'irrigation est pratiquée de façon excessive.
- Dans certaines structures géologiques, une alimentation partielle et par fois totale des nappes phréatiques peut être réalisée par des eaux d'origine profonde remontantes ou artésiennes comme à Oued Rhigh.

Selon GAUCHER et BURDIN (1974), Il existe donc, deux types de nappes

phréatiques en en fonction du mode d'alimentation, il s'agit notamment:

- **Nappes phréatiques influencées** : accumulations, alimentées uniquement par la pluie ou la neige, et disparaissent entièrement en saison sèche.
- **Nappes phréatiques semi-influencées** : accumulations, comportant une réserve provenant, soit d'un excédent pluriannuel, soit d'autres alimentation (infiltration de cours d'eau, venus d'eaux profondes), mais soumises dans leur comportement à l'apport pluvial.

3. Méthodes d'études de la nappe phréatique

D'après l'A.N.R.H (1999), trois sortes de renseignements sont utilisées pour l'étude de la nappe phréatique, à savoir la profondeur de l'eau, la piézométrie de la nappe et les données de variations chimiques de l'eau, comme suit :

- **Profondeur de l'eau** : la profondeur des eaux par rapport au sol qui permet de préciser les fluctuations des niveaux des nappes phréatiques ;
- **Piézométrie de la nappe** : donne le sens d'écoulement des eaux.

La piézométrie permet de suivre la fluctuation de la nappe sous plusieurs facteurs naturels de températures et de précipitations, ou artificiels comme le pompage, l'irrigation et le drainage (SLIMANI, 2006). Elle est mesurée à l'aide de piézomètre qui est un puits d'observation dans lequel on peut mesurer le niveau de la nappe ou la charge piézométrique (COSANDEY et *al.*, 2003).

Un autre terme apparaît à ce niveau qui est la surface piézométrique qui représente l'ensemble des cotes piézométriques d'une nappe à un instant donné (COSANDEY et al, 2003). La surface piézométrique d'une nappe, également appelée niveau hydrostatistique est la surface passant par les points les plus élevés d'une nappe libre, c'est également, le lieu des niveaux qui atteindrait une nappe captive, quand elle est touchée par un forage, atteignant son toit imperméable. La surface piézométrique d'une nappe libre est très irrégulière et sa forme varie suivant (CYRIL et ALSURFACE, 1985 in ABBANI et ABDE-LALLI, 2005):

- Le relief du sol, en atténuant les irrégularités de la surface topographique ;
- La forme de la couche imperméable qui supporte la nappe ;
- Les lignes de drainage naturel ou artificiel qui provoquent des appels d'eau ;
- Les caractéristiques de la roche qui renferme la nappe.

4. Mécanismes de contamination des eaux phréatiques

La qualité de l'eau de la nappe phréatique et parfois celle de la nappe profonde sub-affleurant, se trouvent aujourd'hui menacée par les pollutions (CHALBAOUI, 2000).

La pollution des eaux souterraine peut être définie comme étant la dégradation artificielle de la qualité des eaux induit par l'activité humaine (CHALBAOUI, 2000). Elle est due surtout aux rejets dans le milieu naturel de grandes quantités d'eaux usées brutes et souvent chargées en polluants toxique (BOUZIANI, 2000).

D'après CASTANY (1982) et PÉMIÈRE et al (2001) in ABBANI et ABDE-LALLI, 2005, l'intensité de la pollution dépend des types de sols, influant sur le transfert des contaminations vers les nappes, des doses de polluants et des conditions climatiques de précipitation en particulier. Ils apportent un volume d'eau variable, que de la valeur de la migration des substances qui est le mécanisme principal de la propagation de la pollution dans le milieu souterrain.

Concernant les mécanismes de contamination des eaux de la nappe phréatique. Il s'agit d'une pollution diffuse, de type agricole (nitrates par exemple) ou d'une pollution accidentelle (une fuite dans réseaux d'assainissements). La pollution diffuse s'effectue par schéma général de la contamination des eaux de nappe. Elle débute par le point de départ et la surface du sol, puis la transition verticale dans la zone dite non saturée, surplombant la nappe (LEMEIÈRE et al, 2000 in ABBANI et ABDE-LALLI, 2005). Selon la perméabilité du réservoir (granulométrie, fissuration), ce temps de transfert peut être variable de quelques jours à plusieurs années (GUILLEMIN et ROUX, 1999 in SLIMANI 2006). L'arrivée à la nappe, puis le cheminement sub-horizontale du polluant celle-ci, avec l'étalement progressif du panache de pollution qui est beaucoup plus prononcé suivant la direction de l'écoulement (LEMIÈRE et al, 2001 in ABBANI et ABDE-LALLI, 2005).

Par ailleurs, la contamination ne peut provenir que d'injections volontaires de déchets liquides par forages d'eaux et hydrocarbures ou de la mise en contamination de nappe par ouvrage non étanches (KOCH, 1969 in SLIMANI, 2006).

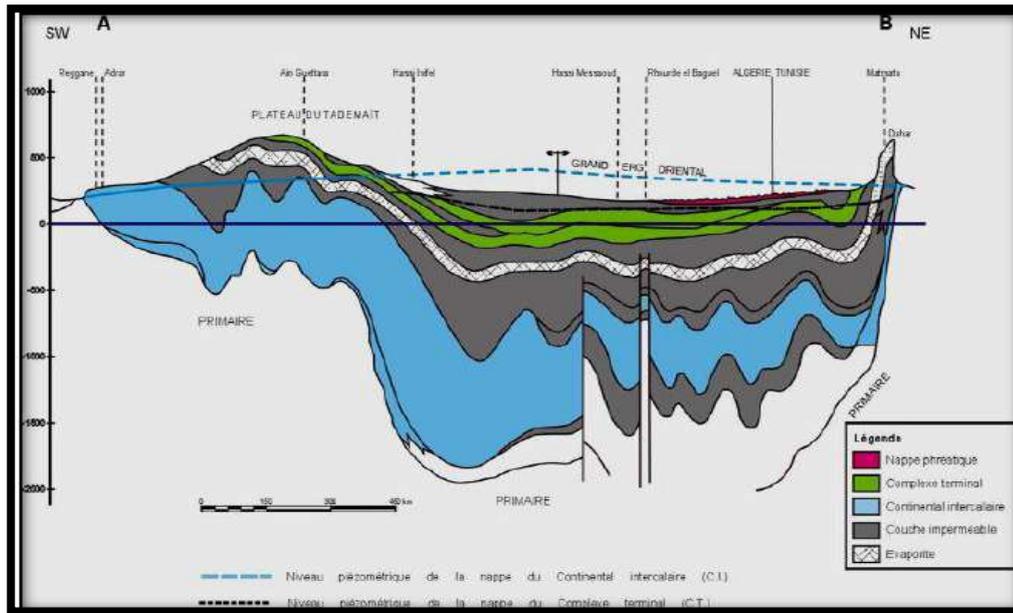


Figure 02. Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (ANRH, 2015)



Chapitre III

Matériels d'étude

Chapitre III. Matériels d'étude

I. Présentation de la région d'étude

1. Situation géographique

Ouargla est l'une des oasis du sud-est algérien à 800 Km de la capitale (Fig. 2). La wilaya de Ouargla occupe une superficie de 163 233 Km², elle est limitée par les wilayets suivantes (ABBANI et ABDE-LALI, 2005) :

- ❖ Au Nord par la wilayat d'El Djelfa et d'El-Oued ;
- ❖ A l'Est par la République Tunisienne ;
- ❖ Au Sud par les Wilayets d'Illizi et de Tamanrasset ;
- ❖ A l'Ouest par la wilayat de Ghardaïa.



Figure 3. Présentation la région de Ouargla (KORICHI, 2007)

Notre étude a été menée au niveau de la cuvette de Ouargla. Elle est située à latitude $31^{\circ} 57'$ Nord et longitude $5^{\circ} 20'$ Est, à l'Ouest de la wilaya et au même temps chef lieu de celle-ci. La cuvette de Ouargla s'étend sur environ 30 km de long et 12 à 18 km de large, à une altitude variant de 103 à 150 m. Elle est bordée à l'Ouest par un plateau de 200 à 230 m d'altitude et à l'Est par un plateau à moins de 160 m d'altitude (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975). Les limites de la cuvette de Ouargla sont (Fig. 3) :

- ❖ **Limite Nord** : Sebkhet Safioune ;
- ❖ **Limite Sud** : Par les dunes Sedrata ;
- ❖ **Limite Ouest** : Le versant est de la dorsale du M'Zab ;
- ❖ **Limite Est** : Linge de Ergs Touil et Arfidji.

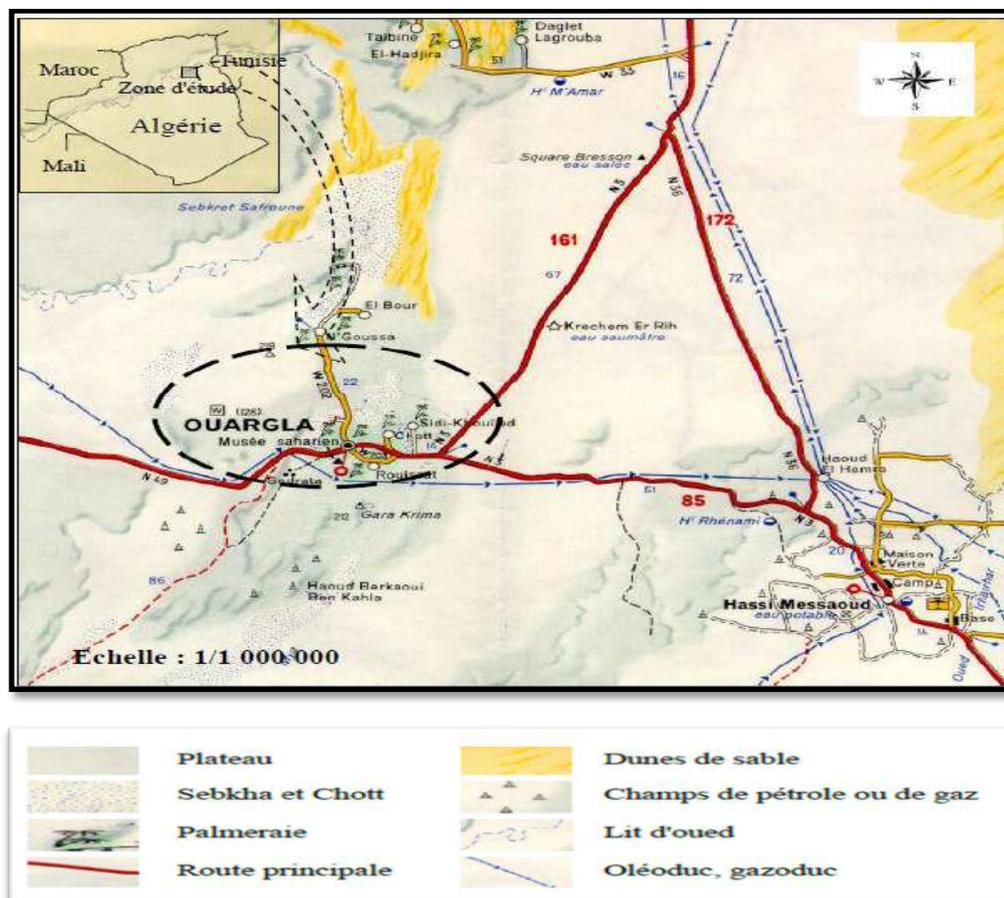


Figure 4. Localisation de la région d'étude (SLIMANI, 2006)

1.2. Climat de Ouargla

La région de Ouargla caractérise par un climat Saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème (D.P.A.T, 2006).

Tableau 3. Données climatiques moyennes à Ouargla entre 2004 et 2014 (O.N.M, 2016)

Mois	Températures (°C)			Humidité relative (%)		Vent (km/h)	Précipitations (mm)	Evaporation (mm)
	Min	Max	Moy	Min	Max			
Janvier	5,11	18,77	11,94	38,96	83,18	55,6	9,1	90,7
Février	6,56	20,74	13,65	30,29	73,13	60,4	1,04	127,12
Mars	10,99	25,81	18,4	25,48	65,87	60,95	4,3	204,51
Avril	15,26	30,38	22,82	21,22	57,47	72,29	2,11	254,53
Mai	19,75	34,89	27,32	18,29	49,51	66,13	1,47	327,61
Juin	24,81	40,28	32,54	15,78	43,22	57,45	0,74	399,75
Juillet	28,21	43,71	35,96	13,88	37,7	64,53	0,32	464,44
Aout	27,54	42,84	35,19	15,55	42,13	56,11	1,7	411,63
Septembre	23,51	37,75	30,63	21,7	54,11	55,78	3,56	299,57
Octobre	17,61	32,18	24,89	25,9	62,95	48,73	5,19	230,6
Novembre	10,46	24,16	17,31	33,97	75,72	47,64	6,56	124,89
Décembre	6,02	19,23	12,62	38,8	82,28	45,02	4,18	88,8
Moyenne	16,32	30,89	23,60	24,98	60,61	57,55	40,27*	3024,14*

* cumul

1.2.1. Températures

La région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées. La température moyenne annuelle est de 23,60 °C par mois. Les données des températures mensuelles relevées sous abri montrent que le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de 35,96 °C, un maxima de 43,71 °C et un minima de 28,21 °C (Tabl. 3). Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de 11,94 °C, un maxima de 18,77 °C et un minima de 5,11 °C. Les variations diurnes sont également assez élevées, comme dans tout le Sahara algérien.

1.2.2. Les précipitations :

La région d'Ouargla a connue un cumul de précipitation durant les années 2004-2014 égal à 40,27 mm (Tabl. 3). Le mois le plus pluvieux durant ces années est octobre, Novembre, Janvier. Par contre plusieurs mois s'avèrent très secs (mai, juin, juillet et aout) entre 0,3 et 1,7 mm de précipitation.

1.2.3. Vents

La vitesse des vents varient entre 45,02 et 72,29 km/h (Tabl. 3). Les vents dominants sont fréquents durant toute l'année, ils sont de type pluridirectionnel. Cela explique l'existence des Ergs, formations dunaires complexes à Ouargla. Les vents les plus forts soufflent du Nord-Est et du Sud. Les vents les plus fréquents sont en hiver de l'Ouest, au printemps du Nord-Est et de l'Ouest, en été du Nord-Est et en automne du Nord-Est et Sud-Ouest. Les vents chauds en été "siroccos", sont desséchants, favorisant la maturation des dattes, mais provoquent des dégâts aux cultures (DADI BOUHUN, 2010).

1.2.4. Humidité

Le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, mais reste toujours faible où il atteint son maximum au mois de Janvier 83,13 % et une valeur minimale au mois de Juillet estimée à 13,88 % et une moyenne annuelle de 42,79 % (Tabl. 3). Les faibles taux d'humidité durant presque toute l'année influent sur l'intensité d'évaporation des lagunes qui peuvent induit l'élévation des concentrations des eaux épurées en sels et en matière dissous.

1.2.5. Evaporation

L'évaporation présente un cumul annuelle de l'ordre de 3024,14 mm/an avec une valeur maximale de 464,44 mm ou mois Juillet et une valeur minimale de 88,80 mm ou mois de Décembre (Tabl. 3). L'intensité excessive de l'évaporation dans les régions saharienne peut influencer négativement l'efficacité du traitement des eaux usées par lagunage. L'évaporation augmente la charge des eaux, par voie de conséquence, diminue la qualité des effluents.

En zones arides, l'évaporation et l'évapotranspiration sont les mécanismes majeurs de pertes d'eau. Dans le Sahara, l'évaporation atteint des valeurs considérables, l'intensité de l'évapotranspiration chez les cultures est influencée directement par l'évaporation, c'est une relation proportionnelle. Dans la région de Ouargla l'évaporation est considérable suite aux températures élevée et des vents fréquents chauds et violentes (HAMDI-AÏSSA, 2001).

1.3. Classification climatique de la région

1.3.1. Diagramme d'ombrothermique du Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Gaussen consiste à porter en abscisses les mois et en coordonnées à la fois les précipitations et les températures. On obtient en fait deux diagrammes superposés. Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique (RAMADE, 2003).

Le diagramme ombrothermique de la région de Ouargla indique que de 2004 à 2014,

la période sèche s'étale sur toute l'année avec un maximum en été (Fig. 5).

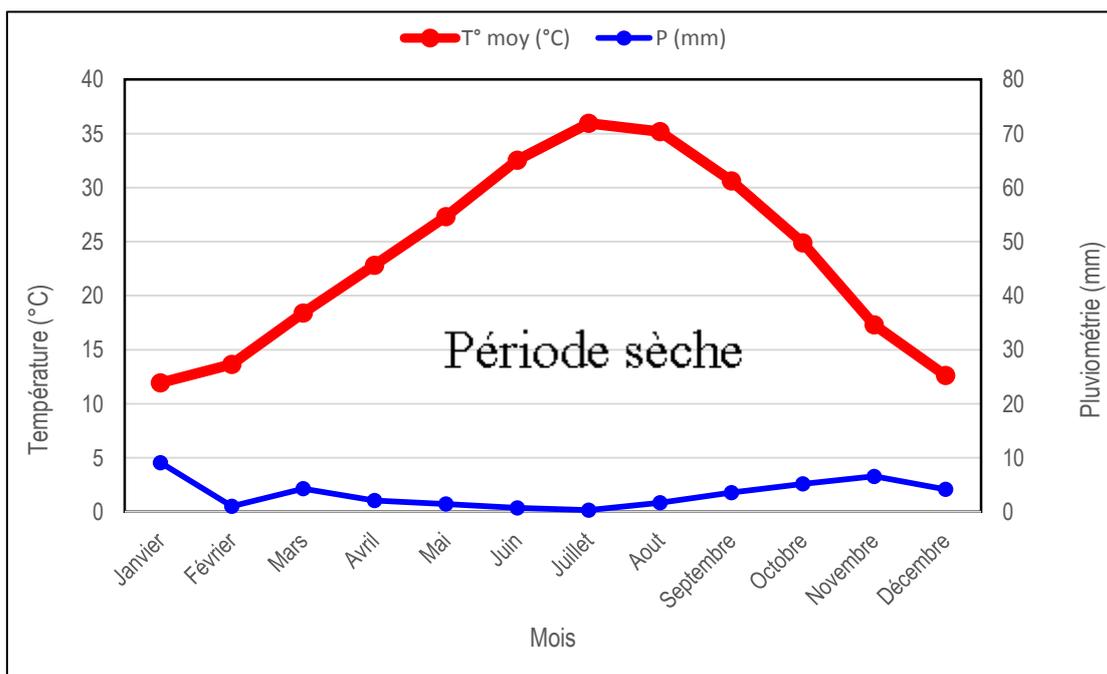


Figure 5. Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Ouargla

1.3.2. Climmagrame d'Emberger

La région de Ouargla se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux puisque le $Q_2 = 4,26$ (Fig. 6).

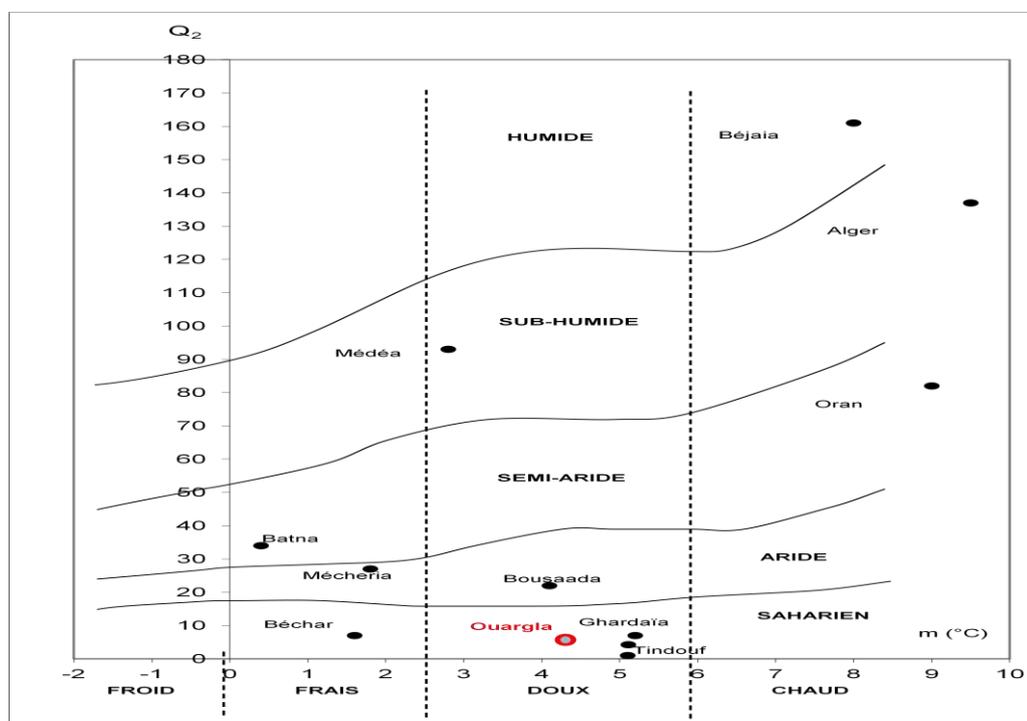


Figure 6. Climmagrame d'Emberger de la région de Ouargla

II. Choix de la zone d'étude

Notre étude expérimentale été réalisée dans la cuvette de Ouargla où se pose le problème de la remontée des eaux phréatiques suite aux rejets des eaux excédentaires dans un milieu oasien sans exutoire.

1. Présentation de la zone d'étude

Précisément au niveau d'un périmètre agricole de mise en valeur située au nord de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Ouargla (Fig. 7).



Figure 7. Vue général de la zone d'étude par Google Earth

Le périmètre agricole choisi pour la réalisation de notre étude s'étalant sur une superficie de quelques les exploitations. Cette nouvelle zone de mise en valeur où les agriculteurs prennent la charge de tester les possibilités de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture est considérée comme un intervalle d'expérimentation, surtout pour la phoeniciculture irriguée par les EUE, ce qui est conseillé par l'office national d'assainissement (ONA). L'irrigation dans la zone précitée est effectuée principalement par les eaux usées épurées, pompées du canal de transfert des effluents de la STEP de Ouargla vers sebkhet Sefioune. De plus, il existe certains agriculteurs qui préfèrent utiliser les eaux conventionnelles des puits et des forages pour l'irrigation de leurs cultures (BOUHANNA, 2014).

2. Caractéristiques édaphiques de la zone d'étude

D'après les études réalisés dans la zone d'étude par BOUHANNA, 2014 et NADER, 2014, les sols présentent plusieurs horizons, de texture sableuse avec une composition granulométrique variable de sables grossiers entre 69,38 % et 60,09 %, et de sables fins entre 38,36% à 29,03% sable fin. Les sols sont en générale non gypseux, peu à non calcaires,

pauvre en matière organique, pauvre en azoté, pauvre en phosphore assimilable et moyennement alcalins avec un pH compris entre 7,9 et 8,4. Les profils sont salins à alcalins, caractérisés par une conductivité électrique supérieure à 4 dS/m, un pH inférieur à 8,5 et un pourcentage de sodium échangeable supérieur à 15 %.

3. Caractéristiques hydrique de la zone d'étude

Les études et les analyses effectuées dans la zone d'étude sur les eaux d'irrigation (tabl. 4) ont montré que les eaux d'irrigation épurées et conventionnelles ayant des pH légèrement alcalin à alcalin, des conductivités électriques très fortes, très dures et chargé en ions solubles.

Tableau 04 : caractéristiques des propriétés physico-chimique des EC et EUE d'irrigation (STEP, 2016 ; BOUHANNA, 2014).

Paramètres	Eau conventionnelle	Eaux usées épurée
pH	7,91	7,8
conductivité ms/cm	6,65	10
O ₂ mg/l	1,9	3,01
Turbidité(NTU)	0,615	/
RS(mg/l)	1377,5	10477
MES mg/l	0	44,43
CA ⁺² (meq/l)	9,252	20,37
TH (F°)	107,70	196,80
Mg ⁺² meq	59,445	26,19
TAC meq	2,643	/
No ₂ meq	0,002	0,15
Po ₄ meq	0,055	0,11
NH ₄ +meq	0,003	7,36
No ₃ +meq	0,072	6,88
Na ⁺ meq	54,438	60,97
k ⁺ meq	2,979	2,24
Cl meq	104,172	154,92
So ₄ meq	21,18	19,82

III. Approche méthodologique

Cette étude a été réalisée en deux étapes (Fig. 8), à savoir :

1. Une enquête sur le terrain pour étudier les eaux d'irrigation dans le périmètre de mise en valeur,
2. Une étude hydrique a pour but la caractérisation de l'impact de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la qualité des eaux de la nappe phréatique.

1. Enquêtes

L'enquête est une partie important dans l'approche méthodologique. Elle a été réalisée les exploitations agricoles étudiés du périmètre de mise en valeur, situé au nord de la station d'épuration de Ouargla. Ces dernières sont irriguées par les eaux épurées de la station d'épuration évacuées par le canal de transfert STEP-Sebkhet sefioune. L'objectif de l'enquête est de définir l'importance des doses et des fréquences d'irrigation ainsi que l'intervention des pouvoirs publics et structures concernées dans la zone. Cette partie de l'étude est réalisée selon les étapes suivantes :

1. **Enquête administrative** : a été effectuée au niveau des administrations et les structures concernés par la réutilisation agricoles des eaux usées épurées, a titre d'exemple ONA, DSA, ANRH. Le principal but de cette enquête est la détermination des niveaux d'interventions de ces structures dans cette opération.
2. **Enquête agricole** : a été effectué au niveau des périmètres agricoles dans la zone d'étude, L'objectif de cette enquête est la détermination des niveaux de connaissances existé chez les agriculteurs vis-à-vis l'utilisation de ces eaux ainsi leurs effets et leurs conséquences et les modes de leurs utilisation (annexe 03).

2. La qualité chimique des eaux phréatique

L'étude hydrique consiste à comparer l'effet de l'irrigation sur la pollution des eaux de la nappe phréatique par utilisation des eaux usées épurées et conventionnelles, comme suit :

- Choisir des sites de prélèvement des eaux en fonction de quelques critères définies ;
- Réaliser les profils de sols dans les sites pour atteindre la nappe phréatique ;
- Installer les piézomètres après sondage à la tarière au fond des profils ;
- Prélever les eaux de la nappe phréatique.

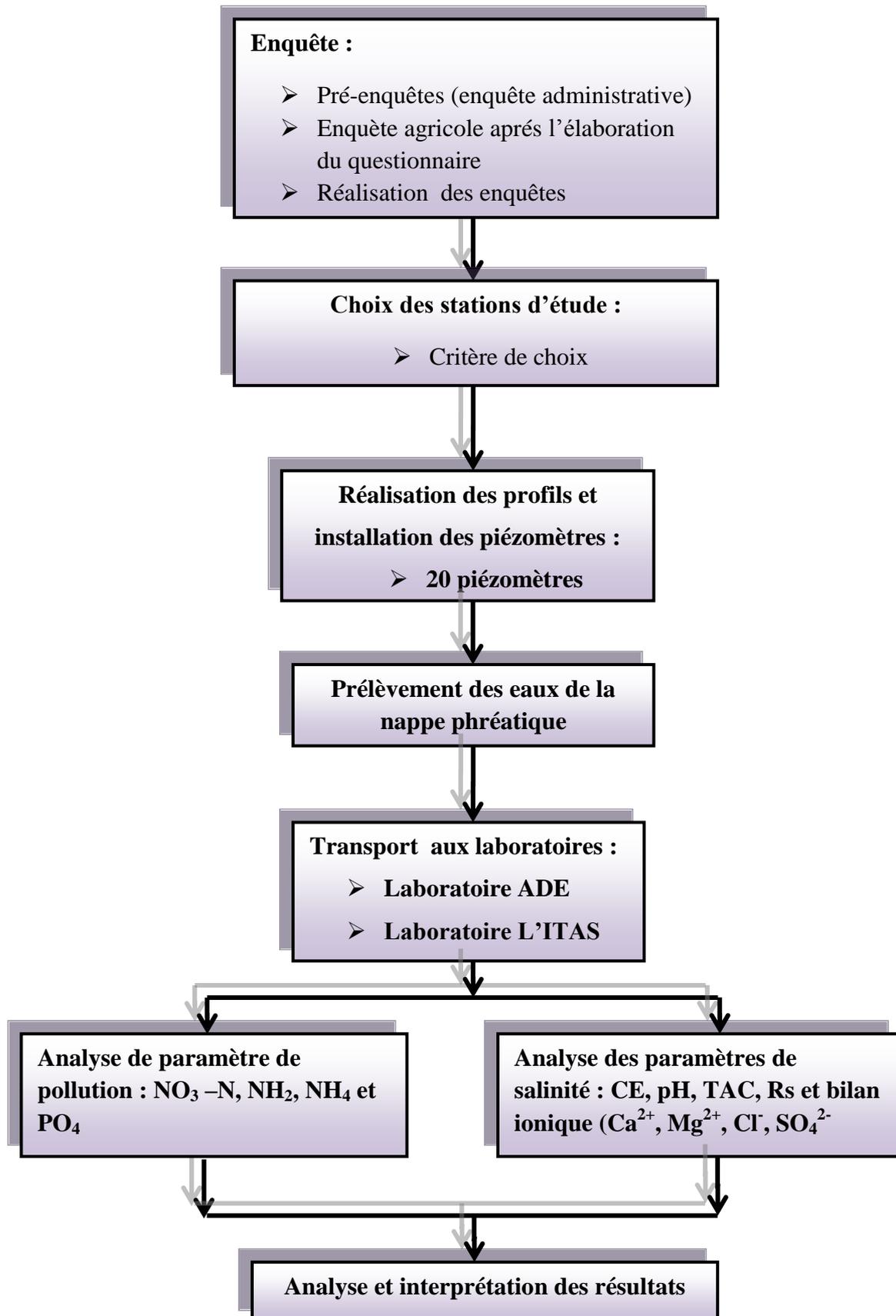


Figure 8. Approche méthodologique de l'étude

2.1. Choix des sites de prélèvement

Dans la zone d'étude, 20 sites sont choisis en fonction des paramètres précités à fin de compléter notre étude. L'opération du choix des sites de prélèvement a été succédée par l'étape de réalisation des profils et l'installation des piézomètres. Ces piézomètres vont constituer les points d'échantillonnage des eaux de la nappe phréatique.

Pour cela, les sites de prélèvement des eaux sont choisis en fonction de :

- Nature des eaux d'irrigation épurées et eaux conventionnelles ;
- La durée d'irrigation des exploitations par les eaux usées épurées ;
- Absence des croutes, ce choix s'est fait après plusieurs sondages à la tarière dans la station pour déterminés des meilleurs points d'échantillonnage ;
- Le niveau statique de la nappe phréatique dans la station, dont le travail s'est fait dans les stations où la nappe phréatique ne dépasse pas les 3m de profondeur ;

2.2. Réalisation des profils

Des profils sont creusés au niveau des stations choisis. Les sols nus réalisés ayant les dimensions suivantes (fig.09), un mètre de largeur fois un mètre de longueur fois un mètre vingt jusqu'à un mètre cinquante de profondeur suivant l'éloignement des eaux de la nappe phréatique. Cette opération a pour objectif le rapprochement à la surface des eaux pour facilité les prélèvements.

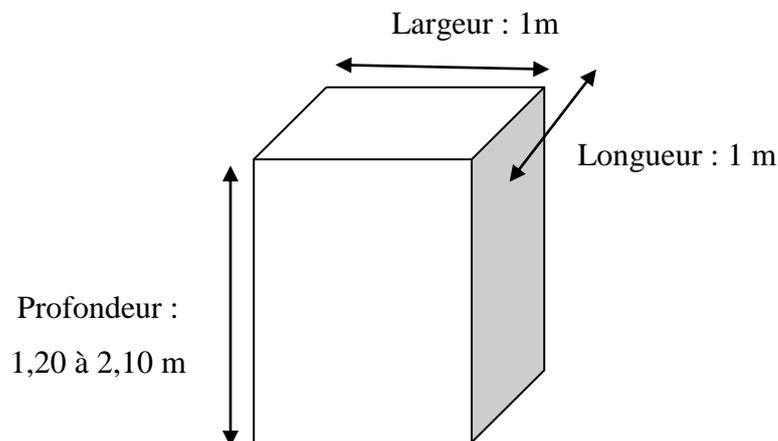


Figure 9. Schéma d'un profil réalisé (DADI BOUHOUN ,2010)

2.3. Installation des piézomètres

L'installation des piézomètres à des points fixés va nous permettre d'effectuer des mesures sur l'état des eaux phréatiques.

Afin de les installés des trous avec la tarière sont réalisés aux niveaux des profils réalisés précédemment pour permettre à l'eau de ce rassemblé. Cette opération est succédé par

l'installation des piézomètres (Phot. 01) sont des tuyaux de 3m de longueur et de 110 mm de diamètre. Finalement un GPS est utilisé pour le référencement des points d'échantillonnages des eaux.



- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Réalisation des profils | 4. Installation des piézomètres |
| 2. Réalisation des ouvertures par la tarière | 5. Piézomètre installé |
| 3. Trou réalisés à la tarière spiralé | 6. Piézomètre installé |

Photo 01. Etapes de réalisation et installation des piézomètres

3. Prélèvement des eaux phréatiques

Les prélèvements des eaux sont effectués après la réalisation des profils et l'installation des piézomètres. Les prélèvements de l'eau de la nappe sont réalisés de façon manuelle par un récipient adapté à l'ouverture des piézomètres. Les eaux prélevées sont transvasés dans des bouteilles en polyéthylène, revêtues de papier d'aluminium pour

empêcher toute détérioration des caractéristiques des eaux en présence de lumière (phot. 02). Les échantillons d'eaux sont transportés aux laboratoires de l'ONA, ADE et l'ITAS pour effectuer les analyses.



Photo 02. Echantillonnage des eaux

Les prélèvements des eaux de la nappe phréatique sont réalisés par tranches selon le calendrier (Tabl. 5).

Tableau 5. Calendrier des prélèvements des eaux de la nappe phréatique

Prélèvements	Dates	Prélèvements effectués
1 ^{ier} prélèvement	09/01/2016	5 échantillons
2 ^{ème} prélèvement	30/01/2016	5 échantillons
3 ^{ème} prélèvement	20/02/2016	5 échantillons
4 ^{ème} prélèvement	12/03/2016	5 échantillons

L'étude de la qualité des eaux conventionnelles et non conventionnelles est basée sur la réalisation des analyses physico-chimiques (pH, conductivité électrique, résidus sec, turbidité, MES), de bilans ioniques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et aussi les analyses des paramètres de pollution comme les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), l'ammonium (NH_4^+) et les ortho-phosphates (PO_4^{3-}).

IV. Méthodes d'analyses

Les analyses des eaux des nappes phréatiques sont effectuées par différents méthodes selon les paramètres à étudier. Les analyses des eaux sont effectuées au niveau de plusieurs laboratoires, à savoir le laboratoire de la station d'épuration des eaux usées de Ouargla, le laboratoires pédagogiques de l'université de Ouargla et laboratoire de l'algérienne des eaux (ADE). Les méthodes utilisées dans les analyses des eaux sont comme suite (annexe 04):

1. Analyses physico-chimiques : nous avons déterminé les propriétés physico-chimiques des eaux phréatiques (Phot. 02) en utilisant les manuelles de RODIER *et al.* (2005) et de

l'OMS (2007) :

- a. **pH:** La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Le pH-mètre est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de la forte résistance présentée par l'électrode de mesure.
- b. **Conductivité électrique (C.E) :** Pour cette analyse, nous avons utilisé un multi paramètre de type 315i/SET avec une conductivité de type Cond 1970i et une solution de KCl à 0,1 N. cette appareil réglé de T 25C°.
- c. **Résidu sec :** La détermination de ce paramètre a nécessité l'utilisation d'une étuve où le résidu est desséché à 105°C pendant 24 heures et d'une balance pour la pesée. Notant que la prise d'essai est de 50ml d'eau à analyser (Phot 03).



Photo03. Mesure de résidu sec

- d. **La turbidité:** La turbidité se mesure par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau. La turbidité est mesurée par un test optique (turbidimètre) qui détermine la capacité de réflexion de la lumière (l'unité de mesure est le « NTU » - unités néphéométriques. Lorsque la turbidité supérieure ou égale a 5 NTU on calcule MES.
 - e. **Les matières en suspension (MES) :** La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur un papier filtre (préalablement pesée à vide) de 1,5 microns et les résidus sur cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en mg/l).
- 2. Analyses des bilans ioniques :** Il faut connaître le taux des cations et anions solubles dans les eaux pour apprécier la qualité en cas de réutilisation en agriculture. Les échantillons doivent être filtrés avant d'effectuer les dosages (ADE., 2012) :
- a. **Sodium et potassium :** Le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme; le

principe consiste à faire passer les solutions de la gamme d'étalonnage. Pour les extraits, dans des tubes à essais, introduire 2 ml de la solution à analyser et faire passer au spectrophotomètre à flamme. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution à des sensibilités différentes du photomètre à flamme. Les courbes étalons construites à partir des solutions étalons donnent directement les tenues en Na^+ , K^+ exprimés en mg/l d'échantillon.

- b. Calcium et Magnésium :** Le dosage se fait par méthode de complexométrie. Titration par complexométrie du calcium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide d'éthylène –diamine titracique (E.D.T.A) à un pH 10. Le noir érichrome qui forme avec le calcium et le magnésium un complexe rouge foncé ou violet est utilisé comme un indicateur.
 - c. Chlorures :** Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée méthode de dilution de 100 à cause de la forte salinité de l'échantillon.
 - d. Bicarbonates :** Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH= 8,3 et 4,3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet.
 - e. Sulfates :** Les ions sulfate sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum. Les réactifs utilisés sont: une solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 10 %, une solution acide chlorhydrique (HCl) à 10 % et une solution-mère de sulfates à 1g/l. L'appareil utilisé est le spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.
- 3. Analyses des paramètres de pollution :** Le dosage des paramètres de pollution dans l'eau est effectué au niveau de laboratoire de l'ADE de Ouargla se servant à un spectrophotomètre UV visible type DR2500 (ADE., 2012) :
- a. Nitrates :** En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique ; norme ISO N° 90 012.
 - b. Nitrite :** La diazotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrique.
 - c. Ammonium :** Mesure spectrométrique à environ 655 nm du composé hypochlorite en

présence de nitroprussiate de sodium selon la norme ISO N° 7150.

- d. Orthophosphates :** Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et les tartrates double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption : 700 nm et 880 nm, selon la norme ISO N° 66878 (Fig, 12).



Photo 04. Quelques appareils utilisés lors des analyses physico-chimiques



Photo 05. Dosage de l'ortho phosphate et nitrite



Chapitre IV
Résultats et
discussion

I. Enquête sur terrain

Ce chapitre a été consacré à la présentation des principaux résultats des enquêtes réalisés sur le terrain. L'enquête concerne la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture dans un nouveau périmètre de mise en valeur située au nord de la station d'épuration des eaux usées (O.N.A) de Ouargla. Les éléments pris en considération sont : type des eaux utilisées en irrigation, variation des cultures, système de l'irrigation, profondeur de la nappe et présence des croutes et les impacts observé sur les cultures.

1. Enquête administrative

Cette partie d'étude est réalisé au sein des structures publique de Ouargla à savoir ; office nationale d'assainissement, ANRH, Direction d'Hydraulique...ect. Ces structures ont des relations directes avec la pratique de la réutilisation agricole des eaux usées épurées.

D'après les structures les précités, les eaux de la sortie de la station d'épuration annonce une salinité fortement élevée. D'après les résultats de la conductivité électrique est supérieure à 9,32 dS/ms.

Certain nombre de difficulté et contraintes peuvent être rencontrées dans la réutilisation des EUE selon ces structures telles que :

- ❖ La salinité de EUE est importante, Les technologies actuelles ne réduisent pas cette salinité et ne sont pas capables de modifier de manière significative la quantité croissante des sels résultant des usages industriel et domestiquais, en résulte certains effets négatifs sur l'eau, sur le sol et une décroissance de la production végétale ;
- ❖ Le contrôle des eaux réutilisées doit être rigoureux et permanent.

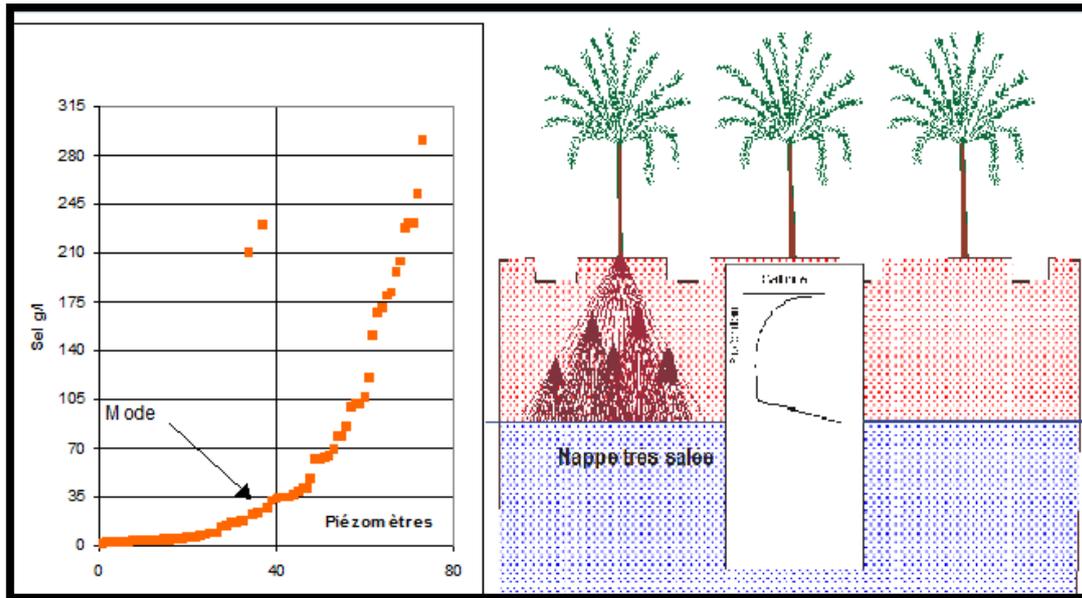


Figure 10. Ssuralimentation de la nappe phréatique par l'irrigation des palmiers.
(ANRH., 2015).



Photo 06. Remonté des eaux phréatiques dans la zone d'étude

Dans les zones où la salinité élevées, certaines cultures tolérantes aux sels, en intercalaires sous palmiers telles que : la betterave rouge, la betterave saucière, les épinards, le cantaloup, l'artichaut, les cardes, les choux, l'orge, la luzerne, le ray gras , le coton, le grenadier, l'olivier, le rendement de ces cultures peut chuter en moyenne de 30% à partir d'un niveau de salinité du sol de 7 dS/m. il faut rappeler que certaines de ces cultures exigeantes en eau peuvent accentuer le phénomène de salinisation.
(Direction d'hydraulique de Ouargla., 2011).

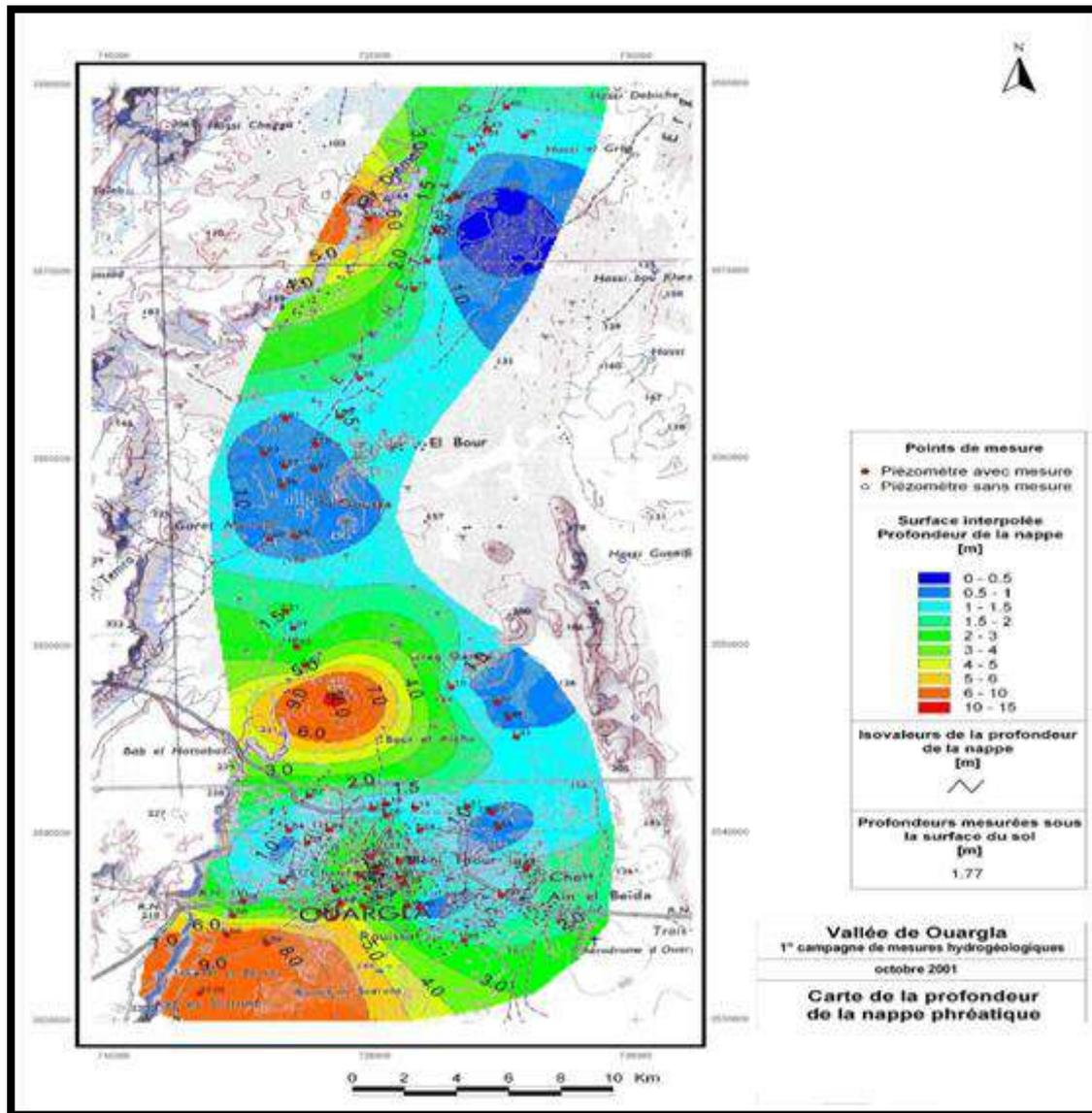


Figure 11. Profondeur de la nappe phréatique dans la région de Ouargla (ANRH., 2015)

- ❖ La remontée saisonnière en surface du niveau de la nappe phréatique contribue fortement à la salinisation des bords des dépressions (chott et sebkha). Sur le long du canal, les zones les plus touchées par ce dynamisme sont zone d'inondation temporaire zone gypso-calcaire, saline (**Direction d'hydraulique de Ouargla., 2011**).

2. Enquête agricole

2.1. Composition culturelle de périmètre agricole

Concernant les exploitations cultivées, l'analyse de nos résultats indique que la plupart de celle-ci est des terrains cultivés par des palmier dattier à cause de forte

adaptation des palmiers dattier aux conditions édaphiques et hydriques dans la zone à savoir la forte salinité des sols et des eaux d'irrigations. Cette catégorie est enregistrée avec un pourcentage de 75% (Fig. 12), la plus part de ces exploitations sont irriguée par les EUE. Le reste des périmètres sont cultivée par des mono-variétales essentiellement phoeniculture, cultures maraichères et cultures fourragères avec un pourcentage de 20%, ces types de cultures apparaissent les plus adaptés pour une initiative de réutilisation des EUE. Parallèlement, le système de cultures pratiquées dans la majorité des exploitations dans la zone d'étude est la monoculture. Pour le reste des exploitations environ 5% sont non cultivés.

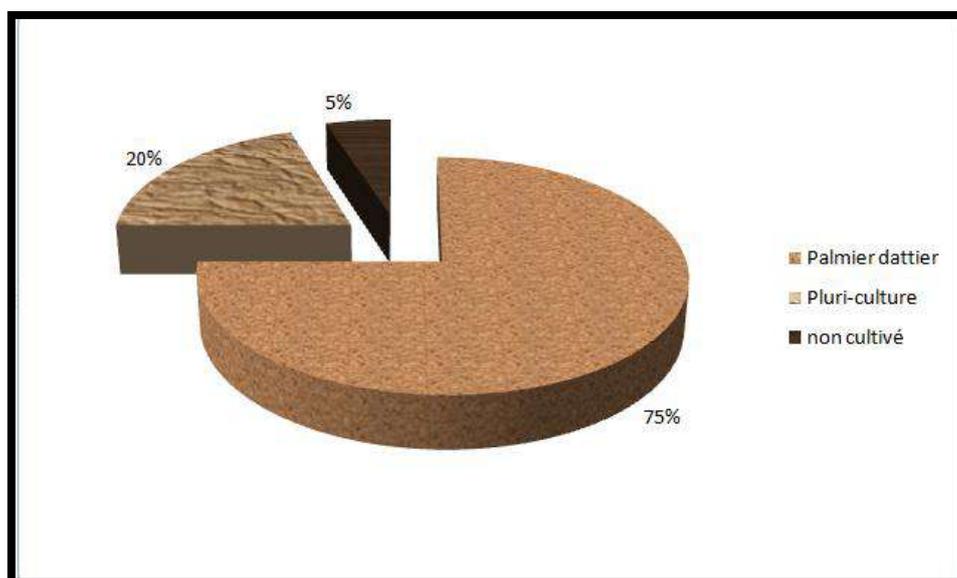


Figure 12 : Composition spatiale du périmètre d'enquête

1. Type des eaux d'irrigation

L'irrigation joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle pour une agriculture économiquement viable (F.A.O 2003). Nos résultats d'enquête montrent que 60% des agricultures irriguent leurs exploitations avec les EUE, où les raisons du choix sont multiples : eau disponible gratuitement, sans aucun captage, eau riche en éléments nutritifs (Phot 07); alors que le reste (35%) irrigué avec les EC par choix volontairement et 5% des terrains sont abandonnées et non irriguée (Fig. 13).

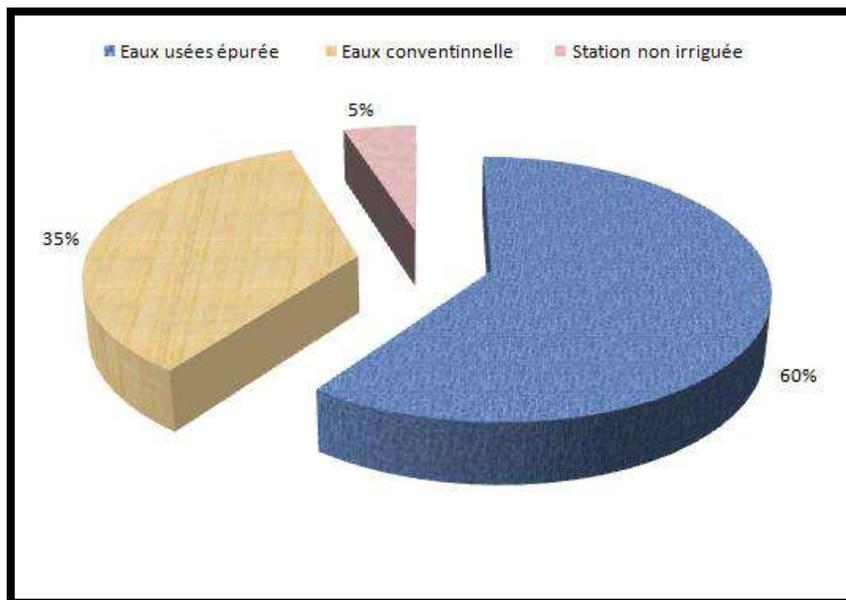


Figure 13 : Qualité de l'eau d'irrigation dans le périmètre agricole



Photo 07. Réutilisation des EUE pour l'irrigation des plantes.

2. Profondeur de la nappe phréatique dans la region d'étude

La situation de la nappe phréatique sur l'ensemble des points des sites d'étude nos a donné une idée sur le niveau de la nappe (Fig. 14). Notre étude à été réalisée pendant l'hiver, c'est la période des hautes eaux, elle est connue par la remontée des eaux souterraines. Les observations sur terrain ont montré l'existence des variations de profondeur de la nappe entre les différentes stations. Les périmètres enquêtés sont regroupés en trois catégories en fonction de niveaux de la nappe phréatique constatée lors des enquêtes:

- Première catégorie : regroupe 20% des exploitations enquêtées, au niveau de cette zone la profondeur de la nappe phréatique varie entre 0 et 1 m. ce sont surtout les

périmètres irrigués par les eaux conventionnelles, où nous avons constatés l'utilisation irrationnelles des eaux.

- Deuxième catégorie: regroupe 70% des exploitations enquêtées dont le niveau de la nappe phréatique est située entre 1 et 2m de profondeur ;
- Troisième niveau : regroupe 10% des exploitations enquêtées. Dans cette zone le niveau de la nappe phréatique est supérieur à 2 m.

Le niveau de la nappe phréatique constaté lors des enquêtes, nous à permit de sélectionner les sites d'installation des piézomètres, dont ces derniers sont installés au niveau des périmètres où la profondeur de la nappe phréatique ne dépasse pas les 3 m.

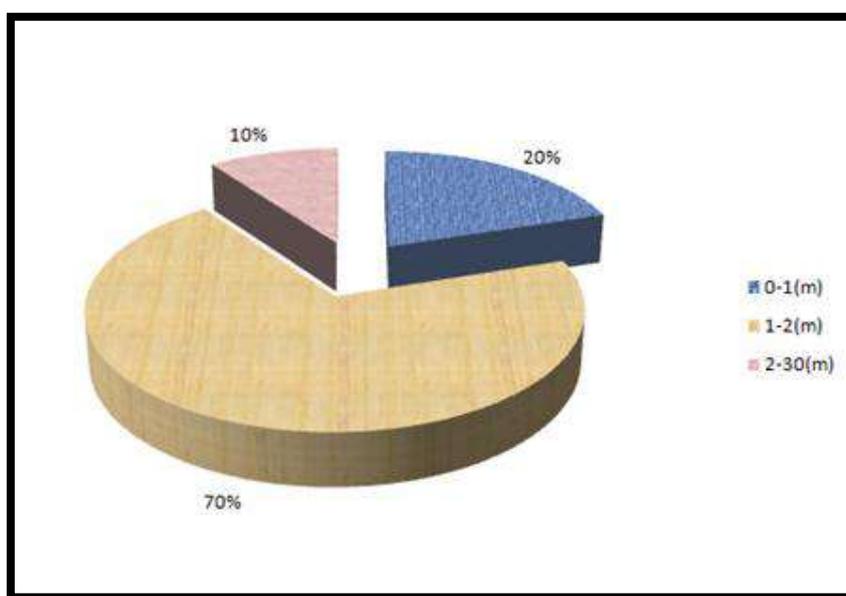


Figure 14 : Profondeurs de la nappe phréatique dans le périmètre agricole (pendant la période hivernale).

3. Durée d'irrigation

Au niveau du périmètre d'enquête, la population active agricole est majoritairement commence leurs pratique avons 3 à 4 ans. Les autres exploitations entre sont débuté leurs irrigation entre 2, 5 jusqu'à 6 ans (Fig. 15).

Concernant l'âge des exploitants, Il est estimé à 79% ayant un âge entre 30 et 50ans, 14% représentent celle qui ont un âge supérieur à 50ans, d'autre part les jeunes exploitants ayant un âge inférieur à 30 ans représentent 7% (**BOUHANNA, 2014**). Nos enquêtes dans la zone d'étude ont montré la diminution de l'activité agricole dans la zone d'étude par rapport à les années passées.

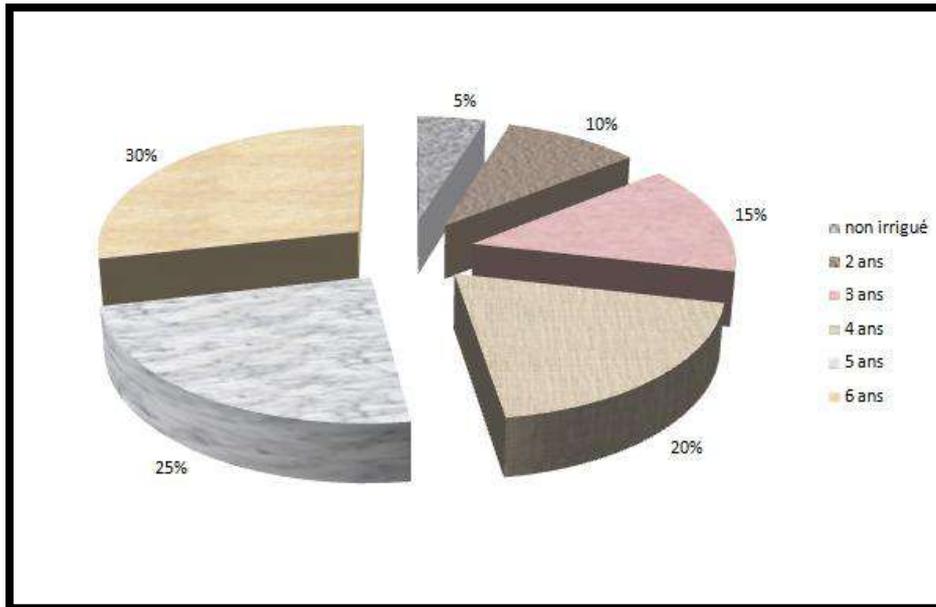


Figure 15. Durée d'irrigation dans le périmètre d'enquête

4. Système d'irrigation

D'après l'analyse de nos résultats d'enquête, deux types de systèmes d'irrigation sont pratiqués dans les exploitations agricoles dans la zone d'étude submersion et localisé où goutte à goutte (Fig. 16).

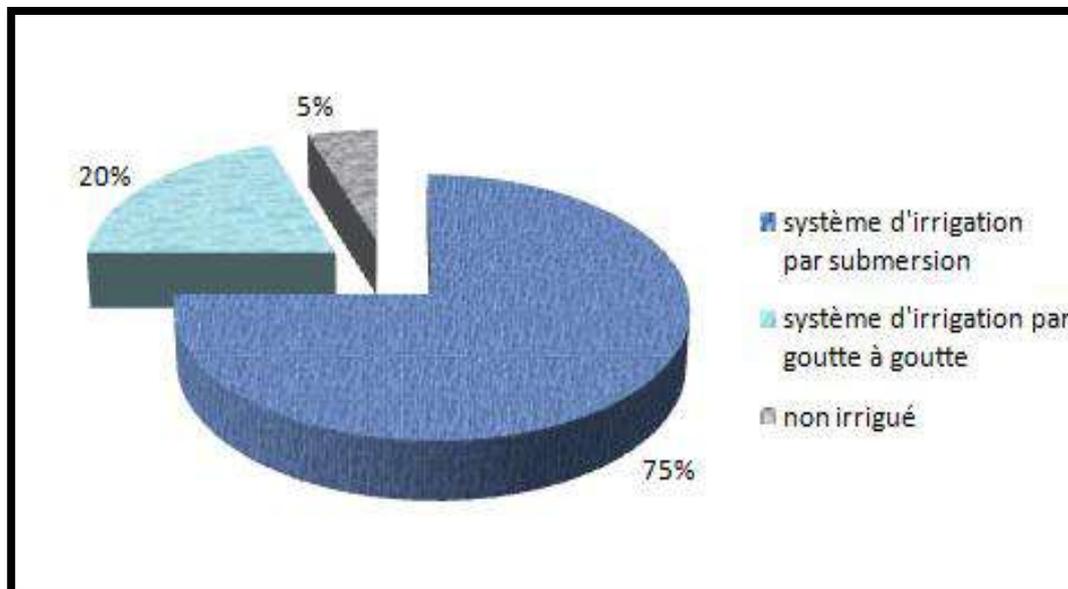


Figure 16. Types de système d'irrigation dans la zone étude

Le système d'irrigation par submersion est le plus utilisée presque au niveau de 75% des superficies irrigués. Ce système est peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Cette dernière peut présenter des risques de contamination des eaux souterraines à cause des quantités élevés des eaux d'irrigation utilisés. Malgré ces

inconvenients, il est resté le système d'irrigation le plus pratiquées dans la zone d'étude. Le système goutte-à-goutte est le moins utilisés, malgré les meilleurs rendements peuvent être obtenus lorsqu'on emploie de façon appropriée les systèmes d'irrigation modernes d'après la **F.A.O 2003**.

Concernant l'irrigation par le système localisé qui est considéré comme un système économiseur des eaux et vulgarisé dans les nouveaux projets de mise en valeur, dernièrement l'utilisation de ce système d'irrigation est connue une extension assez notable surtout pour l'irrigation des palmiers et des arbres fruitiers dans les périmètres de mise en valeur. Environ 20% des stations enquêtés présentent le système d'irrigation localisé et goutte à goutte.

5. Présence des croutes

La présence des croutes ou des encroûtements dans les sols va empêcher le développement normal des racines des plantes.

Dans le périmètre d'enquête deux types des exploitations sont distinguées :

- 36% des exploitants enquêtées contenant des croutes à la profondeur, dont la profondeur variée entre 1 m à 2 m.
- 64% des exploitations enquêtées contenant des écroutements des sels. Généralement ces encroutements situés à la surface des sols (Phot 08).

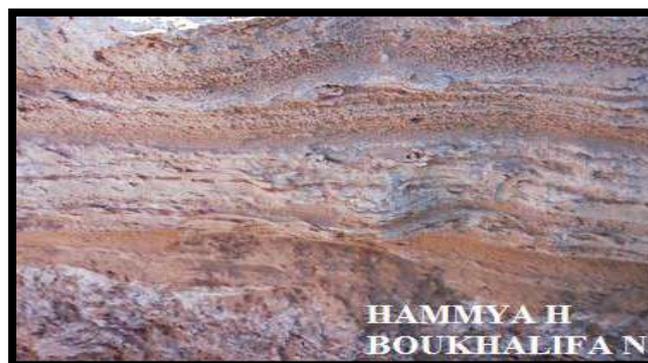


Photo 08. Présence de la croûte

Conclusion

Nos résultats d'enquête, montrent que jusqu'à aujourd'hui l'ensemble des agriculteurs dans la zone d'étude utilisent les EUE sans accompagnement des directions et les organisations responsables telle-que D.S.A et O.N.A. Les exploitations irriguée avec les EC son des exploitations adultes, les puits est la source principales d'eau d'irrigation, elles sont bien cultivée et organisées. Le périmètre d'enquête au nord de la STEP est cultivé principalement par la phoeniculture, puisque elle connue par leur résistance et tolérance aux fortes salinités. Les résultats de nos enquêtes administratifs montrent que la qualité des eaux usées épurées évacués par STEP est conforme aux normes Algériennes, alors elles sont réutilisables en agriculture selon ANRH et la direction de l'hydraulique même c'est les sols de la région de Ouargla sont très salés.

II. Etude de la qualité des eaux phréatiques

Ce chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des principaux résultats obtenus durant cette étude. Les résultats sont présentés de telle façon qu'ils soient facilement exploitables pour déterminer l'effet de réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la pollution des eaux de la nappe phréatique, pour cette raison on y essayer d'interpréter la variation de la qualité physico-chimique des eaux phréatique dans la zone d'étude entre trois types des périmètres agricole : les périmètres irrigués par les EUE, les périmètres irrigués par les EC et les stations non irrigués comme des stations témoins.

1. Paramètres physico-chimique des eaux

1.1. Le potentiel d'Hydrogène

Le potentiel d'Hydrogène (pH) des eaux dépend de leur origine, de la nature géologique du substrat et du bassin-versant traversé (DUSSART, 1966). Nos résultats obtenus indiquent que le pH de toutes les eaux étudiés est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin (annexe 05). Celle-ci est comprise entre 7,68 dans les stations irriguées par les EUE à 7,89 dans les stations irriguées par les EC. Parallèlement, les eaux phréatiques dans les stations non irrigués présentent un pH plus faible égal à 7,3 (Fig. 17).

Nos résultats obtenus sont semblables à ceux qui sont déclarés par BOUCHAHM *et al.*, 2005 (annexe 06) et BOUHANNA., 2014 (annexe 07) aussi elles sont conforme aux normes de l'OMS (annexe 08).

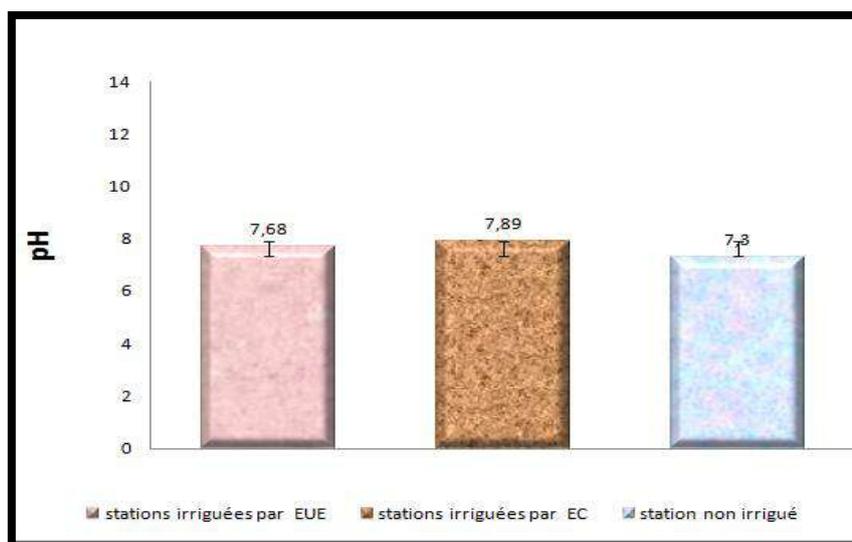


Figure 17. Variation moyenne de pH des eaux étudiés

1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique et les éléments chimiques montrent que la conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique est influencée par tous les éléments majeurs surtout par les chlorures, sulfates, sodiums et magnésiums. Globalement la variation de la minéralisation est liée essentiellement aux chlorures

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique des eaux étudiées varient entre 105 ms/cm dans les stations irriguées par les EC à 134mS/cm dans les stations irriguées par les EUE (Fig. 18 ; phot 09). Dans les stations non irriguées, la conductivité électrique des eaux phréatique atteint 236 mS/cm.

Les résultats de la conductivité électriques des eaux phréatiques traduisent une forte salinité. Elle est liée directement dans les stations irrigués par les EUE à la qualité des eaux d'irrigation. Les études effectués dans la zone d'étude (BOUHANNA, 2014 ; NADER, 2014 ; ONA, 2016) ont montrés que les EUE sont très chargé. Dans les stations non irrigué, l'augmentation de la conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique par rapport les stations irriguées est liée aux conditions climatiques dans la région. BOUHANNA, 2014 a signalé que la salinité des eaux phréatiques dans la zone d'étude est en relation directe avec la salinité des eaux d'irrigation pour les stations irriguées, en plus la salinité excessive des eaux de la nappe phréatique est beaucoup plus liée aux conditions climatiques du milieu. Les fortes températures favorisent l'évaporation des sols et par action de la capillarité, le phénomène du départ des eaux pour équilibrer le milieu aurait lieu.

L'analyse de nos résultats indique que les eaux les plus salées (EUE) influent sur la salinité des eaux de la nappe phréatique.

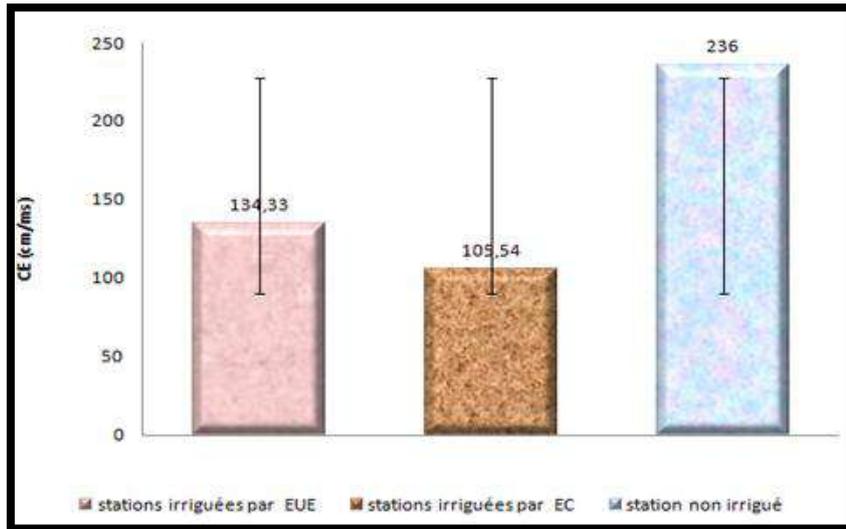


Figure 18. Variation moyenne de la conductivité électrique dans les eaux étudiées.

Concernant le résidu sec des eaux de la nappe phréatique, Nos résultats obtenus indiquent que les stations non irriguées présentent les concentrations les plus élevés avec un moyen de 280200 mg/l. Dans les stations irriguées par les EUE, le résidu sec des eaux phréatique évalués à 159283,33 mg/l. Parallèlement, les stations irriguées par les EC présentent les teneurs les moins faibles de 59085,71mg/l. Ces valeurs enregistrés de résidu sec appuient nos résultats obtenus de la salinité des eaux, et confirment les conclusions décrites concernant l'effet des conditions climatiques et la qualité des eaux d'irrigation sur la qualité des eaux phréatique.

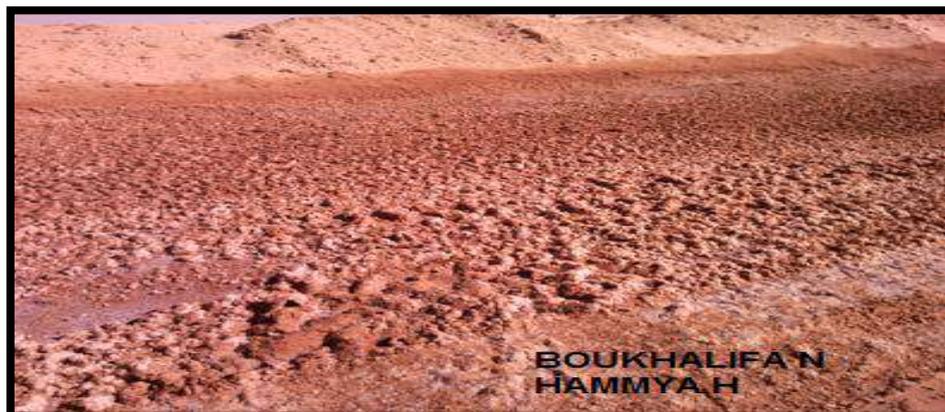


Photo 09. Salinisation de sol

1.3. Turbidité

La turbidité est la teneur d'eau en particules suspendues qui la troublent. La moyenne de la turbidité des eaux phréatiques (Fig. 19) dans les stations d'étude variée entre 113 dans les stations irriguées par les EUE à 74 dans les stations irriguées par les EC. L'analyse de ces résultats montre l'existence d'une liaison entre la qualité des eaux d'irrigation et la qualité des eaux de la nappe phréatiques. Les études et les analyses ont montré que les EUE sont très chargés (la matière végétale et les particules inorganiques Limon, argile et composé chimique naturel tels que le carbonate de calcium, chlorure...), cette charge influence sur l'augmentation de la turbidité des eaux de la nappe phréatique dans les stations irriguées par les EUE par rapport aux stations irriguées par les eaux conventionnelles.

La turbidité des eaux de la nappe phréatique dans les stations non irriguées est très élevée, puisque dans ce station l'absence de lessivage et les effluents d'eau qui favorise la turbidité de l'eau.

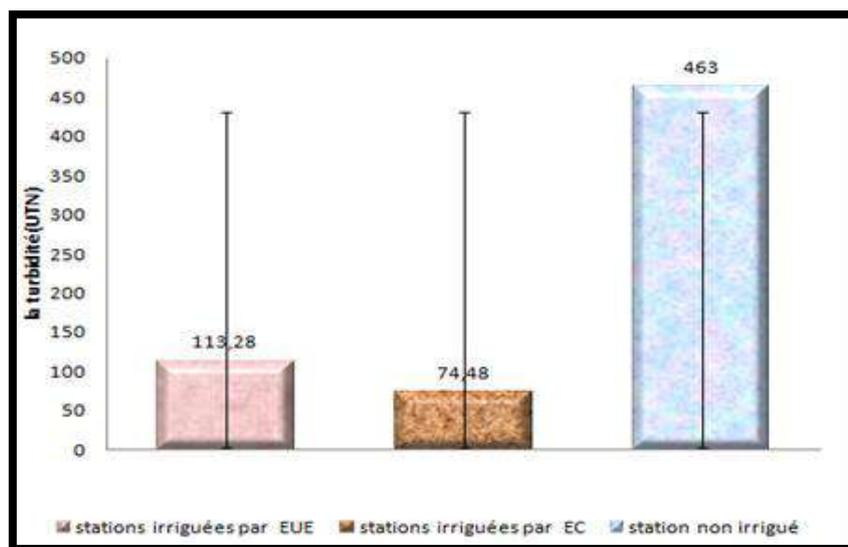


Figure 19. Variation moyenne de la turbidité dans les eaux étudiées.

1.4. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous (O_2) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux (HCEFLCD, 2007 in BELGHITI et al., 2013). La solubilité de l'oxygène dans les eaux douces et salées indique quelques différences assez minimes au regard de la précision de la mesure. L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération, car il renseigne sur l'état de la nappe et d'autre

part il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. En général, les valeurs faibles de l'oxygène dissout favorisent le développement des germes pathogènes.

Nos résultats obtenus (Fig. 20) indiquent que les concentrations d'oxygène dissout dans les eaux de la nappe phréatique étudiée sont fréquentes. Dans les stations irrigués par EC présentent les taux de O₂ dissout les plus élevés 5,29, par rapport les stations irrigué par EUE où les taux d'O₂ dissout évalués à 4.26. Les stations non irrigués présentent les valeurs les plus faibles avec une tenure de 3.4.

Nos résultats obtenus sont justifiable selon (RODIER *et al.*, 2009), l'auteur a signalé que la concentration en sels dissous ne modifie pas la pression partielle de l'oxygène dans la solution mais affecte la concentration en oxygène dissout qui décroît lorsque la concentration en sels augmente.

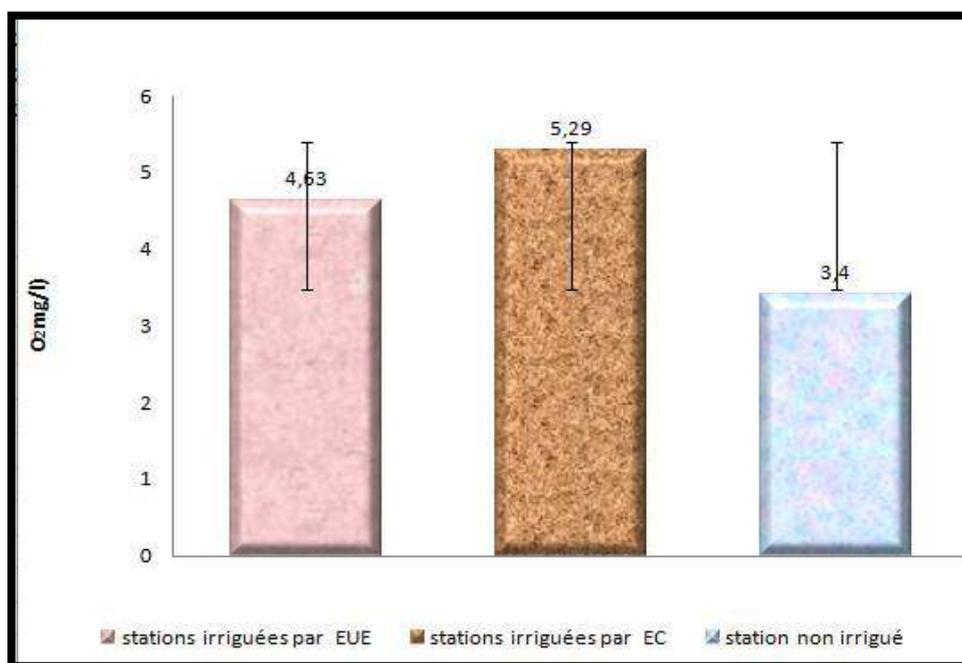


Figure 20. Variation moyenne d'O₂ dissout dans les eaux étudiés.

1.5. Matière en suspension

La matière en suspension est particule solide dans l'eau permettra la turbidité de l'eau. Nos résultats obtenus (Fig. 21) ont montré que les MES sont plus élevés dans la station non irrigué, avec une valeur enregistré égale à 1.45 mg/l. ce résultat est toujours liés aux conditions climatiques et édaphiques dans la zone d'étude. Les caractéristiques naturelles dans ces stations avec l'absence de l'irrigation associer aux

températures très élevées favorisent l'augmentation des teneurs en MES dans les eaux étudiés. Pour les stations irriguée par EUE, les teneurs en MES ont évalué à 0,44 mg/l par rapport les stations irriguées par les EC où nous avons enregistré des teneurs moins faible égale à 0,36 mg/l. ces résultats sont liés à la qualité des eaux d'irrigation, les EUE sont plus chargé que les EC.

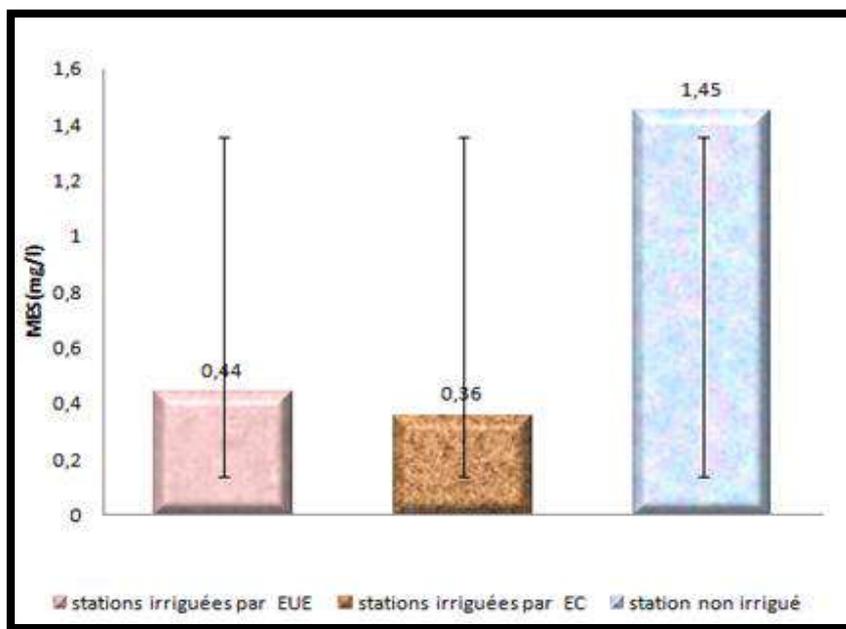


Figure 21. Variation moyenne de MES dans les eaux étudiés

1.6. Cations solubles

1.6. 1. Calcium

Le calcium Composant majeur de la dureté de l'eau, généralement l'élément dominant des eaux. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (RODIER et al., 2009). Les concentrations de calcium dans les eaux étudiées présentent une certaine variation. Nos résultats obtenus (Fig. 22) indiquent que la station non irrigués présente la teneur le plus importante de 4405,40mg /l. Les concentrations moyens de calcium obtenus dans les stations irriguée par les EUE sont évalués à 3197,33 et 2094,04mg/l dans les stations irrigués par les EC. L'analyse des ces eaux montrent que toujours la qualité des eaux de la nappe phréatique dans la zone d'étude est liés directement avec les conditions naturelles de la zone d'étude et la qualité des eaux d'irrigation.

Par comparaison, nos résultats obtenus sont apparait plus au mois supérieure à celles qui sont obtenus **BOUCHAHM et al., 2005** (annexe 06) et **BOUHANNA., 2014.** (Annexe 07).

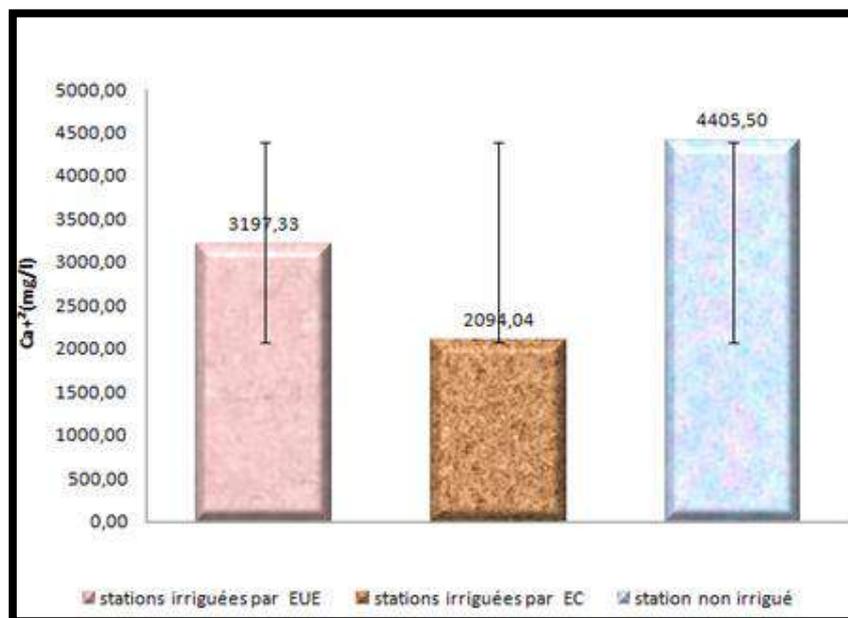


Figure 22. Variation moyenne de calcium dans les eaux étudiées.

1.6.2. Magnésium

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre. Son abondance géologique et sa grande solubilité, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (RODIER et al., 2009).

Les teneurs moyennes en Mg⁺² sont importantes dans la station non irriguée par rapport aux stations irriguées par EUE et EC (Fig. 23). Ces valeurs sont comprises entre 7484.4 mg/l dans la station non irriguée, 5637.6 mg/l pour irriguée EUE et 3471.43 mg/l à irriguée EC. Ces teneurs sont très élevées et dépassent les résultats de BOUHANNA, 2014 (annexe 07). Nos résultats obtenus montrent que la charge magnésienne des eaux de la nappe phréatiques liés aux conditions naturelles de milieu d'étude, l'augmentation de température et l'évaporation très intenses influent sur l'élévation des leurs concentrations dans les stations non irriguées. D'autre part, la concentration de Mg⁺² dans les stations irriguées est liée à la qualité des eaux d'irrigation très chargée (EUE) par rapport les eaux des puits, qui sont moins chargés.

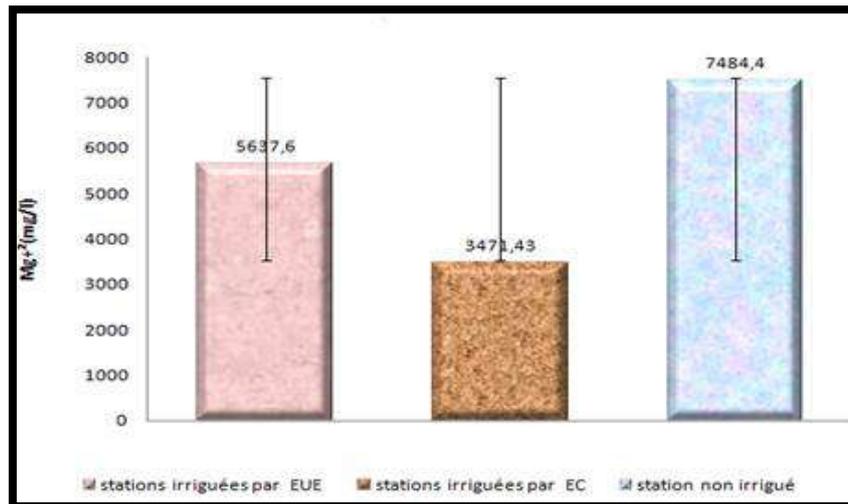


Figure 23. Variation moyennes de Mg⁺⁺ des eaux d'étudiées

1.6.3. Sodium

Le sodium est un élément constant dans l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologique contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium (RODIER *et al.*, 2005). Les teneurs moyennes de sodium (Fig. 24) sont variées dans les eaux étudiées entre 21164.17 mg/l dans les stations irriguées par les EUE. Dans les stations irriguées par les EC, les concentrations de sodium sont évaluées à 13400mg/l et 520 mg/l, c'est la concentration du sodium dans la station non irrigués. Cette variation des teneurs des eaux phréatiques en sodium est liée la qualité des eaux d'irrigation qui sont très chargé vis-à-vis l'élément sodium. Par comparaison, nos résultats obtenus sont assez supérieurs à celles qui sont déclarés par BOUCHAHM *et al.*, (2005)(annexe 05) ainsi que celles qui sont montrés par BOUHANNA, (2014) (annexe 07). Ces variations temporelles des concentrations en sodium peuvent être liées aux changements et fluctuations des teneurs des eaux d'irrigation, aux variations des pratiques culturales, et en fin, peuvent être liées aux fluctuations des eaux phréatiques dans la zone d'étude et écoulement des eaux souterraines dans la zone d'étude.

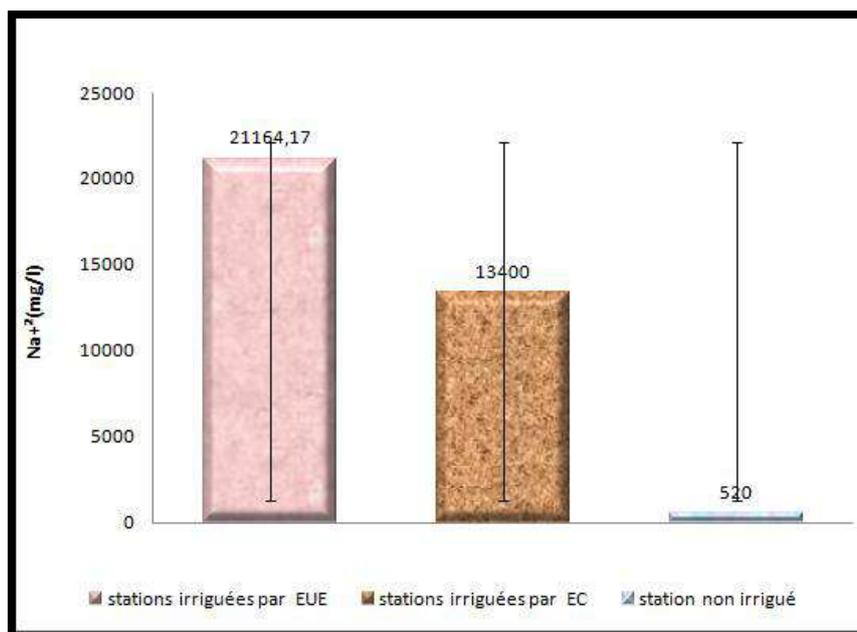


Figure 24. Variation des valeurs moyennes de sodium dans les eaux étudiées.

1.6.4. Potassium

Bien que dans les roches ignées, la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium (RODIER et *al.*, 2005). L'analyse de variation de potassium entre les différents stations montre que les concentrations moyennes de potassium dans les eaux phréatiques au niveau des stations irriguée par les EUE sont évalués à 2824,2 mg/l, parallèlement, les stations irrigués par les eaux conventionnelles enregistre des teneurs égale à 1385,7 mg/ l (Fig. 25). Pour les stations non irriguée, les teneurs moyennes de potassium sont évalués à 150 mg/l. d'après SLIMANI, 2006 la salinité augmente généralement suivant les axes d'écoulement de la nappe, ceci est dû, vraisemblablement, au lessivage des sels qui se concentrent dans le sol sous l'influence de l'évaporation, et qui chargent progressivement la nappe. Ce qui explique peut être nos résultats obtenus.

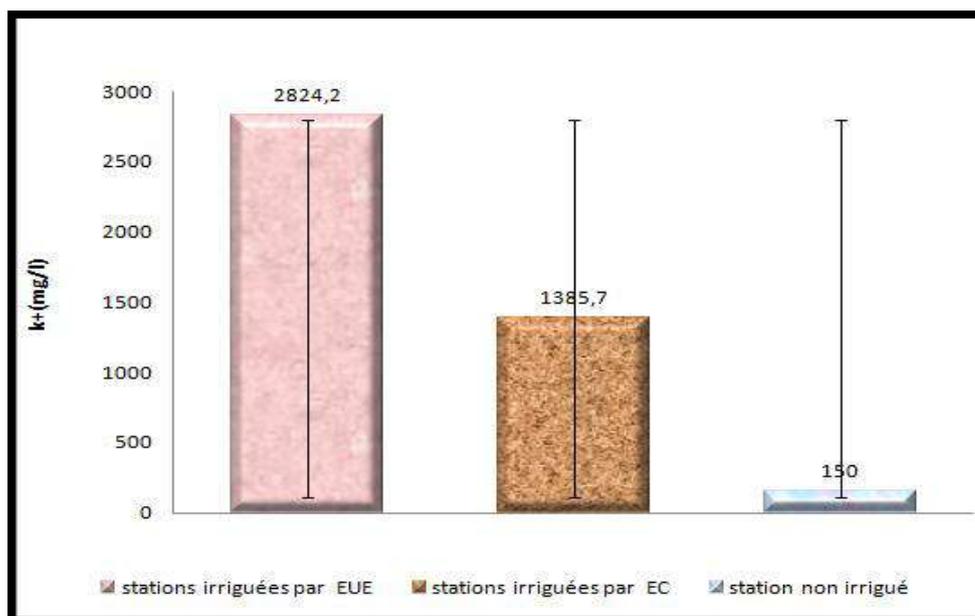


Figure 25. Variation des valeurs moyennes de potassium dans les eaux étudiées.

1.7. Dureté totale

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue, une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca^+ et Mg^+ et une dureté non carbonatée produite par les autres sels (BELGHITI M *et al.*, 2013). Dans nos échantillons des eaux analysés (Fig. 26), la dureté présente une grande variation entre les différentes stations qui aurait liée à la nature des eaux la nappe phréatique et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Alors, comme nous l'avons noté précédemment sur les résultats d'analyse de calcium et magnésium qui sont très élevée, cela nécessite une évaluation des valeurs de la dureté totale des eaux. Dans la zone d'étude les eaux phréatiques sont généralement très dures, où les valeurs de la dureté totale sont variée entre 4188045,71 F° dans les stations irriguée par les EC, 6394650 F° dans les stations irriguée par les EUE et 8811000 F° au niveau de station non irriguée. Ces résultats appariât très élevés par rapport à ceux qui sont déclaré par BOUCHAHM *et al.*, (2005) (annexe 06) et BOUHANNA, (2014) (annexe 07)

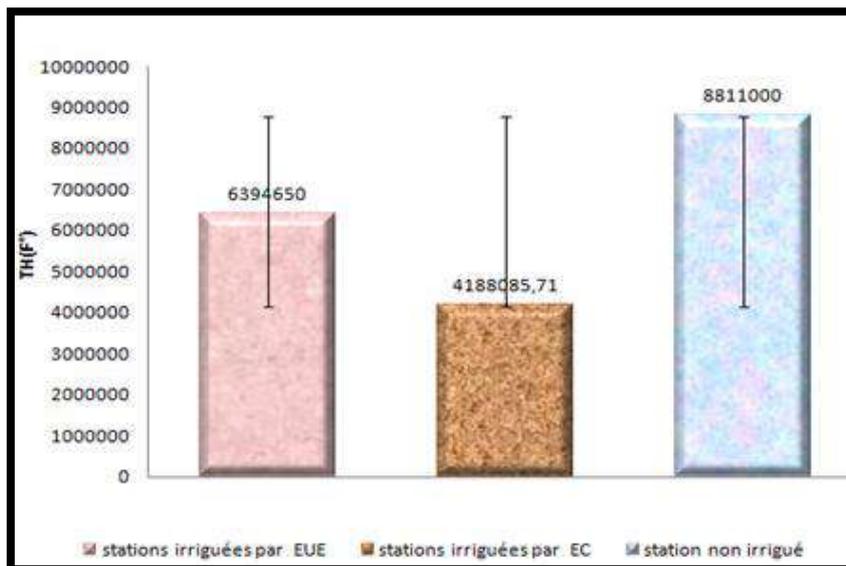


Figure 26. Variation des valeurs moyennes de la dureté totale

1.8. Les anions solubles

1.8.1. Bicarbonate

Concernant les concentrations des bicarbonates, nos résultats obtenus ont montrés que les eaux étudiées présentent des valeurs relativement élevées en bicarbonates (Fig. 27). Ces tenures moyennes en HCO_3^- variées entre 351,48mg/l dans les stations irriguées par les EUE, de 254,52mg/l dans les stations irriguées par les EC et 199,98mg/l au niveau de station non irriguée. Ces résultats obtenus sont approximatives à ceux qui sont signalés par BOUCHAHM *et al.*, (2005) (annexe 06) et aux résultats mentionnés par BOUHANNA, (2014) (annexe 07).

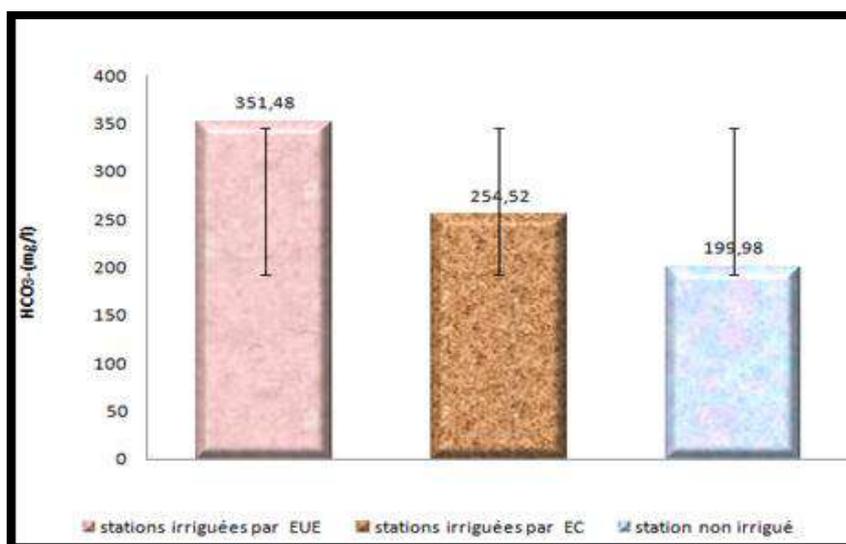


Figure 27. Variation des valeurs moyennes de bicarbonate

1.8.2. Chlorures

La concentration des chlorures dans l'eau dépend la nature des terrains traversée et les infiltrations. Les résultats des analyses effectuées sur les échantillons des eaux phréatiques dans notre zone d'étude ont montré que les teneurs moyennes en chlorures est de l'ordre de 54873,17 mg/l dans les stations irrigués par les EUE. Dans les stations irriguées par les EC, les concentrations des chlorures dans les eaux phréatiques sont évaluées à 33548,54mg/l et 13802,99 mg/l dans la station non irriguées (Fig. 28). Par comparaison, nos résultats est supérieur à ceux qui sont éprouvé par BOUCHAHM *et al.*, (2005) (annexe 06) et par rapport aux résultats de BOUHANNA, (2014)(annexe 07). D'après SLIMANI, 2006 globalement la variation de la minéralisation est liée essentiellement aux chlorures. Les eaux les plus chargées en sels sont les plus chlorurées

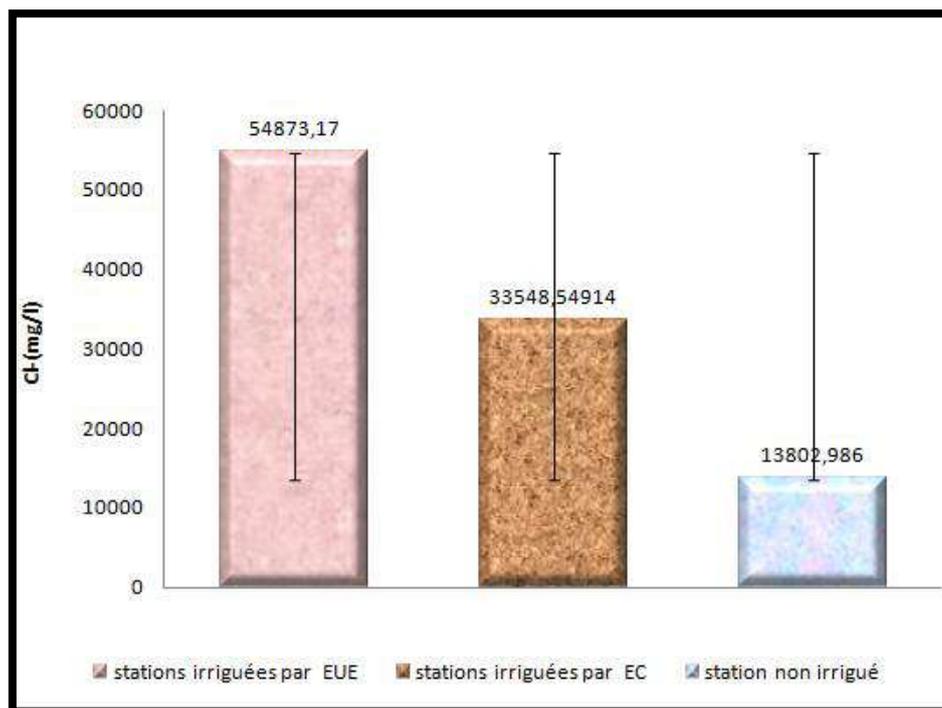


Figure 28. Variation des valeurs moyennes des chlorures

1.8.3. Sulfate

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries. Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate (BELGHITI M

et *al.*, 2013). La variation enregistrée des teneurs en sulfate dans les sites d'étude a montré l'effet général de l'irrigation sur la diminution des teneurs en sulfates. La teneur moyenne de ces derniers dans la station non irriguée est de 17525 mg /l (Fig. 29). Ces valeurs peuvent être liées à la nature des sous sols dans cette station. Parallèlement, les teneurs en sulfates dans les stations irriguées par les EC sont de 5094,64 mg/l et 6101,67 mg/l dans les stations irriguées par les EUE. L'augmentation des concentrations en sulfates dans les eaux phréatiques dans les stations irriguées par les eaux non conventionnelles est liée à la qualité des EUE chargé en sulfates par rapports les eaux d'irrigation conventionnelles (Tab.05).

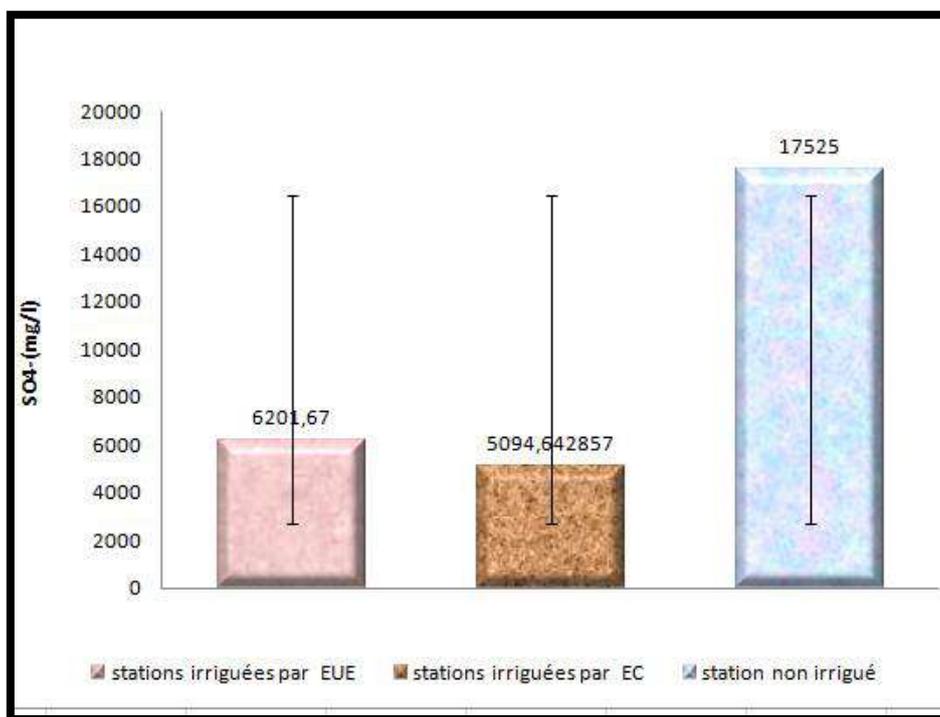


Figure 29. Variation des valeurs moyennes de sulfate

2. Paramètres de pollution des eaux

2.1. Ortho-phosphates

Le phosphore est naturellement présent dans certaines roches. Le lessivage de celles-ci conduit à sa solubilisation dans les milieux aquatiques (RODIER et *al.*, 2009). Les concentrations en ortho-phosphates enregistrées dans les eaux phréatiques au niveau des stations étudiées sont comprises entre 0,001 et 1 mg/l (Fig.30). Ces concentrations sont aux normes (annexe 08). Par comparaison, nos résultats sont

approximatifs à ceux qui sont mentionnés par BOUHANNA, (2014) (annexe 07). L'analyse des résultats présentés dans la figure 35 montre que l'irrigation par les EUE présente un certain effet sur l'augmentation des concentrations des ortho-phosphates dans les eaux phréatiques. C'est lié directement à qualité des eaux d'irrigation épurées chargé en ortho-phosphates par rapport aux eaux témoins étudiés dans la zone d'étude. Selon SLIMANI, 2006 la présence des ortho phosphates dans les eaux de la nappe phréatique indique l'ouverture de système aquifère qui conduit à la pollution des eaux.

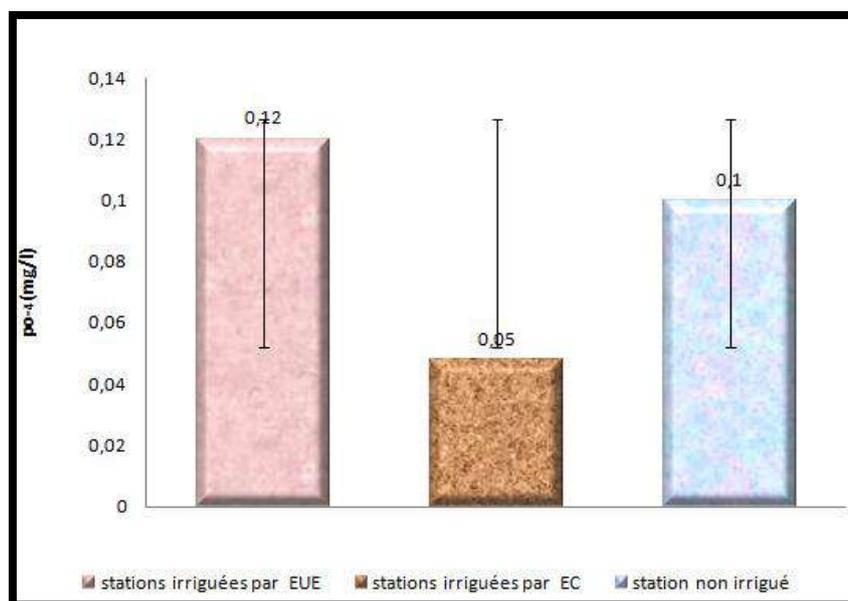


Figure 30. Variation des valeurs moyennes des ortho-phosphates.

2.2. Nitrite

Les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Leurs teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfite-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, elles proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. (Rodier et *al.*, 1996). Les teneurs moyens en nitrites varient dans les étudiés entre 0.36 mg/l dans la station non irriguée à 0,19 mg/l dans les stations irriguées par EUE et 0.13 à la station irriguée par EC (Fig. 31). D'après SLIMANI, (2006), Les valeurs faibles des nitrites indiqués par la présence des bactéries dans l'eau qui transforme rapide les nitrites en nitrates.

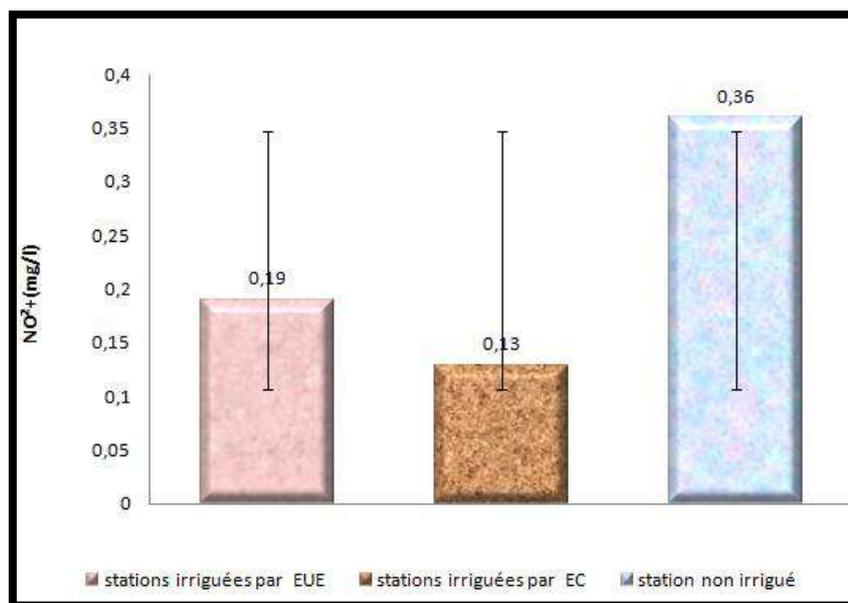


Figure 31. Variation des valeurs moyennes des nitrites

2.3. Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (SAMAK, 2002) in (BELGHITI M *et al.*, 2013). Nos résultats obtenus montrent que les teneurs moyennes en nitrates présentent une variation convergente entre les différentes stations étudiées. Elles oscillent entre 0,32 mg/l dans les stations irriguée par les EUE à 0,49 mg/l dans les stations irriguée par les EC (Fig. 32). Ce résultat est lié à pratiques culturales appliquées dans les stations irriguées par les eaux conventionnelles, où nous avons constaté l'utilisation fréquentes du fumier et les engrais pour la fertilisation des cultures (Photo 10).

Dans la station non irriguée, la teneur en nitrates enregistré égale à et 0,32 mg/l. Ce résultat peut être lié aux écoulements des eaux souterraines dans la zone d'étude qui influent sur les mouvements de la charge ioniques des eaux.

Par comparaison, les valeurs des nitrates enregistrés dans les différentes eaux phréatiques étudiées sont approximatives à ceux qui sont signalé par BOUHANNA, (2014) (annexe 07) dans la même zone d'étude. Les valeurs très basses de nitrate s'explique par la réduction de l'activité agricole dans les sites d'étude, une grande partie des terraines sont abandonnés, cela influence la réduction des teneurs des eaux phréatiques en nitrates d'après SLIMANI, (2006).

En fin, généralement les eaux phréatiques dans la zone d'étude sont non pollués vis-à-vis les teneurs en nitrates selon les normes OMS.

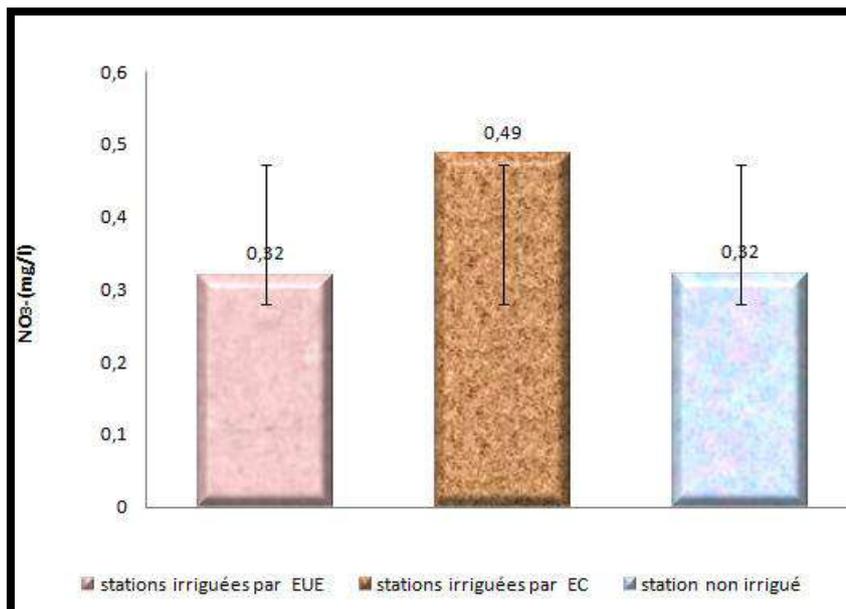


Figure 32. Variation des valeurs moyennes de Nitrate.



Photo 10: Utilisation des engrais

2.4. Ammonium

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (RODIER *et al.*, 1996).

Les valeurs de l'azote ammoniacal enregistrées varient entre 3.91 mg/l dans station non irriguée à 2.07mg/l dans les stations irriguées par EC et de 1.96 mg/l dans les stations irriguées par EUE (Fig. 33). D'après SLIMANI, (2006), la diminution des teneurs spatiale de l'ion ammonium liés à la minéralisation de l'azote ammoniacal en nitrate par une action bactérienne. Ce qui explique nos résultats obtenus.

La présence d'azote ammoniacal dans la nappe phréatique doit être soulignée, une origine géologique est exclue, cette pollution azotée peut provenir soit des fertilisants utilisés (RODIER *et al.*, 1996), soit d'une contamination par les matières organiques humaines D'après l'enquête réalisée, la quantité de fertilisants utilisées par

les agriculteurs de la ville de Ouargla est relativement faible. Malgré ça, un certain effet azoté est remarqué sur les eaux de la nappe phréatique dans la zone d'étude.

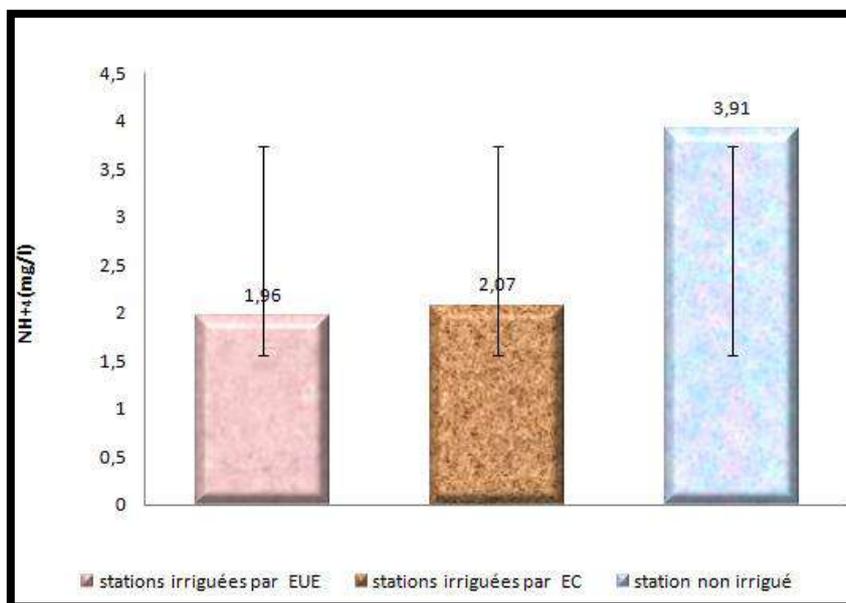


Figure 33. Variation des valeurs moyennes d'ammonium.

Conclusion

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons de l'eau de la nappe phréatique dans le périmètre de mise en valeur, ont permis d'évaluer la concentration de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux. Une comparaison des teneurs des principaux éléments mesurés dans les eaux souterraines de cette nappe pour les différents points d'échantillonnage, indique une différence dans la concentration entre ces différentes stations de mesure.

Nos résultats d'enquête et d'analyse ont permis de voir le caractère d'abondance des périmètres de mise en valeur créés dans la zone d'étude, la qualité des eaux d'irrigation ainsi que les mauvaises pratiques d'irrigation, tous ces éléments et plus ont contribué à la réduction des quantités des eaux d'irrigation dans les stations irriguées par les eaux usées épurées. Cela résulte des conséquences sur la qualité des eaux phréatiques à savoir l'augmentation de la salinité principalement par les chlorures, pour cela la minéralisation est liée essentiellement aux chlorures. Parallèlement, les ions SO_4^- , Na^+ , TH et K^+ , sont assez concentrés dans les eaux de la nappe. Les concentrations des ions dans les eaux sont liées directement à la qualité des eaux

d'irrigation ainsi que le phénomène d'évaporation très intense qui favorise l'augmentation de ces teneurs.

Concernant la pollution des eaux phréatiques, cela est peu important puisque les teneurs de ces éléments se situent entre 0.01 mg/l et 0.81 mg/l pour NO_2^- , entre 0.1 mg/l à 0.8 mg/l pour NO_3^- , entre 0.09 mg/l à 5.8 mg/l pour NH_4^+ et 0.001 mg/l à 1 mg/l pour PO_4^- , nous soulignons que pour tous les paramètres cités ci-dessus, les teneurs dans les phréatiques dans la zone d'étude sont conformes aux normes internationale de caractérisation des eaux souterraines.



Conclusion

Conclusion

Le présent travail de recherche a abordé la problématique de la gestion des eaux usées épurées de la cuvette d'Ouargla et l'appréciation des impacts de dégradation des milieux hydrologique au niveau de périmètre de mise en valeur au nord de la STEP.

La gestion des eaux actuelle dans la cuvette de Ouargla consiste à rejeter les EUE vers Sebket Sefioune, ou réutilisée dans le site de réutilisation qui permettra l'exploitation sans perdu.

A la lumière des résultats d'enquête, on a défini la diminution des activités agricoles par rapport les autres années à multiples réseaux : la qualité des eaux, nous avons remarqué d'après notre enquête qu'il y a une décroissance des cultures causé par le système d'irrigation qui n'est pas adopté (irrigation par submersion) et manque des moyennes.

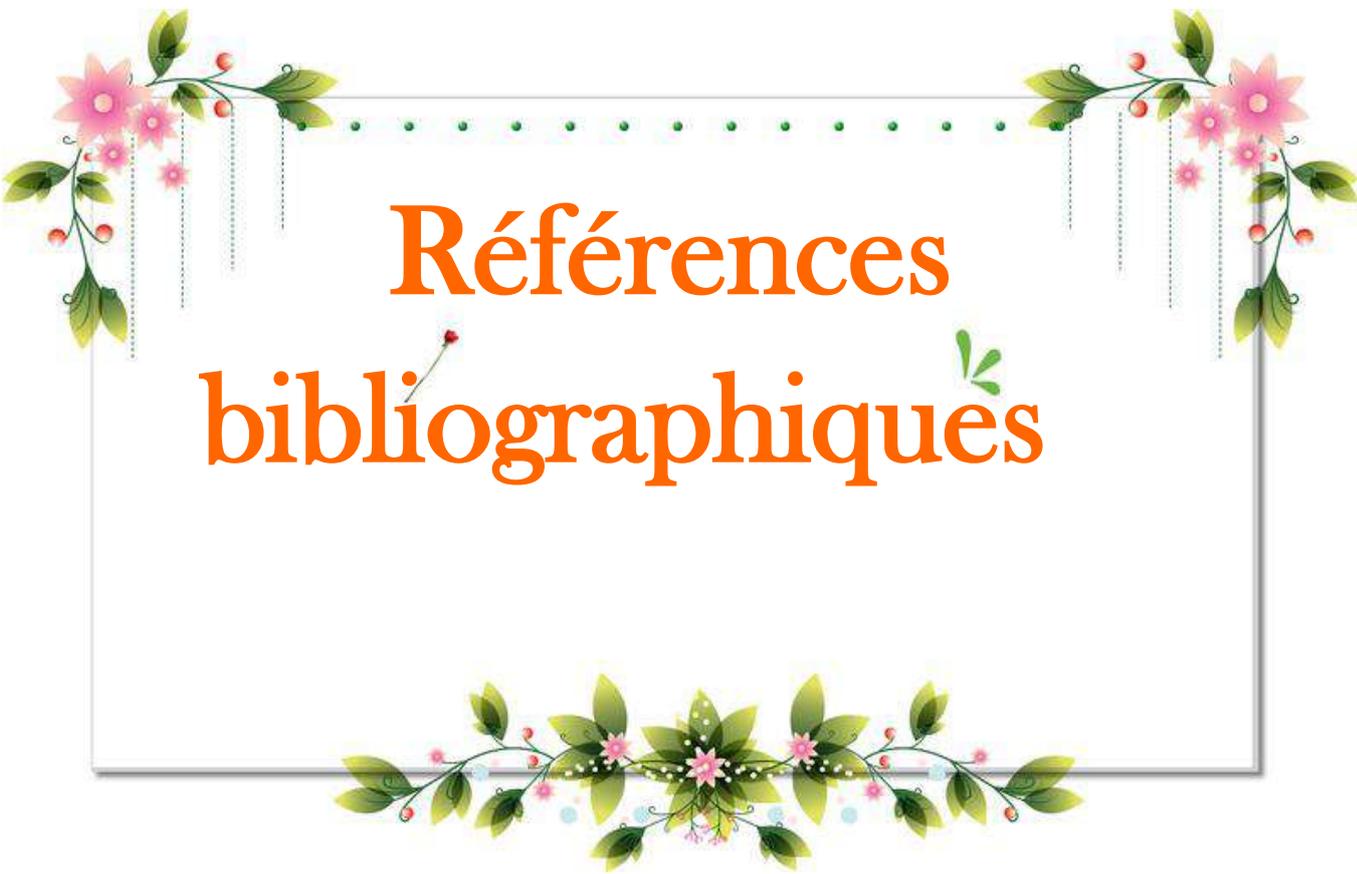
La nappe phréatique de notre zone d'étude est peu profonde dont la profondeur est vairée entre 0,5 à 2,10 m ; la réalisation des piézomètres à montré l'existence des accumulations gypseuses, celle-ci constitue un obstacle physique chimique pour le développement racinaire des plants qui contribuera à la dégradation d'écosystème, cette croute est une source de salinisation des eaux et des sols.

Les analyses chimiques effectuées ont montré que la salinité des eaux de la nappe phréatique est influencée par tous les éléments majeurs surtout par les chlorures, sulfates, sodiums et magnésiums. D'autre part, la conductivité électrique est supérieure dans les stations non irriguées par rapport les stations irriguée, cela est liés aux conditions climatiques dans la région d'étude. Parallèlement, dans les stations irriguées, la conductivité électrique des eaux phréatiques est supérieure dans les stations irriguées par les eaux usées épurées par rapport celles qui sont irriguée par les EC, cela est lié à la qualité des eaux épurées très chargées.

Concernant les paramètres de pollution des eaux NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ et PO_4^- , en se basant sur les résultats des analyses qui nous donne une idée sur l'état d'équilibre de nos écosystèmes, les concentrations de celles-ci sont basses et leurs teneurs sont assez inférieures aux normes internationales qui caractérisent les niveaux de la qualité des eaux souterraines. Cela nous indique que l'impact de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la pollution des eaux phréatiques reste peu important.

D'une manière générale, malgré les effets positifs de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur la diminution de la salinité des terrains déjà très salés, la réutilisation de l'eau usée épurée pour l'irrigation constitue une source de risques sur les cultures vis-à-vis la salinité excessive de l'eau dépassant le seuil de tolérance de la plupart des cultures, ainsi les apports en sels dans les eaux usées épurées avec les quantités importantes qui doivent être lessivées au cours de temps et affectent le sous-sol et les nappes phréatiques.

Enfin, pour la création des périmètres agricoles de réutilisation des eaux usées épurées dans la région d'étude et afin de créer des terrains d'une agriculture durable dans les zones sahariennes, l'approche multidisciplinaire constitue la solution la plus pertinente pour obtenir les meilleurs résultats. Dans la même axe, d'autres recherches seront indispensables pour le jugement sur les projets de réutilisation à savoir : les suivis spatiotemporels de la qualité des eaux phréatiques sur de longues durées, le suivi des impacts microbiologiques des eaux usées épurées sur les sols, les cultures et les eaux phréatiques.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **A.D.E., (Algérienne Des Eaux) 2012** - Stage pratique au niveau de la société.
- **A.N.R.H., 1999** - Notes relatives à la remonté des eaux dans la cuvette de Ouargla. 11p.
- **A.N.R.H., 2015** - Un hydraulicien au Sahara. De l'Agence nationale de la ressource hydrique, Ouargla.
- **ABBANI BAHRIA., ABDE-LALI YAMINA., 2005** - Contribution a l'étude de la qualité des eaux phréatique sur l'état de dégradation de la palmeraie de la cuvette Ouargla. Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. 98p.
- **B.R.L., 2011** - Réutilisation des eaux usées traitées -perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Rapport final. Agence Française de Développement.
- **BAUMONT S., CAMARD J.P., LEFRANC A et FRANCONI A., 2004** - Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), France.
- **BELAID N., 2010** - Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb Sfax : salinisation. accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Th. Doc. Éco. Nation. Ingé. Sfax. Tunis. 236p.
- **BELGHITI M, CHAHLAOUI A, BENGOUIMI D et MOUSTAINE R., 2013** - etude de la qualite physico -chimique et bacteriologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de meknès (MAROC), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.
- **BOUCHEMA F, ACHOUR S., 2005** - qualite physico-chimique et parametres de pollution des eaux souterraines de la region de biskra. Université de Biskra, BP 145, RP, 07000, Biskra, Algérie.16p.
- **BOUCHET C., 2008** - Recyclage et réutilisation des eaux usées : ou en sommes-nous. L'eau, l'industrie, les nuisances, n 308, p. 33-42.

- **BOUHANNA A., 2014** - Gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne. Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla.
- **BOUZIANI M., 2000** - L'eau de pénurie aux maladies, Ed. IBN-KHALDOUN, 61p.
- **Bureau Régional pour le Proche-Orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord (FAO), 2003** - L'irrigation avec des eaux usées traitées manuel d'utilisation
- **CASTANY G., 1982** - Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Ed. BORDAS, Pris, 236p.
- **CHAÏCH K., 2004** - la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla : Bilan hydrique, problèmes engendrés et possibilités de dessalement. Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. 78p.
- **CHALBAOUI M., 2000** - Vulnérabilité des nappes superficielles et subaffleurantes de Sud-Ouest tunisien, Rev. Sécheresse. 11(2), Pp85-91.
- **CHEVALIER P., 2005** - Les eaux usées urbaines. In Chevalier, P., Technologies d'assainissement et prévention de la pollution (chap.2, p. 51-120). Québec, Télé-Université.
- **COSANDEY C., BIGOT S., LAGANIER R et SALVADOR P., 2003** - Les eaux courantes, géographie et environnement, Ed, BELIN, Paris, 233p.
- **DETAY MICHEL., 1997** - La gestion active des aquifères. Ed. MASSON, Pris. 416p.
- **D.M.R.E., (Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau /MRE) 2013** - Bilan Semestriel 2013.
- **D.P.A.T (Direction de Planification et de l'Aménagement de Territoire), 2006** - Annuaire statistique de la wilaya de Ouargla. Direction de la planification et de l'aménagement du territoire: 8-12.
- **DADDI BOUHOUN M., 2010** - contribution a 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 de Badji Mokhtar. Annaba. 393p.

• **DADI. EL MEHDI., 2010** - Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.). Université de Sherbrooke. 89p.

• **DHAOUADI., 2008** - Traitement des Eaux Usées Urbaines Les procédés biologiques d'épuration Université Virtuelle de Tunis.

• **Direction d'hydraulique de Ouargla., 2011** - Etat des potentialités des sols de la cuvette d'Ouargla et perspectives de leur mise en valeur sous irrigation par l'utilisation des eaux épurées.

• **DUSSART B., 1966** - Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier -etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de meknès (MAROC), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.

• **ESSAHLAOUI ALI., 2011** - Méthodes géophysiques appliquées aux réservoirs d'eau souterraine. Ed. Universitaire Européennes. 264p.

• **F.A.O., 2003** - Irrigation avec les eaux usées traitées. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Bureau Régional pour le Proche Orient et Bureau sous régional pour l'Afrique du Nord. 73 p.

• **GAUCHER et BURDIN., 1974** - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Ed. Puf., Parie, 231p.

• **HALILAT M T., 1998** - Etude expérimentale de sable additionné d'argile, Thèse DOC., INA. Prais, 384p.

• **HAMDI-AÏSSA B., 2001** - Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Th. Doc. Inst. National Agronomique, Paris-Grignon. 283p.

• **IDDER T., 2007** - Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse vol. 18, n° 3. pp161-167.

- **KANDIAH A., 1990** - Environmental impacts of irrigation development with special reference to saline water use. In: Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. AGL/MISC/16, FAO, Rome. pp. 152-165.
- **KHOURI N, KALBERMATTEN, J.M. and BARTONE C.R., 1994** - The reuse of wastewater in agriculture : A guide for planners. In Khouri, N. Kalbermatten, J.M. and Bartone, C.R. Water and sanitation, En ligne.
- **MEKHALIF FAIZA., 1955** - Réutilisation Des Eaux Résiduaire Industrielle Epurées Comme Eau D'appoint Dans Un Circuit De Refroidissement.139 p.
- **METHRIM S., 2012** - Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes .la STEP EST de la ville de TIZI-OUZOU. Thèse de DOCTORA .148p.
- **NADER A., 2014** - Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla Gestion et risques environnementaux. Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla.
- **O.R.S (Observatoire Régional De Santé d'Ile-De-France), 2004** - Réutilisation des eaux usées épurées : considérations sanitaires et intérêts pour l'Île-de-France.
- **O.M.S., (Organisation Mondiale De La Santé) 2006** - L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Séri. Rapports techniques n° 778. OMS. Genève. 84p.
- **O.M.S., (Organisation Mondiale De La Santé) 2010** - Utilisation des eaux usées en agriculture. Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères. 219p.
- **O.M.S., (Organisation Mondiale De La Santé) 2012** - Utilisation des eaux usées en agriculture. Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. 219p.
- **O.M.S., 1989 (Organisation Mondiale de la Santé)** - L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à visées sanitaires, [En ligne]. http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_778_fre.pdf (Page consultée le 5 janvier 2010).

- **O.N.A., (Office Nationale De L'assainissement), 2016** - Investir dans le développement durable : La réutilisation des eaux usées épurées.48p.
- **O.N.M., (Office National de la métrologie de Ouargla) 2016** - Données métrologique d'Ouargla 2004- 2014. 3p.
- **RAMADE F., 2003** - Elément d'écologie, écologie fondamentale. Ed, MC- Grano Hill, Paris, 379p.
- **RAVEN P.H., BERG L.R., HASSENZAHL D. M., 2009** - Environnement. Traduction de la 6^{ème} édition américaine de boeck 687p.
- **RODIER J, BAZIN C, CHAMBON P, BROUTIN J.P, CHAMPSAUD H, RODI L., 2005** - Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition. Ed. DUNOD, Paris. 1114p.
- **RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J P., CHAMPSAUD H et RODI L., 1996** - Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. Edition DUNOD, Paris.
- **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., 2009** - Analyse de l'eau. 9ème édition. Ed. DUNOD, Paris. 1579p.
- **ROUVILLOI-BRIGOL M., 1975** - Le pays de Ouargla (Sahara Algérien), valorisation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Département de géographie de l'université de paris-Sorbonne, Paris : 3-208.
- **SCHRIVER-MAZZOULI L., 2012** - La Gestion Durable de l'eau (ressources_ qualité _ organisation). Ed, Paris : 249p.
- **SLIMANI R., 2006** - Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. 106p.
- **U.N.E.S.C.O (Organisation des Nation Unies pour l'Education, la Science et la Culture),, 2008** - Traitement des eaux usées par lagunage fiche technique. Bureau de l'UNESCO à Rabat, Bureau Multi-pays pour le Maghreb. 8p.



Annexes

Annexe 01: Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture. Modifié d’OMS, 1989.

Catégorie	Condition de réutilisation	Groupe exposé	Nombre d’oeufs de nématodes dans un litre d’eau	Nombre de coliformes dans 100 ml d’eau
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, terrains de sport, jardins publics	Ouvriers agricoles, consommateurs publics	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigation de cultures céréalières, fourragères, industrielles, de pâturages et des plantations	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n’est recommandée
C	Irrigation de cultures de la catégorie B, sans exposition des ouvriers agricoles	Néant	Sans objet	Sans objet

Annexe 02 : Exposition et risques de contamination par les composés chimiques qui se trouvent dans les eaux d'irrigation. Tiré de Weber and al., 2006.

Schéma de contamination	Scénario
Recyclage d'eau en irrigation→sol→absorption par les plantes→production alimentaire→toxicité pour l'homme	Ingestion des plantes alimentaires irriguées par des eaux recyclées
Recyclage d'eau en irrigation→ sol→ absorption par les plantes et les animaux→ toxicité pour l'homme	Ingestion de la viande d'origine animale provenant d'animaux de pâturage sur des terres irriguées avec des eaux recyclées
Recyclage d'eau en irrigation→ sol→zone de saturation→eaux souterraines→ toxicité pour l'homme	Ingestion de l'eau potable produite à partir des eaux souterraines polluées par des eaux recyclées
Recyclage d'eau en irrigation→atmosphère→ toxicité pour l'homme	Inhalation des contaminants volatils durant le processus d'irrigation

Annexe 03 : Plan d'enquête

I/Identification de l'exploitant :

1-Nom de l'agriculteur :

2-Age de l'agriculteur :

3-Activité agricole :

Principale

Secondaire

4-Localisation de la parcelle par rapport à le STEP :

Distance :

5-Superficie totale de la parcelle :

6-Superficie mise en culture :

7-Date de mise en culture :

8-Statut :

Propriété privée

Etat : Attribution

Concession

9-Système de culture :

Mono Cultures

en étages

10-Type de cultures sous étages :

Maraichage

Céréales

Fourrages

Arboriculture

11-Espèces :

12-Système d'irrigation :

Débit :

durée d'arrosage :

Fréquence :

13-Conduite culturale :

II/Eau d'irrigation :

1-Qualité :

Eau conventionnelle

EUE

III/Irrigation par les eaux conventionnelles :

1-Raisons du choix :

IV/Irrigation par les EUE :**a/Historique :**

1-Choix de l'irrigation par les EUE :

Approuvé

forcé (manque d'eau)

2-Raisons de l'irrigation par les EUE :

Pouvoir fertilisant

Minimisation des dépenses Autres à préciser

(de réalisation des puits par exemple)

3-Début de l'irrigation par les EUE :

b/Statut :

1-Concession de l'utilisation des EUE :

Contrat entre STEP et l'agriculteur : oui

non

2-Directives de l'ONA sur la REUE :

Restriction des cultures : oui

non

3-Causes de la restriction :

c/Perception des risques de la manipulation avec les EUE :

1-Qualité de l'eau :

Bonne mauvaise

Pourquoi :

2-Impacts constatés sur le sol :

3-Impacts constatés sur les cultures :

d/Précautions :

1-*Utilisation des équipements spéciaux (gants, bottes) lors de l'arrosage :

Oui Non

2-*Contact direct avec l'EUE lors de l'arrosage ou lors de l'installation des équipements de pompage :

Oui Non

3-*Désagrément lors de l'arrosage ou lors de l'installation des équipements de pompage : Odeur
irritation brulure de la peau Autres à préciser

4-*Maladies hydriques suite à des irrigations par les EUE :

Oui Non

e/*Appuis et Suivis faits par les structures impliquées dans le domaine de la REUE :

DSA :

1-Crédit :

Oui Non

2-Encadrement technique :

Oui Non

3-Vulgarisation et sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des dangers potentiels de la REUE :

Oui Non

DHW :

1-Vulgarisation et sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des dangers potentiels de la REUE :

Oui Non

DSP :

1-Vulgarisation et sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des dangers potentiels de la REUE :

Oui Non

2-Suivi médical des agriculteurs :

Oui Non

V/Commercialisation des productions irriguées par les EUE :

1-Commercialisation des produits irrigués par les EUE :

Marché local Marché régional

2-Autorisation de commercialisation des produits irrigués par les EUE :

Vente réglementée Vente non réglementée

Annexe 04: les méthodes utilisées pour les analyses des eaux (RODIER, 2005)

lieu d'analyse	paramètres effectués	nature de la méthode
Analyse in situ (paramètres physiques)	pH, température, conductivité électrique, la turbidité, oxygène dissous	-méthode multi-métrique avec électrode combinée
Analyse in vitro (paramètres chimiques)	azote ammoniacal dureté (Ca+2 +Mg+2) alcalinité Titre alcalimétrique complexe Sodium Potassium matières organique Sulfates fer Chlorures nitrites nitrates phosphates	-Méthode Spectrométrique U.V Visible -Méthode Tetrimetrique à l'EDTA -Méthode Tetrimetrique à HCl - Méthode Tetrimetrique H ₂ SO ₄ - Méthode Spectrométrique flamme - Méthode Spectrométrique flamme -Méthode par Oxydabilité KmnO ₄ -Méthode Spectrométrique -Méthode Spectrométrique à la phenanthroline-1,10 -Méthode Tetrimetrique à Ag NO ₃ -Méthode Spectrométrique -Méthode au Salicylate de Sodium -Méthode Spectrométrique
Paramètres Bactériologiques	germes totaux coliformes totaux et fécaux Streptocoques fécaux	-Méthode Générale sur Milieu de Culture Gélose -Nutritive -Méthode Générale par Ensemencement en Milieu Liquide (N.P.P)

Annexe 05 : Echelle d'interprétation du pH des eaux (RODIER., 2005)

pH=7	pH neutre
7<pH<8	Neutralité approchée
pH>8	Alcalinité forte

Annexe 06 : Analyses physico- chimiques des eaux souterraines de la région de Ouargla. (BOUCHAHM et ACHOUR., 2005)

localités	Nature de la nappe	désignation	Conductivité Ms/cm	pH	TH °F	Ca ²⁺ Mg/l	Mg ²⁺ Mg/l	Na+ Mg/l	K+ Mg/l	HCO ₃ ⁻ Mg/l	Cl ⁻ Mg/l	SO ₄ ²⁻ Mg/l	F ⁻ Mg/l
Ouargla	Phréatique	P121	4.46	8.20	188	363	235	591	21	198	1874	2302	1.07
		P118	6.45	8.05	194	505	164	1134	30	1032	2174	1605	1.61
	Miopliocène	D1F141	3.10	8.40	130	280	145	516	21	74	790	650	1.47
		D1F150	4.95	7.93	169	372	184	470	32	63	1000	963	1.43
	SENONIEN	D1F128	1.90	7.58	102	245	99	233	14	124	360	620	1.68
		D1F112	2.60	7.95	103	240	104	225	23	99	400	575	2.20
	ALBIEN	HADEB ROMANIA	2.50	8.06	103	196	131	178	22	165	400	580	0.63
			2.79	7.84	105	229	115	372	27	98	739	1520	0.65

Annexe 07 : Résultats des analyses des propriétés physico-chimiques des eaux

BOUHANNA., 2014

Caractéristiques	Dates des prélèvements						Moyennes	
	18/03/2013		24/04/2013		30/06/2013			
	EUE	EC	EUE	EC	EUE	EC	EUE	EC
pH	7,9	7,08	7,77	7,44	8,1	8,05	7,92	7,52
C.E. à 25 C° (dS/m)	13,93	5	13,93	7,42	13,14	4,17	13,67	5,53
Résidu sec (mg/l)	11086	1882	/	/	9868	3622	10477	2752
TH (°F)	/	/	/	/	196,8	107,7	196,80	107,70
Na ⁺ (méq/l)	26,9	30,44	25,9	11,75	130,1	23,58	60,97	21,92
Ca ⁺⁺ (méq/l)	15,86	10,42	20,62	8	24,62	13,12	20,37	10,51
Mg ⁺⁺ (méq/l)	33,45	40,8	30,19	7,35	14,93	8,53	26,19	18,89
K ⁺ (méq/l)	1,26	0,77	2,19	1,46	3,26	0,26	2,24	0,83
∑ des cations	77,47	82,43	78,9	28,56	172,91	45,49	109,76	52,16
Faciès des cations	Mg	Mg	Mg	Na	Na	Na	Na	Na
Cl ⁻ (méq/l)	190,6	38,23	145,6	11,57	128,57	22,42	154,92	24,07
SO ₄ ⁻ (méq/l)	14,58	15,63	12,58	13,8	32,29	23,43	19,82	17,62
HCO ₃ ⁻ (méq/l)	3,53	2,14	4,45	3,05	5,185	4,42	4,39	3,20
N-NO ₃ ⁻ (méq/l)	0,32	0,15	0,17	0,12	0,45	0,13	0,31	0,13
PO ₄ ³⁻ (méq/l)	0,13	0,006	0,102	0,006	0,09	0,015	0,11	0,01
∑ des anions	209,16	56,16	162,90	28,55	166,59	50,42	179,55	45,04
Faciès des anions	Cl	Cl	Cl	S	Cl	S	Cl	Cl
S.A.R.	5,42	6,02	5,14	4,24	29,26	7,17	12,64	5,72
Mg ²⁺ /Na ⁺	1,24	1,34	1,17	0,63	0,11	0,36	0,43	0,86
SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	0,08	0,41	0,09	1,19	0,25	1,05	0,13	0,73
Classe d'alcalinité (S) et de salinité (C)	C5/S2	C5/S2	C5/S2	C5/S2	C5/S4	C4/S2	C5/S4	C5/S2
Métaux lourds	Cr (mg/l)	0,077	0,021	/	/	/	/	/
	Cu (mg/l)	0,072	0,004	/	/	/	/	/
	Pb (mg/l)	0,001	0,003	/	/	/	/	/

Annexe 08 : les normes de l'OMS 2003 de la nappe phréatique

Paramètres physicochimiques	Unités	Normes OMS 2011
Température	°C	NE
pH		6,5-8,5
Conductivité	µS/cm	180-1000
Chlorures	mg L ⁻¹	≤ 250
Sulfates	mg L ⁻¹	≤ 250
Silices	mg L ⁻¹	≤ 10
THT	°F	10
Calcium	mg L ⁻¹	NE
Magnésium	mg L ⁻¹	NE
Bicarbonates	mg L ⁻¹	NE
Fer total	mg L ⁻¹	≤ 0,3
Manganèse	mg L ⁻¹	≤ 0,1
Aluminium	mg L ⁻¹	≤ 0,2
Nitrates	mg L ⁻¹	≤ 50
Phosphates	mg L ⁻¹	≤ 0,5
Sodium	mg L ⁻¹	≤ 200
Potassium	mg L ⁻¹	≤ 12

L'effet de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la pollution des eaux de la nappe phréatique à Ouargla

Résumé

La présente recherche a été menée au niveau d'un périmètre de mise en valeur où les agriculteurs utilisent les eaux épurées pour l'irrigation de ces cultures. L'objectif de ce travail est d'étudier les impacts de la réutilisation agricole des eaux usées épurées sur la pollution des eaux phréatiques à travers la caractérisation qualitative des eaux phréatiques au niveaux des stations irriguées par les eaux usées épurées, des stations irriguées par les eaux conventionnelles et des stations non cultivées par identification et analyse de quelques paramètres physico-chimique des eaux..Les eaux usées épurées caractérisées par CE égale de 10ms/cm et pollution organique important par les NH_4^+ et NO_3^- . Nos résultats obtenus indiquent que les eaux phréatiques dans la zone d'étude sont très chargées en sels, ces eaux sont excessivement salées. La moyenne de la conductivité électrique atteint 236 ms/cm dans les stations non irriguée, leurs faciès chimique est sulfaté sodique (SO_4^- égale à 17525mg/l et Na^{+2} égale à 520mg/l), Ca^{+2} 4405,50mg/l, Mg^{+2} 7484,4mg/l et Cl⁻ 13802,98mg/l, pour la station irriguée par les eaux usées épurées la conductivité moyenne est égale à 134,33ms/cm, les eaux dans ces stations sont très chargée en Cl⁻(54873,17mg/l), Na^+ (21164,17mg/l) et Mg^{+2} (5637,6mg/l), Ca^{+2} (3197,33mg/l) et K^+ (2824,2mg/l). Pour les stations irriguées par les eaux conventionnelles le pH neutre \pm alcalin la conductivité moyenne est égale à 105,54 ms/cm, la concentration en Cl⁻ 33548,54mg/l, SO_4^- 5094,64mg/l, Ca^{+2} 2094,04mg/l, Mg^{+2} 3471,45mg/l, Na^{+2} 13400mg/l et K^+ 1385,7mg/l. Parallèlement, la pollution organique des eaux phréatiques par NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ et PO_4^- est peu important, dont les concentrations enregistrés sont assez inférieur aux normes des eaux souterraines.

Mots clés : Eaux usées épurées, Nappe phréatique, Ouargla, Pollution, Réutilisation.

Effect of agricultural reuse of treated wastewater on pollution of groundwater in Ouargla

Summary

This research was conducted at a perimeter of development where farmers use treated wastewater for irrigation of these crops. The objective of this work is to study the impacts of agricultural reuse of treated wastewater pollution of groundwater waters through qualitative characterization of ground water levels at stations irrigated by treated wastewater irrigated by stations conventional water stations and uncultivated by identification and analysis of some physicochemical parameters of treated wastewater eaux..Les characterized by CE equal to 10ms / cm and significant organic pollution NH_4^+ and NO_3^- . Our results indicate that ground water in the study area are loaded with salts, these waters are too salty. The average of the electrical conductivity reaches 236 ms / cm in the non-irrigated plants, their chemical profile is sulfated sodium (SO_4^- equal to 17525mg / l Na^+ and 2 equal to 520mg / l), Ca^{+2} 4405,50mg / l, Mg^{+2} 7484,4mg / l and Cl⁻ 13802,98mg / l for the station irrigated by treated wastewater the average conductivity is equal to 134,33ms / cm, the water in these stations are busy in Cl⁻ (54873,17mg / l), Na^+ (21164,17mg / l) and Mg^{+2} (5637,6mg / l) Ca^{+2} (3197,33mg / l) and K^+ (2824,2mg / l) For irrigated stations conventional water pH neutral alkali \pm the average conductivity is equal to 105.54 ms / cm, the concentration of Cl⁻ 33548,54mg / l SO_4^- 5094,64mg / l Ca^{+2} 22094,04mg / l, Mg^{+2} 3471,45mg / l, Na^{+2} 13400mg / l and K^+ 1385,7mg / l. Meanwhile, the organic pollution of ground waters by NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ and PO_4^- is small, the concentrations recorded are pretty substandard groundwater.

Key words: Treated wastewater, Groundwater, Ouargla, Pollution, Recycling.

تأثير إعادة الاستخدام الزراعي لمياه الصرف الصحي المعالجة على تلوث المياه الجوفية في ورقلة

ملخص

أجريت هذه الدراسة في محيط التنمية شمال محطة تصفية المياه المستعملة الحضرية بورقلة حيث يستخدم المزارعون مياه الصرف الصحي المعالجة في ري هذه المحاصيل. والهدف من هذا العمل هو دراسة الآثار المترتبة على إعادة استخدام الزراعي لمياه الصرف الصحي المعالجة في تلوث المياه الجوفية من خلال التحليل النوعي لمستويات المياه الجوفية في المناطق المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة و محطات تروى بالمياه التقليدية و محطات غير المزروعة نتائج تحليل بعض المعطيات الفيزيائية لمياه الصرف الصحي المعالجة تتميز بناقلية كهربائية تساوي 10ملي / سم و التلوث العضوي كبير خاصة NH_4^+ و NO_3^- . تشير نتائجنا إلى أن المياه الجوفية في منطقة الدراسة مالحة جدا حيث متوسط الناقلية الكهربائية يصل إلى 236 ملي / سم في المناطق غير المروية، تركيز السلفات يساوي 17525مغ / لتر و الصوديوم يساوي 520 مغ / لتر، الكالسيوم 4405.50مغ / لتر، المغنيسيوم 7484.4 مغ / لتر و الكلور 13802.98 مغ / لتر و المحطة المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة متوسط الناقلية الكهربائية يساوي 134.33ملي / سم، والمياه في هذه المحطات مركزة بالكلور (54873.17مغ / لتر)، الصوديوم (21164.17مغ / لتر) و المغنيسيوم (5637.6مغ / لتر) الكالسيوم(3197.33مغ / لتر) والبوتاسيوم (2824.2مغ / لتر) و أما عن المحطات المروية بالمياه التقليدية درجة الحموضة أساسية \pm قاعدية متوسط الناقلية الكهربائية تساوي 105.54 ملي / سم، وتركيز الكلور 33548.54مغ / لتر و السلفات 5094.64 مغ / لتر الكالسيوم 22094.04مغ / لتر، والمغنيسيوم 3471.45 مغ / لتر الصوديوم 13400مغ / لتر و البوتاسيوم 1385.7مغ / لتر. وفي الوقت نفسه، التلوث العضوي للمياه الجوفية ب NO_2^- ، NO_3^- ، NH_4^+ و PO_4^- متدني جدا و هو مطابق للمعايير الوطنية لتصنيف المياه الجوفية .

كلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي المعالجة، المياه الجوفية، ورقلة، التلوث، إعادة الاستعمال.