

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR EL-OUED

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



N° d'ordre: .....

N° de série: .....

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecologie et environnement

### THEME

***Evaluation du risque de la contamination des eaux  
souterraines par les polluants d'origine agricole dans la  
vallée d'Oued Souf***

***Présenté et soutenu publiquement par : M<sup>lle</sup>. BIKI Dalal  
M<sup>me</sup>. ZEGHOUANE Khadidja***

***Devant le jury :***

M <sup>me</sup> . BOUSBIA BRAHIM Aida	MAA	Université d'El-Oued	Présidente
Mr. MEHDA Smail	MAA	Université d'El-Oued	Promoteur
M <sup>me</sup> . LAABED Soumia	MAB	Université d'El-Oued	Examinatrice

**Année universitaire : 2016/2017**

## *Dédicace*

*Je m'incline devant Dieu Le Tout - Puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma chère et tendre mère Fatma, source d'affection de courage et d'inspiration*

*Qui a autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.*

*À mon cher père Belgacem source de respect, en témoignage de ma profonde reconnaissance pour tout l'effort et le soutien incessant qu'il m'a toujours apporté.*

*A mes frères et à mes sœurs*

*A mon promoteur MEHDA Smail*

*A mes chères amies surtout ma sœur ZEGHOUANE Khadidja*

*A toute la famille BIKI et GHERISSI*

*A mes chères collègues en master écologie et environnement*

*Dafal*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mon père Abdel Aziz et ma mère Mtira, qui sont la raison de mon succès ; je ne pouvais pas nier leur amour, leur tendresse et leurs prières. Ils me fournissent de la force et de l'espoir. Certes, cet objectif ne serait jamais accompli sans eux.*

*A Mon mari BEN KHLIFA Marouan, qui m'a beaucoup aidé et ne sera pas oublier la générosité.*

*A ma petite fille Aroua*

*A tous mes frères et sœurs*

*A toute la famille ZEGHOUANE et SAID*

*Pour toute la famille de mon mari*

*A mon promoteur MEHDA Smail*

*A tous mes chers amis surtout BIKI dalal et BEROUTI Nessrine*

***Khadidja***

# Remerciements

*Avant de commencer nous remercions avant tout Allah tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.*

*Nous tenons en premier lieu à remercier notre encadreur M. MEHDA Smail, Maitre-assistant à l'université d'El-Oued pour nous avoir fait confiance, son disponibilité et pour avoir nous orienter avec justesse tout au long de notre cheminement, son patience, ses encouragements et ses conseils. Nous soulignons particulièrement son sens de la pédagogie et son humanisme.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à M<sup>me</sup>. BOUSBIA BRAHIM Aida, Maitre-assistante à l'université d'El-Oued, pour l'honneur qu'il nous fait de présider le jury de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont aussi à M<sup>me</sup>. ELABED Soumia, Maitre-assistante à l'université d'El-Oued pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous tenons également à remercier tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université d'El-Oued, spécialement les enseignants qui ont contribué à notre formation en Ecologie.*

*Nous ne pouvons jamais oublier les gens avec lesquels nous avons partagé les merveilleux moments durant le cycle de la formation, nous leur disons un grand merci pour les bons moments passés ensemble.*

*Nos vifs remerciements s'adressent à tout le personnel du laboratoire Algérienne des Eaux (ADE) de la wilaya d'El Oued, particulièrement à Mr MEHAOUA Mohamed et M<sup>me</sup> GABBOUSSA Safia et M<sup>me</sup> Wafa et M<sup>me</sup> Sana. Aussi nous tenons également à remercier le personnel du laboratoire de contrôle de qualité (Fati-Lab) pour leurs précieux aides qu'ils nous ont apportés.*

*Nous remercions toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail. Si par mégarde, nous avons oublié quelqu'un, qu'il nous pardonne et qu'il soit remercié pour tous.*

## Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
1	Bassins versants en Algérie	7
2	Les facteurs régissant la survie et le transfert des microorganismes fécaux dans l'environnement	24
3	Températures dans la région d'étude durant l'année 2016	28
4	Moyenne annuelle des températures de l'air dans la région d'étude (2007-2016)	29
5	Précipitations mensuelles dans la région d'étude durant l'année 2016	29
6	Précipitations moyennes annuelles dans la région d'étude entre 2007 et 2015	30
7	Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'étude durant l'année 2016	30
8	Vitesse moyenne mensuelle dans la région d'étude durant l'année 2016	31
9	Planning des prélèvements des échantillons	38
10	Classes des eaux analysées à la 1ère campagne d'échantillonnage	55
11	Classes des eaux analysées à la 2eme campagne d'échantillonnage	56
12	Classes des eaux analysées à la 3eme campagne d'échantillonnage	57

## Liste des figures

N°	Figure	Page
1	Utilisation de l'eau en Algérie	8
2	Ressources en eau (Algérie et Sahara)	9
3	Les grands types de pollution et leurs effets sur l'environnement	13
4	Cycle de l'azote dans la nature	19
5	Cycle du phosphore dans le système sol-engrais-plante	21
6	Facteurs et mécanismes agissant sur la survie des bactéries fécales dans l'environnement	23
7	Situation géographique de la wilaya d'El Oued	26
8	Coupe hydrogéologique transversale du "CT" et "CI"	28
9	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du souf (2007 -2016)	32
10	Etage bioclimatique d'El Oued selon le Climagramme D'EMBERGER	33
11	Localisation de zone expérimentale (Google Maps, 2016)	36
12	Méthodologie d'échantillonnage dans la zone expérimentale	37
13	Faciès chimique des eaux analysées à la 1ere campagne d'échantillonnage	45
14	Faciès chimique des eaux analysées à la 2eme campagne d'échantillonnage	46
15	Faciès chimique des eaux analysées à la 3eme campagne d'échantillonnage	46
16	Variation du (pH) des eaux analysées	48
17	Variation de la conductivité électrique des eaux analysées	49
18	Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées	50
19	Variation du taux d'Orthophosphate dans les eaux analysées	52
20	Variation du taux de (SAR) dans les eaux analysées	53
21	Classification des eaux analysées à la 1 <sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage	54
22	Classification des eaux analysées à la 2 <sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage	55
23	Classification des eaux analysées à la 3 <sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage	56
24	Variation de concentration des coliformes fécaux dans les eaux analysées	59
25	Variation de concentration des streptocoques fécaux dans les eaux analysées	60

## Liste des abréviations

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

**ADE** : Algérienne Des Eaux

**CE** : Conductivité Electrique

**CI** : Continental Intercalaire

**CT** : Complexe Terminal

**DREW** : Direction des Ressources en Eau de Wilaya

**DSA**: Direction des Services Agricole

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**ISO**: International Organization for Standardization

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ONA** : Office National d'Assainissement

**ONS** : Office National de Statistique

**SAR** : Sodium Absorption Ration

# Table des matières

## REMERCIEMENTS

INTRODUCTION GENERALE.....	3
----------------------------	---

## **PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **CHAPITRE I : LES RESSOURCES EN EAU**

1. RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE .....	6
2. RESSOURCES EN EAU DANS LE SAHARA .....	8
3. RESSOURCES EN EAU DANS LA WILAYA D'EL-OUED .....	9

### **CHAPITRE II : POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES**

1. LES MODES DE POLLUTION DES EAUX.....	11
1.1. POLLUTIONS DIFFUSES.....	12
1.2. POLLUTIONS PONCTUELLES.....	12
2. LES DIFFERENTES SOURCES DE POLLUTION DES EAUX.....	13
2.1. LES POLLUTIONS NATURELLES .....	13
2.2. LES POLLUTIONS DUES AUX ACTIVITES HUMAINES.....	13
2.2.1. La pollution domestique.....	13
2.2.2. La pollution industrielle .....	14
2.2.3. L'agriculture.....	14
3. SUBSTANCES SUSCEPTIBLES DE POLLUER LES EAUX DANS LES ZONES AGRICOLES .....	14
3.1. PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	14
3.1.1. Définition des produits phytosanitaires .....	14
3.1.2. Classification des produits phytosanitaires .....	15
3.1.3. Transfert des produits phytosanitaires .....	15
3.2. METAUX LOURDS .....	15
3.2.1. Définition des métaux lourds.....	15
3.2.2. Origine des métaux lourds .....	16
3.2.3. Transfert des métaux lourds.....	16
3.3. ENGRAIS.....	16
3.3.1. Les engrais minéraux.....	17
3.3.2. La matière organique.....	18
3.3.3. Les principaux polluants liés à la sur fertilisation minérale et organique .....	18

### **CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE**

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :.....	25
2. CONTEXTE ECOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....	26
2.1. GEOMORPHOLOGIE.....	26
2.2. TOPOGRAPHIE .....	26
2.3. PEDOLOGIE .....	27
2.4. HYDROGEOLOGIE .....	27

3. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES .....	28
3.1. TEMPERATURE.....	28
3.2. PLUVIOMETRIE.....	29
3.3. HUMIDITE.....	30
3.4. LE VENT .....	31
4. SYNTHÈSE CLIMATIQUE.....	31
4.1. DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOULS ET GAUSSEN .....	31
4.2. CLIMAGRAMME D'EMBERGER .....	32

## **PARTIE II : MATERIEL ET METHODES**

1. DEMARCHE SUIVIE.....	35
2. TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE .....	37
3. TECHNIQUES D'ANALYSES.....	38
3.1. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES .....	38
3.1.1. Détermination du pH.....	38
3.1.2. Mesure de la conductivité.....	38
3.1.3. Détermination du calcium ( $Ca^{++}$ ) et du magnésium ( $Mg^{++}$ ).....	38
3.1.4. Dosage du sodium et du potassium.....	39
3.1.5. Détermination des chlorures ( $Cl^-$ ).....	40
3.1.6. Détermination des Sulfates ( $SO_4^{2-}$ ).....	40
3.1.7. Détermination de l'alcalinité ( $HCO_3^-$ ).....	40
3.2. ANALYSES BIOCHIMIQUES.....	41
3.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal ( $NH_4^+$ ).....	41
3.2.2. Dosage des nitrites ( $NO_2^-$ ).....	41
3.2.3. Dosage des Nitrates ( $NO_3^-$ ).....	41
3.2.4. Détermination des phosphates ( $PO_4^{3-}$ ).....	41
3.3. ANALYSES MICROBIOLOGIQUE .....	41
3.3.1. La recherche et le dénombrement des coliformes fécaux :.....	41
3.3.2. La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux :.....	42
4. ANALYSES STATISTIQUES .....	43

## **PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

1. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX ANALYSEES .....	45
1.2. VARIATION DU TAUX DE QUELQUES PARAMETRES DE POLLUTION DANS LES EAUX ANALYSEES .....	47
1.2.1. Variation du (pH) des eaux analysées.....	47
1.2.2. Variation de la (CE) des eaux analysées.....	48
1.2.3. Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées.....	50
1.2.4. Variation du taux d'Orthophosphate dans les eaux analysées.....	51
1.2.5. La variation du taux de SAR dans les eaux analysées .....	52
DISCUSSION GENERALE .....	57

<i>2. QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX ANALYSEES</i> .....	59
2.1. VARIATION DE CONCENTRATION DES COLIFORMES FECAUX DANS LES EAUX ANALYSEES.....	59
2.2. VARIATION DE CONCENTRATION DES STREPTOCOQUES FECAUX DANS LES EAUX ANALYSEES .....	60
DISCUSSION GENERALE .....	61
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	63

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

---

# Introduction générale

---

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et en eau d'irrigation et sont donc vitales pour le développement de ces pays (BOUCHAHM *et al.*, 2008).

Toutefois, ces eaux sont sérieusement menacées par les différentes activités humaines. le croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (GHAZALI *et al.*, 2013). Par ailleurs, l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des eaux (MULLIS *et al.*, 1997).

Dans ce contexte, l'agriculture est actuellement classée en premier rang des sources de la pollution de l'eau dans plusieurs régions dans le monde (Europe et des Etats-Unis, et dans d'autres pays comme l'Australie, le Canada et la Nouvelle-Zélande), mais surtout dans les pays arides où, pour des raisons climatiques défavorables, l'irrigation avec des eaux de qualité parfois médiocre constitue un impératif technique incontournable (OCDE, 2004).

En fait, une des conséquences environnementales majeures de l'agriculture intensive actuelle est la dégradation de la qualité des eaux. Cette dernière se traduit, pour les eaux de surface comme pour les eaux souterraines, par une pollution liée à la dissémination des intrants agricoles que sont les produits phytosanitaires, les engrais minéraux azotés et phosphatés ou encore les effluents d'élevage (MERHI, 2008).

D'après LAURENT (2013), la dégradation des eaux varie en fonction des formes et du niveau d'intensification agricole et en fonction du contexte pédoclimatique des régions.

Dans ce cadre, la région d'Oued Souf qui est considérée actuellement comme l'un des principaux pôles agricole du Sud d'Algérie, environ 25 tonnes/ha de fumier de volailles sont apportés par les agriculteurs durant la campagne agricole. Par ailleurs, 96016.5 quintaux des engrais chimiques (NPK) sont assurés par l'Etat pour le soutien des agriculteurs de la région dans l'année 2013 (DSA, 2014). A cela s'ajoute, l'emploi exagéré des produits phytosanitaires surtout dans la culture sous serre.

Par ailleurs, la mise en culture intensive des terres agricoles au niveau des périmètres irrigués a engendré, depuis quelques années, l'apparition du problème de la pollution des ressources en eau souterraine par l'ion nitrate. Ce type de pollution se trouve favorisée par certaines caractéristiques écologiques de cette région, notamment la texture sableuse et le bas niveau de la nappe (MEHDA, 2014).

La pollution des eaux dans cette région peut être également de nature biologique, ce qui a été confirmé par certaines études précédentes montrant une pollution bactériologique marquée principalement par la présence des indices de la contamination fécale.

L'atteinte à la santé publique s'est manifestée par l'apparition du paludisme et en 2004 plusieurs cas de typhoïde sont signalés à Souf. Ces cas sont certainement dus à la mauvaise qualité de l'eau prise dans les puits.

Dans ce contexte, un diagnostic plus complet de la situation actuelle de la pollution et un suivi rigoureux de son évolution, s'avèrent d'une grande nécessité pour la sauvegarde de ces eaux. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail qui consiste à étudier de l'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux dans la région d'Oued Souf.

De ce fait, notre travail est structuré en trois grandes parties :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique traitant deux chapitres essentiels :
  - ✓ Les ressources en eau
  - ✓ Pollution des eaux souterraines ;
- La deuxième partie illustre les matériels et méthodes utilisés pour la réalisation de cette étude.

Enfin, la troisième et la dernière partie est consacrée à la discussion des résultats obtenus.

---

*Partie I*

*Synthèse Bibliographique*

---

---

# Chapitre I

## Les ressources en eau

---

### 1. Ressources en eau en Algérie

Le territoire algérien couvre une superficie de près de 2,4 millions de km<sup>2</sup>, mais 90% de cette étendue correspondent à un désert où les précipitations sont quasi-nulles. Dans cette partie du territoire, les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas ; les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional) (Loucif, 2003).

En Algérie la population était estimée à 23 millions en 1987 ; 28 en 1995 ; 32 en 2000 ; 39 en 2010 ; et 46 en 2020, soit une consommation potable et industrielle de l'ordre de 5 milliards de m<sup>3</sup> alors que la mobilisation actuelle est à peine de 2 milliards de m<sup>3</sup>. Il faudrait mobiliser dans les 20 ans à venir 3 milliards de m<sup>3</sup>, en excluant les eaux d'irrigations et les fuites dans les conduites. Les superficies irriguées sont estimées à 450000 ha, l'objectif à atteindre à court terme étant de 770000 ha, et si l'on suppose qu'en moyenne, il faut 8000 m<sup>3</sup>/ha, il nous faudrait mobiliser 6.2 milliards de m<sup>3</sup> (Kettab, 2001).

Le pays est divisé en cinq bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (Tableau 01). Les ressources en eau superficielle renouvelables internes totalisent environ 9.8 km<sup>3</sup>/an pour l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que 0.6 km<sup>3</sup> (FAO, 2005).

Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées près de 1.5 km<sup>3</sup>/an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Le

sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines très importantes provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal. Si l'on considère qu'il n'existe pas de partie commune entre les eaux de surface et les eaux souterraines, les ressources totales renouvelables internes s'élèvent à 11.3 km<sup>3</sup>/an. Les ressources exploitables sont évaluées à 7.9 km<sup>3</sup>/an (FAO, 2005).

Bassins hydrographiques	Superficie en km <sup>2</sup>	Bassins versants
Oranie-Chott Chergui	77 169	Côtiers oranais
		Macta
		Tafna
		Chott Chergui
Chélif-Zahrez	56 227	Côtiers Dahra
		Chélif
		Chott Zahrez
Algérois-Hodna-Soummam	47 431	Côtiers algérois
		Sébaou
		Isser
		Soummam
		Chott Hodna
Constantinois-Seybousse-Mellegue	44 348	Côtiers constantinois
		KébirRhumel
		MedjerdahMellegue
		Seybousse
		Hauts Plateaux Constantinois
Sahara	2 018 054	Sahara
		Chott Melghir

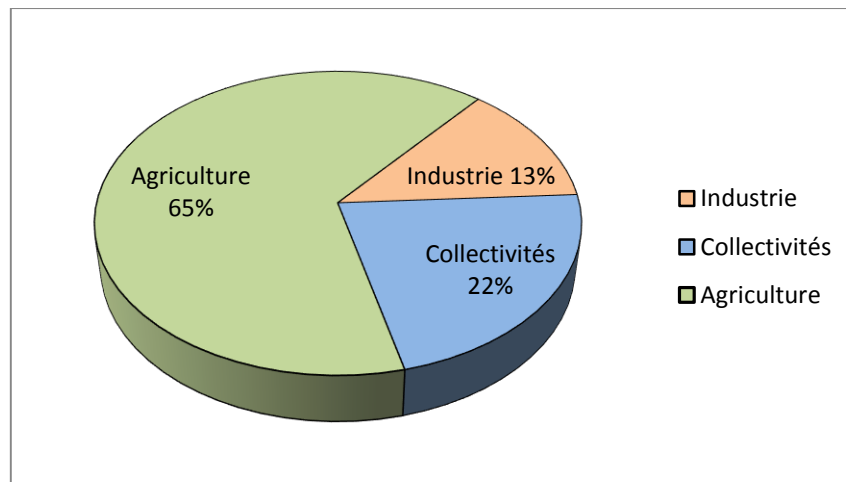
**Tableau 01** : Bassins versants en Algérie (FAO, 2005).

Donc la répartition des ressources hydrique dans le pays se présente comme suit :

Les écoulements superficiels sont essentiellement concentrés dans la frange septentrionale du pays, s'étend sur environ 300 000 km<sup>2</sup>, soit 13 % de la superficie du pays. Les régimes hydrographiques dans cette zone soumis à un régime climatique méditerranéen semi-aride sont caractérisés par l'extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des apports en eau, la violence et la rapidité des crues et l'importance des transports solides. Schématiquement, les ressources en eau superficielles décroissent du Nord au Sud, au fur et à mesure que croissent les ressources en eau souterraines. Les eaux de surface figurent pour 32 % du bilan alors qu'elles constituent 80 % des ressources globales (Loucif, 2003).

Dans le Sud, la disponibilité en eau est importante grâce aux nappes du continental intercalaire et du complexe terminal, mais celles-ci ne couvrent qu'une partie de l'étendue du Sahara. Cette situation à laquelle il faut ajouter l'irrégularité des écoulements dans l'espace et dans le temps, la capacité effective des barrages ainsi que le niveau prélèvements des ressources en eau, est de nature à livrer une image non déformée de ce qui existe comme potentialités (Loucif, 2003).

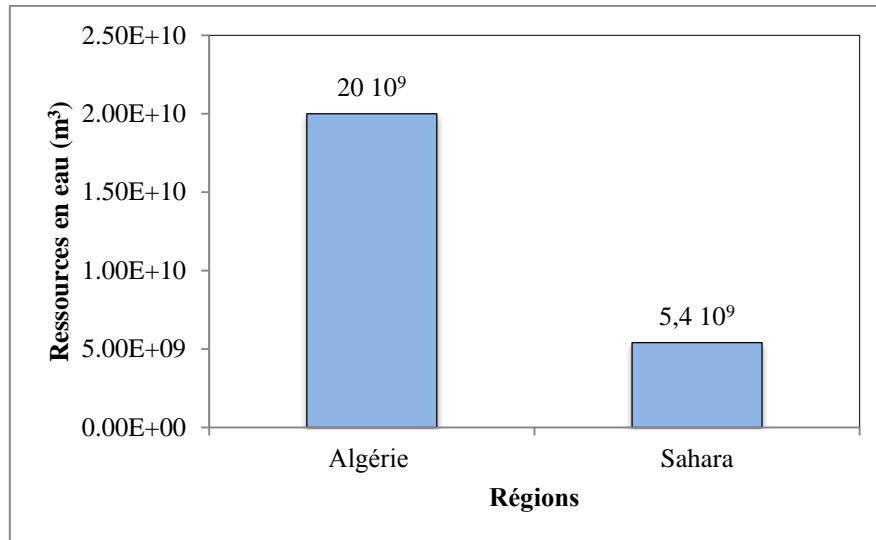
Les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m<sup>3</sup>, dont 3.938 milliards destinés à l'irrigation (65 %), 1.335 milliard aux usages domestiques (22 %) et 801 millions à l'industrie (13 %) (FAO, 2005).



**Figure 01** : Utilisation de l'eau en Algérie (FAO, 2005)

## 2. Ressources en eau dans le Sahara

Les ressources en eau sahariennes disponibles ne dépassent guère les 5,4 milliards de mètres cubes (Figure 02) (Saker et *al.*, 2013). Les eaux superficielles restent faibles et très aléatoires. Toutefois, les nappes fossiles, constituées principalement par les eaux du complexe terminal (CT) et du continental intercalaire (CI), constituent indéniablement la ressource la plus importante et la mieux étudiée (Saker et *al.*, 2013).



**Figure 02 :** Ressources en eau (en Algérie et en Sahara Algérienne) (Saker et *al.*, 2013).

La demande en eau dans les régions sahariennes est estimée à environ 60 m<sup>3</sup>/s en année moyenne, dont près de 65 % sont garantis par les aquifères profonds du continental intercalaire et du complexe terminal (CI et CT), et le reste par les autres ressources en eau (autres nappes et ressources superficielles). Ces ressources n'ont cependant à l'évidence qu'un potentiel très limité pour le futur, et l'alimentation de ces régions doit être considérée comme un souci majeur. On peut retenir que les ressources en eau sont très variables d'une région à une autre, concernant les grands aquifères, avec de fortes contraintes de salinité, température et profondeur. Par contre, elles sont faibles dans les autres nappes, avec des perspectives d'exploitation supérieure limitées. Elles sont très aléatoires pour les ressources superficielles, qui ne sont guère valorisables que dans une économie extensive (BNEDER, 1999).

### 3. Ressources en eau dans la wilaya d'El-Oued

Dans la wilaya d'El-Oued et comme toutes les zones arides, les seules ressources en eaux sont souterraines, alors que leur mobilisation est primordiale. Le potentiel des ressources en eaux souterraines, établi par la direction des ressources en eau de wilaya d'El-Oued en 2006 se répartit comme suit :

- ✚ Nappe phréatique : 130 hm<sup>3</sup>.
- ✚ Nappes profondes : 4.90 Milliards hm<sup>3</sup> (soit 2.7 Milliards hm<sup>3</sup> pour le CT et 2.2 Milliards hm<sup>3</sup> pour le CI).
- ✚ Total : 4.90 Milliards hm<sup>3</sup>.

L'état actuel de la mobilisation des nappes souterraines est de 470 hm<sup>3</sup> par an à travers toute la Wilaya, mais seulement 405.08 hm<sup>3</sup> sont exploitées réellement (soit 86.19 % des ressources mobilisables).

### **A. L'alimentation en eau potable (AEP)**

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont principalement effectués à partir de 120 forages dans la nappe du Complexe Terminal (CT) et 2 forages dans la nappe du Continental Intercalaire (CI). En 2000, la mobilisation est de 305279.29 m<sup>3</sup>/j qui atteint 355710.71 m<sup>3</sup>/j en 2006 où les ressources mobilisables d'alimentation en eau potable représentent 8.71 % du total de la mobilisation. Les besoins en eau domestique est évaluée à 78439.29 m<sup>3</sup>/j en 2000 qui s'accroît jusqu'à 93855.00 m<sup>3</sup>/j en 2006 avec une moyenne d'augmentation annuelle de 2202 m<sup>3</sup>/j (DREW, 2007).

### **B. Les usages agricoles de l'eau (AEA)**

Les ressources en eau est fortement exploitées pour l'irrigation, la culture de la pomme de terre dans la zone d'étude a connu un fort développement depuis la fin des années 1990. La superficie agricole irriguée en 2006 est 51456 ha est élevé à 60850 ha en 2010, sachant que le besoin en eaux d'un hectare est évalué à 16430 m<sup>3</sup>/an. Ceux-ci s'effectuent essentiellement par le pompage au sein des forages des nappes profondes (CT et CI) qui sont en nombre de 575 en 2007, et surtout de nombreux puits dans la nappe phréatique (autour de 16100 puits). L'agriculture, qui utilise plus de 87 % des ressources en eau mobilisée, augmente de 2679696 m<sup>3</sup>/j en 2000 à 3354307.2 m<sup>3</sup>/j en 2003 pour atteindre 3592080 m<sup>3</sup>/j en 2006. Les besoins en eau de ce secteur sont évalués à 2337651.4 m<sup>3</sup>/j en 2006.

### **C. Utilisation industrielle de l'eau (AEI)**

L'utilisation d'eau dans le secteur industrielle est extrêmement variable et elle dépend évidemment de type d'industrie, et vu l'absence des industries à forte intensité d'eau (telles que l'industrie chimique, la sidérurgie et la pâte à papier...). Les ressources mobilisables à des fins industrielles ne représentent que 3.55 % du total des ressources mobilisables de la vallée. Les besoins industriels en eau en 2000 sont estimés à 31375.71 m<sup>3</sup>/j, qui s'accroît en 2006 à 37542 m<sup>3</sup>/j (DREW, 2007).

---

## Chapitre II

# Pollution des eaux souterraines

---

La qualité de l'eau est généralement évaluée par deux aspects : Qualité physico-chimique et qualité biologique. Cette évaluation est en relation avec trois exigences majeures des sociétés humaines :

- Disposer d'eau en quantité suffisante pour l'alimentation, les usages domestiques, industriels et agricoles,
- Faire en sorte que cette eau soit sans danger pour ces différents usages,
- Préserver les milieux aquatiques incluant la faune et la flore qui y vivent.

Par ailleurs, la composition des eaux naturelles est déterminée par un ensemble de processus d'altération des roches. L'interaction entre l'eau et la roche met en jeu de nombreuses réactions physico-chimiques et biochimiques : acide/base, oxydo/réduction, dissolution/précipitation, adsorption/désorption, échanges d'ions, complexation...etc (DOUEZ, 2011).

La composition chimique des eaux est également dépendante des activités humaines, généralement par l'apport de « polluants » tels que les métaux lourds, les pesticides, les engrais...etc, issus de l'industrie, des pratiques agricoles ou domestiques (DOUEZ, 2011).

### **1. Les Modes de pollution des eaux**

Les activités humaines ont engendré une contamination de la plupart des compartiments de l'environnement. Ainsi, les vecteurs et moyens de contamination sont-ils très divers. La première approche de classification consiste à séparer les pollutions diffuses, épandues sur de grandes surfaces, des pollutions ponctuelles épandues sur des zones allant de quelques mètres carrés à un ou deux kilomètres carrés (ATTEIA, 2005).

### 1.1. Pollutions diffuses

Les pollutions diffuses (Figure 03) ont deux origines principales :

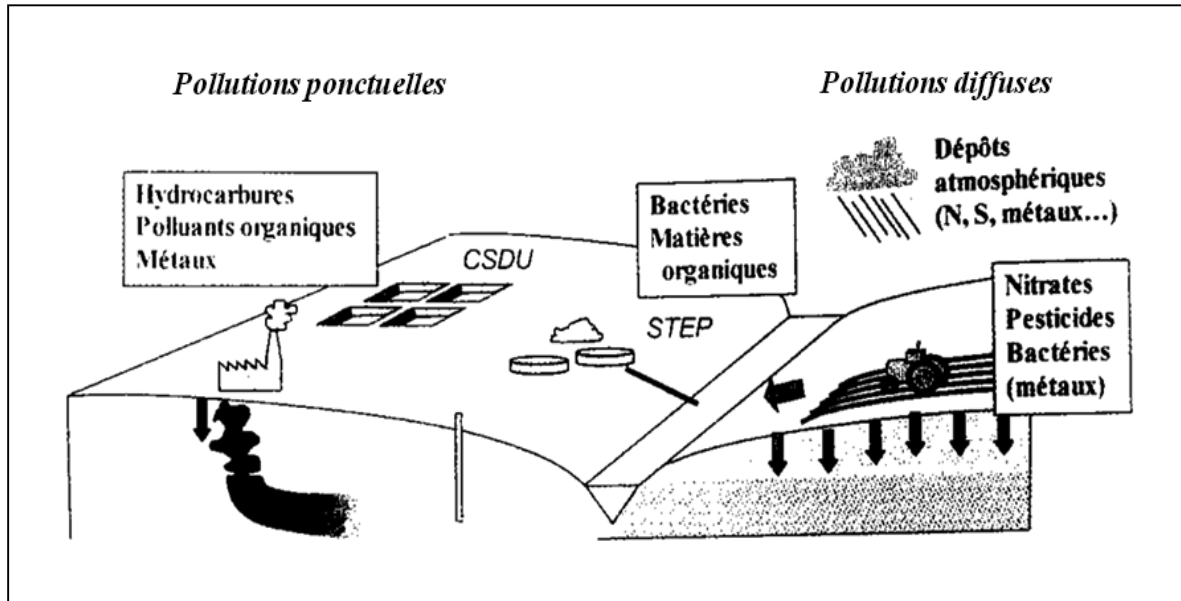
- D'une part la pollution atmosphérique provenant des industries et des transports qui est homogénéisée puis se déplace sur des distances de quelques kilomètres à des centaines de kilomètres ;
- D'autre part la pollution d'origine agricole comprenant engrais et pesticides épandus à proximité du sol mais sur de très grandes surfaces.

Les quantités épandues ont des ordres de grandeur très différents : les engrais sont épandus à des doses allant de 10 à 300 kg/ha, alors que les doses d'épandage des pesticides sont actuellement de quelques dizaines à centaines de grammes/ha. Les limites de potabilité étant de 50 mg/l pour les nitrates et de 0,1 mg/l pour les pesticides (ATTEIA, 2005).

### 1.2. Pollutions ponctuelles

Les pollutions ponctuelles sont principalement d'origine industrielle, infiltration de produits toxiques mal entreposés, fuites dans les réservoirs ou accidents lors du transport de matières dangereuses. Bien que localisées, les quantités sont souvent importantes, les concentrations dans les eaux pouvant aisément atteindre 1 g/l, un ordre de grandeur plus élevé que les contaminations par nitrates sur certains sites des produits purs peuvent atteindre la nappe et contaminer la totalité d'un aquifère.

Il est ainsi possible d'opposer deux types de pollution. Les pollutions ponctuelles, constituées d'une source de taille restreinte mais concentrée, qui présentent des concentrations en polluants diminuant par dilution lorsque le panache s'étend. Les pollutions diffuses impliquant des concentrations à la source beaucoup plus faibles mais qui sont présentes sur de grandes étendues, les concentrations dans les aquifères étant du même ordre de grandeur que celles des sols (ATTEIA, 2005).



**Figure 03** : Les grands types de pollution et leurs effets sur l'environnement.

## 2. Les différentes sources de pollution des eaux

Il existe deux catégories de pollution des eaux :

- Les pollutions naturelles
- Les pollutions dues aux activités humaines
  - ✓ pollution domestique
  - ✓ industrielle
  - ✓ ou agricole.

### 2.1. Les pollutions naturelles

Elle peut être due à une irruption volcanique, à des épanchements sous-marins d'hydrocarbures... ou encore lorsque l'eau entre en contact avec des gisements minéraux et par un effet de dissolution ou d'érosion, cela engendre des concentrations inhabituelles en métaux lourds (CARNEVALE et al., 2006).

### 2.2. Les pollutions dues aux activités humaines

#### 2.2.1. La pollution domestique

Elle regroupe les eaux vannes (WC), les eaux ménagères (eaux de cuisine et salle de bains) qui contiennent des graisses, du savon, des détergents... et les eaux usées rejetées par les installations collectives.

### **2.2.2. La pollution industrielle**

Elle est caractérisée par sa très grande diversité. Elle va dépendre de l'activité industrielle. On peut donc retrouver des matières organiques et des graisses, des hydrocarbures, des métaux, des acides, des produits chimiques divers, des matières radioactives (CARNEVALE et al., 2006).

### **2.2.3. L'agriculture**

L'agriculture utilise de plus en plus de produits chimiques et organiques surtout dans les sols pauvres en éléments nutritifs. Elle constitue la première cause des pollutions diffuses des ressources en eau. Ce point étant le sujet de notre travail, il sera développé et approfondi tout au long de ce chapitre.

La pollution agricole peut se présenter sous les deux modes de pollution précédemment citées :

- La pollution diffuse consiste en une dégradation de la ressource en eau sur l'ensemble d'un territoire en raison de rejets agricoles qui ne sont pas issus d'un point particulier de ce territoire.
- La pollution ponctuelle, il s'agit ici de rejets de polluants à petites doses mais de manière répétée. Ce type de pollution est difficile à contrôler car il est lié à une multitude de sources (BOULIER, 2011).

## **3. Substances susceptibles de polluer les eaux dans les zones agricoles**

### **3.1. Produits phytosanitaires**

#### **3.1.1. Définition des produits phytosanitaires**

Les produits phytosanitaires, appelés également pesticides, produits de protection, produits phytopharmaceutiques, agropharmaceutiques, sont des poisons destinés à tuer ou repousser les adventices (herbicides), les insectes (insecticides), les champignons (fongicides), ou à se débarrasser de divers animaux considérés comme nuisibles (nématocides, rodenticides ...) (AMARA, 2013).

### 3.1.2. Classification des produits phytosanitaires

Le premier système de classification des produits phytosanitaires repose sur le type de parasites à contrôler. Il existe principalement trois grandes familles de produits phytosanitaires selon la nature des cibles visées : les herbicides, les fongicides et les insecticides. À celles-ci s'ajoutent des produits divers tels que les acaricides (contre les acariens), les nématicides (contre les nématodes), les rodenticides (contre les rongeurs),...etc.

Le deuxième système de classification tient compte de la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les produits phytosanitaires. Les principaux groupes chimiques comprennent les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoïdes, les triazines et les urées substituées (MERHI, 2008).

### 3.1.3. Transfert des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires peuvent être transportés sous forme dissoute ou adsorbés sur les matières en suspension. Le transfert de ces produits est fonction :

- Des quantités appliquées,
- De l'intervalle entre l'application et l'événement pluvieux important qui lui succède,
- Des conditions environnementales (températures, humidité, activité biologique), qui accélèrent ou non la dégradation des molécules.
- Des états de surface du sol et de l'état hydrique.

Le risque de transfert d'un produit est donc maximal juste après l'application. Il est ensuite difficile de prévoir l'évolution des transferts des molécules, le stock présent dans le sol étant très dépendant des conditions pédoclimatiques (MOLENAT *et al.*, 2011).

## 3.2. Métaux lourds

### 3.2.1. Définition des métaux lourds

D'un point de vue purement chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux. D'un point de vue physique, le terme métaux lourds désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm<sup>3</sup>. D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques (ADRIANO, 2001).

### 3.2.2. Origine des métaux lourds

#### A. Origine naturelle

Ces métaux lourds sont présents de façon naturelle dans le sol et sont majoritairement le résultat d'une altération de la roche mère du sous-sol. Toutefois, les différentes activités humaines contribuent également à augmenter leur quantité.

#### B. Origine anthropique

Les teneurs les plus élevées en éléments inorganiques rencontrées dans les sols sont fortement liées à l'activité humaine. Les principales activités sont les suivantes :

- Pollution dues aux retombées atmosphériques telle que l'industrie extractive et métallurgique, pratiques liées à l'incération, utilisation des énergies fossiles, essence au plomb, etc.
- Stockage de déchets urbains ou industriels dues aux résidus des activités de mines et de fonderies de métaux, installations de stockage de déchets,...etc.
- Pratiques agricoles due aux épandages d'insecticides, de fongicides, d'engrais, de boues résiduaires urbaines ou de composts d'ordures ménagères,...etc (BABA AHMED, 2012).

### 3.2.3. Transfert des métaux lourds

L'association des métaux lourds à la phase solide du sol fait que ceux-ci sont en règle générale très peu entraînés vers les nappes. Les processus de remobilisation sont possibles notamment lors de changements des conditions oxydo-réductrices du milieu qui peuvent accroître la proportion de métaux sous forme d'ions libres, accroissant par la-même leur mobilité (ADRIANO, 2001).

### 3.3. Engrais

Les engrais correspondent à l'ensemble des matières fertilisantes épandues à la surface des sols et destinées à apporter aux végétaux les éléments indispensables à la constitution de leurs tissus. On distingue les engrais minéraux, des engrais organiques qui comprennent les effluents d'élevage (fumiers bovins, lisiers bovins, porcins ou de volaille), les composts, les boues résiduaires des stations d'épuration,... etc.

### 3.3.1. Les engrais minéraux

Les engrais minéraux à usage agricole se présentent en général sous forme de granulés sphériques de 2 à 3 mm de diamètre ; ils sont épandus de manière mécanique, soit par gravité, soit à l'aide d'appareils centrifuges ou pneumatiques générant des poussières. Il existe également des formes liquides pour pulvérisation ou injection dans le sol. Les engrais à usage domestique (pour plantes d'intérieur ou pour le jardinage) sont usuellement des concentrés liquides à diluer, parfois des granulés ou des bâtonnets imprégnés. Les engrais minéraux peuvent être des engrais simples (azoté [N], phosphaté [P] ou potassique [K]) ou des engrais composés, binaires (NP, NK, PK) ou bien ternaires (NPK). Les principaux constituants de ces engrais sont :

- Azote : nitrate d'ammonium ou ammonitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), sulfate d'ammonium ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), urée, ammoniac liquéfié, etc. ;
- Phosphore : phosphate de calcium [ $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ ] et superphosphates issus du traitement des phosphates de roche naturels, scories Thomas de sidérurgie, acide phosphorique,... ;
- Potassium : chlorure, nitrate et sulfate de potassium (KCl,  $\text{KNO}_3$  et  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) (Testud, 2004).

Un engrais granulé NPK typique contient 15 à 20 % d'ammonitrate, 8 à 10 % d'anhydride phosphorique sous forme de phosphates d'ammonium et bicalcique, 5 à 15 % d'oxyde de potassium. Mais bien d'autres compositions sont disponibles sur le marché pour répondre à la demande spécifique de chaque type de sol et de culture ; certaines formulations d'engrais prêts à l'emploi contiennent de la cyanamide calcique ( $\text{CaCN}_2$ ), qui est plutôt un amendement de sol. Les «matières actives» des engrais minéraux solides (nitrates, phosphates et sels de potassium) sont des substances non volatiles, très hydrosolubles, voire pour certaine (nitrate d'ammonium) hygroscopiques (TESTUD, 2004).

Le risque d'utilisation des engrais est fonction de deux paramètres : la toxicité de la substance en cause et l'exposition. Une substance très toxique avec une exposition nulle n'entraîne naturellement pas de risque et une substance de toxicité moyenne avec une exposition forte peut être de danger majeur. Toute la toxicologie se fonde sur ce que l'on appelle la relation « dose-effet », qui s'exprime simplement de la manière suivante :

- il y a proportionnalité entre l'effet toxique et la dose ;
- il existe pour tout effet toxique une dose « seuil » au-dessous de laquelle cet effet toxique ne se manifeste pas (RICO, 2000).

### 3.3.2. La matière organique

La matière organique est un terme générique qui regroupe un très grand nombre de molécules, issues pour la plupart du monde vivant et se trouvant dans un état de décomposition plus ou moins avancée. Ils sont des produits qui apportent du carbone organique et des éléments minéraux pour les plantes. Parmi ces éléments on distingue les éléments majeurs (absorbés en grande quantité, tels que l'azote, le phosphore, le soufre, le potassium, le calcium et le magnésium), les oligoéléments (nécessaires à faible dose, tels que le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc, le bore, le molybdène et le vanadium) (MUSTIN, 1987).

Etant donné, que l'absorption des éléments nutritifs par la plante se fait quasi exclusivement sous la forme minérale (nitrate et ammonium pour l'azote, phosphate pour le phosphore, sulfate pour le soufre,...) ; un fertilisant organique apporté au sol ne peut remplir donc sa fonction alimentaire qu'après d'être minéralisé (par un processus de biodégradation microbienne).

### 3.3.3. Les principaux polluants liés à la sur fertilisation minérale et organique

#### 3.3.3.1. Les Nitrates

##### Définition des nitrates

Les nitrates sont des éléments chimiques très solubles et facilement drainés par les eaux de ruissellement ou d'infiltration vers les nappes s'ils ne sont pas consommés par la végétation ou réorganisés dans la matière organique du sol. Ils sont aujourd'hui la cause majeure de pollution de l'eau (BOULIER, 2011).

Les nitrates et les nitrites sont produits, naturellement et en faibles quantités dans les sols, par des bactéries qui les fabriquent en fixant l'azote de l'air ou en décomposant des matières organiques. Dans l'environnement, les nitrites sont, généralement, en faibles teneurs car ils se transforment facilement en nitrates (POUËSSEL, 2003).

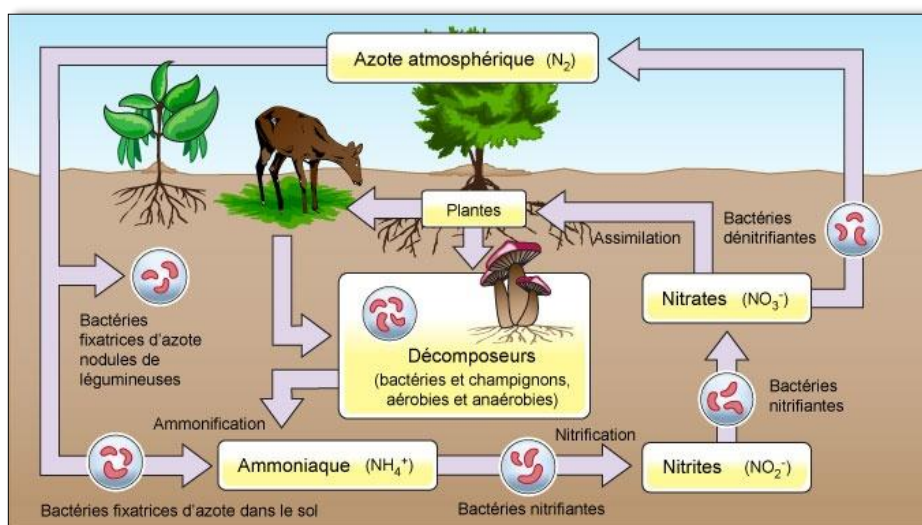
##### Sources et stock des nitrates

La contamination de plus en plus fréquente des sols en nitrates, est due à l'usage excessif d'engrais (chimiques et déjections animales) ainsi qu'à des rejets d'eaux usées. Cet enrichissement des sols a pour conséquence un accroissement des teneurs dans les ressources en eau et dans les plantes (POUËSSEL, 2003).

Le stock de nitrate dépend des apports et des transformations qui affecte ses apports. Le nitrate est un composé qui peut s'épuiser par exportation et/ou transformation. Si les apports sont supérieurs aux exportations et aux transformations, il peut cependant y avoir constitution de stocks (MOLENAT et *al.*, 2011).

### Transfert des nitrates

Les nitrates sont une des formes de l'azote présent dans les sols (Figure 04). En présence d'oxygène, les nitrates sont la forme minérale la plus stable dans le sol. Ils évoluent vers d'autres espèces chimiques lorsque les conditions du milieu varient (absence d'oxygène notamment) (MOLENAT et *al.*, 2011).



**Figure 04** : Cycle de l'azote dans la nature.

L'azote des engrais minéraux se présente sous forme de nitrate ou d'ammonium, deux formes très facilement assimilables par les plantes. Dans des conditions de pratiques normales, l'azote des engrais minéraux est assimilé dans l'année par la culture en place. Une application mal maîtrisée peut cependant conduire à des excédents de nitrate dans le sol, lesquels peuvent migrer vers les nappes ou les eaux de surface entraînant leur pollution.

L'azote des déjections animales est incorporé dans des molécules organiques. Il n'est pas directement assimilable par les plantes. La libération du nitrate se fait par minéralisation progressive de la matière organique, ce qui peut engendrer des arrières effets perceptibles les années suivant les épandages, du fait du caractère lent du processus de minéralisation. Comme dans le cas des engrais minéraux, des apports excessifs de déjections animales au sol peuvent conduire à des excédents de nitrates et à des pollutions des nappes (MOLENAT et *al.*, 2011).

### 3.3.3.2. Le phosphore

#### Définition de phosphore

Le phosphore est un élément chimique non métallique abondant dans la nature. Il est le onzième constituant de la croûte terrestre (0,12 %) ou il se combine à d'autres éléments pour former un grand nombre de minéraux, tels que les phosphates et les fluorophosphates d'aluminium, de calcium, de fer ou de manganèse. Il est l'un des cinq éléments nutritifs essentiels à la croissance des végétaux (carbone, hydrogène, oxygène, azote et phosphore) (BEAUDIN, 2006).

#### Formes de phosphore

On distingue en général deux formes de phosphore dans l'eau :

- le phosphore dit dissous, qui passe par un filtre de 0,45  $\mu\text{m}$ ,
- le phosphore particulaire (tout le reste), l'ensemble constituant le phosphore total.

La fraction dissoute du phosphore comprend les ions orthophosphates des molécules organiques et le phosphore lié aux petites molécules organiques. La fraction particulaire regroupe le phosphore combiné aux oxydes de fer et aux argiles, le phosphore associé aux débris organiques grossier et le phosphore constitutif des minéraux phosphatés. La distinction phosphore soluble / phosphore particulaire ne recouvrant pas une réalité chimique homogène, il est souvent difficile de comparer les résultats issus d'études différentes sur ces seules bases (MOLENAT et *al.*, 2011).

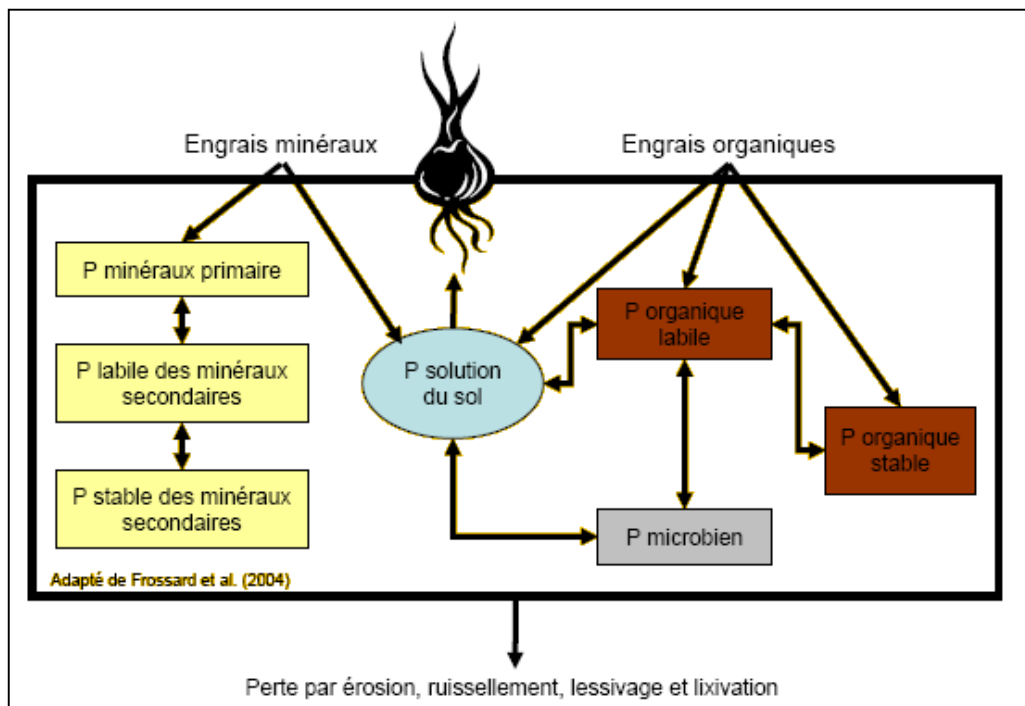
#### Sources de phosphore

Il existe nombreuses formes d'engrais minéraux phosphatés. Ils ont pour origine les gisements de phosphates naturels ainsi que l'industrie sidérurgique. Ils sont utilisés bruts ou après leur transformation par l'industrie chimique en divers composés. Selon les différents types d'engrais minéraux phosphatés, la teneur en  $\text{P}_2\text{O}_5$  est de 26 % pour un phosphate insoluble et 60 % pour un phosphate très soluble (BAPTENDIER, 1994).

Les déjections animales contiennent une quantité non négligeable de phosphore sous forme minérale et organique. Le purin est plus pauvre que le lisier ou le fumier. De même, la fraction de phosphore minérale varie selon les espèces animales : elle représente 80 % du phosphore total pour le lisier de bovins, et 60 % pour le lisier de volailles (ZIEGLER et HEDUIT, 1991).

## Transfert de phosphore

Pour les sols cultivés, les apports de phosphore sont nécessaires et sont amenés sous plusieurs formes : des engrais minéraux, des engrais de terme composés essentiellement par (les déjections animales, et des boues de station d'épuration). Les doses appliquées sont variables et dépendent du type de culture. Une fraction du phosphore est assimilée par la plante, le reste est mélangé au sol où d'autres processus (précipitations, complexation, absorption, etc...) le mobilisent ou le fixent (Le phosphore est facilement fixé sur les particules de sol et déplacé par l'eau préférentiellement sous forme particulaire) (CASTILLON *et al.*, 1993).



**Figure 05** : Cycle du phosphore dans le système sol-engrais-plante (FROSSARD *et al.*, 2004)

### 3.3.3.3. Les microorganismes pathogènes

#### Origine des microorganismes pathogènes

Les micro-organismes pathogènes sont peu nombreux dans les eaux de nappe du fait des conditions généralement anaérobies et des faibles quantités de nutriments disponibles. Le transfert de matière organique appliqué par les agriculteurs vers la nappe phréatique favorise leur prolifération. Les milieux fissurés, surtout karstiques, présentent des conditions favorables à la survie et la multiplication des germes : pénétration facile de matière organique, conditions aérobies, pas de filtration (COYNE et HOWELM, 1994).

#### Transfert des microorganismes pathogènes

Les données sur les capacités de transferts des bactéries fécales après épandages de matières organiques sont très variables. Les méthodes de dénombrements et les stratégies d'échantillonnages (méthode de prélèvements et fréquences) et aussi les échelles d'étude sont à l'origine de cette grande variabilité des résultats et des conclusions.

Les études de transferts sur colonnes de sol ou de substrats synthétiques montrent l'importance de facteurs suivants :

- La nature du substratum (et notamment la présence d'enrobage ou de site de fixation),
- La nature chimique du soluté infiltré,
- L'hydrodynamique des systèmes
- Des variables liées à la bactérie comme sa taille, sa forme, son hydrophobicité et la charge électrostatique de sa membrane (VANSTEELANT, 2004).

À l'échelle des parcelles et des sols en place, les transferts de bactéries fécales interviennent très rapidement après les épandages (CUNLIFFE et *al.*, 1999). Seule une faible partie des bactéries épandues est mobilisée par les eaux de percolation (CRANE et *al.*, 1983). Cette mobilisation des bactéries diminue lorsque le temps de contact sol-bactérie augmente (EDWARDS et *al.*, 2000).

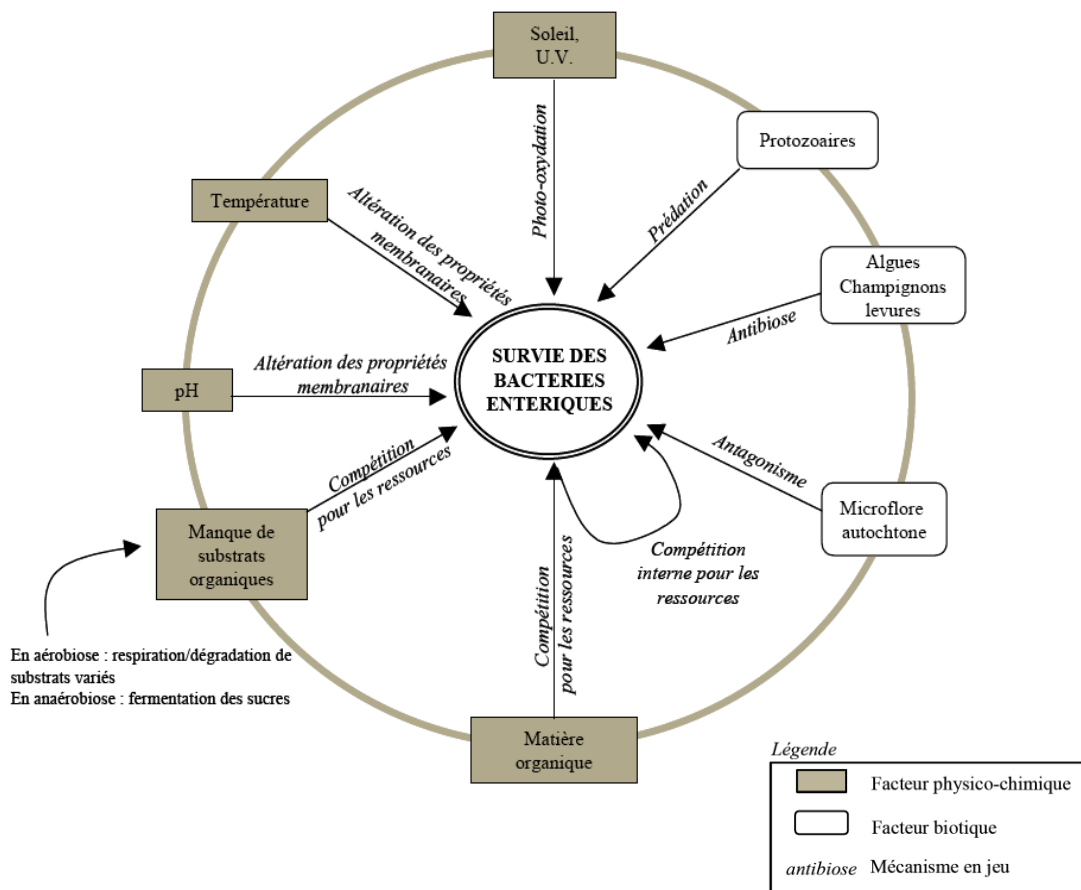
Le mode d'inoculation des bactéries dans le sol revêt une grande importance dans leur mobilisation ultérieure et leur lessivage. Les transferts sont totalement différents selon l'hydrodynamique générale du milieu et le type de sol (CRANE et *al.*, 1983). Sur des sols en place, le transfert s'effectue essentiellement dans les macropores du sol et est fortement perturbé par la présence de racines végétales ou la présence de voies préférentielles d'écoulements (NATSH et *al.*, 1996).

### Stock des microorganismes pathogènes

Les micro-organismes, une fois sur ou dans le sol, ont des durées de survie très variables selon l'espèce microbienne, les pratiques agricoles (mode de stockage, technique d'épandage, type d'effluent, la culture...), et les conditions environnementales (édaphiques, climatiques, biologiques) (MOLENAT et al., 2011).

Les facteurs influençant les dynamiques de survie des microorganismes dans l'environnement sont synthétisés dans le (Tableau 02).

Dans l'environnement, ces facteurs entrent en inter-relations pour définir les capacités de survie des bactéries et parasites fécaux (Figure 06).



**Figure 06** : Facteurs et mécanismes agissant sur la survie des bactéries fécales dans l'environnement (VANSTEELENT, 2004).

**Tableau 02** : Les facteurs régissant la survie et le transfert des microorganismes fécaux dans l'environnement (CRANE et *al.*, 1983)

FACTEURS INFLUANT LA SURVIE SUR LA VEGETATION ET DANS LE SOL	FACTEURS INFLUANT L'INFILTRATION ET LE MOUVEMENT DANS LE SOL
I-LE MICROORGANISME ET SON STADE DE DEVELOPPEMENT	I-CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- texture</li> <li>- taille et distribution des particules</li> <li>- teneur et type d'argile</li> <li>- teneur et type de matière organique</li> <li>- pH</li> <li>- capacité d'échange en cation (CEC)</li> <li>- distribution de la taille des pores</li> </ul>
II-LA NATURE PHYSIQUE ET CHIMIQUE DU MILIEU RECEPTEUR (SOL, VEGETATION)	II-FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET CHIMIQUES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- température</li> <li>- pH</li> <li>- humidité</li> <li>- morphologie (feuilles)</li> <li>- porosité</li> <li>- teneur en matière organique</li> <li>- texture et taille des particules</li> <li>- composition chimique</li> <li>- propriétés d'absorption et de filtration</li> <li>- biodisponibilité des nutriments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- température</li> <li>- humidité</li> <li>- régime hydrique du sol (saturé vs insaturé)</li> <li>- composition chimique de la solution du sol</li> <li>- tailles et concentrations des bactéries</li> <li>- nature de la matière organique de l'effluent (concentration et type)</li> </ul>
III-CONDITIONS METEOROLOGIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ensoleillement</li> <li>- humidité et précipitation</li> <li>- température</li> </ul>	
IV-INTERACTIONS BIOLOGIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- compétition avec la flore indigène du sol</li> <li>- antibiose</li> <li>- toxicité</li> </ul>	
V-METHODE D'APPLICATION	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- technique (surface ou incorporation)</li> <li>- fréquence d'application</li> <li>- concentration de l'effluent en microorganismes fécaux</li> </ul>	

---

## Chapitre III

# Présentation de la région d'étude

---

### 1. Situation Géographique :

La région du Souf est une partie de la wilaya d'El-Oued, située dans le Sud-Est Algérien (33° à 34° N ; 6° à 8° E). Il s'agit d'un vaste ensemble de palmiers entourés par les dunes de sable qui se trouve à une altitude de 70 mètre au niveau de la mer (BEGGAS, 1992).

La wilaya d'El Oued (Figure 07) occupe une superficie de 44585 km<sup>2</sup> avec une population de 990000 habitants donnant ainsi une densité de 12 hab/km<sup>2</sup>. La zone concernée par l'étude s'étend sur 18 communes, soit une superficie d'environ 14518.33 km<sup>2</sup> (ONS, 2013).

Le "Souf" vient du nom berbère désignant rivière ou Oued. A l'origine la principale activité des habitants de la région était l'agriculture. Chaque palmeraie a vu le jour à la suite d'efforts considérables tant sur le plan physique que financier (DSA, 2005).

Les limites administratives de la wilaya d'El Oued sont :

- ✚ Au Nord : Tébessa et Khenchla ;
- ✚ Au l'Est : Tunisie ;
- ✚ Au Sud : Ouargla ;
- ✚ A l'Ouest : Biskra et Ouargla

Pour ce qui est des limites naturelles, la région du Souf est limitée :

- ✚ Au Nord par la zone des Chotts (Melghir et Merouane) ;
- ✚ Au Sud par l'extension de l'Erg oriental ;
- ✚ A l'Ouest la vallée d'oued Righ ;
- ✚ A l'Est : Chott tunisien El-Djerid (VOISIN, 2004).

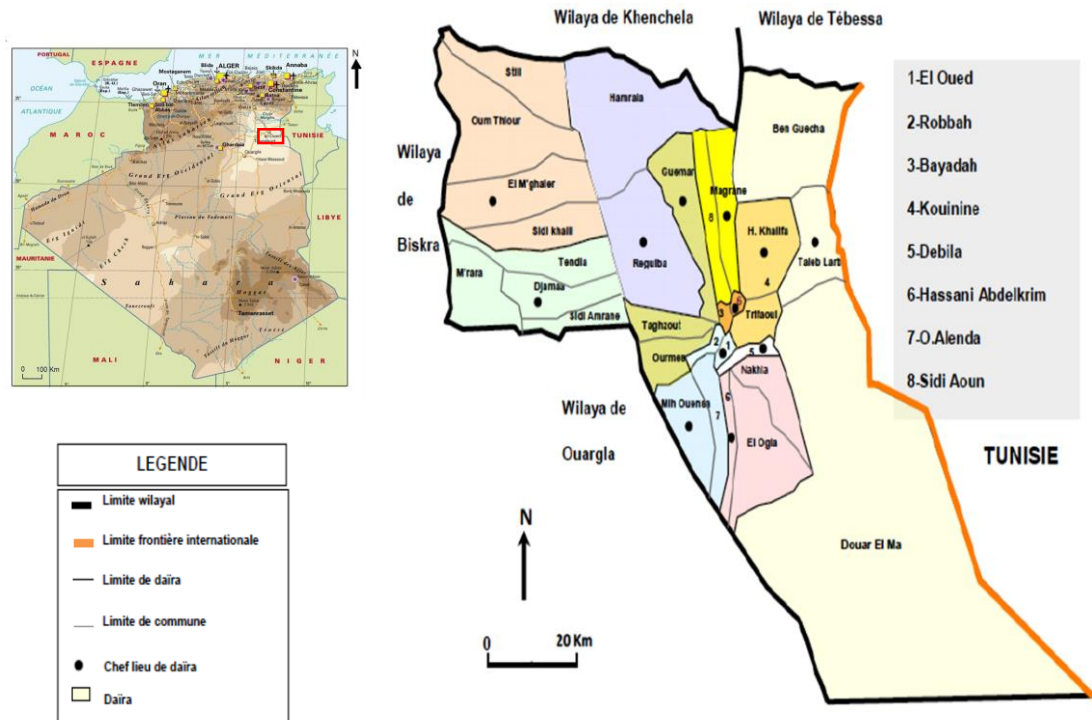


Figure 07 : Situation géographique de la wilaya d'El Oued.

## 2. Contexte écologique de la région d'étude

### 2.1. Géomorphologie

NADJEH (1971), signale que la région du Souf est une région sablonneuse avec des dunes qui peuvent atteindre les 100 mètres de hauteur. Ce relief est assez accentué et se présente sous un double aspect. L'un est un Erg c'est-à-dire région où le sable s'accumule en dunes et c'est la plus importante. Cette dernière occupe 3/4 de la surface totale de la région. L'autre est le Sahane ou région plate et déprimée, formant des dépressions fermées, entourées par les dunes, souvent assez étendues et parfois caillouteuses ou recouvertes par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire.

### 2.2. Topographie

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres, accusant une diminution notable du Sud au Nord pour être de 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara (ANRH, 2005).

### **2.3. Pédologie**

Les sols de la région du Souf sont généralement peu évolués. Les couches arables sont constituées d'un sol sablonneux de forte profondeur et ne constituent pas des couches rocheuses. Par ailleurs, ces sols se caractérisent par une faible teneur en matière organique, par une structure particulière à forte perméabilité et par une texture sableuse. Le sable du Souf se compose de Silice, Gypse, de Calcaire et parfois d'Argile (VOISIN, 2004). Au Nord de la région, on rencontre le gypse sous forme des blocs rocheux profonds et tellement solides. A l'Ouest, la pierre gypseuse s'allonge vers la région de Hobba (HLISSE, 2007).

### **2.4. Hydrogéologie**

La région de Souf possède des ressources hydriques souterraines essentielles, elle est caractérisée par les nappes suivantes :

#### **2.4.1. Nappe phréatique**

La nappe phréatique présent dans toute l'Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire, elle peut être rencontrée à des profondeurs variant de 10 et 83 mètres. Vu son importance, cette nappe représentait la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels.

La profondeur du toit de cette nappe dépasse parfois 20 mètres. La circulation des eaux dans cette nappe est relativement lente sur toute la région du d'El-Oued particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté dans région des Chotts la nappe phréatique est présente sur toute la zone d'étude.

#### **2.4.2. Nappe du Complexe Terminal (C.T)**

La zone de production de cette nappe se situe entre 200 et 500 m, le débit moyen par forage varie entre 25 et 35 l/s avec une qualité chimique de 2 à 3 g/l de résidu sec. Le niveau hydrostatique de la nappe oscille entre 10 et 60 mètres selon les zones (DREW, 2007).

### 2.4.3. Nappe du Continental Intercalaire (C.I) :

La nappe du Continental Intercalaire est captée à une profondeur moyenne de 1900 m, l'eau de cette nappe se distingue par sa température très élevée atteignant plus de 60 °C, et un résidu sec de 2 à 3 g/1 (DREW, 2007).

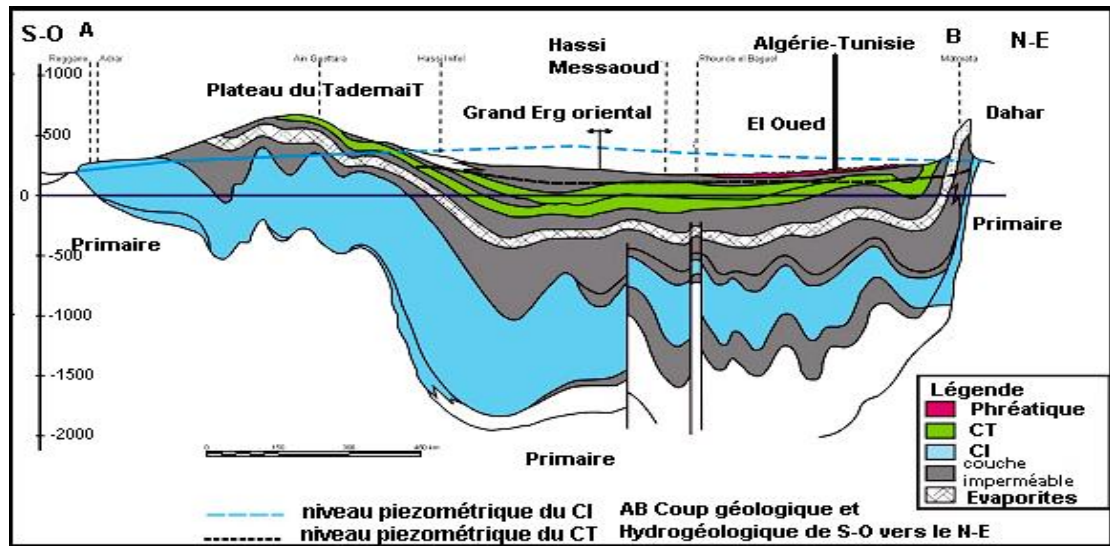


Figure 08 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" et "CI" (UNESCO, 1972).

## 3. Etude des paramètres climatiques

### 3.1. Température

#### 3.1.1. Température moyenne mensuelle interannuelle

Le Souf présente de forts maxima de température en été, alors qu'en hiver elles peuvent être très basses (VOISIN, 2004). Les valeurs de températures mensuelles maximales (M) et minimales (m) et leurs moyennes mensuelles enregistrées pour le Souf durant l'année 2016, sont détaillées dans le tableau 03 :

Tableau 03 : Températures dans la région d'étude durant l'année 2016.

T°	Mois												cumul
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	
M	20	20	24.2	30.5	34.6	39.1	40.7	39.5	35.4	32.2	23.6	18.9	29.9
m	5.8	5	9.3	15.7	19.7	24	26.1	26.2	23.3	19.4	10.6	8.6	16.2
(M+m)/2	12.9	12.5	16.7	23.1	27.1	31.5	33.4	32.8	31.8	29.3	17.1	13.7	23.5

(Tutiempo, 2017)

La période qui s'étale du mois de Novembre au mois de Mars correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de Janvier de (12.9 °C), alors que la période chaude commence à partir du mois de Juin et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de Juillet (33.4 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 23.5 °C.

### 3.1.2. Températures moyennes annuelles

Le tableau 04 présente la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 10 ans (2007 à 2016). On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre. L'année la plus chaude est 2014 et 2016 avec une température moyenne égale 23.3°C et l'année la plus froide est l'année 2007 et 2009 avec une moyenne de température égale à 22.3 °C.

**Tableau 04** : Moyenne annuelle des températures de l'air dans la région d'étude (2007-2016).

Années	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
T(C°)	22.3	22.6	22.3	23.1	22.5	22.9	22.7	23.3	22.5	23.3

(Tutiempo, 2017)

### 3.2. Pluviométrie

L'origine des précipitations dans les régions sahariennes est différente selon les saisons. Durant l'été elles sont dues aux dépressions de mousson, en hiver elles sont dues aux dépressions accompagnant la migration vers le Sud des fronts polaires. Pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions soudano sahariennes traversant le Sahara du Sud vers le Nord (DUBIEF, 1963).

#### 3.2.1. Répartition moyennes mensuelles des pluies

Les précipitations de la région du Souf sont saisonnières est extrêmement variables, arrivent à leur maximum en automne, qu'autre période pluviale d'hiver (VOISIN, 2004). Les valeurs de précipitations mensuelles du Souf durant l'année 2016 sont illustrées dans le tableau 05.

**Tableau 05** : Précipitations mensuelles dans la région d'étude durant l'année 2016.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Cumul
*P	0	0	4.82	2.03	0	1.02	0	0	24.89	1.02	0.76	0.76	35.3

(Tutiempo, 2017)

\*P: Précipitation mensuelle en mm

La région du Souf a connue durant l'année 2016 un cumul de précipitation égal à 35.3 mm (Tableau 05). Le mois le plus pluvieux durant cette année est Septembre avec une pluviométrie de l'ordre de 24.89 mm. Par contre les mois les plus secs sont (Janvier, Février, Mars, Juillet, Août) où aucune pluviométrie n'a été enregistrée (0 mm).

### 3.2.2. Répartition moyennes annuelles des pluies

Sur un cycle de dix ans (2007-2016), les précipitations observées montrent une grande variabilité d'une année à une autre. Ainsi, l'année la plus arrosée est celle de 2009 avec 193.55 mm/an et l'année la plus sèche est celle de 2012 avec 23.62 mm/an (Tableau 06).

**Tableau 06 :** Précipitations moyennes annuelles dans la région d'étude entre 2007 et 2015.

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2015
P (mm)	56.90	32.01	193.55	50.28	30.37	23.62	32.27	26.67	50.04	35.3

(Tutiempo, 2017)

### 3.3. Humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Elle dépend de plusieurs facteurs à savoir : la quantité d'eau tombée, le nombre de jours de pluie, la température, les vents et de la morphologie de la station considérée (FAURIE et *al.*, 1980). Les taux d'humidité relative pour l'année 2016 sont présentés dans le tableau 07.

**Tableau 07 :** Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'étude durant l'année 2016.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Cumul
*HR.	53.7	41	37.6	38.7	31.4	30.5	27	30.6	46.8	47.3	54.6	68.4	42.3

(Tutiempo, 2017)

\*HR. (%) : Humidité relative

Dans la région d'Oued Souf l'humidité de l'air est faible et la moyenne annuelle est de 42.3 %. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 27 % pendant le mois de Juillet, et ceci sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds ; alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 68.4 % au mois de Décembre.

### 3.4. Le vent

Les vents sont fréquents et cycliques dans la région d'étude (NADJAH, 1971). Ils sont caractérisés par des directions dominantes variables en fonction des saisons. Les vents dominants sont qui sont de direction Est-Nord provenant des méditerranées chargés d'humidité appelés El-bahri, soufflent au printemps. Tandis ce que les vents du Siroco ou Chihili apparaissent pendant la période estivale venant de Sud ou Sud-Ouest (HLISS, 2007).

Les valeurs de vitesse mensuelle du vent du Souf durant l'année 2016 sont annoncées dans le tableau 08.

**Tableau 08 :** Vitesse moyenne mensuelle dans la région d'étude durant l'année 2016.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Cumul
*V(m/s)	6.9	9.1	9.4	13	12.4	11.5	9.9	9.8	8.9	6.9	5.8	8.2	9.31

(Tutiempo, 2017)

\*V (m/s) : Moyenne de vitesse de vent en mètre par seconde

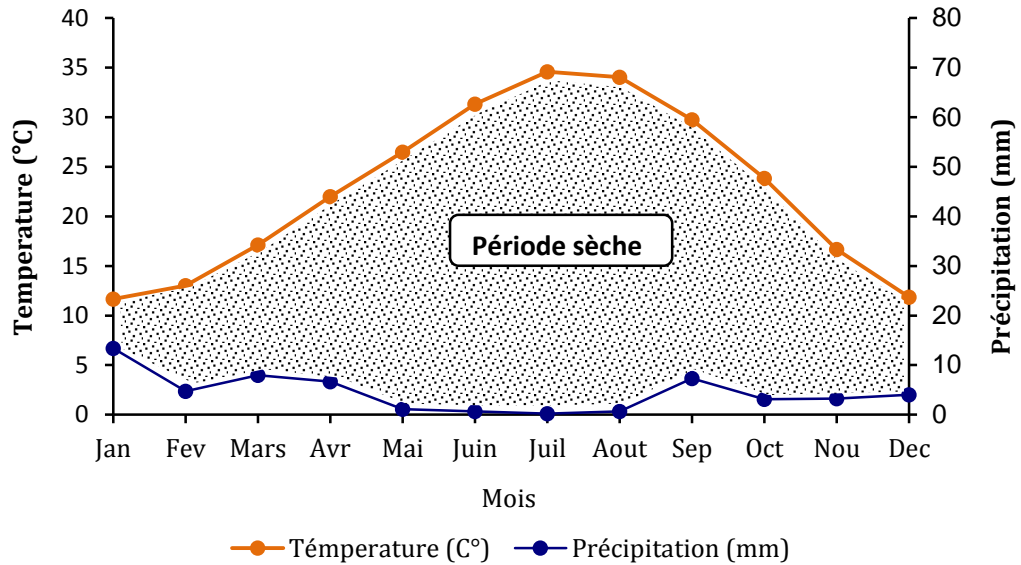
Selon le Tableau 08, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant le mois d'Avril avec un maximum de 13 m.s<sup>-1</sup>.

## 4. Synthèse climatique

### 4.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Les températures et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée. Les périodes humides et sèches sont mises en évidence grâce au diagramme Ombrothermique de Gausсен (Figure 09).

Selon FAURIE et *al.* (1980), le diagramme ombrothermique (Ombro=pluie, thermo=température) est construit en portant en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations "P" sur un axe et les températures "T" sur le second en prenant soin de doubler l'échelle par rapport à celle des précipitations "P = 2T". Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique (RAMADE, 2003).



**Figure 09 :** Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du souf (2007-2016).

Le climat de la région du Souf est, à certain points, analogue à celui du reste du Sahara c'est-à-dire un climat des contrées désertiques, si l'on considère sa pauvreté en végétation, la sécheresse de l'air, le manque d'eau en surface et l'irrégularité des précipitations (NAJAH, 1971). La région du Souf est caractérisée par deux périodes (période sèche et période humide). Il est signalé que la période sèche persiste sur toute l'année pendant très longtemps et notamment durant les dix dernières années (2007 à 2016).

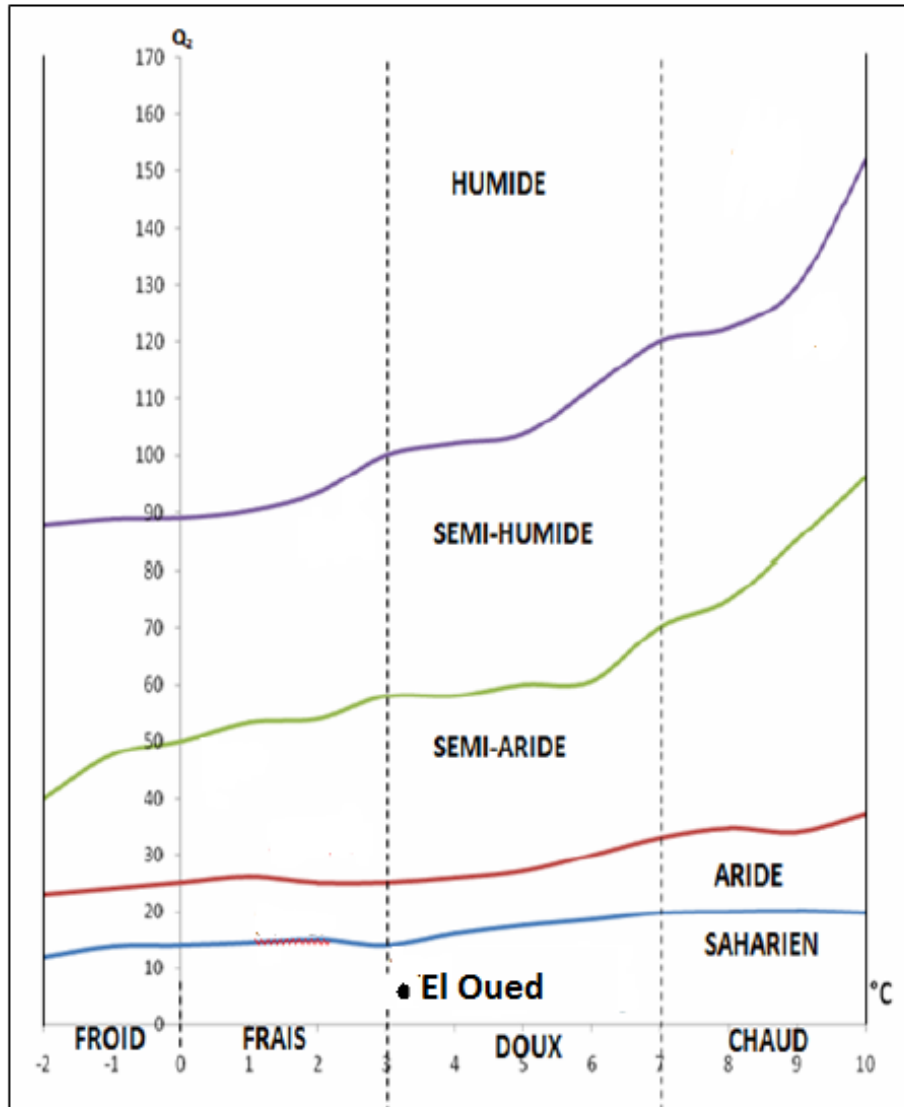
#### 4.2. Climagramme d'EMBERGER

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté en axe des abscisses par la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en axe des ordonnées par le quotient pluviothermique ( $Q_2$ ) d'EMBERGER (1933) (LE HOUEROU, 1995). Nous avons utilisé la formule de STEWART (1969) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3.43 \frac{p}{(M-m)}$$

- P = Pluviométrie moyenne en (mm)
- M = Moyenne des Maxima du mois le plus chaud en (°C)
- m = Moyenne des minima du mois le plus froid en (°C)

Une lecture du Climagramme d'Emberger, situe la région d'El Oued dans l'étage bioclimatique Saharien, à hiver doux avec des quotients pluviothermique ( $Q_2$ ) de 3.14 (Fig. 10).



**Figure 10** : Etage bioclimatique de la région d'El Oued selon le diagramme d'Emberger

A travers ces données, on peut dire que notre région d'étude est caractérisée par un climat Saharien. La faiblesse de précipitations devant un pouvoir évaporant élevé font que le déficit hydrique est quasi permanent ce qui se répercute défavorablement sur la densité, la biodiversité ainsi que sur l'activité des microorganismes du sol.

---

*Partie II*

*Matériel Et Méthodes*

---

## 1. Démarche suivie

La présente étude vise à évaluer la pollution des eaux de la nappe phréatique liée à l'activité agricole dans deux zones réparties à travers de la région de Souf. Il s'agit de la zone de Robbah et Reguiba. Ces zones ont été retenues de telle sorte qu'elles reflètent les caractéristiques réelles des eaux de la nappe phréatique destinées à l'irrigation d'une part, et qu'elles soient représentatives des zones à forte activité agricole d'autre part. D'après, la DSA (2013), ces zones connaissent une intensification agricole très poussée, basée essentiellement sur la culture de la pomme de terre sous pivot. Par ailleurs, d'après la même référence, les eaux de la nappe phréatique dans ces zones sont sollicitées surtout à des fins agricoles. De ce fait, ces eaux sont soumises à un rythme d'exploitation élevé couplé à un usage intensif non rationnel des engrais, de fumier, des pesticides et des doses d'eau d'irrigation excessives ce qui accentuée leur grande vulnérabilité à la pollution diffuse qui se manifeste par la dégradation de la qualité des eaux. En fait, il bien connue que la pomme de terre est une culture très consommatrice en intrants agrochimiques, ce qui laisse supposer sa forte contribution à la pollution des eaux de la nappe phréatique dans ces zones. Les coordonnées géographiques des zones sélectionnées pour la présente étude est comme suit :

- ✓ Zone A : Robbah (33,2610°N ; 6,9061°E ; 91 m)
- ✓ Zone B : Reguiba (33,5752°N ; 6,6209°E ; 52 m)

Par ailleurs, la localisation de ces zones est illustrée dans la Figure 11.

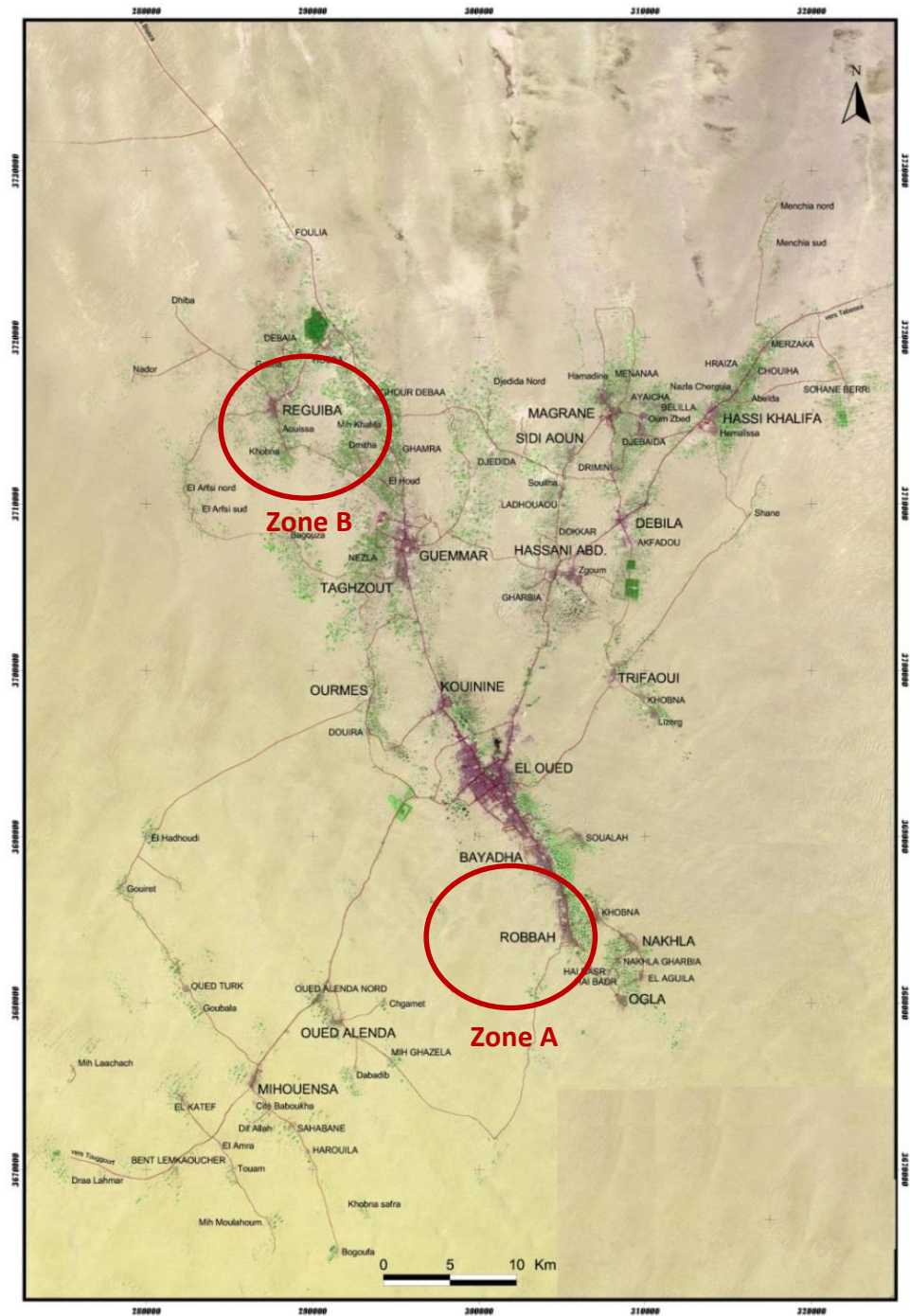
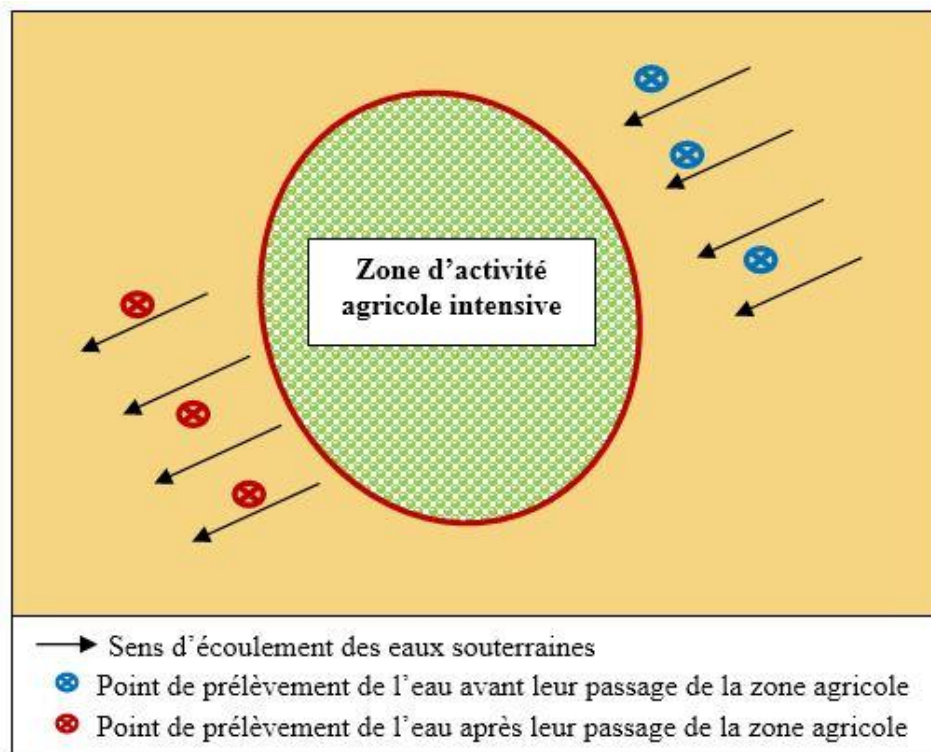


Figure 11 : Localisation de zone expérimentale (Google Maps, 2016).

## 2. Techniques d'échantillonnage

Au niveau de chaque zone expérimentale, deux sites ont été retenus pour les prélèvements des échantillons d'eau, l'un avant le passage des eaux souterraines de la zone d'activité agricole et l'autre après leurs passages de cette zone (suivi au sens d'écoulement des eaux souterraine) (Figure 12). Ainsi, des échantillons d'eau représentatifs ont été prélevés à partir de trois puits alimentés par la nappe phréatique au niveau de chaque site (avant et après le passage de zone agricole) durant l'année 2017. Les points d'eau ont été choisis de manière à avoir une image de l'ensemble de la nappe phréatique au niveau du site d'étude.

Les prélèvements ont été réalisés en trois campagnes (début, mi et fin de la campagne agricole), ce qui se coïncide avec la saison agricole de la pomme de terre. Les prélèvements des échantillons ont été mis dans des flacons en plastique puis acheminés au laboratoire pour l'analyse (laboratoire algérienne des eaux de la wilaya d'El-Oued). Les analyses physico-chimiques ont concerné les paramètres suivant : (pH, CE,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ), alors que les analyses bactériologiques ont porté sur : (les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux). Le planning de prélèvements des échantillons d'eau est présenté dans le tableau 09.



**Figure 12** : Méthodologie d'échantillonnage dans chaque zone expérimentale.

**Tableau 09 : Planning des prélèvements des échantillons.**

Site de prélèvement		1 <sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage (06 Février 2017)	2 <sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage (21 Mars 2017)	3 <sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage (02 Mai 2017)	Total
Zone A (Robbah)	Avant	3	3	3	9
	Après	3	3	3	9
Zone B (Reguiba)	Avant	3	3	3	9
	Après	3	3	3	9
Total des échantillons par campagne		12	12	12	36

Avant : avant le passage de la zone d'activité agricole.

Après : après le passage de la zone d'activité agricole.

### 3. Techniques d'analyses

#### 3.1. Caractéristiques physico-chimiques

##### 3.1.1. Détermination du pH

Le pH est mesuré directement à l'aide d'une électrode de pH combinée. Il consiste à tremper l'électrode dans le bêcher de l'échantillon, laisser stabiliser un moment, puis noter le pH.

##### 3.1.2. Mesure de la conductivité

Pour la détermination de la conductivité, il est utilisé un conductivimètre multiéléments. Elle est déterminée après rinçage plusieurs fois de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; faire la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de conductivité est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

##### 3.1.3. Détermination du calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) et du magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

Le titrage molaire des ions calcium et magnésium se fait à l'aide d'une solution de sel disodique de l'acide éthylène-diamine-tétraacétique (EDTA) à pH 10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. La détermination de la quantité de calcium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{++} \text{ (mg/l)} = V_1 \times C_{\text{EDTA}} \times F \times M_{\text{Ca}^{++}} \times 1000 / \text{PE}$$

$V_1$ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

$C$ : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{\text{Ca}^{++}}$ : Masse molaire du calcium en g.

$\text{PE}$ : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

$F$ : Facteur de dilution.

Donc :

$$\text{Ca}^{++} \text{ (mg/l)} = V_1 \times 0.01 \times F \times 40.08 \times 1000 / 50$$

$$\text{Ca}^{++} \text{ (mg/l)} = V_1 \times F \times 8.016$$

La détermination de la quantité en magnésium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Mg}^{++} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) \times C_{\text{EDTA}} \times F \times M_{\text{Mg}^{++}} \times 1000 / \text{PE}$$

D'où :

$V_2$ : Volume total d'EDTA.

$V_1$ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

$C$ : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{\text{Mg}^{++}}$ : Masse molaire du Magnésium en g.

$\text{PE}$ : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

$F$ : Facteur de dilution.

Donc :

$$\text{Mg}^{++} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) \times 0.01 \times F \times 24.3 \times 1000 / 50$$

$$\text{Mg}^{++} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) \times F \times 4.86 \text{ (ISO 6059, 1989).}$$

### 3.1.4. Dosage du sodium et du potassium

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles, d'analyse du sodium et du potassium sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions. Il est utilisé pour la présente mesure l'appareil Dr LANGE (JENWAY). Les résultats sont donnés directement en mg/l (ISO 9964/3,1990).

### 3.1.5. Détermination des chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Les ions chlorure réagissent avec les ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble précipitant quantitativement. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5, afin de permettre la précipitation (LADJEL, 2009). L'expression des résultats est donnée par :

$$\text{Cl}^-(\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times F \times M_{\text{Cl}}/\text{PE}$$

$V_{\text{AgNO}_3}$  : Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

$N_{\text{AgNO}_3}$  : Normalité d'AgNO<sub>3</sub>.

$M_{\text{Cl}}$  : Masse des chlorures.

F : Facteur de correction du titre d'Ag NO<sub>3</sub> ;  $F = 1 / V_{\text{AgNO}_3}$

PE : Prise d'essai.

$$\text{Cl}^-(\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times 0.01 \times F \times 1000/5$$

$$\text{Cl}^-(\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times 2 \times F$$

### 3.1.6. Détermination des Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Les sulfates sont dosés par spectrophotométrie UV visible à 420 nm, après que les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum, en présence de BaCl<sub>2</sub>. L'expression des résultats est donnée par :

$$\text{SO}_4^{2-}(\text{mg/l}) = \text{Valeur lue} \times \text{facteur de la dilution (LADJEL, 2009)}.$$

### 3.1.7. Détermination de l'alcalinité (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux pH 8,3 et 4,3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (RODIER *et al.*, 2009).

$$F.G = V_A \times N_A \times M_{\text{HCO}_3^-} \times 1000/\text{PE}$$

$V_A$  : Volume d'acide versé

$N_A$  : Normalité d'acide versé

$M_{\text{HCO}_3^-}$  : Masse des bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

PE : Prise d'essai

$$F.G = V_A \times 0,1 \times 61 \times 1000/100$$

$$F.G = V_A \times 61 = \text{HCO}_3^-$$

## **3.2. Analyses biochimiques**

### **3.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )**

La détermination de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) est obtenue par méthode colorimétrique à environ 655 nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitropruciate de sodium (ISO 5664,1990).

### **3.2.2. Dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )**

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont dosés suivant la méthode colorimétrique. Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après couplage avec le N-1-Naphtyl éthylène diamine dichlorure donne une coloration rose mesurée à 543 nm (ISO 6777, 1994).

### **3.2.3. Dosage des Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm (ISO 7890/3, 1994).

### **3.2.4. Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

Après formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium, puis réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm (ISO 6878/1, 1994).

## **3.3. Analyses microbiologique**

Dans le présent travail, nous avons procédé au dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale dans les eaux analysées ; la méthode d'analyse utilisée est l'ensemencement en milieu liquide (NPP).

### **3.3.1. La recherche et le dénombrement des coliformes fécaux :**

#### **Définition**

Ce sont des lentilles bombées Gram négatifs, non sporulant, aérobies facultatives. Elles peuvent continuer à survivre en utilisant la voie métabolique de fermentation. Capables de fermenter du lactose et produire de gaz après l'incubation 24 h à 48 h au milieu bouillon indole mannitol (Schubert + cloche) à 44 °C.

### **Méthodes d'analyses :**

Il est effectué en utilisant le bouillon en pourpre de bromocrésol (BCPL) tous les tubes sont munie par une cloche de Durham pour déceler le dégagement du gaz dans le milieu. On utilise du BCPL en double et simple concentration et suivi les étapes suivantes :

#### Première étape : inoculation

- ✓ Ensemencer les tubes de milieu de BCPL par l'eau à analyser
- ✓ Agiter pour homogénéiser
- ✓ Chasser le gaz présent dans les cloches
- ✓ Placer les tubes dans une étuve à 37 °C pendant 24 heures.
- ✓ Procéder à une première lecture après cette incubation.

Considérer comme positifs les tubes où il se produit simultanément un trouble dans toute la masse liquide et un dégagement de gaz dans la cloche.

#### Deuxième étape : repiquage sur milieu de confirmation

Chacun des milieux positifs de la première étape est repiqué (5 à 6 gouttes) avec une pipette pasteur, dans un tube de milieu de Schubert, pour incubation à 44 °C durant 24 heures (Chasser le gaz présent dans la cloche avant l'incubation).

#### Troisième étape : Lecture et expression des résultats

Sont considérés comme positifs et pris en compte pour l'évaluation du NPP d'E. Coli présumés, les tubes où une pousse bactérienne est observée, avec dégagement de gaz dans la cloche et où la coloration rouge résultant de l'addition du réactif de Kovacs témoigne de la production d'indol.

Noter le nombre de tubes de Schubert positifs pour chaque série de dilutions et se référer à la table de NPP. Les résultats sont exprimés sous la forme : nombre le plus probable de coliformes fécaux par 100 ml d'eau analysée.

### **3.3.2. La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux :**

#### **Définition :**

Les streptocoques fécaux ou Entérocoques intestinaux ou encore streptocoques du groupe D de la classification de Lance Field sont des bactéries à gram positifs (+) non sporulées aéro-anaérobies facultatives se présentant sous forme de coques ou ovoïdes formant des chainettes plus ou moins longues.

### **Méthodes d'analyses :**

Il est effectué en utilisant de bouillon glucose à l'acide de sodium (Rothe) tous les tubes. On utilise du (Rothe) en double et simple concentration.

#### Première étape : Test présomptif

- ✓ Ensemencer les tubes de milieu de Rothe, par l'eau à analyser.
- ✓ Homogénéiser soigneusement par agitation le contenu des tubes.
- ✓ Incuber les tubes à 37°C et les examiner après 24 et 48 heures.

Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période sont présumés contenir un streptocoque fécal et sont soumis au test confirmatif.

#### Deuxième étape : Test confirmatif

Après agitation des tubes positifs, prélever sur chacun d'eux successivement quelques gouttes (1 à 2 gouttes avec une pipette Pasteur), et les reporter dans des tubes du milieu Eva Litsky. Incuber à 37°C pendant 24-48 heures.

L'apparition d'un trouble microbien confirme la présence d'un streptocoque fécal. Parfois, la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le colorant et en formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble.

#### Troisième étape : Lecture et Expression des résultats

Noter le nombre de tubes positifs pour chaque série de dilutions et se référer à la table de NPP. Les résultats sont exprimés par le nombre le plus probable de streptocoque fécaux par 100 ml d'eau analysée.

### **4. Analyses statistiques**

Les données ont été évaluées au moyen d'une analyse de variance (ANOVA). C'est une méthode de comparaison de plusieurs moyennes. Elle permet de tirer des conclusions sur l'indication de l'effet du site de prélèvement et de temps d'échantillonnage sur le degré de la contamination des eaux par les polluants. Toutes les analyses ont été faites en utilisant le programme statistique (R).

---

# *Partie III*

## *Résultats Discussion*

---

## 1. Qualité physico-chimique des eaux analysées

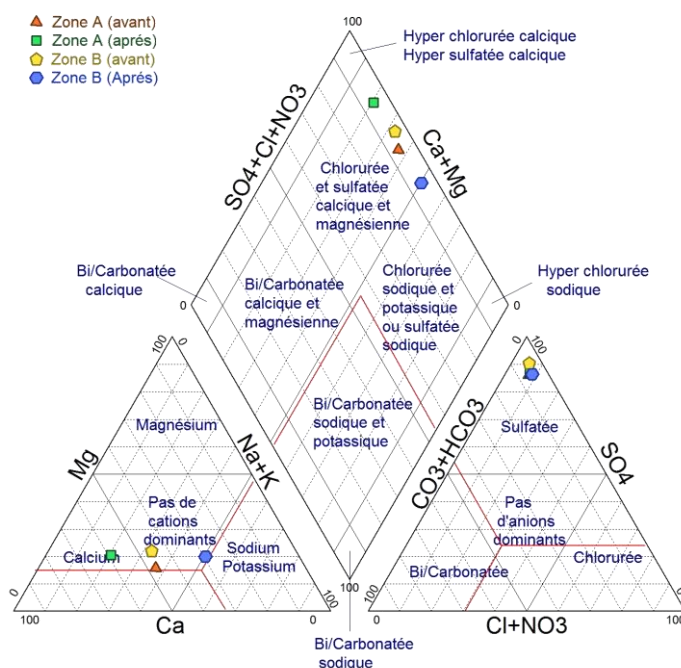
### 1.1. Caractérisation globale des eaux analysées dans les deux zones expérimentales

Les résultats de la caractérisation globale des eaux analysées de 2 zones expérimentales pendant les trois campagnes d'échantillonnage sont illustrées dans les tableaux 1 (Annexe I).

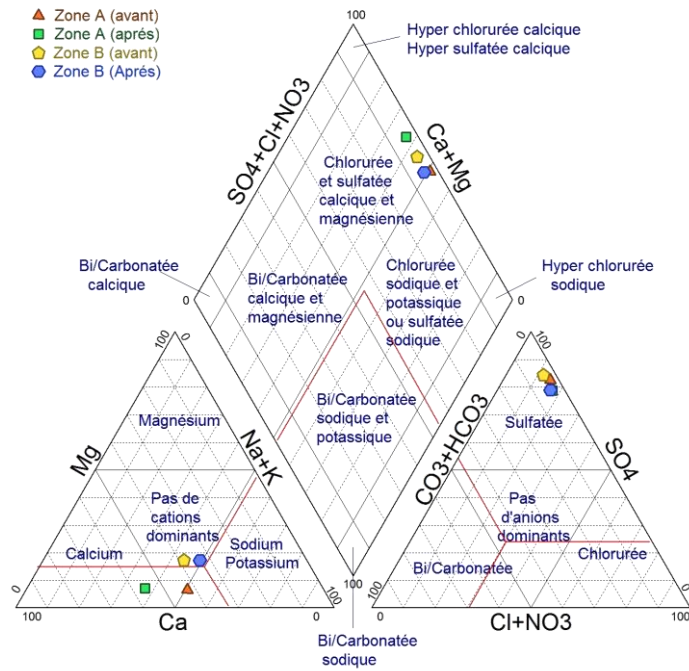
#### 1.1.1. Faciès chimique des eaux analysées des quatre sites expérimentales

Pour la détermination du faciès chimique des eaux analysées, le logiciel Diagramme a été utilisé afin d'établir le diagramme de Piper. Ce diagramme permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite) (Figure 13, 14 et 15).

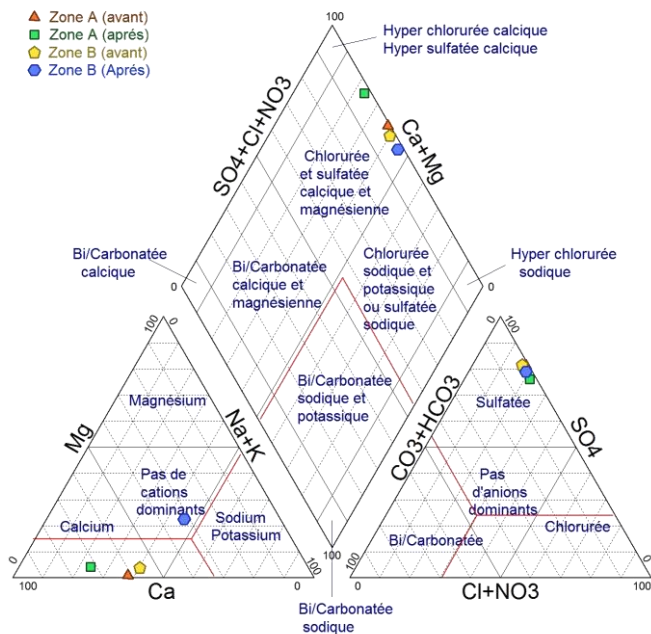
La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès chimique des eaux analysées.



**Figure 13 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper.



**Figure 14 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper.



**Figure15 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper.

Selon le diagramme de Piper, on peut déduire que les eaux analysées des différents sites étudiés (quelle que soit avant ou après le passage des zones agricole), présentent une grande ressemblance au niveau des caractéristiques hydrochimiques. La représentation graphique montre que la majorité des échantillons à la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnages coïncident sur les pôles caractérisant les faciès sulfaté calcique et sulfaté sodique, ce qui est probablement dû à la dissolution des évaporites (calcaire et gypse).

### **1.2. Variation du taux de quelques paramètres de pollution dans les eaux analysées**

#### **1.2.1. Variation du (pH) des eaux analysées**

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (El-Blidi *et al.*, 2003; Himmi *et al.*, 2003).

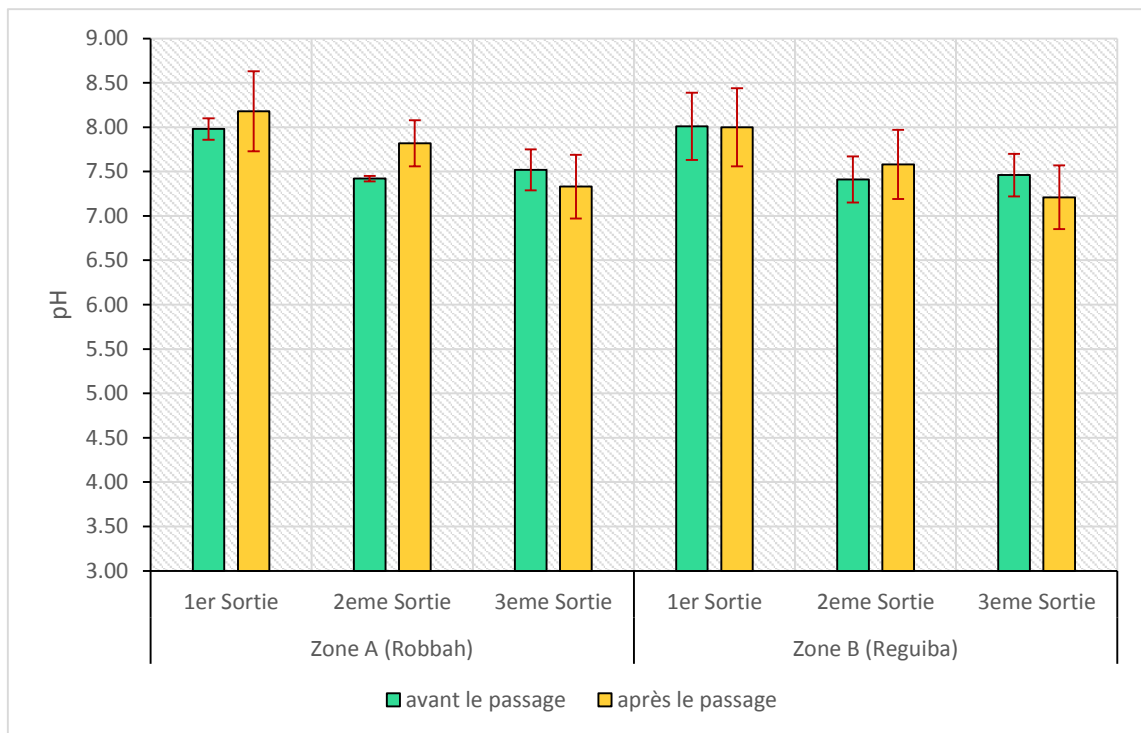
Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966; Bermond et Vuichard, 1973). Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris entre 6 et 8,5.

Dans le cas de la région d'étude, les valeurs enregistrées révèlent que le pH est neutre à tendance alcalin dans tous les sites (avant et après le passage) au niveau des deux zones étudiées (A et B). Les valeurs du pH enregistrées ne montrent aucune variation notable entre sites (avant et après le passage de zone agricole). La variation des valeurs de pH entre les trois campagnes d'échantillonnage ne dépasse pas en général une unité.

Ainsi, au niveau de zone expérimentale (A), les valeurs de pH enregistrées montrent une valeur de 7,98 au site avant le passage et 8,18 au site après passage à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage. Alors, qu'à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage ce paramètre enregistre une valeur de 7,42 au site avant le passage et 7,82 au site après passage. À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, les valeurs de pH enregistrées sont d'ordre de 7,52 et 7,33 respectivement pour le site avant et après le passage. Pour la zone (B) à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage, les valeurs de pH enregistrées montrent une valeur de 8,01 au site avant et 8,00 au site après le passage. Alors, qu'à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage ce paramètre enregistre une valeur de 7,41 au site avant le passage et 7,58 au site après passage. À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, les valeurs de pH enregistrées sont d'ordre de 7,46 et 7,21 respectivement pour le site avant et après le passage de zone agricole (B). (Figure 16).

Les résultats des analyses statistiques relatifs aux valeurs de pH sont représentés dans l'Annexe III. Ces résultats montrent globalement :

- ✓ Des différences non significatives entre les sites de prélèvements (avant et après le passage).
- ✓ Des différences non significatives entre les trois campagnes d'échantillonnage (1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage).



**Figure 16 :** Variation du (pH) des eaux analysées

### 1.2.2. Variation de la (CE) des eaux analysées

La conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale et d'estimer la totalité des sels solubles dans l'eau, étant donné que la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement, la conductivité électrique est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente (Nechad *et al.*, 2014).

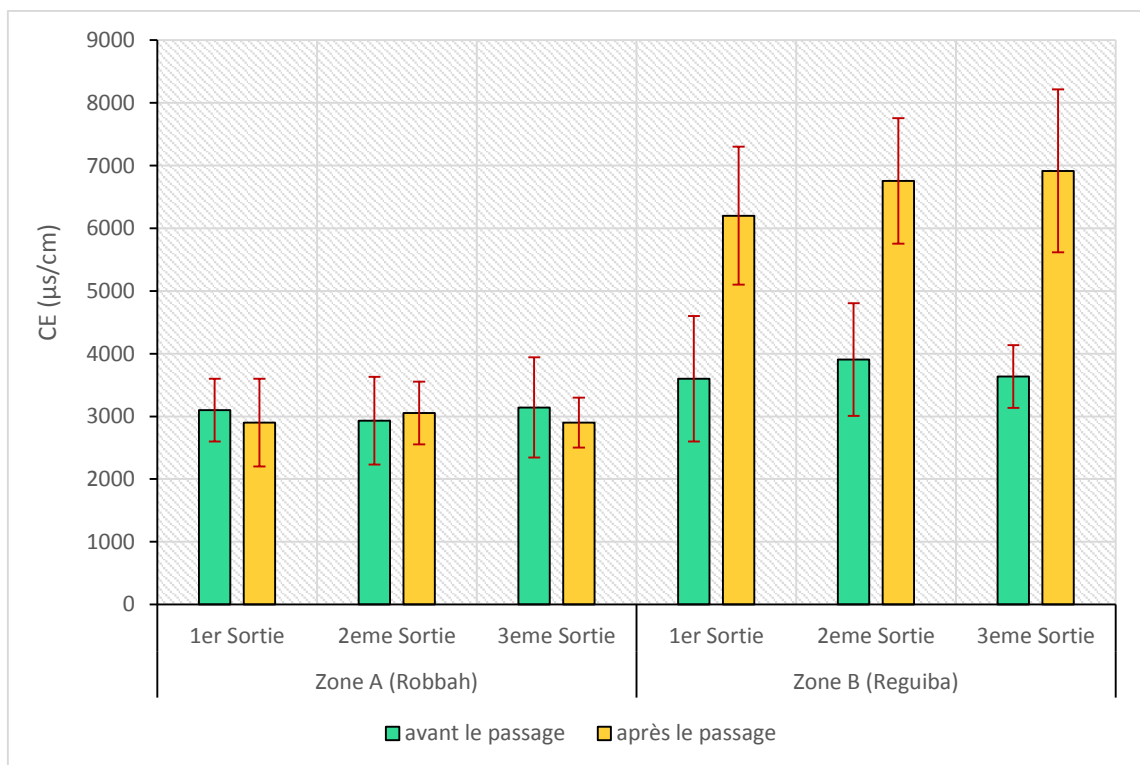
Les résultats moyens enregistrés pour la conductivité électrique au niveau des deux zones étudiées sont présentés dans la Figure 17.

À la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage le résultat moyen de la conductivité électrique est 3100  $\mu\text{s/cm}$  dans les eaux avant le passage de la zone d'activité agricole (A), et 2900  $\mu\text{s/cm}$  dans les eaux après leur passage. Elle atteint la valeur de 3600  $\mu\text{s/cm}$  dans les eaux avant le

passage et de 6200  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux après leur passage de la zone expérimentale (B). Quant à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, le résultat moyen de la CE est 2932  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux avant le passage et 3055  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux après leur passage de la zone (A), et 3906  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux avant le passage et 6755  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux après leur passage de la zone (B). A la 3<sup>ème</sup> campagne, les valeurs de la conductivité électrique enregistrée est atteindre le 3143  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux avant leur passage et le 2900  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux après leur passage de la zone (A) et 3637  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux avant le passage et 6916  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans les eaux après leur passage de la zone (B).

Les résultats des analyses statistiques relatifs à la conductivité électrique (Annexe III) montrent :

- ✓ Des différences non significatives entre les deux sites de prélèvement (avant et après).
- ✓ Des différences significatives entre les trois campagnes d'échantillonnage.



**Figure 17 :** Variation de la conductivité électrique des eaux analysées

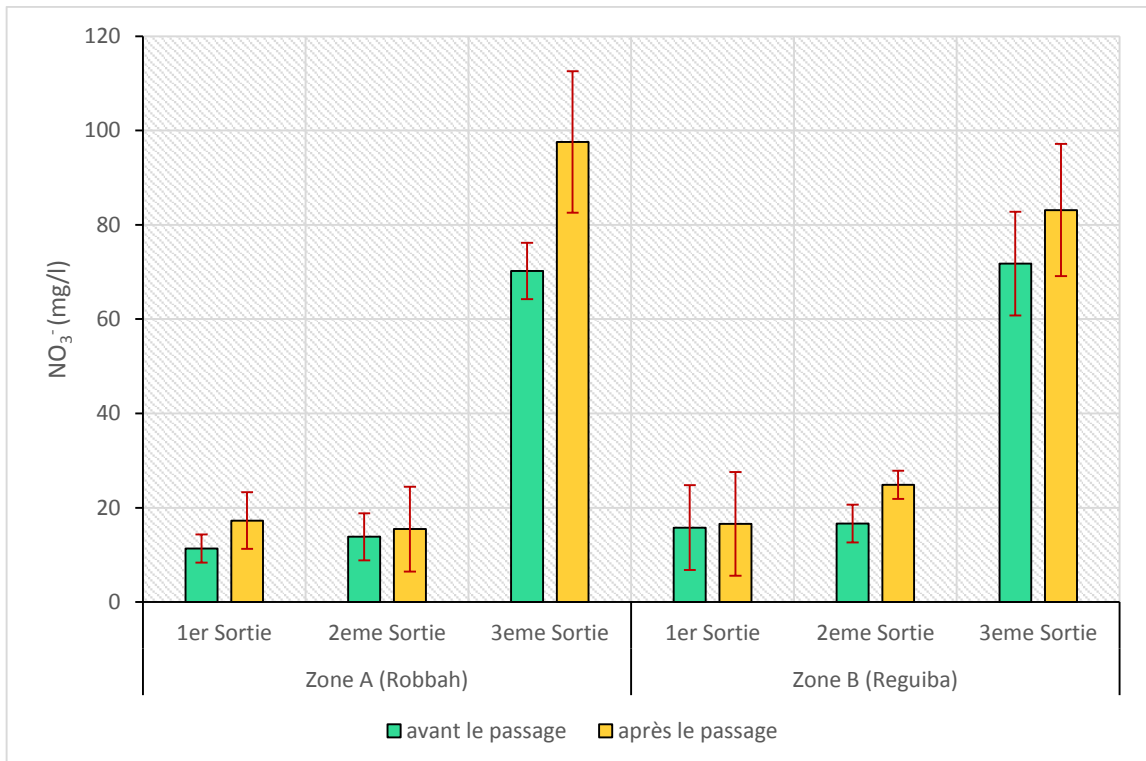
### 1.2.3. Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau.

À la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage la teneur moyen en nitrate a été enregistré est 11.35 mg/l dans les eaux avant le passage et 17.28 mg/l dans les eaux après leur passage de la zone expérimentale (A), et 15.79 mg/l dans les eaux avant le passage et de 16.60 mg/l dans les eaux après leur passage pour la zone (B).

Alors, qu'à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage ce paramètre enregistre une valeur de 13.84 mg/l au site avant le passage et 15.46 mg/l au site après passage de la zone (A), et 16.64 mg/l dans les eaux avant et de 24.88 mg/l dans les eaux après leur passage de la zone (B).

À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, les valeurs de nitrate enregistrent est d'ordre de 70,22 et 97,60 mg/l respectivement pour le site avant et après le passage de la zone agricole (A), ils sont d'ordre de 71,76 et 83,14 mg/l respectivement pour le site avant et après le passage de la zone agricole (B). (Figure 18).



**Figure 18 :** Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées

Les analyses statistiques des teneurs en nitrates dans les eaux analysées (Annexe III) montrent :

- ✓ Des différences significatives entre les deux sites de prélèvement (avant / après le passage).
- ✓ Des différences significatives entre les trois campagnes d'échantillonnage (1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage).

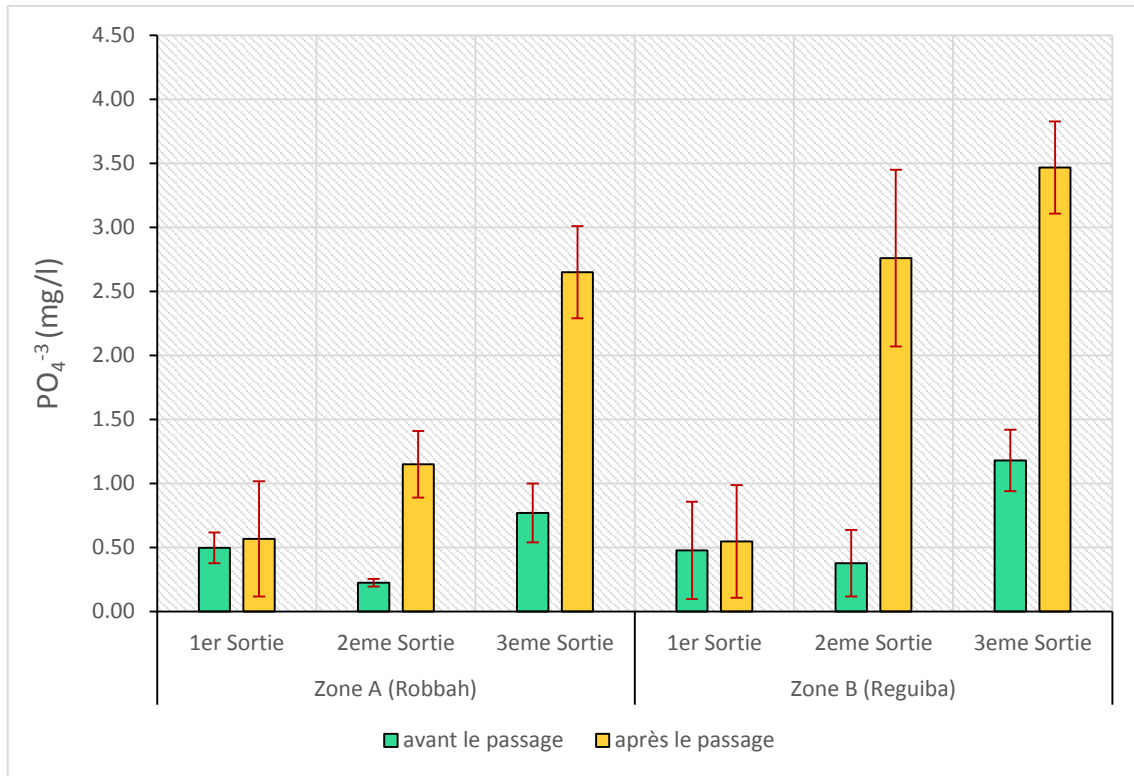
### 1.2.4. Variation du taux d'Orthophosphate dans les eaux analysées

Le phosphore, est l'un des nutriments les plus importants des êtres vivants, il peut se trouver sous différentes formes oxydées. C'est un élément de base des acides nucléiques ADN et ARN. Il participe à la distribution de l'énergie dans le corps humain (Claude et *al.*, 1998), et représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation (Vilain, 1989).

L'analyse des résultats mentionnés dans la figure 19, montre que la concentration en ions orthophosphatés dans les eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage varie entre 0,50 mg/l et 0,57 mg/l respectivement pour le site avant et après le passage de la zone agricole (A), et elle varie entre 0,48 mg/l et 0,55 mg/l respectivement pour le site avant et après leur passage de la zone agricole (B). À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, ces ions enregistrent des teneurs de 0,23 mg/l dans les eaux avant le passage et 1,15 mg/l dans les eaux après leur passage de la zone (A), et des teneurs de 0,38 mg/l dans les eaux avant le passage et 2,76 mg/l dans les eaux après leur passage de la zone expérimentale (B). Alors que, des teneurs beaucoup plus élevées en ces ions ont été enregistrées à la dernière campagne d'échantillonnage par rapport aux deux autres campagnes, avec des teneurs qui varient entre 0,77 mg/l et 2,65 mg /l respectivement pour le site avant et après leur passage de la zone agricole (A), et 1,18 mg/l et 3,47 mg/l respectivement pour le site avant et après leur passage de la zone agricole (B).

Les résultats de l'analyse statistique relative aux teneurs en ions orthophosphatés dans les eaux analysées sont présentés dans l'annexe (III). Ces résultats montrent :

- ✓ Des différences significatives entre les deux sites de prélèvement (avant et après le passage de zone agricole).
- ✓ Des différences significatives entre les trois campagnes d'échantillonnage.



**Figure 19** : Variation du taux d'Orthophosphate dans les eaux analysées

### 1.2.5. La variation du taux de SAR dans les eaux analysées

Le SAR (Rapport d'Adsorption du Sodium) exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Il est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}} \quad ; \text{ avec Na, Ca, Mg en meq/l.}$$

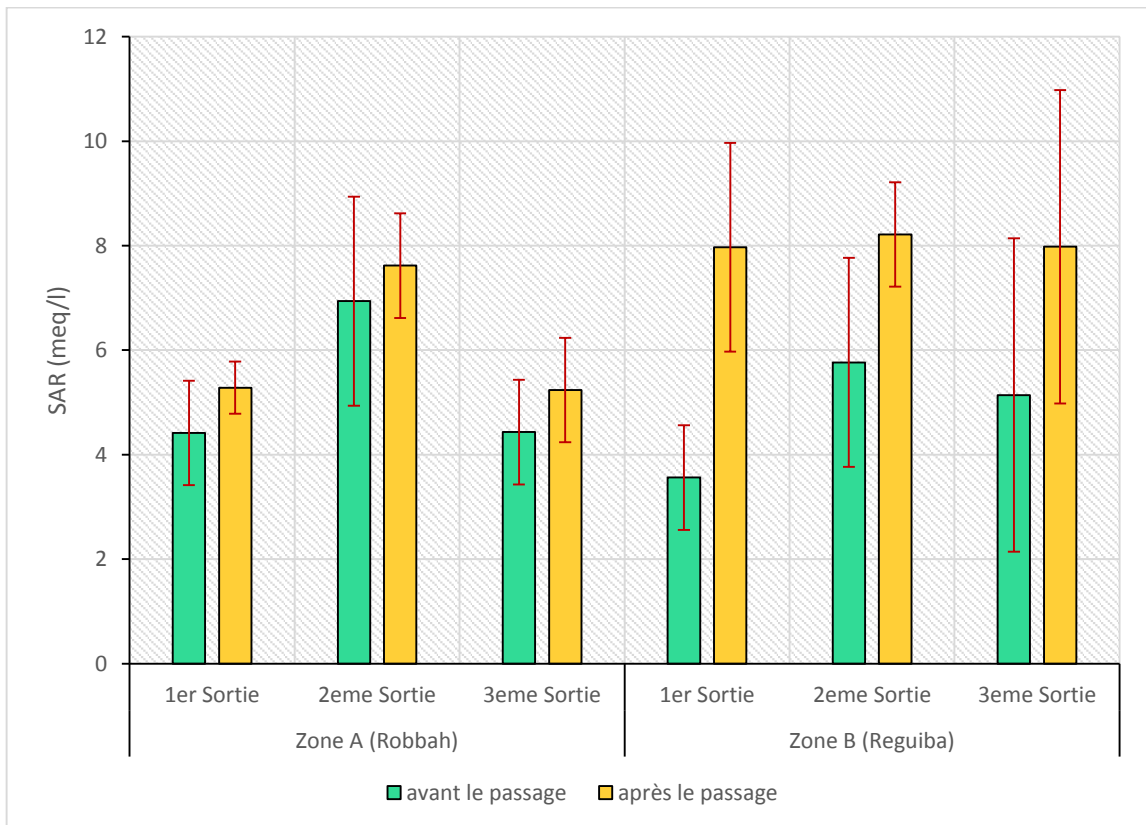
L'analyse des résultats mentionnés dans la figure 20, montre que la valeur moyenne de SAR enregistrée à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage est de 4.42 meq/l dans les eaux avant le passage de la zone (A) et de 5.28 meq/l dans les eaux après leur passage de cette zone, et elle est d'ordre de 3.56 meq/l dans les eaux avant le passage et de 7.97 meq/l dans les eaux après leur passage de la zone agricole (B).

À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, la valeur moyenne enregistrée est de 6.94 meq/l dans les eaux avant le passage et de 7.62 meq/l dans les eaux après leur passage de la zone d'activité agricole (A), et elle est d'ordre de 5.77 meq/l dans les eaux avant le passage et de

8.22 meq/l dans les eaux après leur passage de la zone d'activité agricole (B). À la 3<sup>ème</sup> campagne la valeur de 4.43 meq/l a été enregistrée dans les eaux avant le passage de la zone d'activité agricole et de 5.24 meq/l a été enregistrée dans les eaux après leur passage pour la zone expérimentale (A) et la valeur de 5.14 meq/l a été enregistrée dans les eaux avant le passage et de 7.98 meq/l a été enregistrée dans les eaux après leur passage pour la zone expérimentale (B)

Les résultats des analyses statistiques relatifs aux valeurs du SAR dans les eaux analysées montrent globalement :

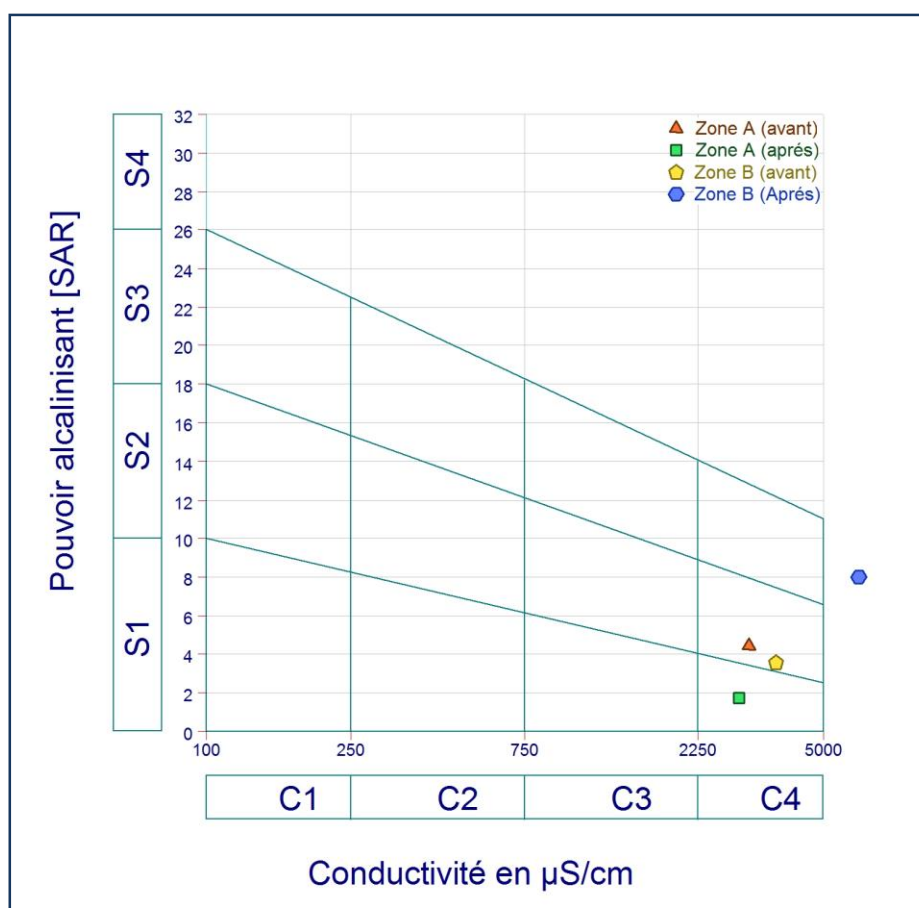
- ✓ Des différences non significatives entre les deux sites.
- ✓ Des différences significatives entre les trois campagnes d'échantillonnage.



**Figure 20 :** Variation du taux de (SAR) dans les eaux analysées

La classification des eaux d'irrigation, tient compte des conditions d'utilisation de ces eaux et des caractéristiques du sol telle que le taux d'infiltration, le drainage ainsi la tolérance des cultures (Durand, 1983). Le diagramme de l'USSSL (1954) modifier par Durand (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité s'avère le plus pratique pour les eaux Algériennes (Annexe II). Ce diagramme se base sur le paramètre de salinité de l'eau (CE à 25°C) et le danger d'alcalinisation des sols exprimé par le SAR.

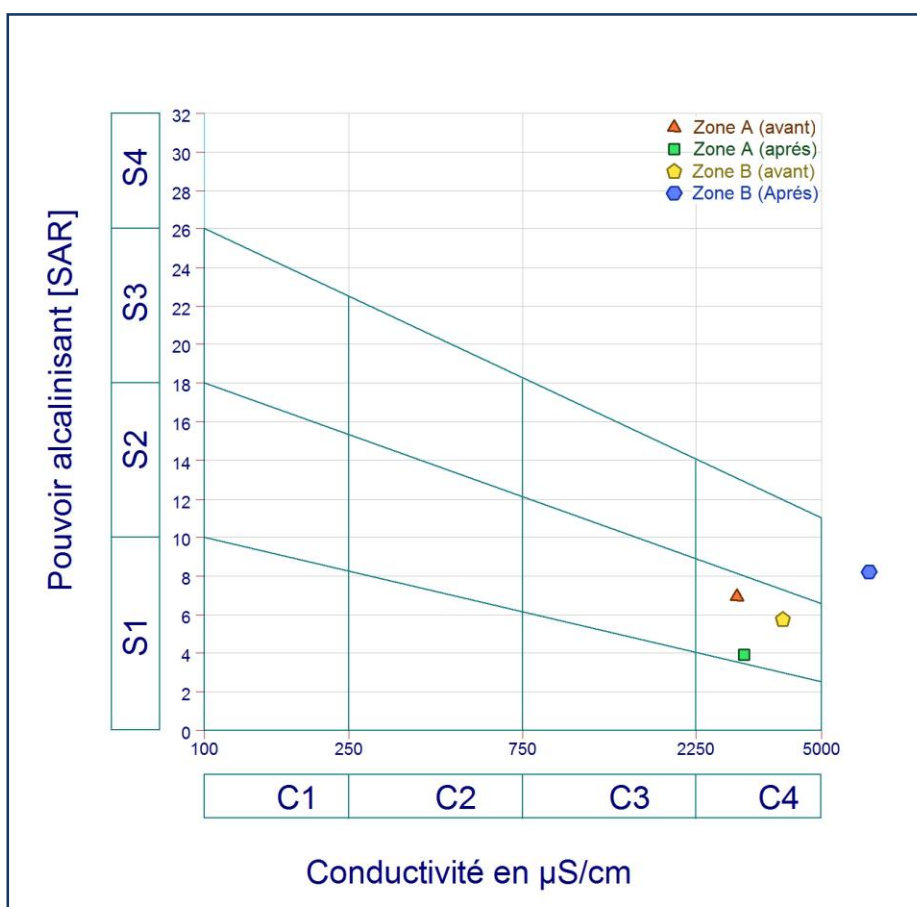
La classification des eaux d'irrigation aux niveaux des différents sites de prélèvement pour la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage est présentée dans les figures 21, 22 et 23 respectivement. Les résultats du classement de l'ensemble des points d'eau sont présentés dans les tableaux 10, 11 et 12.



**Figure 21 :** Classification des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958).

**Tableau 10** : Classes des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage.

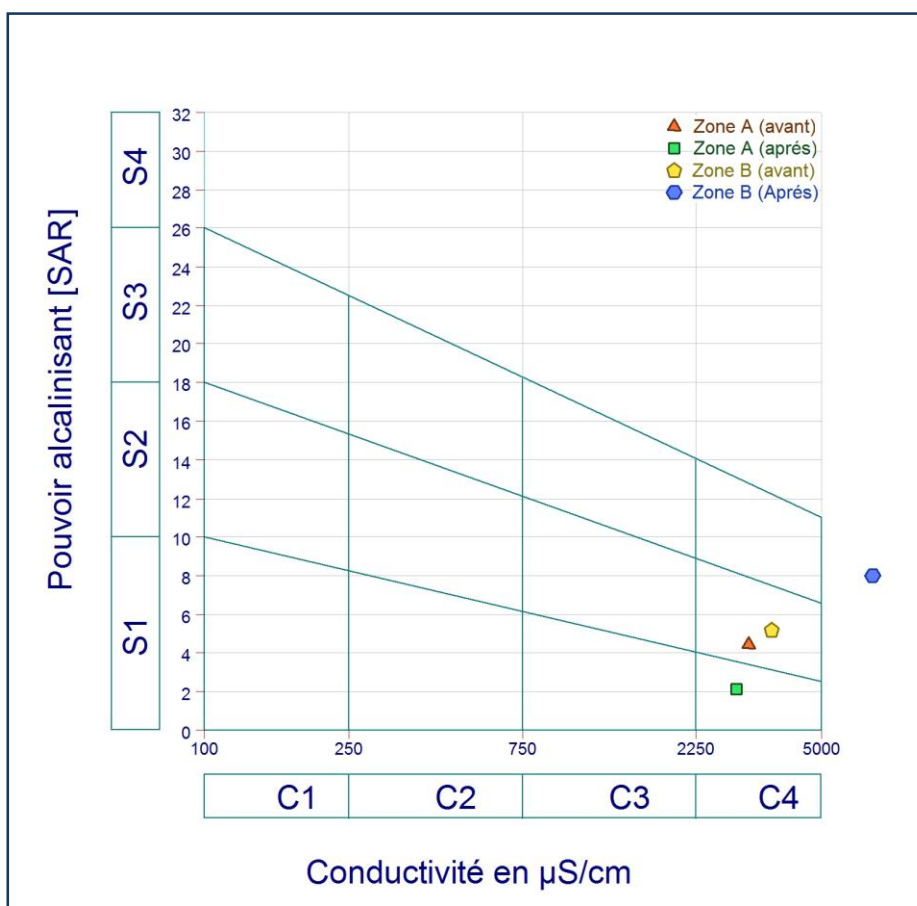
<i>Site de prélèvement</i>	<i>Classe</i>
Avant passage zone (A)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Après passage zone (A)	C <sub>4</sub> -S <sub>1</sub>
Avant passage zone (B)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Après passage zone (B)	C <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>



**Figure 22** : Classification des eaux analysées à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958).

**Tableau 11** : Classes des eaux analysées à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage.

<i>Site de prélèvement</i>	<i>Classe</i>
Avant passage zone (A)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Après passage zone (A)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Avant passage zone (B)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Après passage zone (B)	C <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>



**Figure 23** : Classification des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958).

**Tableau 12** : Classes des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage.

<i>Site de prélèvement</i>	<i>Classe</i>
Avant passage zone (A)	C <sub>4</sub> -S <sub>1</sub>
Après passage zone (A)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Avant passage zone (B)	C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>
Après passage zone (B)	C <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>

### Discussion générale

Les résultats obtenus montrent que les paramètres physico-chimiques (NO<sub>3</sub><sup>-2</sup> et PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) subissent des fluctuations significatives à la fois au cours du temps (période d'échantillonnage), ainsi, qu'en fonction du site de prélèvement (avant ou après le passage de zone agricole) et ceci au niveau des eaux analysées des deux zones d'étude.

L'augmentation significative des teneurs en nitrates à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage par rapport à la 1<sup>ère</sup> campagne au niveau des eaux après leur passage des zones d'activité agricole (A et B), peut-être dû au lessivage des fertilisants (engrais minéraux ou organiques) utilisés par les agriculteurs au début de 1<sup>ère</sup> saison agricole. En fait, contrairement aux ions ammoniums (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), les ions nitrates sont très mobiles dans le sol et étant chargées négativement ; ces ions ne sont pas retenues par le complexe argilo-humique, ce qui favorise leur lessivage et augmente le risque de la pollution des eaux profondes par les nitrates (Ibnoussina, 2006).

De même, la variation temporelle de la teneur des ions orthophosphatés des eaux étudiées montre une augmentation significative à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage au niveau des eaux après leur passage des zones expérimentales (A et B). Cette augmentation peut être dû à la lixiviation des ions orthophosphatés contenus dans les intrants agrochimiques utilisés par les agriculteurs vers les couches profondes du sol, ce qui a influé probablement sur la composition chimique des eaux.

L'augmentation du risque de la pollution par les nitrates et par les autres éléments chimiques se trouve accentuer par le système d'irrigation adopté par les agriculteurs de la région d'étude. En fait, la majorité agriculteurs utilise l'irrigation par aspersion (sous pivot).

Par ailleurs, la texture sableuse trop filtrante favorise d'avantage la dynamique des nitrates vers les eaux souterraines.

D'autre part, le bas niveau de nappe phréatique dans la région d'étude est en mesure d'accélérer le lessivage des nitrates et d'autres éléments chimiques solubles provenant soit de la fertilisation minérale ou organique (fumier).

Dans ce cadre, Boutin (1987) a mentionné que l'eau d'une nappe phréatique est d'autant plus vulnérable à la pollution que le sommet de la nappe est proche de la surface du sol, que les terrains qui surmontent l'aquifère sont perméables et que les sources superficielles de pollution sont importantes.

Quant à la salinité des eaux, qui a été déterminée par la conductivité électrique, ce paramètre a montré un effet significatif seulement pour le temps d'échantillonnage. En outre, les valeurs les plus élevées de CE ont été enregistrées à la fin de la campagne agricole (3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage). Ce qui est peut être expliqué par la concentration des sels au niveau des eaux profondes en ce moment d'échantillonnage à cause de température levée de ce moins (Mai).

Toutefois, pour le pH aucune différence significative a été enregistrée ni pour le site de prélèvement, ni pour du temps de prélèvement. Ce qui montre la campagne d'échantillonnage n'a aucune influence sur le pH des eaux analysées.

L'absence d'une différence significative entre la valeur de pH et de la CE au niveau des eaux analysée avant et après leur passage de la zone agricole, nous a permis de conclure que sous nos conditions expérimentales, l'activité agricole n'a aucun effet ni sur le pH, ni sur la CE des eaux étudiées.

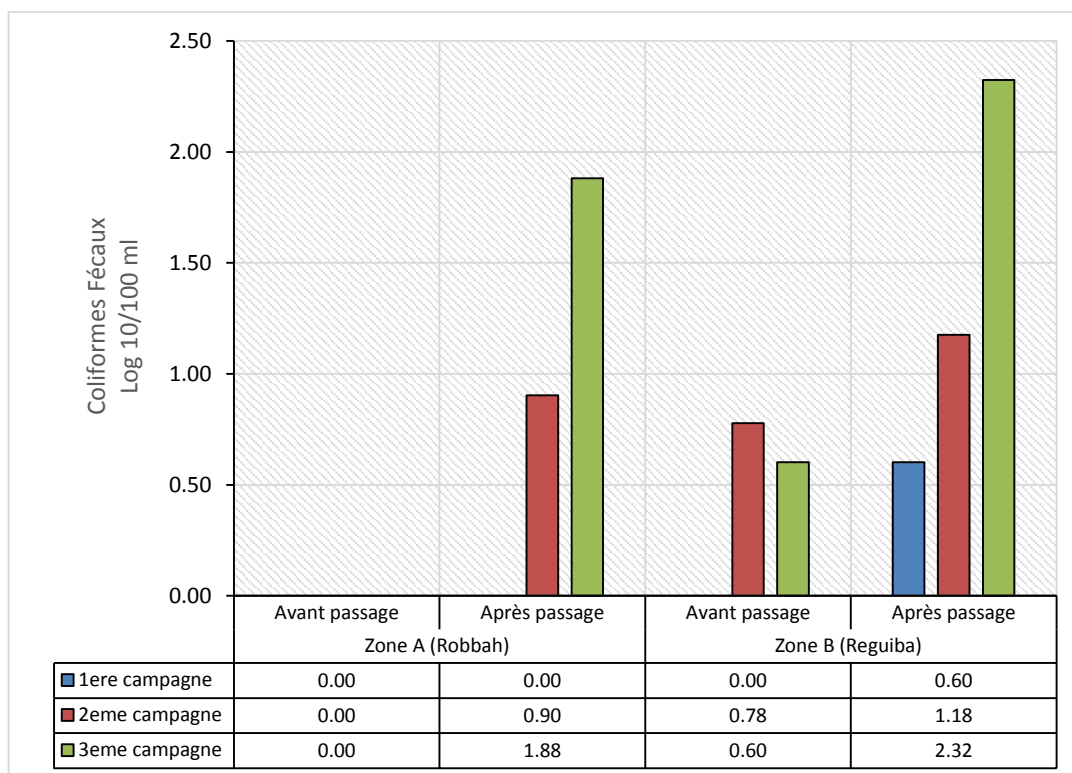
Par ailleurs, d'après le système de classification des eaux de RIVERSIDE (1954), (modifier par Durand, 1958) les eaux analysées des quatre sites étudiées sont alcalines (SAR élevés) et très fortement salines (CE très élevées). De ce fait, l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation nécessite de très grandes précautions et des aménagements spéciaux notamment en ce qui concerne le bon choix de système d'irrigation.

Toutefois, leur utilisation reste encore possible grâce à la texture sableuse très filtrante qui caractérise la région d'étude, ce qui est en mesure d'assurer un bon lessivage des sels en excès et par conséquent de limiter le risque d'accumulation des sels en surface.

## 2. Qualité microbiologique des eaux analysées

L'analyse microbiologique des eaux analysées au niveau des différents sites d'étude montre que ces eaux ont été le sujet d'une forte contamination bactériologique. La contamination fécale a été avérée par la présence des coliformes fécaux, streptocoques fécaux.

### 2.1. Variation de concentration des coliformes fécaux dans les eaux analysées



**Figure 24 :** Variation de concentration des coliformes fécaux dans les eaux analysées.

La numération des coliformes fécaux montre que les eaux analysées de deux sites (après passage de zone A, B) montrent les signes d'une contamination fécale par les coliformes fécaux, qui ont été beaucoup plus observés au cours de la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage par rapport aux autres campagnes (Figure 24).

En fait, à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage, aucune contamination par les coliformes fécaux a été enregistrée dans les eaux analysées dans la zone d'activité agricole (A) (quelle qu'elle soit avant ou après le passage), aussi aucune contamination par ce germe a été enregistré dans les eaux avant leur passage de zone (B), mais une concentration de 0.6 log<sub>10</sub>/100 ml a été enregistré dans les eaux après leur passage de cette zone.

À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage aucune contamination par les coliformes fécaux a été enregistré dans les eaux analysée avant le passage de zone d'activité agricole (A) et une concentration de 0.78 log<sub>10</sub>/100 ml a été enregistré dans les eaux après leur passage de cette zone. Pour la zone expérimentale (B) une concentration de 0.78 log<sub>10</sub>/100 ml a été enregistré dans les eaux avant leur passage. Tandis que, leur concentration dans les eaux après leur passage est 1.18 log<sub>10</sub>/100 ml.

Au cours de la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, toujours aucune contamination a été enregistré dans les eaux avant leur passage de zone (A), mais une concentration de 1.88 log<sub>10</sub>/100 ml a été enregistré dans les eaux après leur passage de cette zone. En ce qui concerne la zone expérimentale (B) la concentration de coliformes fécaux dans les eaux après le passage du zone agricole est 2.32 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis que la concentration initiale de ce germe dans les eaux avant le passage est 0.60 log<sub>10</sub>/100 ml.

L'analyse de la variance relative aux résultats des coliformes fécaux indiquent un effet significatif du site et du temps d'échantillonnage sur leur concentration dans les eaux analysées.

## 2.2. Variation de concentration des streptocoques fécaux dans les eaux analysées

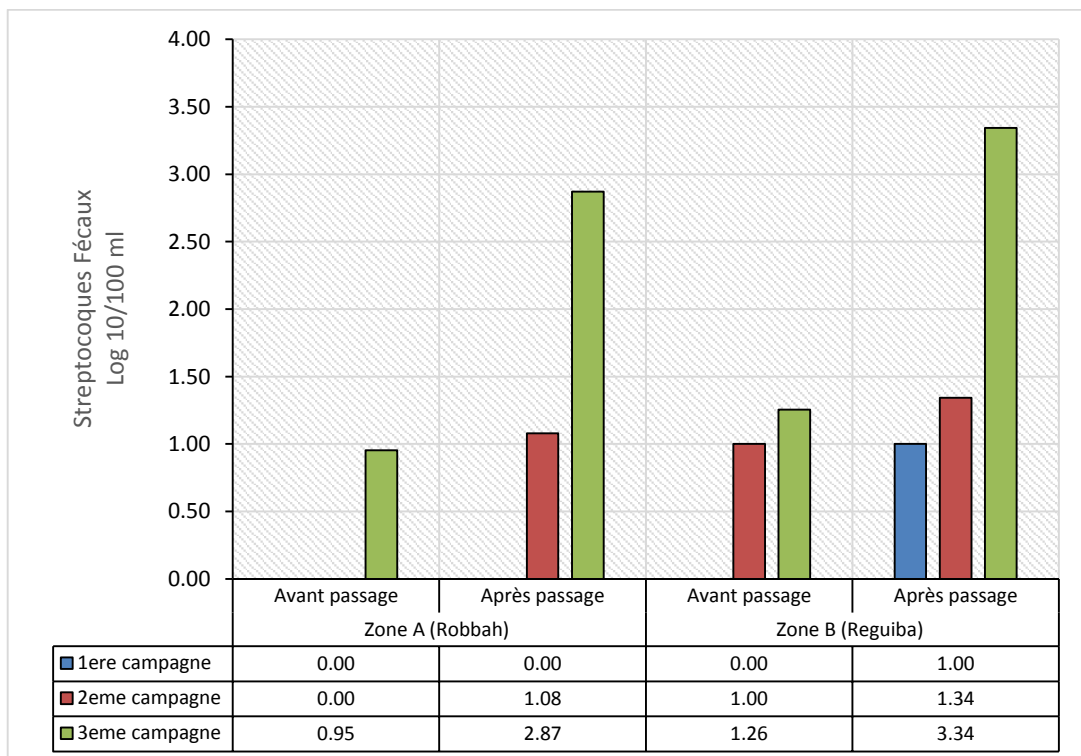


Figure 25 : Variation de concentration des streptocoques fécaux dans les eaux analysées.

Quant aux streptocoques fécaux, à la première campagne d'échantillonnage, aucune contamination n'a été enregistrée dans les eaux analysées dans la zone expérimentale (A) (quelle qu'elle soit avant ou après leur passage). Pour la zone (B), les résultats obtenus montrent une concentration de  $1.00 \log_{10}/100 \text{ ml}$  enregistrée au niveau des eaux après le passage. Tandis qu'aucune contamination par ce type de bactérie n'a été observée au niveau des eaux avant le passage de cette zone. (Figure 25)

À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, les résultats obtenus montrent une concentration de  $1.08 \log_{10}/100 \text{ ml}$  enregistrée au niveau des eaux après le passage de zone (A). Tandis qu'aucune contamination par ce type de bactérie n'a été observée au niveau des eaux avant le passage de cette zone. En ce qui concerne la zone expérimentale (B), la concentration de streptocoques fécaux dans les eaux analysées est  $1.00$  et  $1.34 \log_{10}/100 \text{ ml}$  respectivement pour le site avant et après le passage.

À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, une augmentation de la concentration en streptocoques fécaux au niveau des eaux analysées a été enregistrée. Elle atteint le  $0.95 \log_{10}/100 \text{ ml}$  dans les eaux avant le passage de la zone agricole (A), et le  $2.87 \log_{10}/100 \text{ ml}$  au niveau des eaux après leur passage. En ce qui concerne la zone (B) la concentration de streptocoques fécaux est  $1.26 \log_{10}/100 \text{ ml}$  dans les eaux avant le passage, et atteint la valeur  $3.34 \log_{10}/100 \text{ ml}$  au niveau des eaux après le passage de cette zone.

Comme il est le cas de types bactériens précédents (coliformes fécaux), l'analyse de la variance relative aux résultats des streptocoques fécaux, indique un effet significatif du site et du temps d'échantillonnage sur leur concentration dans les eaux analysées.

Enfin, il est à mentionner que la présence de streptocoques fécaux dans les eaux analysées indique une contamination fécale récente.

### **Discussion générale**

Les résultats obtenus montrent que la présence des polluants de la contamination fécale (Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux), subissent d'amples fluctuations temporelles au niveau des eaux analysées.

En fait, l'augmentation de la concentration d'indicateurs de contamination fécale à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage au niveau des eaux analysées, peut être expliquée par le transfert des microorganismes avec l'infiltration des eaux de la surface du sol vers les eaux

souterraines. Cette situation peut être liée d'une part, à l'application des doses élevées du fumier à l'état frais par les agriculteurs de la région d'étude au début de campagne agricole, ainsi qu'à la texture sableuse trop perméable qui favorise d'avantage le transfert des microorganismes et la contamination fécale d'autre part (MEHDA, 2014).

Ces résultats rejoignent ceux de BRIDGMAN *et al.* (1995), qui montre que l'utilisation du fumier comme fertilisants, contribue à la pollution des eaux souterraines.

D'après COYNE et HOWELM (1994), l'application des doses élevées en fumiers supérieures aux besoins des plantes, au début de campagne agricole, peut contaminer la nappe phréatique en entraînant avec eux des microorganismes pathogènes lors de l'irrigation.

La quantification de la flore de contamination fécale, nous a permis de suivre l'évolution du rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux au niveau des eaux après leurs passage des zone agricole étudiés. Ce rapport est de l'ordre de 0.00 et 0.33 pour la zone (A) et (B) respectivement à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage. Quant à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, ce rapport est de l'ordre de 0.63, 0.66 pour la zone (A) et (B) respectivement. Enfin de la période expérimentale (3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage), les rapports enregistrés sont de l'ordre de 0.10, 0.09 pour la zone (A) et (B) respectivement.

Les rapports trouvés restent toujours inférieurs à 1 ; ce qui indique l'origine animale de ce type de pollution (Fertilisant organique d'origine animale).

---

## Conclusion et recommandations

---

A la lumière des résultats obtenus par le suivi des paramètres physicochimiques et microbiologique mesurés au niveau des eaux souterraines de zone d'étude, on constate une dégradation de la qualité des eaux souterraines particulièrement au niveau de la zone soumise à une activité agricole intensive.

Les résultats obtenus montrent que les plus importants indicateurs de la pollution d'eau (teneur en nitrates et en germes pathogènes) diffèrent significativement en fonction à la fois du site de prélèvement (avant, après passage) et de période d'échantillonnage (1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> campagne).

Par ailleurs, les teneurs les plus élevées en nitrates ont été enregistrées à la fin de la période de suivi avec une teneur de 146.66 mg/l, alors que la teneur la plus élevée en streptocoques fécaux a été enregistrée pendant la fin de la période de suivi (fin de campagne agricole) avec une valeur de 3.34 log<sub>10</sub>/100 ml

La présence des indicateurs de pollution nitrique et de la contamination fécale au niveau des eaux analysées au niveau de la zone d'étude peut être liée d'une part, à la nature sableuse de sol et au bas niveau de la nappe d'autre part, ce qui en mesure d'accentuer le processus de pollution.

Par ailleurs, le système d'irrigation adopté dans la région d'étude (irrigation par aspersion) contribue efficacement à aggraver la situation et augmenter la vulnérabilité des eaux à la pollution nitrique.

En ce qui concerne les analyses bactériologiques, les résultats obtenus montrent que les eaux analysées ont des indicateurs de pollution fécale d'origine agricole (pollution récent indiqué par la présence des streptocoques fécaux).

De ce fait, la préservation des ressources hydriques devient donc impérative devant la dégradation de ces écosystèmes aquatiques et exige le fractionnement des apports en fertilisants ce qui permet de mieux les adapter aux besoins des végétaux lors de leur croissance et de diminuer le risque de lessivage d'un stock en nutriments temporairement non utilisé.

Par ailleurs, une gestion rationnelle de l'irrigation telle que la maîtrise des fréquences et des doses de l'irrigation en fonction de l'espèce végétale, ainsi que l'introduction de nouvelles techniques d'irrigation notamment l'irrigation localisée (goutte à goutte) est vivement recommandée pour économiser l'eau et préserver sa qualité.

Enfin, l'utilisation des techniques agronomiques de lutte contre la pollution microbiologique notamment le procédé de compostage de fumiers est très recommandé à fin de minimiser le risque de la pollution fécale des eaux souterraines.

### Références Bibliographiques

- Adriano D.C., 2001:** Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2nd Edition, Springer Verlag. 867p.
- Amara Anis, 2013 :** Evaluation de la toxicité de pesticides sur quatre niveaux trophiques marins : microalgues, échinoderme, bivalves et poisson ; Thèse De Doctorat En Cotutelle Entre L'université De Tunis El-Manar Et L'université De Bretagne Occidentale ; p163.
- ANRH, 2005 :** inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El Oued. La Direction régionale Ouargla. Algérie 17p.
- Atteia Olivier, 2005 :** chimie et pollutions des eaux souterraines ; Ed. TEC & DOC ; Paris ; 398p
- Baba Ahmed Abderrazzak, 2012 :** Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans des céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux Usées de la ville de hammam boughrara ; Thèse Doctorat ; Université Abou Bekr Belkaid ; Tlemcen. p200.
- Baptendier Evelyne 1994 :** Apports diffus de phosphore d'origine agricole ; Définitions, formes et biodisponibilité, conditions d'extrapolation des pertes des sols vers le Léman ; Rapp. Comm. int. port. eaux Léman conire pollua., Compagne 1993.1994, 269-281
- Beaudin Isabelle, 2006 :** La mobilité du phosphore ; Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. p137.
- Beggas Y., 1992 :** Contribution à l'étude bioécologique des peuplements orthoptérologiques dans la région d'El Oued – régime alimentaire d'Ochrilidiatibilis. Mémoire Ing. Agro., Insti. nati. Agro. El Harrach, 53p.
- Bermond R., Vuichaard R., 1973 :** Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179p.
- BNEDER, 1999 :** Plan de développement des régions sahariennes, Alger, 47 p.
- Bouchahm Nora et Achour Samia, 2008 :** Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien- Identification d'un risque de fluorose endémique ; LA HOUILLE BLANCHE/N° 02-2008 ; 76-82
- Boulier Florent, 2011 :** Retour d'expérience des opérations de lutte contre la pollution diffuse d'origine agricole ; AgroParisTech-ENGREF ; Centre de Montpellier 17p.

- Boutin C., 1987** : L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des Zones rurales du Maroc, *Sci. Eau*, 6 (3) (1987) 357-65.
- Bridgman S. A., Robertson R. M. P., Syed Q., Speed N., Andrews N N. et Hunter P. R., 1995** : Outbreak of Cryptosporidiosis Associated With a Disinfected Groundwater Supply. *Epidemiology and Infection*, 115 (3) (1995) 555-566.
- CARNEVALE Estelle, FREI Anna, GARCIA Daniel, COPPEL Gregory, 2006** : Impacts des activités et des intrants agricoles (engrais, pesticides, déchets, etc.) sur les eaux situées en aval des exploitations ; Haute école de gestion de Genève. 14p
- Castillon P., Fardeau J.C. et Villemin P., 1993**: Formes d'engrais: tous les phosphates n'ont pas la même efficacité. Dossier " la fertilisation P-K, Raisonner pour agir" N° 181, 37-38.
- Claude F., Christianne F., Paul M., Jean D., 1998** : Ecologie : Approche scientifique et pratique, 4<sup>ème</sup> Edition, Lavoisier TEC and DOC, Paris.
- Coyne M. S. et Howell J. M., 1994**: Agricultural Impacts on Fecal Contamination of Shallow Groundwaters in the Bluegrass Region of Kentucky, *Soil Science News and Views*, 15 (6) (1994) 1-3.
- Crane S.R., Moore J.A., Grismer M.E. and Rimer J.R., 1983**: Bacterial pollution from agricultural sources : a review. *Transactions of the ASAE*. p. 858-866.
- Cunliffe D., Smart C.A., Alexander C. and Vulfson E.N., 1999**: Bacterial adhesion at synthetic surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. n°V, 65(11), p. 4995-5002.
- Douez O., Ehret X. et Kaczmaryk A., 2011** : - CPER 2007-2013 - Réseau régional de suivi de la qualité des nappes en 2010. Rapport BRGM RP -559942- FR, 97 p., 72 ill.
- DREW, 2007** : Bulletin d'information hydraulique -Ed. direction des ressources en eau de la Wilaya d'El-Oued 22 p.
- Dubief J., 1963** : Le climat du Sahara. Mém. Hors série. instituts de recherches Sahariennes, 2, Université d'Alger.275p.
- Durand J H., 1958** : Recherche sur les sels apportés au sol par les pluies. Travaux des sections pédologie et agricole. Bull n° 5, SES, Birmouradrais
- Durand J.H., 1983**: Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p.
- Dussart B., 1966** : Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier Villars, Ed., Paris.

- Edwards D.R., Larson B.T. and Lim T.T., 2000:** Runoff nutrient and fecal coliform content from cattle manure application to fescue plots. *Journal of the American Water Resources Association*. 36(4), p. 711-721.
- El Blidi S., Fekhaoui M., 2003 :** Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, 25 : 57–65.
- FAO, 2005 :** Rapports Sur L'eau ; L'irrigation en Afrique en chiffres ; Enquête AQUASTAT ; 637p.
- Faurie C., Ferra C. et Medori P., 1980 :** Ecologie ; Ed. Baillière, Paris, 168p.
- Frossard, E., Julien p., Neyroud J.-A. et Sinaj S., 2004 :** Le phosphore dans les sols - État de la situation en Suisse. Le phosphore dans les sols, les engrais, les cultures et l'environnement. Cahier de l'environnement n° 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP), Berne, Suisse.180 p.
- Ghazali D. et Zaid A., 2013:** Etude De La Qualité Physico-chimique Et Bactériologique Des Eaux De La Source Ain Salama-Jerri (Région De Meknes –Maroc);*Larhyss Journal*, 12 (2013), 25-36.
- Hillisse, 2007 :** Encyclopédie des plantes de la région d'Oued Souf Ed. El-Walide ; El-Oued ; 302p.
- Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bourchic H., El Mmaroufy M., Benazzout T., Hasnaoui M., 2003 :**Relazioneplankton-parametrifisicichimici in un bacinodimaturazione (lagunamista Beni Slimane – Morocco. *Rivista Di Idrobiologia*. *Universitadegli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia "G.B. Grassi"*, 110–111p.
- Ibnoussina M'hammed, Mohamed El Haroui, Abdellatif Maslouhi, 2006 :** Expérimentation et modélisation de la lixiviation de l'azote nitrique dans un sol sableux ; *C. R. Geoscience*, 338 (2006), 787–794
- ISO, 1989 :** Qualité de l'eau. Dosage de la somme du Calcium et du magnésium. Méthode titrimétrique à la l'EDTA. NA752, ISO 6059. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 5 p.
- ISO, 1990 :** Qualité de l'eau. Dosage de l'ammonium. Méthode par distillation et titrimétrie. NA 1848, ISO 5664. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 3 p.
- ISO, 1990 :** Qualité de l'eau. Dosage du sodium et du potassium. Méthode par spectromètre d'émission à flamme. NA 1653, ISO 9964-3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.

- ISO, 1994** : Qualité de l'eau. Dosage des nitrates. Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique. NA 1656, ISO 7890/3, Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.
- ISO, 1994** : Qualité de l'eau. Dosage des nitrites. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire. NA 1657, ISO 6777. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.
- ISO, 1994** : Qualité de l'eau. Dosage du phosphore par méthode spectrométrique à l'aide du molybdate d'ammonium. NA 2364, ISO 6878/1. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 20 p.
- Kettab Ahmed, 2001** : Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision ; Desalination 136 (2001) 25-33
- khadraoui A., 2005** : Eaux et sols en Algérie: gestion et impact sur l'environnement. Recueil de communications, Ouargla, 391p.
- Ladjel S., 2009** : Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage T 7. Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi Ouzou, 101 p.
- Laurent François, 2013** : Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Thèse, Université du Maine, 214p.
- Loucif Seiad N., 2003** : Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie ; Revue H.T.E. N° 125 ; Mars 2003 ; 94-101
- MEHDA Smail, 2014** : Evaluation du risque de la contamination physico-chimique et biologique des eaux souterraines par les polluants d'origine agricole dans la région d'El Oued ; Thèse magister ; UKM Ouargla. 81p
- Merhi Maysaloun, 2008** : Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin ; Thèse doctorat ; Université De Toulouse ; p139.
- Molénat J., Dorioz J.M., Gascuel C. et Gruau G., 2011** : Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert ; Territ'Eau - Agro-Transfert Bretagne - version du 28/12/2011 ; 9p.
- Mulliss R.M, Revitt D.M., Shutes R.B.E., 1997** : The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. Water Sci. Technol., 36, 195-199.
- Mustin M., 1987** : Le Compost ; Gestion de la matière organique ; Edition François Dubuse 954p.
- Nadjah A., 1971** : Le Souf des oasis. Ed. maison livres, Alger, 174p.

- Natsh A., Keel C., Troxler J., Zala M., Von Albertini N. and Defalco G., 1996:** Importance of preferential flow and soil management in vertical transport of a biocontrol strain of *Pseudomonas fluorescens* in structured field soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(1), p. 33-40.
- Nechad I., El Harchli E. et Fadil F., 2014 :** Caractérisation physico-chimique des eaux de la source Tataw à Imouzzer Marmoucha (Maroc) ; Science Lib Editions Mersenne : Volume 6, N° 140103
- OCDE., 2004 :** Agriculture et environnement: enseignements tirés de dix ans (1993-2003) des travaux de l'OCDE.
- Pouëssel Pierre, 2003 :** Guide de l'eau potable, Ministre de la sante, de la famille et des personnes handicapées ; France 103p.
- Ramade F., 2003 :** Eléments d'écologie- écologie fondamentale ; Ed. Dunod, Paris, 689 p.
- Rico André, 2000 :** Pollutions et pratiques agricoles. Deux concepts : dose journalière admissible et chimiodéfense ; C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie ; Life Sciences 323 (2000) 435-440
- Rodier Jean, Legube Bernard, Merlet Nicole et coll , 2009 :** L'analyse de l'eau, 9<sup>e</sup> édition ; Ed. Dunod, Paris, 1526p.
- SADEF, 2008 :** Rapport d'analyse de terre n° T-00451-08 (0) ; SADEF : laboratoire agréé par le Ministère de l'Agriculture français toutes options - Membre du GEMAS ; 2p.
- Saker Mohamed Lakhdar, Daddi Bouhoun Mustapha, Boutoutaou Djamel et Ould El Hadj Mohamed Didi, 2013 :** Gestion Des Potentialités Hydriques En Régions Sahariennes ; Algérien Journal of Arid Environment ; vol. 3, n° 2, Décembre 2013: 96-102
- Testud F., 2004 :** Engrais minéraux ; EMC-Toxicologie Pathologie 1 (2004), 21-28
- TUTIEMPO, 2017 :** [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)
- UNESCO, 1972 :** étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 78p.
- Vansteelant Jean-Yves, 2004 :** Évaluation des risques de contaminations microbiologiques liés aux épandages de matières organiques sur prairies de montagne ; Thèse De Doctorat De L'université De Savoie ; p166.

- Vilain M., 1989** : La production végétale. Vol 2: la maitrise de technique de la production. ED. Lavoisier (ed.J. Bailliére).Paris- France.
- Voisin P., 2004** : Le Souf ; Ed. El-Walide ; El-Oued ;319p.
- Ziegler D., et Hedit M., 1991** : Engrais de ferme : Valeur fertilisante, gestion, environnement. Rapport ITP, ITCF, ITEB, 35p.

## Annexe I

## Résultats des analyses du sol de la région d'Oued Souf (SADEF, 2008)

Caractéristiques		résultats
granulo	Sable grossier (%)	1,7
	Sable fin (%)	97,5
	Argile et limon (%)	0,8
pH		8,1
Conductivité à 20 °C		0,29 mS/cm
Calcaire total		10,90%
CEC au pH du sol		13 mé/kg
Matière organique		0,28 g/kg
Carbone organique		0,16 g/kg
Phosphore (P)		0,02 g/kg
Potassium(K)		0,05 g/kg
Magnésium(Mg)		0,05 g/kg
Calcium(Ca)		5,98 g/kg
Sodium (Na)		0,02 g/kg

Fig : Carte piézométrique de nappe phréatique de la région d'Oued Souf (ONA, 2010)

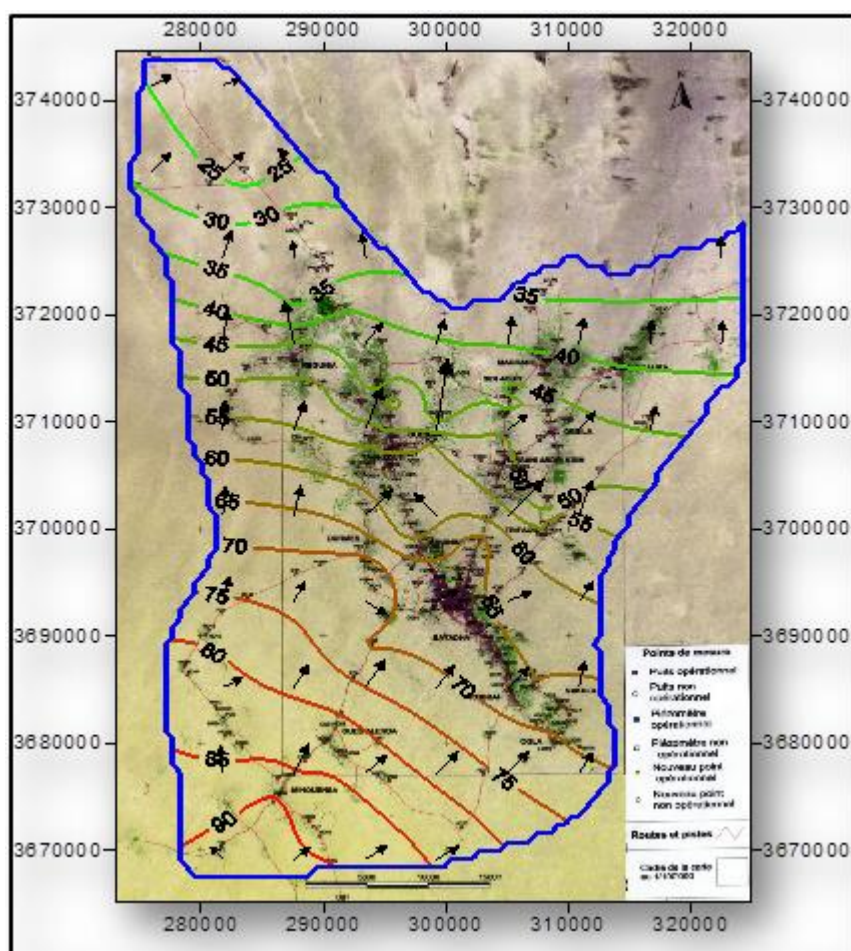


Tableau : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux analysées

N° échantillon			Anions												Cations								Σ anions	Σ cations	% Erreur	pH	CE (µs/cm)	SAR		
			PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Na <sup>+</sup>								K <sup>+</sup>	
			[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ] mg/l	[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ] ] meq	[NO <sub>3</sub> ] mg/l	[NO <sub>3</sub> ] meq	[NO <sub>2</sub> ] mg/l	[NO <sub>2</sub> ] ] meq	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] mg/l	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] ] meq	[Cl <sup>-</sup> ] mg/l	[Cl <sup>-</sup> ] meq	[HCO <sub>3</sub> ] mg/l	[HCO <sub>3</sub> ] meq	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] mg/l	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] meq	[Ca <sup>2+</sup> ] mg/l	[Ca <sup>2+</sup> ] meq	[Mg <sup>2+</sup> ] mg/l	[Mg <sup>2+</sup> ] meq	[Na <sup>+</sup> ] mg/l	[Na <sup>+</sup> ] meq							[K <sup>+</sup> ] mg/l	[K <sup>+</sup> ] meq
1 <sup>er</sup> campagne	Zone A (Robbah)	Avant	0,50	0,02	11,35	0,18	0,02	0,00	1845,00	38,44	115,22	3,25	173,24	2,84	0,07	0,00	464,93	23,20	94,79	7,90	400,46	17,41	32,71	0,84	44,73	49,35	-4,92	7,98	3100	4,42
		Après	0,57	0,02	17,28	0,28	0,02	0,00	1325,00	27,60	76,22	2,15	109,80	1,80	0,00	0,00	404,81	20,20	85,07	7,09	448,74	19,51	22,95	0,59	31,85	47,39	-19,61	8,18	2900	5,28
	Zone B (Reguiba)	Avant	0,48	0,02	15,79	0,25	0,01	0,00	2138,00	44,54	90,41	2,55	122,00	2,00	0,03	0,00	420,84	21,00	123,96	10,33	324,18	14,09	40,17	1,03	49,36	46,46	3,03	8,01	3600	3,56
		Après	0,55	0,02	16,60	0,27	0,08	0,00	2911,00	60,65	200,31	5,65	223,26	3,66	0,30	0,02	424,85	21,20	172,57	14,38	773,27	33,62	91,81	2,35	70,24	71,57	-0,94	8,00	6200	7,97
2 <sup>ème</sup> campagne	Zone A (Robbah)	Avant	0,23	0,01	13,84	0,22	0,02	0,00	2068,00	43,08	264,12	7,45	85,40	1,40	0,00	0,00	420,84	21,00	38,89	3,24	555,56	24,15	32,55	0,83	52,16	49,23	2,89	7,42	2932	6,94
		Après	1,15	0,04	15,46	0,25	0,03	0,00	1584,00	33,00	249,94	7,05	97,60	1,60	0,00	0,00	440,88	22,00	34,03	2,84	617,46	26,85	32,55	0,83	41,94	52,52	-11,20	7,82	3055	7,62
	Zone B (Reguiba)	Avant	0,38	0,01	16,64	0,27	0,01	0,00	2207,00	45,98	218,04	6,15	128,10	2,10	0,03	0,00	400,80	20,00	109,37	9,11	505,95	22,00	39,06	1,00	54,51	52,12	2,24	7,41	3906	5,77
		Après	2,76	0,09	24,88	0,40	0,11	0,00	3189,00	66,44	479,66	13,53	231,80	3,80	0,14	0,01	537,07	26,80	167,70	13,98	853,18	37,09	84,64	2,17	84,26	80,05	2,56	7,58	6755	8,22
3 <sup>ème</sup> campagne	Zone A (Robbah)	Avant	0,77	0,02	70,22	1,13	0,02	0,00	1997,00	41,60	281,82	7,95	26,84	0,44	0,00	0,00	565,13	28,20	4,86	0,41	385,51	16,76	24,18	0,62	51,15	45,99	5,31	7,52	3143	4,43
		Après	2,65	0,08	97,60	1,57	0,01	0,00	1617,00	33,69	285,48	8,05	63,44	1,04	0,17	0,01	681,36	34,00	24,31	2,03	511,24	22,23	77,37	1,98	44,43	60,25	-15,11	7,33	2900	5,24
	Zone B (Reguiba)	Avant	1,18	0,04	71,76	1,15	0,00	0,00	2268,00	47,25	298,20	8,41	70,76	1,16	0,00	0,00	601,20	30,00	24,31	2,03	473,17	20,57	38,68	0,99	58,01	53,59	3,96	7,46	3637	5,14
		Après	3,47	0,11	83,14	1,34	0,14	0,00	3216,00	67,00	519,98	14,67	104,92	1,72	0,18	0,01	601,20	30,00	255,20	21,27	929,45	40,41	89,46	2,29	84,84	93,98	-5,11	7,21	6916	7,98

## Annexe II

### - Les valeurs guides pour la qualité de l'eau de boisson (OMS)

#### 1. Paramètre chimique

Paramètre	pH	CE	TDS	THt	TAC	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Valeur guide OMS	6,5-8,5	300	500	200	—	250	200	50

Paramètre	F <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fe <sub>tot</sub>	Mn <sub>tot</sub>	Cr (VI)
Valeur guide OMS	1,5	100	150	200	0,5	0,3	0,5	0,05

Exceptés pH, CE (μS/cm), THt et TAC en mg/L (CaCO<sub>3</sub>), toutes les autres unités sont exprimées en mg/L.

#### 2. Paramètre microbiologique

	LIMITES DE QUALITÉ	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ
GERMES REVIVIFIABLES À 22°C		- Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle
GERMES REVIVIFIABLES À 37°C		
COLIFORMES		0 / 100 ml
E-COLI	0 / 100 ml	
ENTÉROCOQUES	0 / 100 ml	
BACTÉRIES SULFITORÉDUCTRICES		0 / 100 ml

- Tableau le nombre le plus probable (NNP) d'après (Rodier et *al.*, 2009)

Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			NPP dans 100 mL
3 tubes de 10 mL	3 tubes de 1 mL	3 tubes de 0,1 mL	
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1 100

### - Les différentes classes des eaux d'irrigation

D'après Durand (1958), la salinité de l'eau permet et déterminer cinq classes d'eau :

Classe	CE à 25°C (dS/m)	utilisation
<b>C1</b>	<b>&lt; 0.25</b>	eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol. une légère lixiviation est nécessaire mais il se produit en irrigation normale sauf en sol peu perméable.
<b>C2</b>	<b>0.25 &lt; CE &lt; 0.75</b>	eaux utilisables avec une légère lixiviation. Les plantes modérément tolérants aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité ;
<b>C3</b>	<b>0.75 &lt; CE &lt; 2.25</b>	eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint même avec un bon drainage des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaire et les plante ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
<b>C4</b>	<b>2.25 &lt; CE &lt; 5</b>	la salinité est qualifiée de très forte cette eau est inutilisable en conditions normales elle n'est autorisée que si en pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes
<b>C5</b>	<b>&gt; 5</b>	cette eau est qualifiée d'inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures du genre palmier dattier.

Les quatre classes de S.A.R distinguées par la classification d'U.S.S.L (1954) in Khadraoui, (2005) sont :

SAR	utilisation
<b>S1</b>	eau faiblement sodique : utilisable pour l'irrigation de presque toutes les classes de sols, avec risque d'alcalinisation minimum. Toutefois à noyaux peuvent accumuler dans leur feuille des quantités de sodium.
<b>S2</b>	eau moyennement sodique : peut présenter un risque d'alcalinisation modérée dans les sols à textures fine (argile) sauf si ces derniers contiennent du gypse utilisable dans les sols grossiers (sableux) ou organiques.
<b>S3</b>	eau fortement sodique : fort risque d'alcalinisation dans la plupart des sols. Précaution particulière nécessaires : bon drainage, abondant lessivage et addition de matières organique. Dans les sols à forte teneur en gypse l'apparition des effets nuisibles du sodium sera retardée. En l'absence de gypse les sols surtout amendes à l'aide de ce dernier ou l'autre produits similaires.
<b>S4</b>	eau très fortement sodique : généralement inutilisable pour l'irrigation excepte à des niveaux de faible ou de moyenne salinité seulement après amendement des sols au gypse ou à d'autres additifs.

## Annexe III

## - Résultats d'analyse de variance pour les paramètres étudiés

## ➤ Le potentiel hydrogène (pH)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
site	1	0.12334	0.12334	43.962	2.43e-05
temps	2	0.10458	0.05229	18.638	0.000209
site:temps	2	0.00324	0.00162	0.578	0.575782
Residuals	12	0.03367	0.00281		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## ➤ La conductivité électrique (CE)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
site	1	140627	140627	1.279	0.280
temps	2	11497476	5748738	52.269	1.19e-06 ***
site:temps	2	204671	102335	0.930	0.421
Residuals	12	1319817	109985		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

➤ Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
site	1	8967	8967	769.25	2.98e-12 ***
temps	2	7462	3731	320.05	3.88e-11 ***
site:temps	2	817	408	35.04	9.77e-06 ***
Residuals	12	140	12		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

➤ L'orthophosphate (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
site	1	0.2112	0.21125	388.01	1.67e-10 ***
temps	2	0.4003	0.20016	367.63	1.71e-11 ***
site:temps	2	0.0977	0.04887	89.75	6.05e-08 ***
Residuals	12	0.0065	0.00054		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## ➤ Le rapport d'adsorption du sodium (SAR)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
site	1	0.5033	0.5033	2.201	0.1637 ***
temps	2	2.3498	1.1749	5.138	0.0244 *
site:temps	2	0.2642	0.1321	0.578	0.5760
Residuals	12	2.7440	0.2287		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**Annexe IV : Photothèque**



**Prélèvement des échantillons**



**Mesure du pH et de la conductivité électrique**



**Mesure de nitrate et l'orthophosphate par spectrophotomètre**



**Analyse microbiologique des eaux**



**Mesure de calcium par titration**



**Mesure des chlorures par titration**

## Résumé

L'agriculture intensive en zones irriguées est l'une des sources de la pollution des eaux dans le Sud d'Algérie. Dans la région d'El-Oued ce type d'agriculture est pour sa part responsable de la pollution des eaux souterraines. En fait, les apports excessifs en intrants agrochimiques et en fumier sont les causes directes de ce type de pollution. Dans ce cadre, cette étude a été réalisée afin d'établir un diagnostic de l'état de la pollution des eaux souterraine dans deux zones d'activité agricole au niveau de la wilaya d'El-Oued (Robbah et Reguiba).

Les résultats obtenus montrent que les plus importants indicateurs de la pollution (teneur en nitrates et en germes pathogènes) diffèrent significativement à la fois en fonction du site de prélèvement et le temps d'échantillonnage. Ces résultats montrent l'importance de la préservation des ressources hydriques contre le risque de la pollution d'origine agricole, ce qui exige une gestion adéquate et une bonne maîtrise de l'emploi des intrants agrochimiques dans cette région.

**Mots clés :** Pollution, eaux souterraines, nitrates, contamination fécale, agriculture.

## ملخص

الزراعة المكثفة في المناطق المسقية هي أحد مصادر تلوث المياه في الجنوب الجزائري. في ولاية الوادي هذا النوع من الزراعة هو أحد العوامل المسؤولة عن تلوث المياه الجوفية. بحيث أن الإفراط في استعمال الكيماويات الزراعية ومن السماد العضوي هي الأسباب المباشرة لهذا النوع من التلوث. في هذا السياق أجريت هذه دراسة التي تهدف لتشخيص حالة تلوث المياه الجوفية في منطقتين فلاحيتين على مستوى ولاية الوادي (الرباح والرقبية).

النتائج المتحصل عليها تشير إلى أن أهم مؤشرات التلوث (النترات والجراثيم) تختلف بشكل كبير من موقع أخذ العينات لموقع آخر، كما تختلف أيضا حسب فترات أخذ العينات. هذه النتائج تدل على وجوب الحفاظ على الموارد المائية من خطر التلوث الناجم عن النشاط الفلاحي الأمر الذي يتطلب الإدارة السليمة والمراقبة الجيدة لاستخدام الكيماويات الزراعية في المنطقة.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث، المياه الجوفية، النترات، التلوث البُرَازي، الزراعة.

## Summary

Intensive agriculture in irrigated areas is considered one of the causes of water pollution in southern of Algeria. At El-Oued wilaya, this kind of agriculture is responsible for groundwater's pollution. In fact, excessive inputs of agrochemical inputs and manure are the direct causes of this kind of pollution. In this framework, this study is carried out in order to establish a diagnosis the state of groundwater pollution in two zones of agricultural activity in El-Oued wilaya (Robbah and Reguiba).

The results of the study show that the most important indicators of pollution (nitrate and pathogenic germ) differ significantly both in terms of the sampling site and the sampling time. Besides, these results illustrate the importance of preserving water resources against the risk of agricultural pollution. Therefore, it requires proper management and control of the use of agrochemical inputs in this region.

**Key words:** Pollution, groundwater, nitrates, fecal contamination, agriculture.