

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

N° d'ordre: .....

N° de série: .....



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

## Magister

Spécialité : Biologie

Option : Eco-pédologie et environnement

Par Mr **MEHDA SMAIL**

## THEME

***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***

Soutenu publiquement le : 27/11/2014

### ***Devant le jury :***

M <sup>r</sup> HAMDI-AÏSSA B.	<i>Professeur</i>	<i>Université d'Ouargla</i>	Président
M <sup>r</sup> HALILAT M <sup>ed</sup> T.	<i>Professeur</i>	<i>Université de Ghardaïa</i>	Promoteur
M <sup>r</sup> CHELOUFI H.	<i>Professeur</i>	<i>Université d'Ouargla</i>	Examineur
M <sup>r</sup> SAKER M <sup>ed</sup> L.	<i>Professeur</i>	<i>Université d'Ouargla</i>	Examineur
M <sup>r</sup> DADI BOUHOUN M.	<i>MCA</i>	<i>Université d'Ouargla</i>	Examineur

*À mon père et ma mère  
À mes frères et mes sœurs  
À tous les gens que j'aime  
À tous les gens qui m'aiment  
Je dédie ce travail...*

## **Remerciements**

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

*Je tiens en premier lieu à remercier Mr. HALILAT M<sup>ed</sup> T. mon directeur de recherche, pour m'avoir donné l'occasion de diriger ce projet tout le long de sa réalisation.*

*Je tiens également à remercier ma co-directeur M<sup>elle</sup>. OUSTANI M. pour m'avoir fait confiance, sa disponibilité et pour avoir m'orienter avec justesse tout au long de mon cheminement, sa patience, ses encouragements et ses conseils. Je souligne particulièrement son sens de la pédagogie et son humanisme.*

*Vive gratitude à Mr. HAMDI-AÏSSA B. Professeur à l'Université KASDI MERBAH d'Ouargla, pour l'honneur qu'il ma fait de présider le jury de ce mémoire.*

*Mes remerciements vont aussi à Mr. CHELOUFI H. et à Mr. SAKER M<sup>ed</sup> L. Professeur à l'Université KASDI MERBAH d'Ouargla et à Mr. DADI BOUHOUN M. Maître de conférences à l'Université KASDI MERBAH d'Ouargla, pour avoir acceptés de juger le présent travail.*

*Je voudrais également remercier les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université KASDI MERBAH d'Ouargla, spécialement je remercier Mr HAMDI-AÏSSA B. le responsable de la formation Post Graduation.*

*Je ne peux jamais oublier les gens avec lesquels j'ai partagé les merveilleux moments durant le cycle de Post Graduation, je leur dis un grand merci pour les bons moments passés ensemble.*

*Mes vifs remerciements s'adressent à tout le personnel du laboratoire Algérienne des Eaux (ADE) de la wilaya d'El Oued, particulièrement à Mr MEAOUA Mohamed et M<sup>me</sup> GABBOUSSA Safia, M<sup>me</sup> GUEMAOUN Sana, M<sup>me</sup> BADI Wafa pour leurs précieux aides qu'ils m'ont apportés.*

*J'ai remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail. Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous.*

**SMAIL**

## 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 une étude a été réalisée dans cette région afin d'établir un diagnostic de l'état de la pollution des eaux souterraines. Ainsi, des prélèvements d'eau représentatifs ont été effectués au niveau des eaux destinées à l'irrigation dans les quatre plus grandes zones d'activité agricoles dans la région : Debila, Robbah, Reguiba, Ourmes. Les analyses ont porté sur des paramètres physico-chimiques (pH, CE,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) et des analyses bactériologiques (Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux, Anaérobies sulfito-réducteurs). Les résultats obtenus montrent que les plus importants indicateurs de la pollution d'eau (teneur en nitrates et en germes pathogènes) diffèrent significativement à la fois en fonction du site (agricole, non agricole) et de la période de prélèvement, ainsi les teneurs les plus élevées en nitrates et en contamination fécale ont été enregistrées dans la zone de Reguiba à la fin de la période de suivi avec une teneur en nitrate de 146.66 mg/l et une concentration en streptocoques fécaux de 3.34  $\log_{10}/100$  ml, alors que les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau de la zone de Robbah avec 88.83 mg/l en nitrate et 2.87  $\log_{10}/100$  ml en streptocoques fécaux, les deux autres zones enregistrent des teneurs intermédiaires de l'ordre de 115.42 et 133.70 mg/l en nitrate et de 2.98 et 3.04  $\log_{10}/100$  ml en streptocoques fécaux respectivement pour la zone de Debila et Ourmes. Enfin il est à signaler que les teneurs en nitrates et en germes pathogènes des eaux étudiées dépassent la norme nationale de potabilité. 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.

## Summary

Intensive agriculture in irrigated areas is one of the water's pollution sources in the South of Algeria. In the wilaya of El-Oued this type of agriculture is responsible for the groundwater pollution. In fact, excessive intakes of agrochemical inputs and manure are the direct causes of this type of pollution. In this context, a study was conducted in this area in order to establish a diagnosis of groundwater's pollution state. Thus, samples of representative water were conducted at the level of irrigation water in the four biggest agricultural activity regions in the wilaya: Debila, Robbah, Reguiba, Ourmes. We did the following physico-chemical analyses (pH, EC,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) and the following bacteriological analyses (total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci, anaerobic sulfite-reducing). These last analyses show that the most important indicators of pollution (nitrates and pathogens content) differ significantly depending on the sampling site (agricultural, agricultural No.), as well as the follow-up period (1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>th</sup> companion of sampling). However high content in nitrates and fecal contamination have been recorded in the area of Reguiba at the end of the follow-up period with a nitrate content of 146.66 mg/l and a concentration en fecal streptococci of 3.34  $\log_{10}/100$  ml (which indicates recent infection), while the lowest levels were recorded at Robbah zone with 88.83 mg/l nitrate and 2.87  $\log_{10}/100$  ml in fecal streptococci, the two other regions recorded intermediate levels of the order of 115.42 and 133.70 mg/l nitrate and 2.98 and 3.04  $\log_{10}/100$  ml in streptococci respectively for the area of Debila and Ourmes. Finally, it is worth to mention that the nitrates and pathogens levels of the studied waters exceed the national standard of potability. These studying results show the importance of water's resources preservation against agricultural's pollution origin risk, which require a proper management and good mastery of agrochemical input uses in this region.

**Key words:** pollution, groundwater, nitrate, fecal contamination, 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 دراسة تهدف لتشخيص حالة تلوث المياه الجوفية في ولاية الوادي. وبالتالي تم أخذ عينات من المياه المخصصة للسقي على مستوى أربع مناطق الأكثر نشاطا فلاحيا: الدبيلة، الرباح، الرقيبة، ورماس. حيث تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية على هذه العينات (درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، الكبريتات، الكلور، الكالسيوم، المغنيزيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، النترات، النيتريت، الأمونيوم، الفوسفات) كما أجريت أيضا تحاليل بكتيرية (القولونيات الكلية، القولونيات البرازية، العُقديات البرازية، اللاهوائية المُرجعة للكبريت). النتائج المتحصلة عليها تشير إلى أن أهم مؤشرات التلوث (النترات والجراثيم) تختلف بشكل كبير من موقع أخذ العينات لموقع آخر (موقع داخل النشاط الفلاحي، موقع خارج النشاط الفلاحي)، كما تختلف أيضا حسب فترات أخذ العينات (الفترة الأولى، الثانية والثالثة). فقد تم تسجيل أعلى نسبة للتلوث بالنترات والتلوث البرازي في منطقة الرقيبة وبالضبط في نهاية فترة المتابعة حيث تم تسجيل تركيز 146.66 ملغ/ل من النترات وتسجيل تركيز  $100/\text{Log}_{10} 3.34$  مل من العُقديات البرازية (التي تشير إلى وجود تلوث حديث)، في حين سُجلت أدنى مستويات التلوث في منطقة الرباح بتركيز 88.83 ملغ/ل من النترات و  $100/\text{Log}_{10} 2.87$  مل من العُقديات البرازية. وفي المنطقتين الباقيتين تم تسجيل تراكيز متوسطة حيث تم تسجيل تركيز 115.42 و 133.70 ملغ/ل من النترات وتركيز 2.98 و  $100/\text{Log}_{10} 3.04$  مل من العُقديات البرازية لمنطقتي الدبيلة وورماس على التوالي. أخيرًا تجدر الإشارة إلى أن مستويات النترات والجراثيم في المياه المدروسة تتجاوز المعايير الوطنية لمياه الشرب. 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 البرازي، الزراعة.

## Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydriques

ADE : Algérienne Des Eaux

AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture

AEI : Alimentation en Eau Industrielle

AEP : Alimentation en Eau Potable

CE : Conductivité Electrique

CI : Continental Intercalaire

CT : Complexe Terminal

DHW : Direction d'Hydraulique de la 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

ONM : Office National Météorologique

ONS : Office National de Statistique

SAR : Sodium Absorption Ration

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

## Liste des figures

N°	Figure	Page
01	Utilisation de l'eau en Algérie	8
02	Ressources en eau (Algérie et Sahara)	9
03	Les grands types de pollution et leurs effets sur l'environnement	13
04	Mobilité et persistance de certains polluants en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques	14
05	Cycle de l'azote dans la nature	20
06	Cycle du phosphore dans le système sol-engrais-plante	22
07	Facteurs et mécanismes agissant sur la survie des bactéries fécales dans l'environnement	24
08	Situation géographique de la wilaya d'El Oued	33
09	Coupe hydrogéologique transversale du "CT" et "CI"	35
10	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du Souf (2004-2013)	39
11	Localisation des quatre zones d'étude	41
12	Méthodologie d'échantillonnage dans les quatre zones d'étude	42
13	Faciès chimique des eaux analysées à la 1ere campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper	55
14	Faciès chimique des eaux analysées à la 2eme campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper	55
15	Faciès chimique des eaux analysées à la 3eme campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper	56
16	Faciès chimique des eaux analysées à la 1ere campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Schoeller	57
17	Faciès chimique des eaux analysées à la 2eme campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Schoeller	58
18	Faciès chimique des eaux analysées à la 3eme campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Schoeller	59
19	Variation du potentiel hydrogène des eaux analysées	61
20	Variation de la conductivité électrique des eaux analysées	62
21	Variation des teneurs des nitrates dans les eaux analysées	64
22	Variation des teneurs des ions Orthophosphatés dans les eaux analysées	65
23	Variation du taux de SAR dans les eaux analysées	66
24	Classification des eaux analysées à la 1ère campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958)	67
25	Classification des eaux analysées à la 2eme campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958)	68
26	Classification des eaux analysées à la 3eme campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958)	69
27	Variation de concentration des Coliformes Totaux dans les eaux analysées	72
28	Variation de concentration des Coliformes Fécaux dans les eaux analysées	73
29	Variation de concentration des Streptocoques Fécaux dans les eaux analysées	75
30	Variation de concentration des Clostridium Sulfito-réducteurs dans les eaux analysées	76



## Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
01	Bassins versants par bassins hydrographiques	7
02	Les facteurs régissant la survie et le transfert des microorganismes fécaux dans l'environnement	25
03	Principales infections humaines transmissibles par l'eau	30
04	Températures dans la région d'étude durant l'année 2013	35
05	Moyenne annuelle des températures de l'air dans la région d'étude (2004-2013)	36
06	Précipitations mensuelles dans la région d'étude durant l'année 2013	36
07	Les précipitations moyennes annuelles dans la région d'étude entre 2004 et 2013	37
08	Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'étude durant l'année 2013	37
09	Vitesse moyenne mensuelle dans la région d'étude durant l'année 2013	38
10	Planning des prélèvements des échantillons	43
11	Classement des eaux analysées à la 1ère campagne d'échantillonnage	68
12	Classement des eaux analysées à la 2ème campagne d'échantillonnage	68
13	Classement des eaux analysées à la 3ème campagne d'échantillonnage	69

## Liste des photos

N°	Photo	Page
01	Mesure du pH et de la conductivité	44
02	Détermination du calcium et du Magnésium	45
03	Détermination des chlorures	46
04	Mesure de l'ammonium, le nitrite et le phosphate	48
05	La rampe de filtration	50
06	Recherche et dénombrement des Anaérobies sulfito-réducteurs	52

## Table des matières

Remerciements  
Resume  
Summary  
ملخص

Introduction générale -----3

### ***PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE***

#### CHAPITRE I : LES RESSOURCES EN EAU

1. Ressources en eau en Algérie -----	6
2. Ressources en eau dans le Sahara-----	8
3. Ressources en eau dans la wilaya d'El-Oued -----	9

#### CHAPITRE II : LES POLLUANTS D'ORIGINE AGRICOLE

Généralités -----	11
I. Types de pollution des eaux souterraines-----	11
I.1. Pollutions diffuses -----	12
I.2. Pollutions ponctuelles -----	12
II. Polluants d'origine agricole-----	13
II.1. Types de polluants d'origine agricole-----	13
II.1.1. Les substances utilisées en agriculture-----	13
II.1.2. Les substances naturellement présentes dans le sol-----	14
II.2. Substances susceptibles de polluer les eaux dans les zones agricoles -----	15
II.2.1. Produits phytosanitaires -----	15
II.2.1.1. Définition des produits phytosanitaires -----	15
II.2.1.2. Classification des produits phytosanitaires -----	15
II.2.1.3. Transfert des produits phytosanitaires -----	15
II.2.2. Métaux lourds -----	16
II.2.2.1. Définition des métaux lourds -----	16
II.2.2.2. Origine des métaux lourds-----	16
II.2.2.3. Transfert des métaux lourds -----	16
II.2.3. Engrais-----	17
II.2.3.1. Les engrais minéraux-----	17
II.2.3.2. La matière organique-----	18
II.2.3.3. Les principaux polluants liés à la sur fertilisation minérale et organique -----	19
II.2.3.3.1. Les Nitrates -----	19
Définition des nitrates-----	19
Sources et stock des nitrates -----	19

Transfert des nitrates -----	19
II.2.3.3.2. Le phosphore -----	20
Définition de phosphore -----	20
Formes de phosphore -----	21
Sources de phosphore -----	21
Transfert de phosphore -----	21
II.2.3.3.3. Les microorganismes pathogènes -----	22
Origine des microorganismes pathogènes -----	22
Transfert des microorganismes pathogènes -----	22
Stock des microorganismes pathogènes -----	23

### CHAPITRE III : EFFET DE LA POLLUTION DE L'EAU SUR LA SANTE HUMAINE

1. Les dangers liés à la pollution chimiques des eaux -----	26
2. Dangers liés à la pollution microbiologiques des eaux -----	28

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

### CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

1. Situation Géographique -----	32
2. Contexte écologique de la région d'étude -----	33
2.1. Géomorphologie -----	33
2.2. Topographie -----	33
2.3. Pédologie -----	34
2.4. Hydrogéologie -----	34
3. Etude des paramètres climatiques -----	35
3.1. Température -----	35
3.2. Pluviométrie -----	36
3.3. Humidité -----	37
3.4. Le vent -----	38
4. Synthèse climatique : Diagramme Ombrothermique de Gausson -----	38

### CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE TRAVAIL

1. Démarche suivie (Approche méthodologique) -----	40
2. Techniques d'échantillonnage -----	42
3. Techniques d'analyses -----	43
3.1. Caractéristiques physico-chimiques -----	43
3.1.1. Détermination du pH -----	43
3.1.2. Mesure de la conductivité -----	43
3.1.3. Détermination du calcium (Ca <sup>++</sup> ) et du magnésium (Mg <sup>++</sup> ) -----	44
3.1.4. Dosage du sodium et du potassium -----	45
3.1.5. Détermination des chlorures (Cl <sup>-</sup> ) -----	46
3.1.6. Détermination des Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) -----	46

3.1.7. Détermination de l'alcalinité ( $\text{HCO}_3^-$ )	47
3.2. Analyses biochimiques	47
3.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	47
3.2.2. Dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )	47
3.2.3. Dosage des Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	47
3.2.4. Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	48
3.3. Analyse microbienne	48
3.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes (Colimétrie)	48
3.3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	51
3.3.3. Recherche et dénombrement des Anaérobies sulfito-réducteurs	51
4. Analyses statistiques	52

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

I. Qualité physico-chimique des eaux analysées	54
I.1. Caractérisation globale des eaux analysées dans les quatre zones expérimentales	54
I.2. Faciès chimique des eaux analysées des quatre zones expérimentales	54
I.2.1. Diagramme de Piper	54
I.2.2. Diagrammes logarithmiques (de Schoeller)	56
I.3. Variation du taux de quelques paramètres physico-chimiques dans les eaux analysées	59
I.3.1. Variation du potentiel hydrogène (pH) des eaux analysées	59
I.3.2. Variation de la conductivité électrique (CE) des eaux analysées	61
I.3.3. Variation des teneurs des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) dans les eaux analysées	62
I.3.4. Variation des teneurs des ions Orthophosphatés dans les eaux analysées	64
I.3.5. Variation du taux de SAR dans les eaux analysées	65
Discussion générale	70
II. Qualité microbiologique des eaux analysées	72
II.1. Variation de concentration des coliformes totaux dans les eaux analysées	72
II.2. Variation de concentration des coliformes fécaux dans les eaux analysées	73
II.3. Variation de concentration des streptocoques fécaux dans les eaux analysées	75
II.4. Variation de concentration des clostridium S-réducteurs dans les eaux analysées	76
Discussion générale	77
Conclusion et recommandations	79
References bibliographiques	
annexe	

---

# 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 très exposées à l'altération et sérieusement menacées par les différentes activités humaines. La 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 de l'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 faible niveau de la nappe.

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 trois chapitres essentiels :
  - ✓ Ressources en eau ;
  - ✓ Polluants d'origine agricole ;
  - ✓ Effet de la pollution de l'eau sur la santé humaine.
- La deuxième partie illustre les matériels et méthodes utilisés pour la réalisation de cette étude.
- Enfin, la troisième et la dernière partie est consacrée aux discussions des résultats obtenus.

---

# *Partie I*

## *Synthèse Bibliographique*

---

*« Quand on ne sait pas, on ne se pose pas trop de questions, mais quand on commence à disposer d'un début d'explication, on veut à tout prix tout savoir, tout comprendre »*

***Bernard Werber***

---

# 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 à 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 par bassins hydrographiques (FAO, 2005).

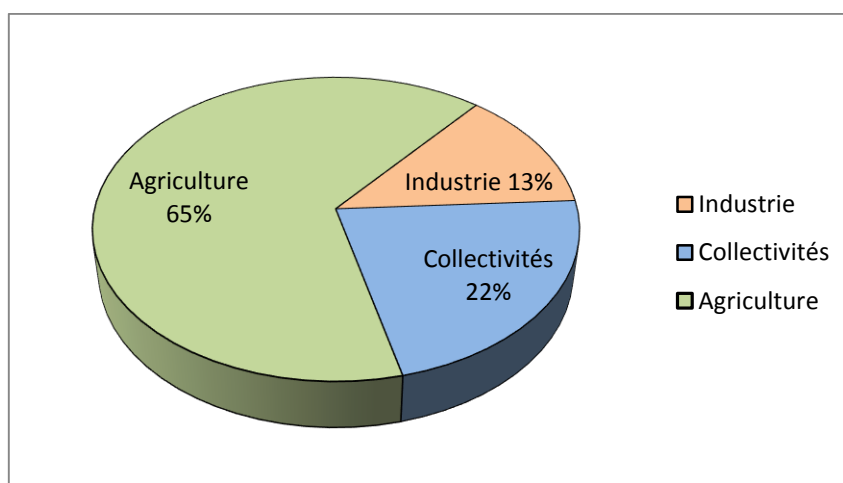
Donc la répartition des ressources hydrauliques dans le pays se présente comme suit :

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).

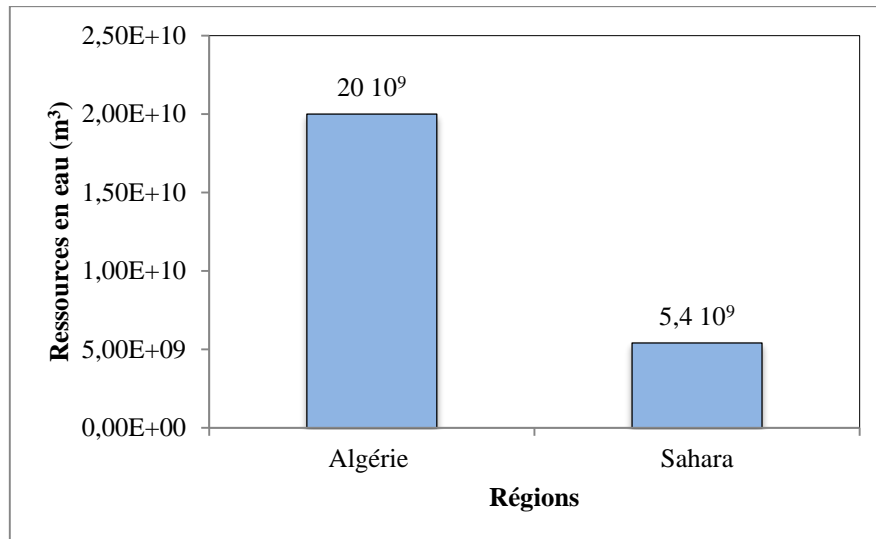
Les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m<sup>3</sup>, dont 3.938 milliards destinés à l'irrigation (65 %), 1.335 milliard aux usages domestiques (22 %) et 801 millions à l'industrie (13 %) (FAO, 2005).



**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, non renouvelables, 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 (Algérie et Sahara) (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 complexe 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 de l'hydraulique de la 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 à but d'AEP 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 (DHW, 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 90. La superficie agricole irriguée en 2006 est 51456 ha est élevé à 60850 ha en 2010, sachant que le besoin en eau 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 (DHW, 2007).

---

## **Chapitre II**

# **Les polluants d'origine agricole**

---

### **Généralités**

La qualité de l'eau est généralement évaluée par deux aspects : Qualité physico-chimique et qualité écologique. 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 (Doez, 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 (Doez, 2011).

### **I. Types de pollution des eaux souterraines**

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).

### **I.1. Pollutions diffuses**

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

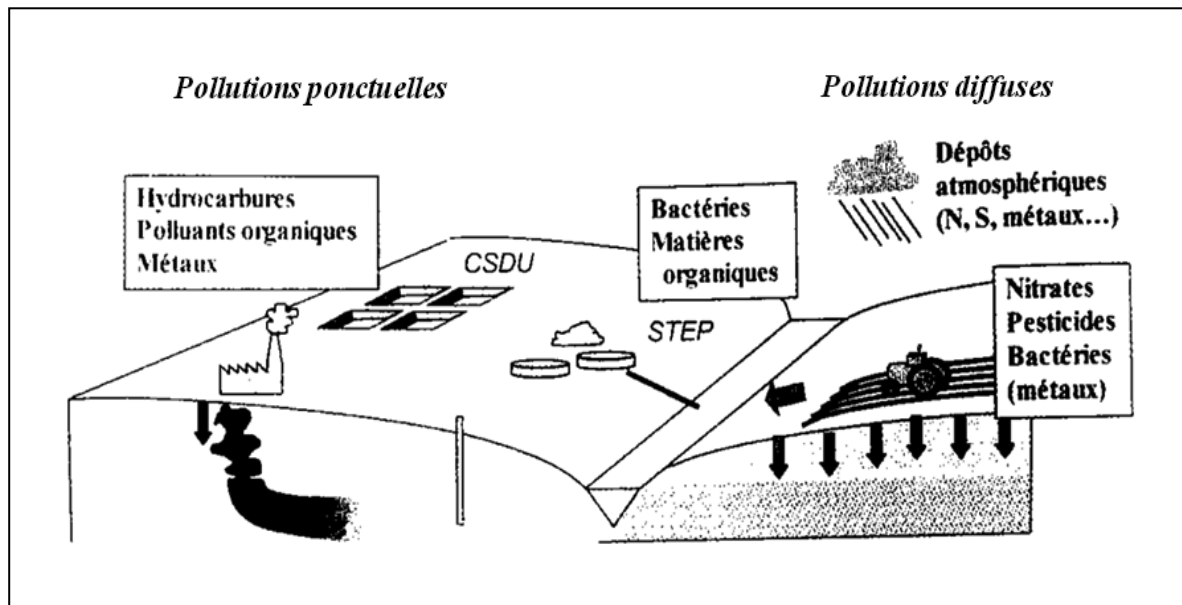
- D'une part la pollution atmosphérique provenant des industries et des transports qui est homogénéisée puis se déplace sur des distances de quelques kilomètres à des centaines de kilomètres ;
- D'autre part la pollution d'origine agricole comprenant engrais et pesticides épandus à proximité du sol mais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

### **I.2. Pollutions ponctuelles**

Les pollutions ponctuelles (Figure 03) 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.

## II. Polluants d'origine agricole

La pollution agricole peut se présenter sous les deux formes 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).

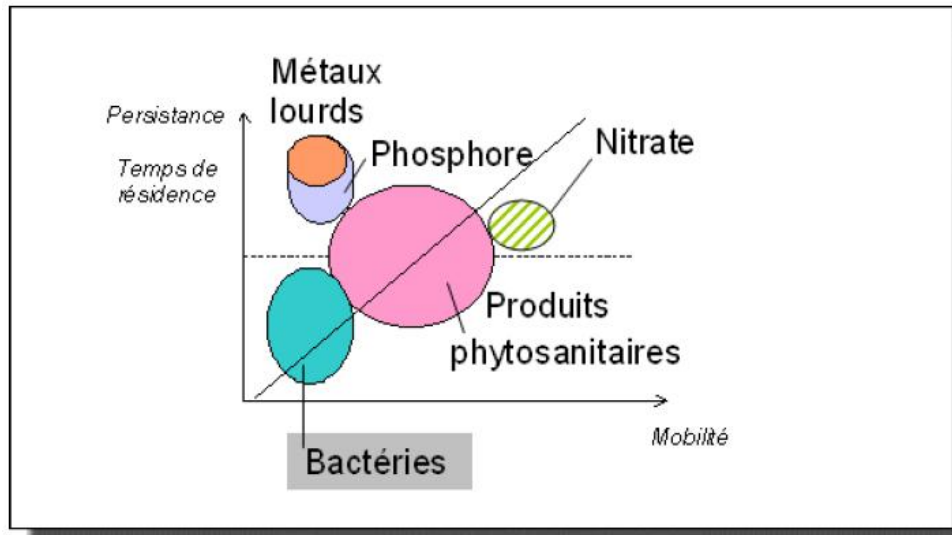
### II.1. Types de polluants d'origine agricole

Les substances susceptibles de polluer les eaux dans les zones agricoles se regroupent en deux catégories :

#### II.1.1. Les substances utilisées en agriculture

Ces substances utilisées en agriculture pour amender le sol (engrais, déjections sources de nitrates mais aussi de métaux lourds, de phosphore, de bactéries, ...) ou pour protéger les cultures (produits phytosanitaires et adjuvants associés). Elles atteignent d'abord le sol où leur comportement vis à vis du milieu va déterminer leur dispersion vers d'autres compartiments

(air, eau). Leur proportion à polluer fortement et durablement les eaux dépend de leurs caractéristiques physico-chimiques, et notamment de leur mobilité dans les compartiments sol et eau, de leur persistance si elles se dégradent, de leur temps de transfert si elles migrent vers les nappes (Molénat et *al.*, 2011).



**Figure 04** : Mobilité et persistance de certains polluants en fonction de leur caractéristiques physico-chimiques (Molénat et *al.*, 2011).

### II.1.2. Les substances naturellement présentes dans le sol

Ces substances ne sont pas des polluants au départ, mais c'est leur surabondance dans les eaux qui en fait des polluants. Elles peuvent devenir des polluants, parce qu'elles sont susceptibles d'être déplacées en grande quantité vers les eaux. Elles sont présentées principalement sous forme de substances organiques. La mise en solution de ces matières organiques du sol et leur transport vers les eaux est la résultante d'un ensemble de processus de désorption-adsorption, solubilisation, dégradation, transport, déterminés par les conditions du milieu (température, humidité, pH, activité biologique) et par les caractéristiques physiques du sol (perméabilité) (Molénat et *al.*, 2011).



## II.2. Substances susceptibles de polluer les eaux dans les zones agricoles

### II.2.1. Produits phytosanitaires

#### II.2.1.1. 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).

#### II.2.1.2. 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 nématocides (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 pyréthriinoïdes, les triazines et les urées substituées (Merhi, 2008).

#### II.2.1.3. 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 (Molénat et *al.*, 2011).

## II.2.2. Métaux lourds

### II.2.2.1. 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  $5 \text{ g.cm}^3$ . 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).

### II.2.2.2. 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).

### II.2.2.3. 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).

### II.2.3. 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.

#### II.2.3.1. 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 ( $\text{KCl}$ ,  $\text{KNO}_3$  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 certaines (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).

### **II.2.3.2. 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) et les éléments utiles à certaines espèces végétales (le cobalt, le sodium, le chlore et la silice) (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).

### **II.2.3.3. Les principaux polluants liés à la sur fertilisation minérale et organique**

#### **II.2.3.3.1. 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).

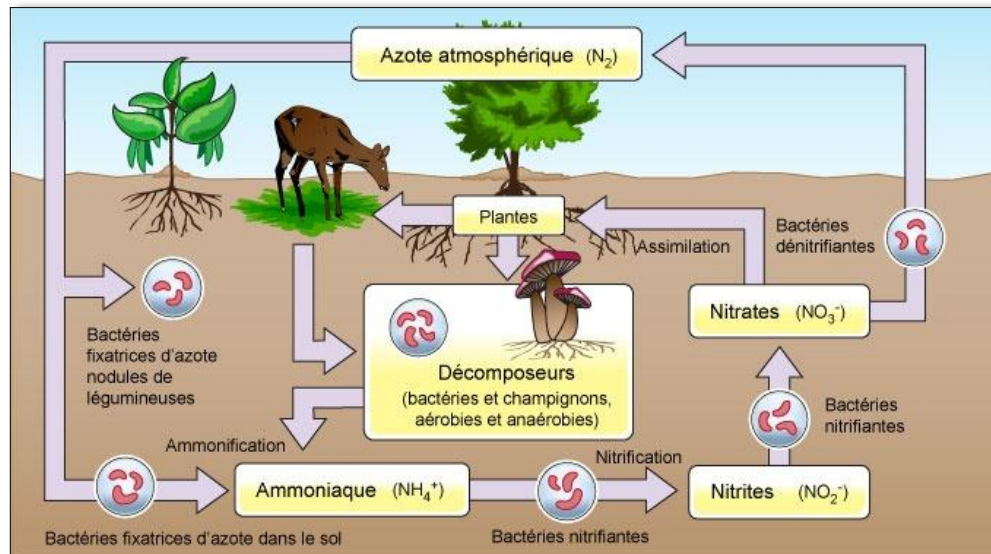
##### **Sources et stock des nitrates**

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 (Molénat et *al.*, 2011).

##### **Transfert des nitrates**

Les nitrates sont une des formes de l'azote présent dans les sols (Figure 05). 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) (Molénat et *al.*, 2011).



**Figure 05 :** 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 (Molénat et *al.*, 2011).

### II.2.3.3.2. 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 µm,
- 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 (Molénat et *al.*, 2011).

### Sources de phosphore

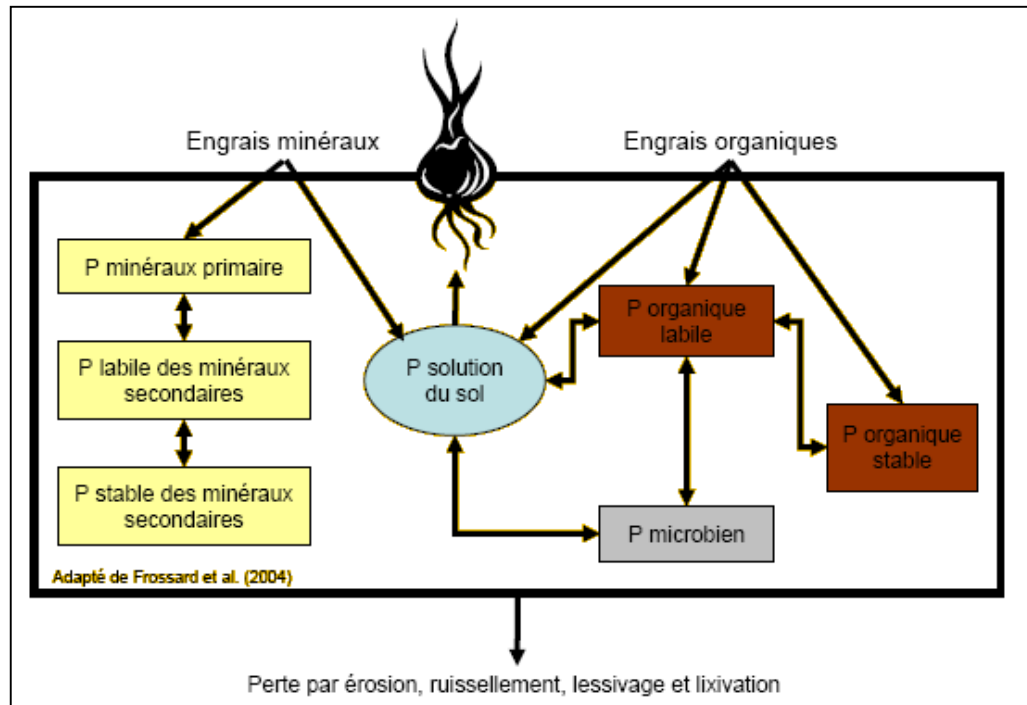
Il existe nombreuses formes d'engrais minéraux phosphatés. Ils ont pour origine les gisements de phosphates naturels ainsi que l'industrie sidérurgique. Ils sont utilisés bruts ou après leur transformation par l'industrie chimique en divers composés. Selon les différents types d'engrais minéraux phosphatés, la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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 Hedit, 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 ferme 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 06** : Cycle du phosphore dans le système sol-engrais-plante (Frossard et al., 2004)

### II.2.3.3.3. 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).

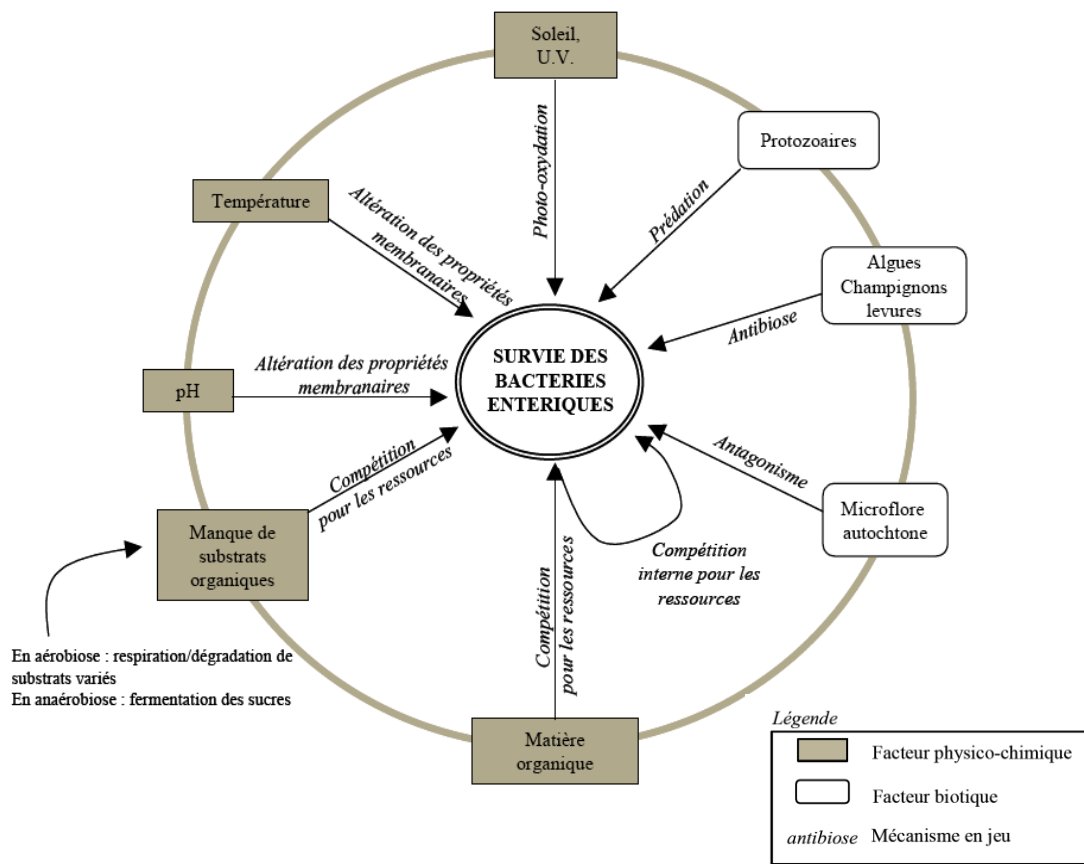
Le mode d'inoculation des bactéries dans le sol revêt une grande importance dans leur mobilisation ultérieure et leur lessivage. Les transferts sont totalement différents selon l'hydrodynamique générale du milieu et le type de sol (Crane et *al.*, 1983). Sur des sols en place, le transfert s'effectue 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) (Molénat 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 07).



**Figure 07 :** Facteurs et mécanismes agissant sur la survie des bactéries fécales dans l'environnement (Vansteelant, 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**

# **Effet de la pollution de l'eau sur la santé humaine**

---

### **1. Les dangers liés à la pollution chimiques des eaux**

Le risque hydrique d'origine chimique a été principalement étudié pour l'eau destinée à la consommation humaine. À moyen terme, des pathologies ont été identifiées, induites par le fluor (fluorose dentaire) ou les nitrates (méthémoglobinose). À long terme, le rôle néfaste de macro-constituants des eaux (sodium, dureté, ...etc) n'a pas été confirmé ; en revanche, certains micro-constituants sont réellement impliqués dans un risque hydrique, tels des métaux lourds (plomb, cadmium) ; des interrogations subsistent pour certaines molécules organiques (pesticides, haloformes) et, d'une manière plus générale, pour les sous-produits minéraux ou organiques de la désinfection (chloration surtout) des eaux, en termes de risque cancérogène.(Cantor, 1997)

L'évaluation du risque d'origine chimique est utilisée principalement lors de la détermination des normes ou recommandations de qualité d'eau potable par Organisation Mondiale de la Santé (Annexe IV). Cette démarche peut être aussi utilisée en cas de dépassement de normes afin de déterminer l'importance et le type de mesure à prendre pour protéger la santé de la population exposée (Hartemann, 2004).

#### **Effets des nitrates et nitrites sur la santé**

Les nitrates ne sont pas directement dangereux ; leur toxicité provient de leur transformation en nitrites dans le tube digestif, sous l'action de bactéries.

A court terme, le danger concerne exclusivement les nourrissons (surtout de moins de 3 mois). En effet, les nitrites passent facilement des voies digestives au sang où ils se

combinent à l'hémoglobine et forment la méthémoglobine qui empêche les globules rouges de véhiculer l'oxygène nécessaire à l'organisme. Si l'adulte a des systèmes de régulation qui bloquent l'apparition de ce phénomène, le très jeune enfant en est dépourvu. L'ingestion de fortes doses peut provoquer, chez le nourrisson, une maladie appelée méthémoglobinémie caractérisée par un bleuissement de la peau, voire des troubles de la conscience et à l'extrême, le décès.

A long terme, le risque pourrait être celui du cancer de l'estomac chez l'adulte. En effet, dans cet organe, les nitrites sont susceptibles de se combiner avec certains composés azotés (amines et amides) de l'alimentation pour former des composés nitrosés (nitrosamines et nitrosamides). Ces composés se sont révélés expérimentalement cancérigènes pour diverses espèces animales. Chez l'homme, une relation entre l'exposition à un excès de nitrates et le risque de cancer est soupçonnée, mais les études n'ont pas, jusqu'à présent, apporté la preuve d'une relation entre le cancer de l'estomac et la teneur en nitrates de l'eau (Pouëssel, 2003).

### **Effets des pesticides sur la santé**

Les effets des pesticides, à court terme, de doses massives et accidentelles sont assez bien connus. Lors de contacts avec la peau, des symptômes cutanés (dermites...) sont fréquents. Lors d'ingestions, les effets sont fonction du type et de la quantité de produits absorbés : troubles nerveux (vertiges, tremblements), troubles digestifs (vomissements, diarrhées), troubles musculaires (crampes, paralysies) et même parfois des troubles cardiovasculaires.

En revanche, le risque à long terme, dû à la consommation répétée de quantités infimes, est difficile à estimer, notamment à cause de la multitude de pesticides, des interactions entre eux et des difficultés de mesure des expositions. Malgré cette complexité, des études épidémiologiques ont mis en évidence des liens entre des expositions à des pesticides et des effets sur la santé, principalement : des cancers (leucémies, notamment), des effets sur le système nerveux (neuropathies périphériques, troubles du comportement, maladie de Parkinson), des troubles de la reproduction (infertilité, avortements, malformations congénitales,) et quelques autres maladies comme l'asthme et les dermatoses (Pouëssel, 2003).

Cependant, pour la plupart de ces effets, aucune certitude n'existe actuellement en raison du faible nombre d'études réalisées et de leurs résultats souvent contradictoires. En ce

qui concerne l'atrazine (pesticide le plus fréquemment retrouvé dans les eaux) et son principal produit de dégradation (la déséthylatrazine), leur toxicité à court terme est assez faible et, à la vue d'évaluations récentes, ils ne semblent pas être cancérogènes pour l'homme.

En raison de certaines incertitudes, et même si des traces de pesticides dans l'eau et les aliments sont sans effet toxique immédiat, il est possible qu'un risque pour la santé existe à long terme ; actuellement, plusieurs substances (DDT, dieldrine, lindane, trifluraline, atrazine, perméthrine) sont connues comme pouvant perturber le système endocrinien (système hormonale qui régule le développement, la croissance, la reproduction et le comportement des individus) (Pouëssel, 2003).

## **2. Dangers liés à la pollution microbiologiques des eaux**

La contamination des eaux par des agents pathogènes est un problème de pollution qui remonte très loin dans le temps. Au cours de l'XXI<sup>e</sup> siècle, les maladies d'origine hydrique ont été responsables de vastes épidémies de dysenterie, fièvre typhoïde, choléra, entre autres (George et Servais, 2002). Aujourd'hui, ces maladies sont à l'origine d'un taux de mortalité très élevé des populations des pays en voie de développement. Dans le monde, environ 6 millions d'enfants meurent chaque année des suites de gastro-entérites, 100 millions de personnes souffrent en permanence de gastroentérites hydriques, 260 millions d'individus sont atteints de bilharziose, 2 à 3 millions de décès sont observés chaque année parmi les 800 millions de sujets impaludés et 30 millions d'onchocercose sont dénombrés (Bou Saab et *al.*, 2007).

L'eau est un véhicule idéal pour la transmission des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites, champignons, etc.) ; certains (virus et parasites entériques) ont une faible dose minimale infectante caractéristique de leur infectivité : il suffit de une à 10 unités viables pour infecter un individu sensible ; d'autres (bactéries, champignons, algues) doivent être présents en quantité beaucoup plus importante pour initier l'infection et la morbidité. La dose minimale infectante rapportée pour la plupart des agents bactériens dépasse 1 000 unités viables. De plus, les bactéries, contrairement aux virus et parasites, sont beaucoup plus sensibles à la désinfection par le chlore, ce qui diminue considérablement le risque d'épidémies dues à des agents bactériens (Pouëssel, 2003).

Les maladies hydriques sont le plus souvent transmises par voie féco-orale et la contamination de l'homme se réalise soit par consommation d'eau de boisson, soit par

consommation d'aliments contaminés par l'eau, soit encore lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage récréatif (Bou Saab et *al.*, 2007).

Le degré de gravité des atteintes pour la santé est très variable selon les cas : il va des gastroentérites plus ou moins graves et des parasitoses (risque fécal en général), aux atteintes cutanées ou pulmonaires parfois très graves (*Legionella pneumophila*). Il est à noter que le risque microbien et parasitaire est fortement lié à la sensibilité immunologique des individus, donc à leur statut vaccinal (dans certains cas) ou physiopathologique. Ajoutons que le risque microbiologique s'enrichit progressivement au fil des connaissances : c'est notamment le cas pour certaines bactéries « non fécales », pour des virus, de plus en plus nombreux en cause, pour les protozoaires mais aussi pour des micro-algues et leurs toxines, les plaçant à la frontière des aspects microbiologiques et toxicologiques (Vezie et *al.*, 1997).

Les principales infections d'origine hydrique et les agents responsables sont présentés sur le Tableau (03) par type de pathologie :

**Tableau 03** : Principales infections humaines transmissibles par l'eau (modifié d'après Leclerc et *al.*, 1982).

	Agent responsable	Origine la plus fréquente
<b>Pathologie digestive</b>		
• Fièvres typhoïdes	<i>Salmonella typhi</i> (PARA A - B)	Aliments Eau de boisson (EB)
• Gastroentérites	• <i>E. coli</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>Shigella sp.</i> <i>Yersinia</i> <i>Campylobacter</i> • <i>Giardia</i> <i>Cryptosporidium</i>	{ EB Aliments crus Baignades
• Choléra	• Rotavirus <i>Vibrio cholerae</i>	{ EB, Aliments
• Hépatites A, E	Virus	
<b>Pathologie respiratoire-ORL</b>		
• Légionellose	<i>Legionella sp.</i>	{ Eaux aérosolisées
• Mycoses pulmonaires	<i>Aspergillus sp.</i> <i>Actinomyces</i> Thermophiles	{ Compostage
• Affections ORL	Adénovirus Reovirus	{ Piscines Baignades
• Méningoencéphalites amibiennes		Baignades (eau douce)
<b>Pathologie cutanéomuqueuse</b>		
• Dermatomycoses	Dermatophytes	
• Candidoses	<i>Candida albicans</i>	{ Métiers au contact de l'eau :
• Leptospirose	<i>Leptospira</i>	{ piscines, baignades, eaux usées, terrassement
• Suppurations bactériennes	• Streptocoque hémolytique du groupe A • <i>Staphylococcus</i> • <i>Pseudomonas</i>	
Dermatites	Furcocercaires	

ORL : Oto-rhino-laryngologique.



---

# *Partie II*

## *Matériel Et Méthodes*

---

*« Savoir ce que tout le monde sait, c'est ne rien savoir.  
Le savoir commence là où commence ce que le monde ignore »*

*Rémy de Gourmont*

---

# Chapitre I

## 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 08) 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).

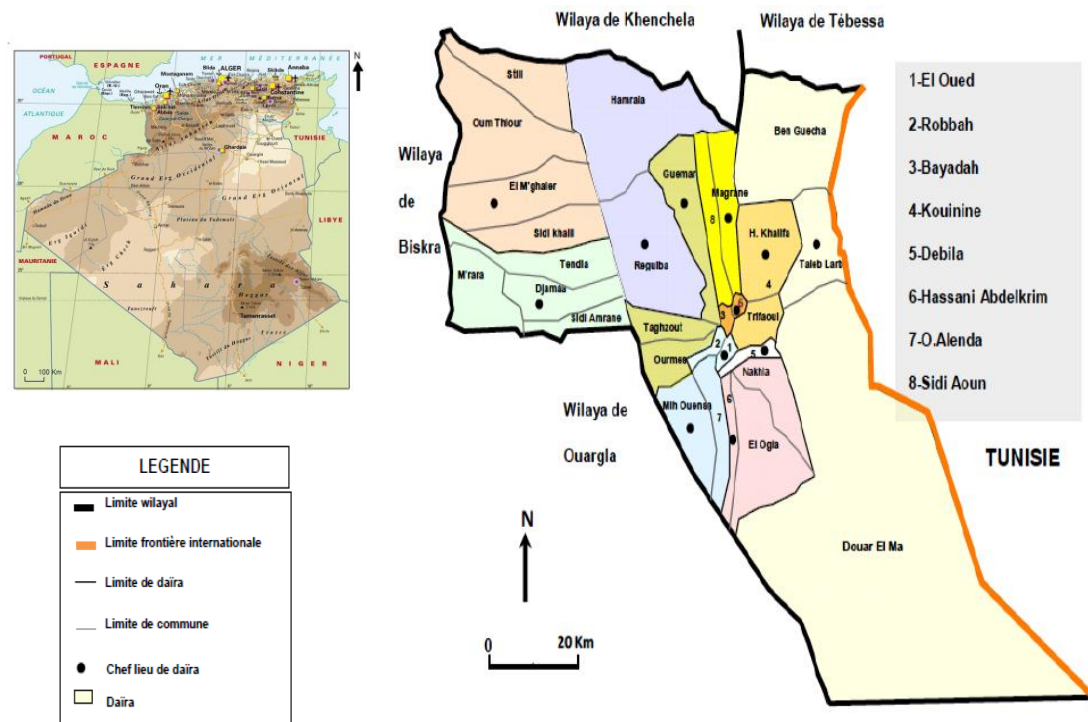
Le "Souf" vient du nom berbère désignant rivière ou Oued. A l'origine la principale activité des habitants de la région était l'agriculture. Chaque palmeraie a vu le jour à la suite d'efforts considérables tant sur le plan physique que financier (DSA, 2005).

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 08 :** 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 étendus et parfois caillouteux ou recouverts par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire.

### 2.2. Topographie

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres accuse 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 (A.N.R.H., 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 (DHW, 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 (DHW, 2007).

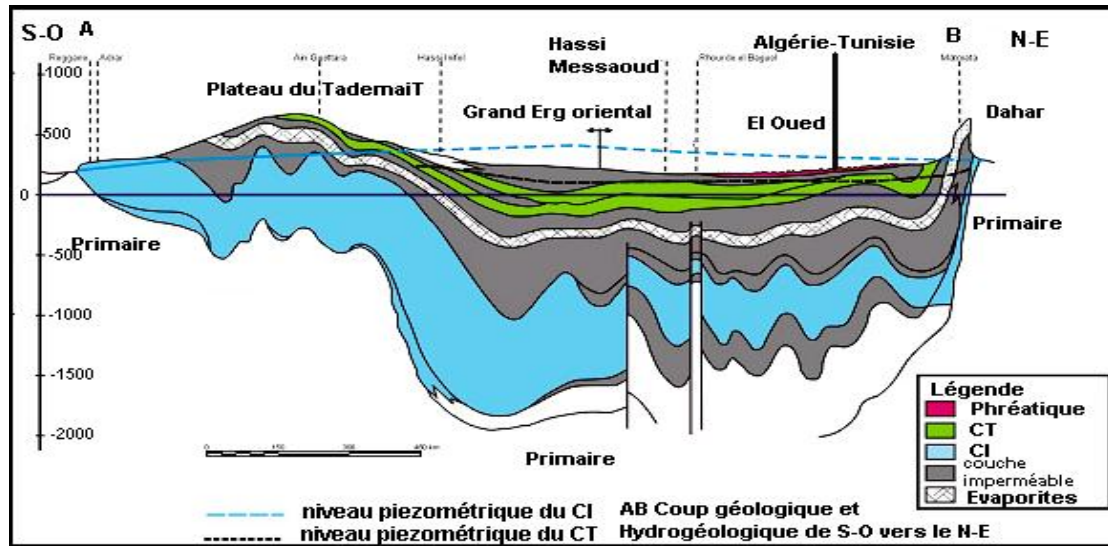


Figure 09: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" et "CI" (UNESCO, 1972).

## 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 2013, sont détaillées dans le tableau 04 :

Tableau 04 : Températures dans la région d'étude durant l'année 2013.

Température	Mois												cumul
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
M	18.8	19.1	25.8	29.2	33.3	37.2	41.3	38.9	36.4	34.2	22.8	17.1	29.5
m	5.8	5.4	11.1	14.4	18.5	22	25.5	25.8	23.3	19.8	10.2	6.6	15.7
(M+m)/2	12	12.2	19.1	22.4	26.1	29.7	34.1	32.6	29.8	26.6	16.3	11.5	22.7

(ONM, 2014)

La période qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de Décembre de (11.5 °C), alors que la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de juillet (34.1 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.7°C.

### 3.1.2. Températures moyennes annuelles

Le tableau 05 présente la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 10 ans (2004 à 2013). On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre. L'année la plus chaude est 2010 avec une température moyenne égale 23.1°C et l'année la plus froide est l'année 2004 avec une moyenne de température égale à 22.1 °C.

**Tableau 05** : Moyenne annuelle des températures de l'air dans la région d'étude (2004-2013).

Années	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
T(°C)	22.1	22.5	22.6	22.3	22.6	22.3	23.1	22.5	22.9	22.7

(ONM, 2014)

## 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 2013 sont illustrées dans le tableau 06.

**Tableau 06**: Précipitations mensuelles dans la région d'étude durant l'année 2013.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Cumul
*P (mm)	3,05	0	4,06	4,07	0	0	0	1,27	0	0,51	11,17	8,14	32,27

(ONM, 2014)

\*P (mm) : Précipitation mensuelle en mm

La région du Souf a connue durant l'année 2013 un cumul de précipitation égal à 32,27 mm (Tableau 06). Le mois le plus pluvieux durant cette année est Novembre avec une pluviométrie de l'ordre de 11,17 mm. Par contre les mois les plus secs sont (Mars, Juin, Juillet) où aucune pluviométrie n'a été enregistrée (0 mm).

### 3.2.2. Répartition moyennes annuelles des pluies

Sur un cycle de dix ans (2004-2013), les précipitations observées montrent une grande variabilité d'une année à une autre. Ainsi, l'année la plus arrosée est celle de 2004 avec 350.01 mm/an et l'année la plus sèche est celle de 2012 avec 23.62 mm/an (Tableau 07).

**Tableau 07 :** Précipitations moyennes annuelles dans la région d'étude entre 2004 et 2013.

Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P (mm)	350.01	35.32	80.53	56.90	32.01	193.55	50.28	30.73	23.62	32.27

(ONM, 2014)

### 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 2013 sont présentés dans le tableau 08.

**Tableau 08 :** Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'étude durant l'année 2013.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Cumul
*HR.	54.8	41.8	37.5	35.1	33.6	32.8	30.4	32.3	43.1	45.6	52.2	72.3	42.6

(ONM, 2014)

\*HR. (%) : Humidité relative

Dans la région d'Oued Souf l'humidité de l'air est faible et la moyenne annuelle est de 42.6 %. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 30.4 % 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 72.3 % 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 charges 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 2013 sont annoncées dans le tableau 09.

**Tableau 09 :** Vitesse moyenne mensuelle dans la région d'étude durant l'année 2013.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Cumul
*V (m/s)	8.3	12.3	9.6	11.5	11.2	14.4	9	7.2	7.5	-	3.7	3.4	8.17

(ONM, 2014)

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

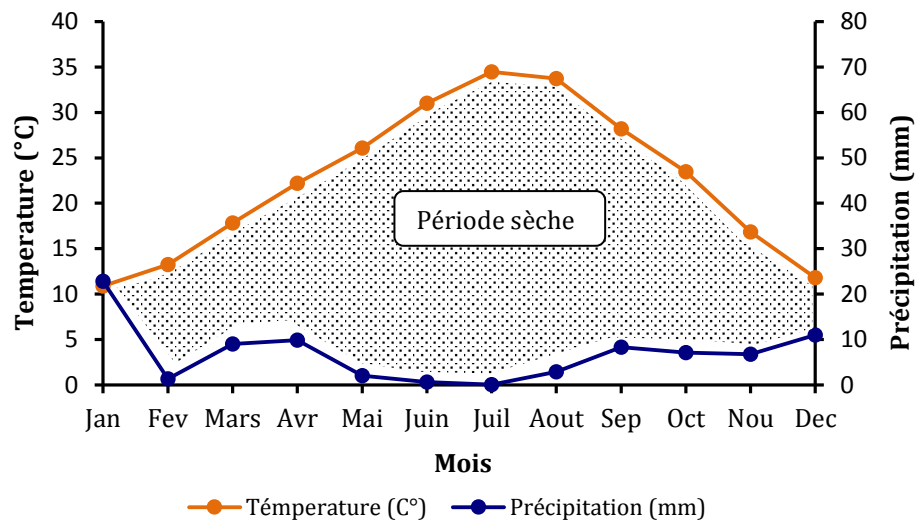
Selon le Tableau 09, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant le mois de juin avec un maximum de 14.4 m.s<sup>-1</sup>.

### 4. Synthèse climatique : Diagramme Ombrothermique de 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 Gaussen (Figure10).

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 10** : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du souf (2004-2013).

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 (2004 à 2013) (Figure10).

---

## Chapitre II

# Méthodologie de travail

---

### 1. Démarche suivie (Approche méthodologique)

La présente étude vise à évaluer la pollution des eaux de la nappe phréatique liée à l'activité agricole dans quatre zones réparties à travers de la région de Souf. Il s'agit de la zone de Debila, Robbah, Reguiba et Ourmes. 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 : Debila (33,5485°N ; 7,0526°E ; 56 m)
- ✓ Zone B : Robbah (33,2610°N ; 6,9061°E ; 91 m)
- ✓ Zone C : Reguiba (33,5752°N ; 6,6209°E ; 52 m)
- ✓ Zone D : Ourmes (33,3883°N ; 6,7306°E ; 82 m)

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

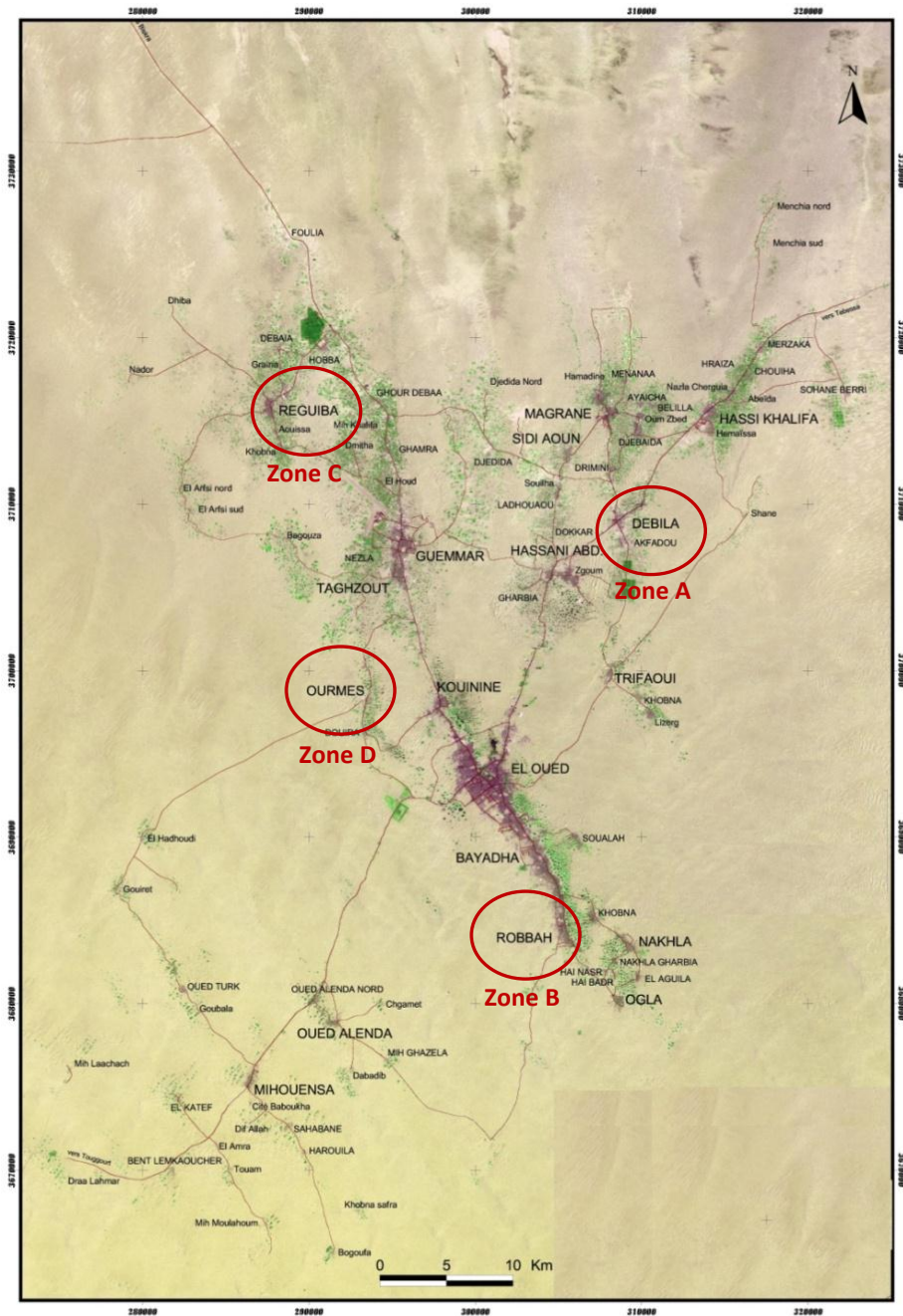
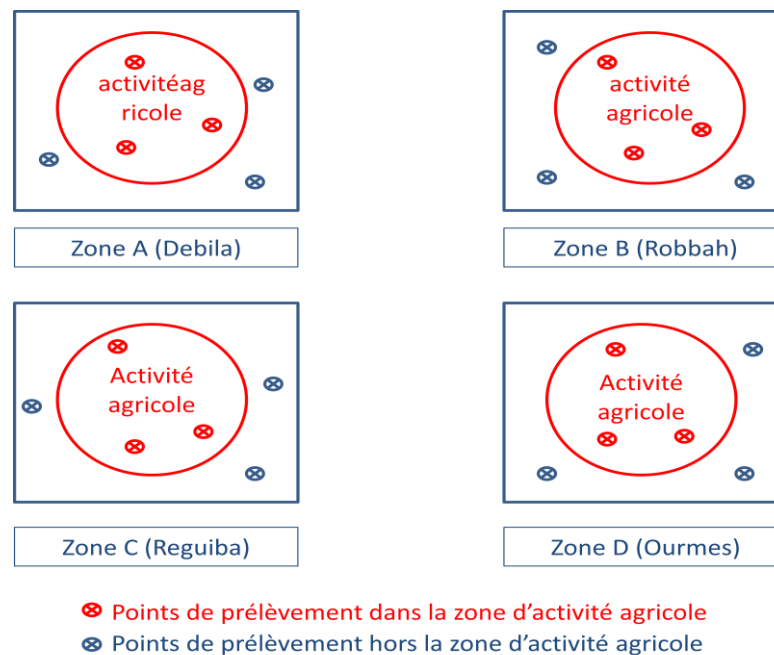


Figure 11 : Localisation des quatre zones d'étude (Google Maps, 2014).

## 2. Techniques d'échantillonnage

Les points d'eau ont été choisis de manière à avoir une image d'ensemble de la nappe phréatique dans la région de Souf. Ainsi, des échantillons d'eau représentatifs ont été prélevés à partir de trois puits alimentés par la nappe phréatique au niveau de chaque zone d'étude durant l'année 2013. 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. Au niveau de chaque zone d'étude, deux sites ont été retenus pour les prélèvements des échantillons d'eau, l'un à l'intérieur de la zone d'activité agricole et l'autre à l'extérieur de cette zone, ce dernier site a été retenu comme témoin. Les prélèvements des échantillons d'eau pour l'analyse 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 totaux, les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux, et les Anaérobies Sulfito-réducteurs). Les analyses ont été menées en trois répétitions pour chaque site au niveau de chaque zone d'étude (Figure 12). Le planning de prélèvements des échantillons d'eau est présenté dans le tableau 10.



**Figure 12** : Méthodologie d'échantillonnage dans les quatre zones d'étude.

**Tableau 10 : Planning des prélèvements des échantillons.**

Site de prélèvement		1 <sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage (26 Janvier 2014)	2 <sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage (30 Mars 2014)	3 <sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage (27 Mai 2014)	Total
Zone A (Debila)	A0	3	3	3	9
	A1	3	3	3	9
Zone B (Robbah)	B0	3	3	3	9
	B1	3	3	3	9
Zone C (Reguiba)	C0	3	3	3	9
	C1	3	3	3	9
Zone D (Ourmes)	D0	3	3	3	9
	D1	3	3	3	9
Total des échantillons par campagne		24	24	24	72

0 : à l'extérieur de la zone d'activité agricole (témoin). 1 : à l'intérieur 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 (Photo 01). 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Le résultat de la salinité et du taux de sels dissous (TDS) sont donnés respectivement en ‰ et en mg/l.



**Photo 01** : Mesure du pH et de la conductivité.

### 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 (Photo 02). 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).

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

PE : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur de dilution.

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

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



**Photo 02** : Détermination du calcium et du Magnésium.

### 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.

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

$$\text{Cl}^-(\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 \times F$$



Photo 03 : Détermination des chlorures.

### 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 ( $\text{HCO}_3^-$ )

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).

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

$V_A$  : Volume d'acide versé

$N_A$  : Normalité d'acide versé

$M_{\text{HCO}_3^-}$  : Masse des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

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 (Photo 04) 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 (Photo 04) qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm (ISO 6878/1, 1994).



**Photo 04 :** Mesure de l'ammonium, le nitrite et le phosphate.

## 3.3. Analyse microbienne

### 3.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes (Colimétrie)

Les coliformes sont considérés comme indice de contamination fécale. La recherche et le dénombrement des coliformes se fait selon la méthode en filtration sur membrane à 0,45  $\mu$  en milieu solide (Lebres et Mouffok, 2008). La colimétrie par filtration est une méthode rapide, simple, normalisée nécessitant la disponibilité d'une rampe de filtration (Photo 05). Pour la recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane, il faut au préalable un essai standard ; qui débute par une stérilisation de l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen, les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser ou avec de l'eau distillée stérile. Mettre en place de façon aseptique, une membrane de porosité minimale de 0,45  $\mu$  entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile. Fixer ce dispositif avec la pince correspondante. Déposer ensuite aseptiquement 100 ml d'eau à analyser, devant un bec bunsen. Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane. Retirer l'entonnoir puis transférer

immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose tergitol au chlorure de 2,3,5-triphényltétrazolium (TTC) et heptadécylsulfate de sodium (Tergitol 7) préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36\pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant  $21\pm 3$  heures voire  $44\pm 4$  heures et servira à la recherche des bactéries coliformes, suivie de l'identification biochimique des *Escherichia coli*.

Après la période d'incubation spécifiée, dénombrer les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentés en jaune orangé ou en jaune (lactose positives).

Repiquer de façon aléatoire 5 à 10 colonies à des fins de confirmation basée sur le test à l'oxydase d'une part et la production d'indole d'autre part.

Pour les tests à l'oxydase, il faut effectuer tout d'abord un repiquage sur gélose tryptonée au soja (TSA) à la caséine de 5 à 10 colonies, à incuber à  $36\pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant  $21\pm 2$  heures, puis imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile puis déposer une colonie caractéristique. La réaction positive est immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé.

Pour le test à l'indole, il faut transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3 ml de bouillon au tryptophane. Bien triturer la colonie dans le milieu puis incuber ce dernier à  $44\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  pendant  $21\pm 3$  heures puis rechercher la production d'indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs. La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu.

Est considérée comme colonie de coliformes, toute colonie caractéristique (jaune), dépourvue de l'enzyme oxydase et non productrice d'indole. Et est considérée comme bactérie d'espèce *Escherichia coli*, toute colonie caractéristique (rouge), dépourvue de l'enzyme oxydase, mais productrice d'indole à  $44^{\circ}\text{C}$ . Calculer ensuite la valeur a du nombre de bactéries coliformes lactose positives et des *Escherichia coli*.

Le résultat final sera exprimé selon l'équation mathématique suivante :

$$a = (b / A) C$$

où :

b : nombre de colonies caractéristiques présumées dans la boîte

A : nombre de colonies repiquées

C : nombre total de colonies trouvées dans la boîte

Un essai rapide pour un deuxième test dit test rapide peut être effectué parallèlement à l'essai standard et dans les mêmes conditions. Il consiste à titrer une seconde fois 100 ml d'eau à analyser, devant un bec bunsen à travers une seconde membrane qui sera placée dans un premier temps sur une plaque de gélose tryptonée au soja (TSA) à la caséine à incuber couvercle en bas d'abord à  $36\pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 4 à 5 heures puis transférer la membrane sur gélose tryptonée contenant des sels biliaires (TBA) à incuber à  $44\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  pendant 19 à 20 heures. Cette méthode sert à la recherche sélective des *Escherichia coli*.

Après la période d'incubation spécifiée, transférer la membrane sur un papier filtre imbibé de réactif de Kovacs puis l'irradier sous une lampe UV pendant 10 à 30 minutes. Seront considérés comme des *Escherichia coli*, les colonies qui prennent une coloration rouge : à dénombrer. Le nombre d'*Escherichia coli* sera rapporté à 100 ml d'eau à analyser.



**Photo 05** : La rampe de filtration.

### 3.3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

La méthode de recherche se fait selon la méthode de Lebres et Mouffok (2008), qui est la streptométrie par filtration. Tout comme la colimétrie par filtration, c'est aussi une méthode rapide, simple, et normalisée. Elle nécessite la disponibilité d'une rampe de filtration. Tout d'abord, il faudrait stériliser un entonnoir à l'aide d'un bec bunsen. Le refroidir soit avec de l'eau distillée stérile. Mettre en place de façon aseptique une membrane de  $0,45 \mu$  entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile. Fixer ce dernier avec la pince correspondante. Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser. Actionner la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane. Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose SLANETZ et BARTLEY. Cette membrane sera incubée à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $44 \pm 4$  heures. Après incubation, les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombées. Transférer aseptiquement la membrane du milieu SLANETZ et BARTLEY sur une plaque de gélose bile esculine azoture (BEA) préchauffée préalablement à  $44^\circ\text{C}$ . Cette dernière sera incubée à son tour à  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$  pendant 2 heures. Les colonies caractéristiques prennent une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu. Le nombre de colonies trouvées sera exprimé dans 100 ml d'eau à analyser.

### 3.3.3. Recherche et dénombrement des Anaérobies sulfito-réducteurs

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries à Gram+. Elles se développent entre 24 à 48 heures sur une gélose Viande Foie (Photo 06) en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de  $\text{Fe}^{2+}$  donne  $\text{FeS}$  (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. L'incubation se fait à  $37^\circ\text{C}$ , pendant 24 à 48 heures. La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les colonies des ASR sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de  $10^{-1}$  voire  $10^{-2}$  la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et dernière à 48 heures. Il faut dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, poussant en masse. Il est donc impératif de repérer et de dénombrer toutes les colonies noires poussant en masse et de rapporter le total des colonies à la quantité de prise d'eau à analyser (Lebres et Mouffok, 2008).



**Photo 06 :** Recherche et dénombrement des Anaérobies sulfito-réducteurs.

#### **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 des facteurs zone, site et temps de prélèvement sur le degré de la contamination des eaux par les polluants. Toutes les analyses ont été faites en utilisant le programme statistique SPSS (version 20).

---

# *Partie III*

## *Résultats Discussion*

---

*« Dans les sciences, le chemin est plus important que le but. Les sciences n'ont pas de fin »*

*Erwin Chargaff*

## **I. Qualité physico-chimique des eaux analysées**

### **I.1. Caractérisation globale des eaux analysées dans les quatre zones expérimentales**

Les résultats de la caractérisation globale des eaux analysées de quatre zones expérimentales pendant les trois campagnes d'échantillonnage sont illustrées dans les tableaux 1, 2 et 3 (Annexe I).

### **I.2. Faciès chimique des eaux analysées des quatre zones expérimentales**

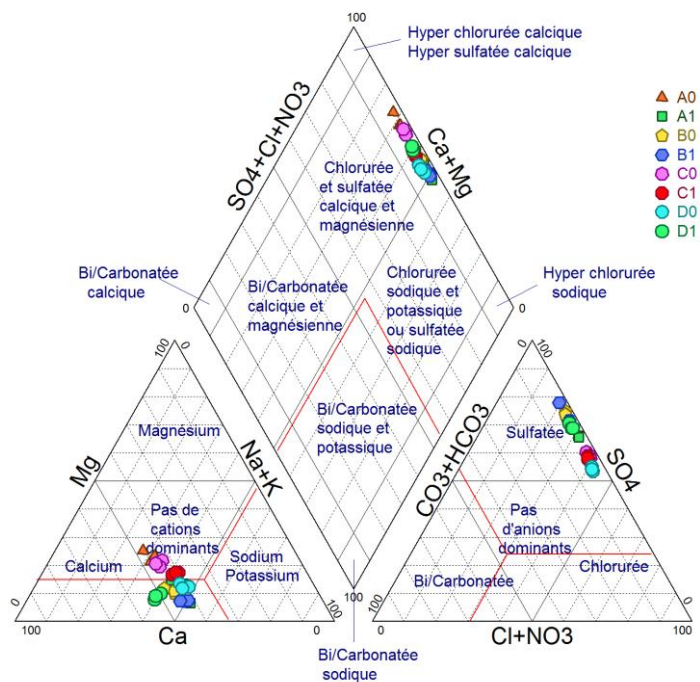
Pour la détermination du faciès chimique des eaux analysées, le logiciel Diagramme a été utilisé afin d'établir le diagramme de Piper et le diagramme logarithmique (de Schoeller).

#### **I.2.1. Diagramme de Piper**

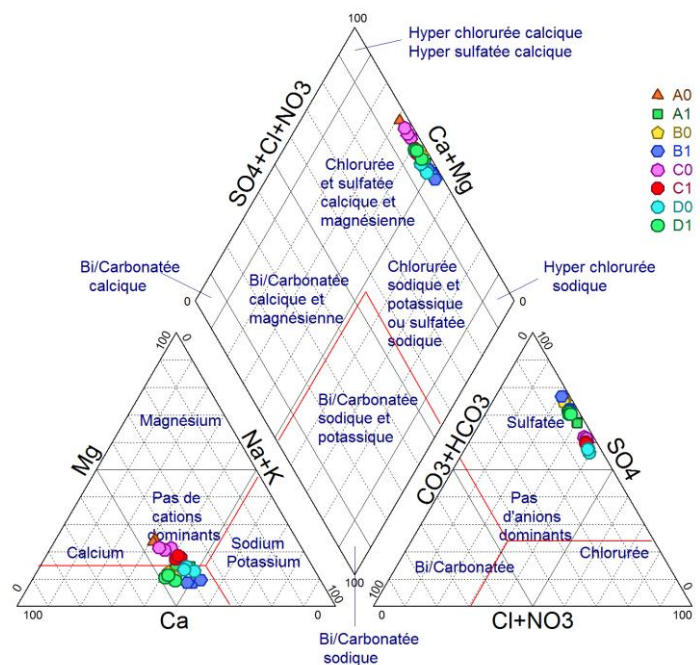
Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite) (Figure 13, 14 et 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.

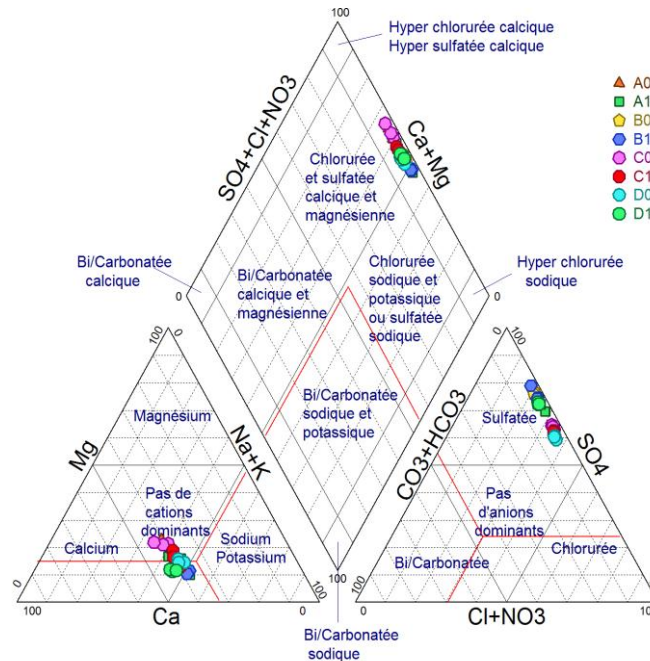




**Figure 13 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Piper.



**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 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.

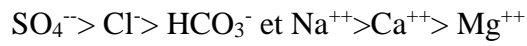
### I.2.2. Diagrammes logarithmiques (de Schoeller)

Le diagramme logarithmique de la composition chimique des eaux analysées (Figure 16, 17 et 18) permet d'aboutir aux mêmes conclusions que les précédentes ; à savoir que les eaux analysées au niveau des différents sites étudiés présentent une dominance en ions sulfatés sodiques et calciques pour la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage.

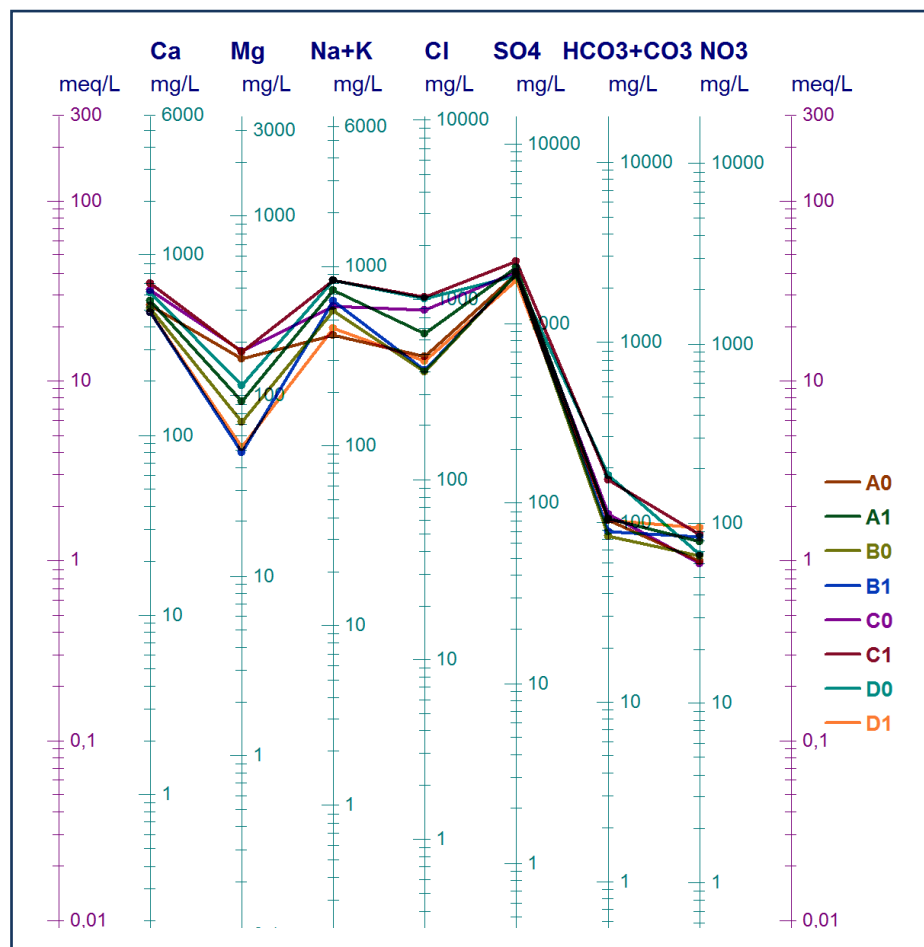
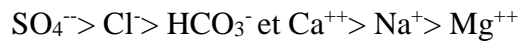
En fait, les ions dominants sont les sulfates pour les anions et le sodium et le calcium pour les cations.

Selon les formules caractéristiques, les ions s'ordonnent de la manière suivante :

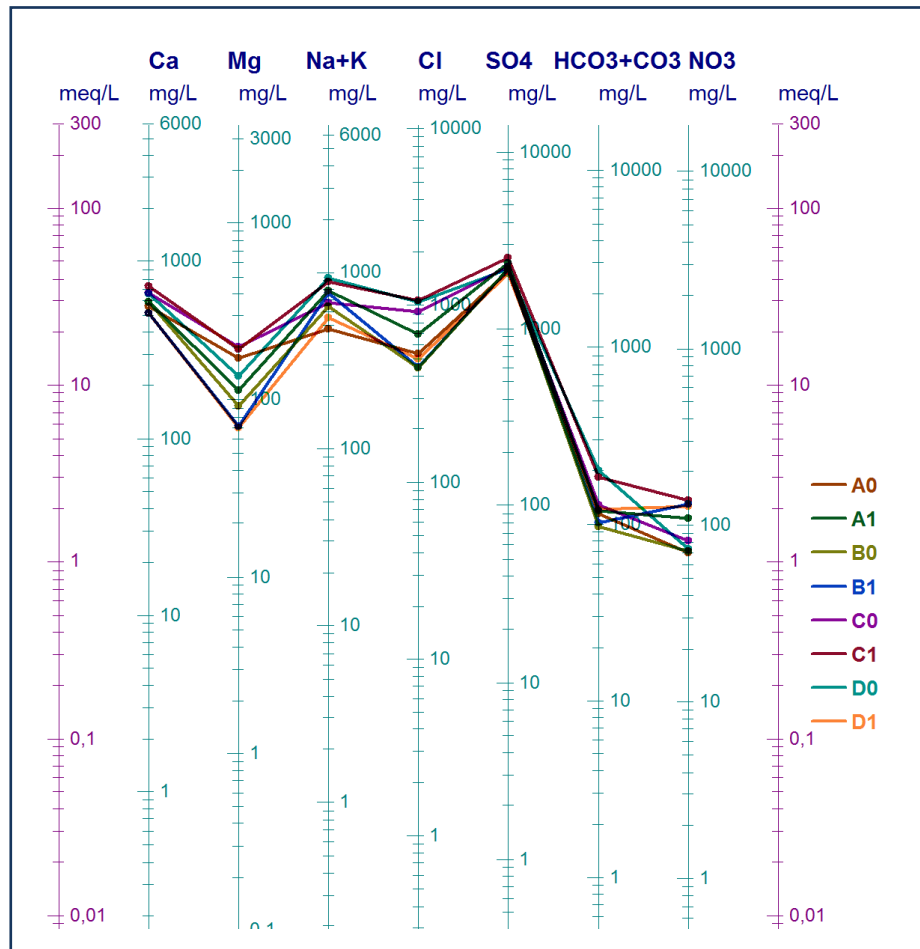
- ✓ Pour le premier faciès : *sulfaté sodique*



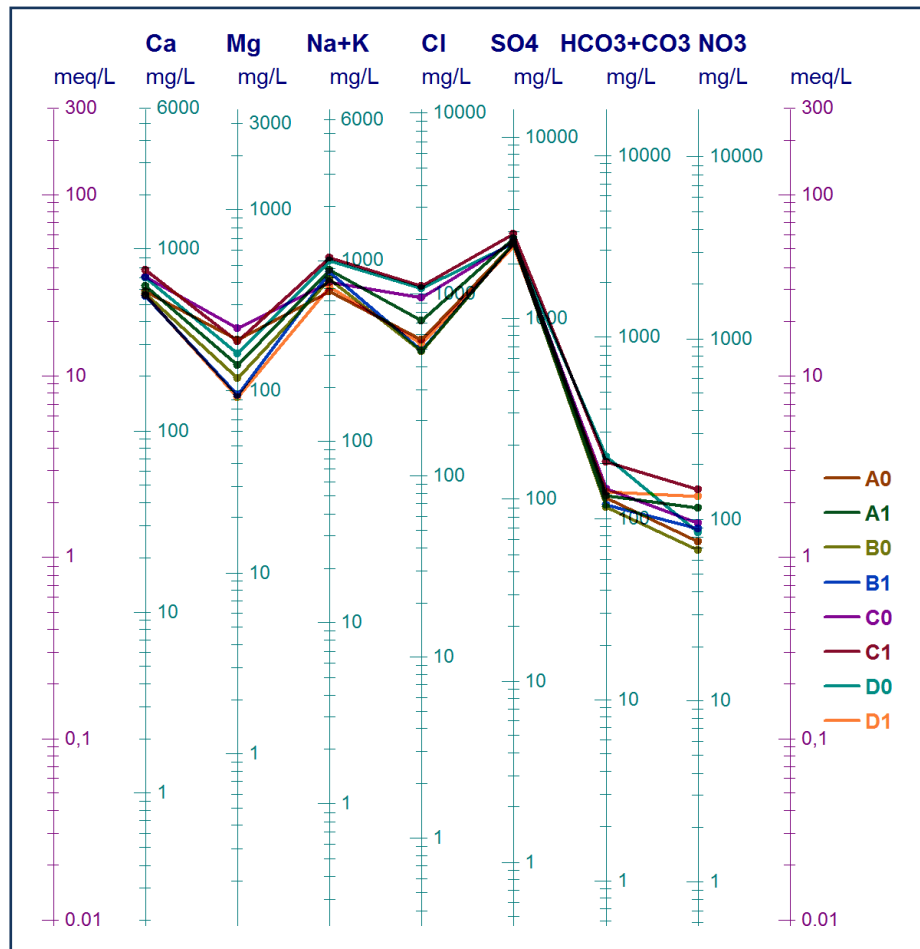
- ✓ Pour le deuxième faciès : *sulfaté calcique*



**Figure 16 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Schoeller.



**Figure 17 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Schoeller.



**Figure 18 :** Faciès chimique des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage d'après le diagramme de Schoeller.

### I.3. Variation du taux de quelques paramètres physico-chimiques dans les eaux analysées

#### I.3.1. Variation du potentiel hydrogène (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-Blidiet *al.*, 2003; Himmiet *al.*, 2003).

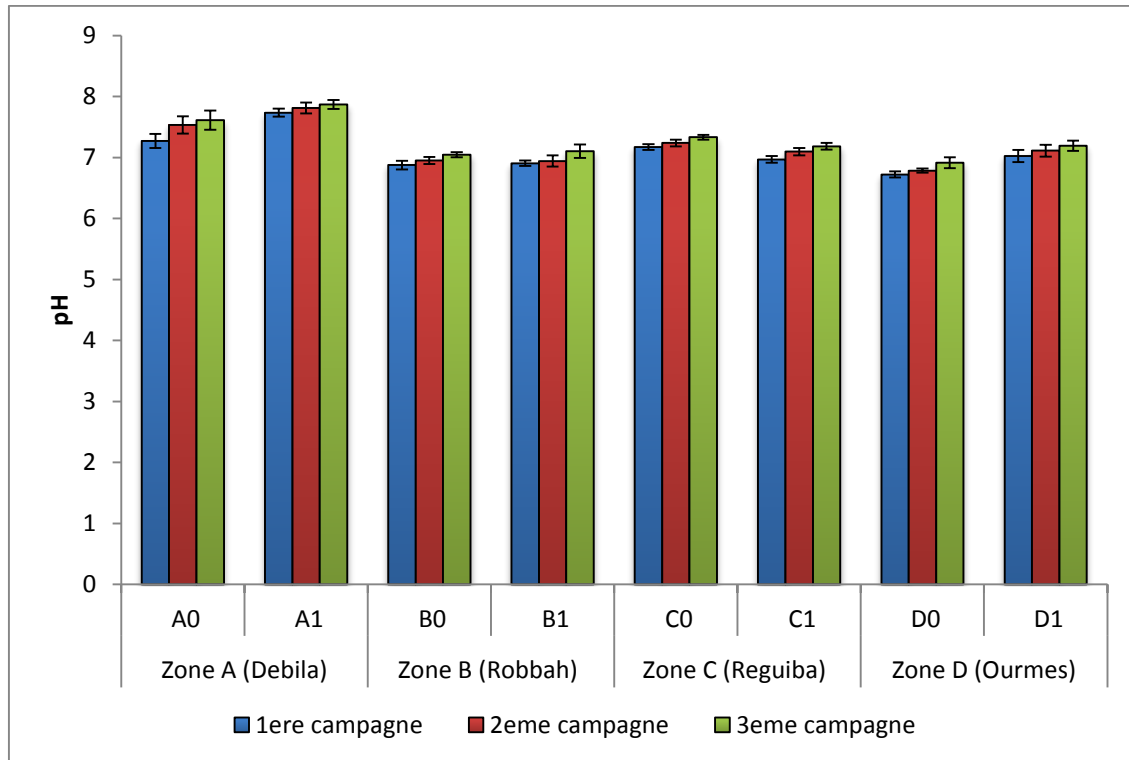
Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966; Bermond et Vuichard, 1973). Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris entre 6 et 8,5.

Dans le cas de la région d'étude, les valeurs enregistrées révèlent que le pH est neutre à légèrement alcalin dans tous les sites agricoles au niveau des quatre zones étudiées. Les valeurs du pH enregistrées ne montrent aucune variation notable entre sites. La variation des valeurs de pH entre les trois campagnes d'échantillonnage ne dépasse pas en général une unité.

Ainsi, à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage, les valeurs de pH enregistrées aux niveaux des sites agricoles montrent un minimum de 6,91 au site B1 (site agricole - Robbah) et un maximum de 7,74 au site A1 (site agricole - Debila). Alors, qu'à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage ce paramètre enregistre un minimum de 6,94 au site B1 (site agricole - Robbah) et un maximum de 7,81 au site A1 (site agricole - Debila). À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, les valeurs de pH enregistrent une augmentation sensible par rapport aux autres campagnes avec un minimum de 7,10 et un maximum de 7,87 au niveau des sites B1 et A1 respectivement (Figure 19).

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

- ✓ Des différences significatives entre les différentes zones étudiées (A, B, C, D).
- ✓ Des différences non significatives entre les deux sites de prélèvements (agricole et non agricole).
- ✓ 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 19 :** Variation du potentiel hydrogène (pH) des eaux analysées.

### I.3.2. Variation de la conductivité électrique (CE) des eaux analysées

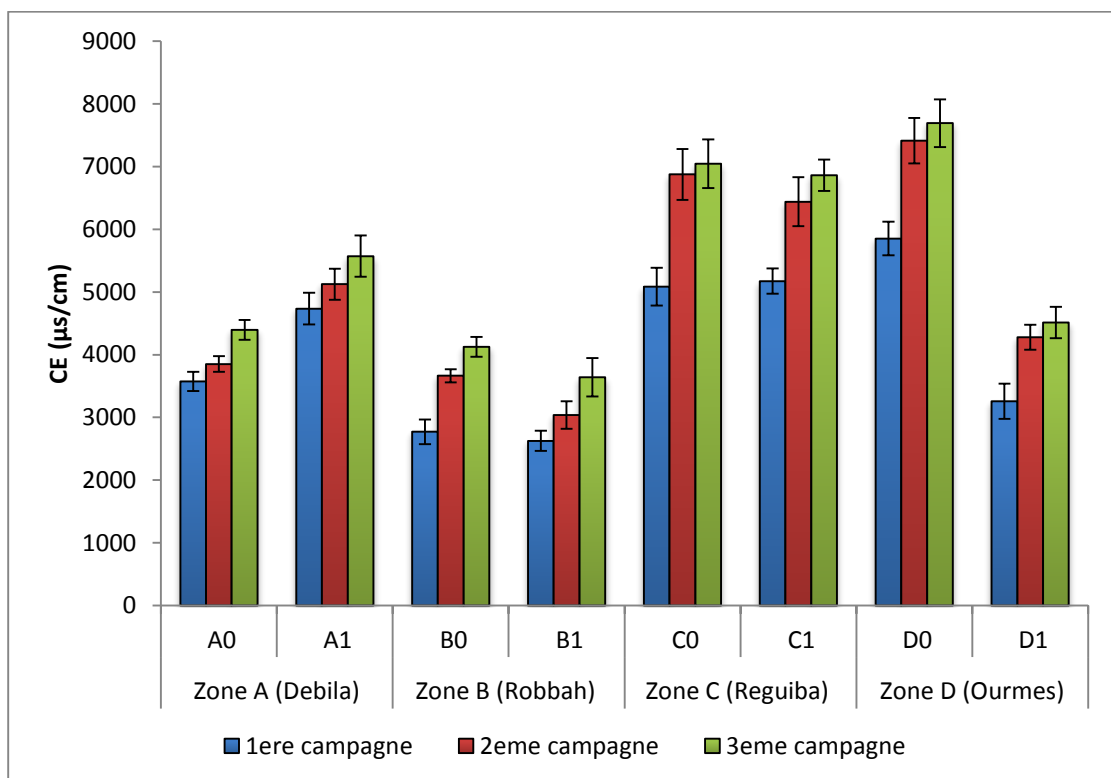
La conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale et d'estimer la totalité des sels solubles dans l'eau, étant donné que la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement, la conductivité électrique est également fonction de la température 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 quatre zones étudiées sont présentés dans la Figure 20. Ces résultats montrent des variations importantes de ce paramètre entre les différents sites agricoles. Elles fluctuent entre 2625  $\mu\text{s}/\text{cm}$  dans le site B1 (site agricole - Robbah) et 5174  $\mu\text{s}/\text{cm}$  au site C1 (site agricole - Reguiba) à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage. Quant à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, les résultats moyens de la CE varient entre 3038 et 6440  $\mu\text{s}/\text{cm}$  respectivement pour les sites B1 et C1. A la 3<sup>ème</sup> campagne, les valeurs de la CE augmentent par rapport aux deux autres campagnes pour atteindre des valeurs de 3640 et 6864  $\mu\text{s}/\text{cm}$  respectivement pour les sites B1 et C1 (sites agricole -Robbah et Reguiba).

La variation temporelle de la conductivité électrique des eaux étudiées enregistre une augmentation de la première campagne jusqu'à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage.

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

- ✓ Des différences significatives entre les différentes zones étudiées (A, B, C, D).
- ✓ Des différences non significatives entre les deux sites de prélèvement (agricole et non agricole).
- ✓ 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).



**Figure 20 :** Variation de la conductivité électrique (CE) des eaux analysées.

### I.3.3. Variation des teneurs des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 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.

Les teneurs les plus élevées en nitrates ont été enregistrées au niveau des sites agricoles. À la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage les teneurs les plus élevées ont été enregistrées



au niveau des sites D1(site agricole - Ourmes) par de valeur de l'ordre de 94.09 mg/l. par contre les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau des sites A1 (site agricole - Debila) par de valeur de l'ordre de 78.78 mg/l. et pour les deux autres sites les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 83.52 mg/l pour B1(site agricole - Robbah) et de 85.80 mg/l. pour C1(site agricole - Reguiba).

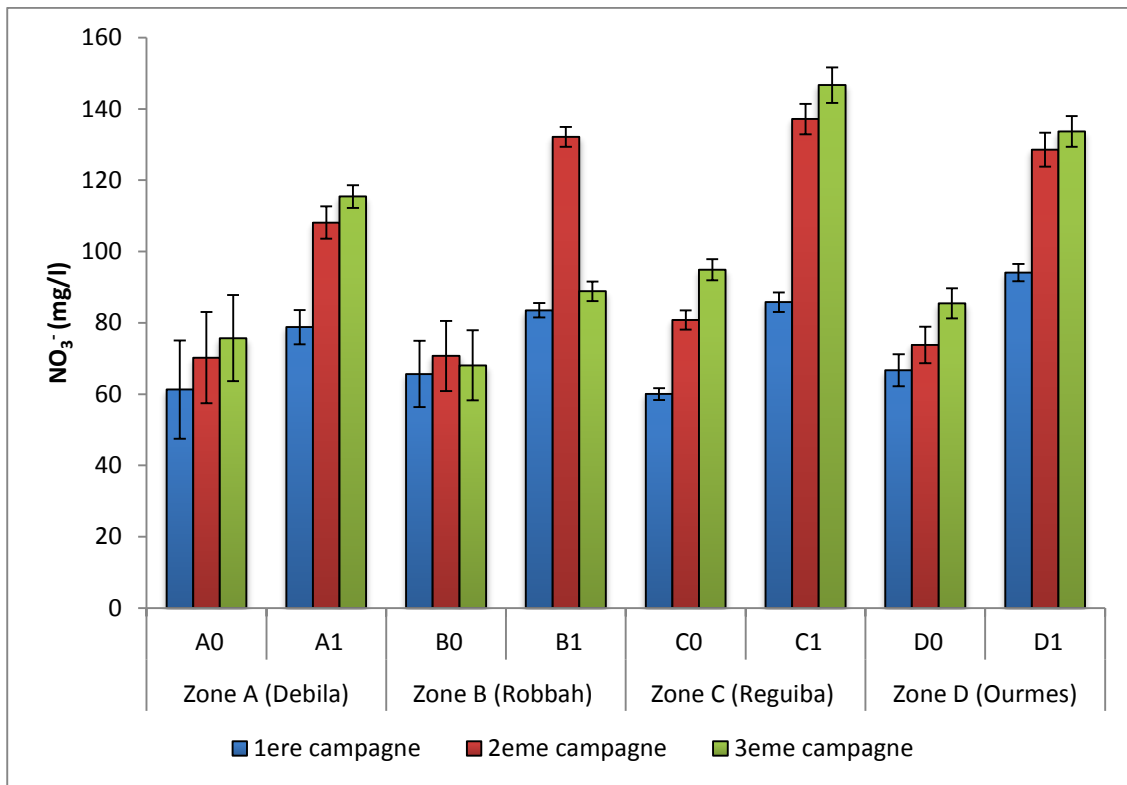
À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage les teneurs les plus élevées en nitrates ont été enregistrées au niveau de site C1 (site agricole - Reguiba) par de valeur de l'ordre de 137.16 mg/l. et les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau de site A1 (site agricole - Debila) par de valeur de l'ordre de 108.13 mg/l.

À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des sites C1 (site agricole - Reguiba) par de valeur de l'ordre de 146.66 mg/l, et les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau des sites B1 par de valeur de l'ordre de 88.83 mg/l.

On remarque une diminution de teneur en nitrates dans le site B1 (site agricole - Robbah) à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage. Cette diminution est due au sens d'écoulement des eaux souterraines dans la région d'El Oued (de sud vers le Nord) (Figure 01 ; Annexe II).

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

- ✓ Des différences non significatives entre les différentes zones étudiées (A, B, C, D).
- ✓ Des différences significatives entre les deux sites de prélèvement (agricole et non agricole).
- ✓ 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).



**Figure 21** : Variation des teneurs des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dans les eaux analysées.

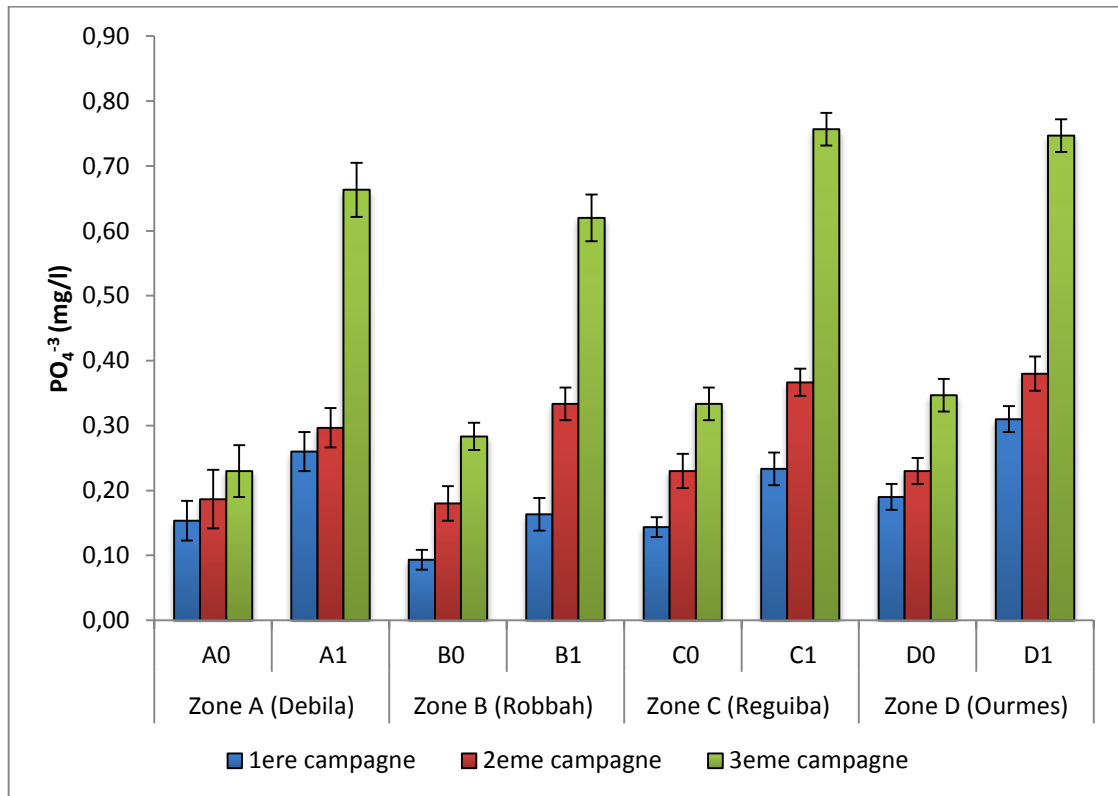
### I.3.4. Variation des teneurs des ions Orthophosphatés dans les eaux analysées

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 22, montre que la concentration en ions orthophosphatés dans les eaux analysées au niveau des sites agricoles à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage varie entre 0,16 mg/l pour B1 (site agricole - Rebbah) et 0,31 mg/l pour D1 (site agricole - Ourmes). À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, ces ions enregistrent des teneurs de 0,30 mg/l pour A1 (site agricole - Debila) et 0,38 mg/l pour D1 (site agricole - Ourmes). 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 0,62 mg/l pour B1 (site agricole - Rebbah) et 0,76 mg/l pour C1 (site agricole - Reguiba).

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 non significatives entre les différentes zones étudiées (A, B, C, D).
- ✓ Des différences significatives entre les deux sites de prélèvement (agricole et non agricole).
- ✓ 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).



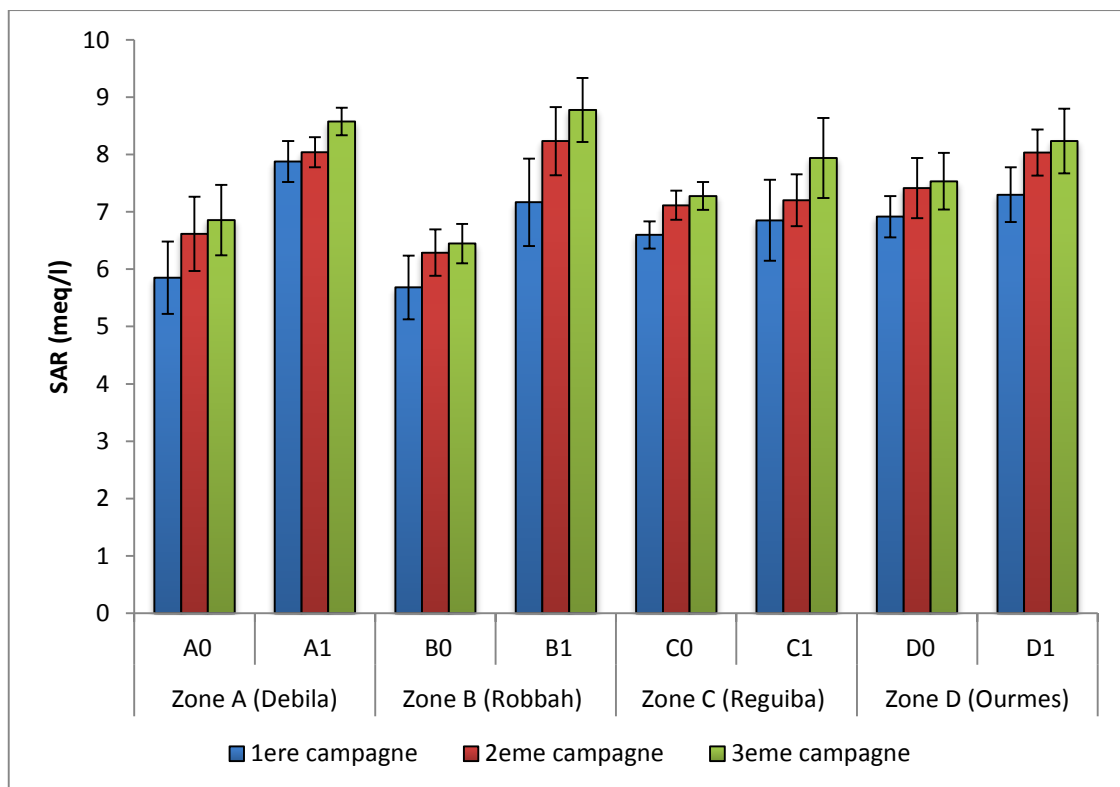
**Figure 22 :** Variation des teneurs des ions Orthophosphatés (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dans les eaux analysées.

### I.3.5. 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 :

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

L'analyse des résultats mentionnés dans la figure 23, montre que les valeurs de SAR des eaux analysées au niveau des sites agricoles à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage varient entre 6,85 meq/l pour D1 (site agricole - Ourmes) et 7,88 meq/l pour A1 (site agricole - Debila). À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, elles varient entre 7,20 meq/l pour D1 (site agricole - Ourmes) et 8,23 meq/l pour B1 (site agricole - Robbah). À la 3<sup>ème</sup> campagne les valeurs les plus faibles de SAR ont été enregistrées au niveau des sites C1 (site agricole - Reguiba) par de valeur de l'ordre de 7.94 meq/l, et les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des sites B1 (site agricole - Robbah) par de valeur de l'ordre de 8.77 meq/l.



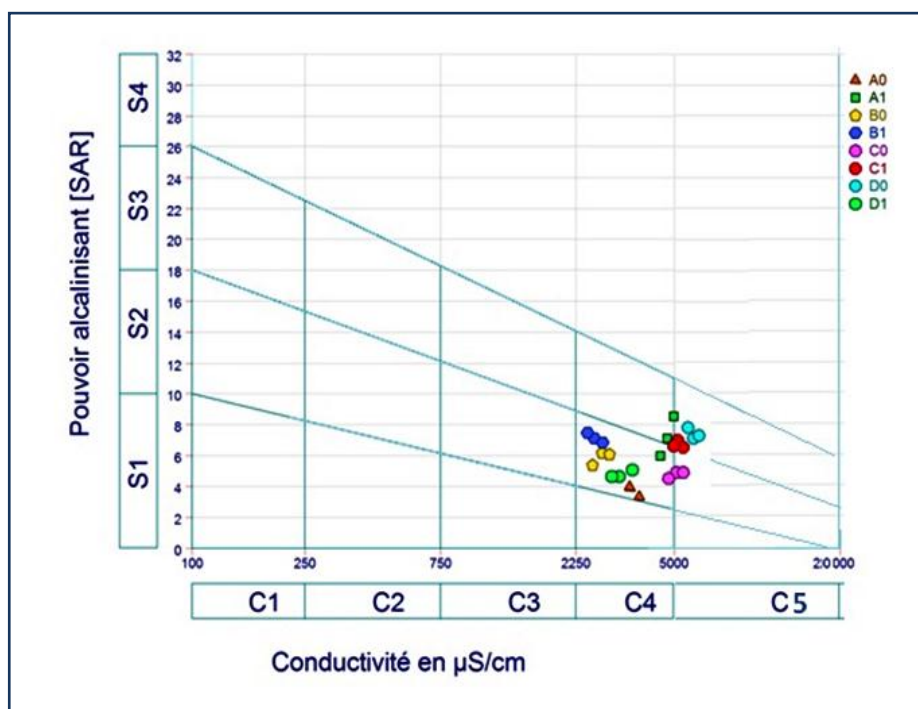
**Figure 23 :** Variation du taux de SAR dans les eaux analysées.

Les résultats des analyses statistiques relatifs aux valeurs du SAR des eaux analysées sont représentés dans l'Annexe III. Ces résultats montrent globalement :

- ✓ Des différences significatives entre les différentes zones étudiées (A, B, C, D).
- ✓ Des différences significatives entre les deux sites de prélèvement (agricole et non agricole).
- ✓ 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).

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'USSL (1954) modifié par Durand (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité s'avère le plus pratique pour les eaux Algériennes (Annexe IV). 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.

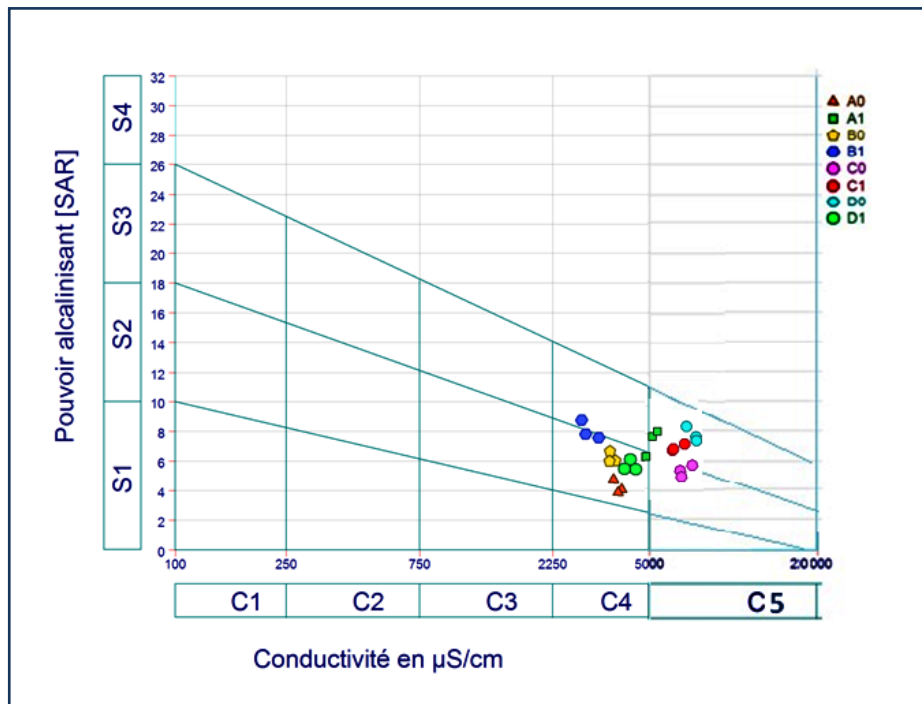
La classification des eaux d'irrigation aux niveaux des différents sites de prélèvement pour la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage est présentée dans les figures 24, 25 et 26 respectivement. Les résultats du classement de l'ensemble des points d'eau sont présentés dans les tableaux 11, 12 et 13.



**Figure 24 :** Classification des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958).

**Tableau 11** : Classes des eaux analysées à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage.

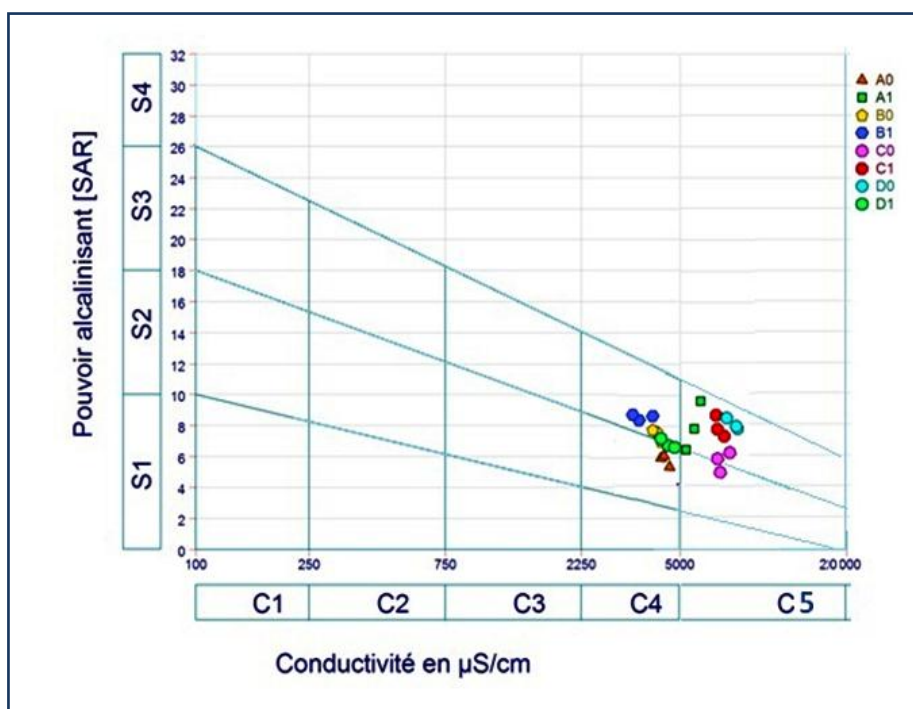
<i>Classe</i>	<i>Site de prélèvement</i>
C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>	A0, B0, B1, D1
C <sub>4</sub> -S <sub>3</sub>	A1
C <sub>5</sub> -S <sub>2</sub>	C0
C <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>	C1, D0



**Figure 25** : Classification des eaux analysées à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958).

**Tableau 12** : Classes des eaux analysées à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage.

<i>Classe</i>	<i>Site de prélèvement</i>
C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>	A0, B0, B1, D1
C <sub>5</sub> -S <sub>2</sub>	C0
C <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>	A1, C1, D0



**Figure 26 :** Classification des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par Durand (1958).

**Tableau 13 :** Classes des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage.

<i>Classe</i>	<i>Site de prélèvement</i>
C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub>	A0,
C <sub>4</sub> -S <sub>3</sub>	B0, B1, D1
C <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>	A1, C0, C1, D0

## Discussion générale

Les résultats obtenus montrent que les paramètres physico-chimiques ( $\text{NO}_3^{-2}$  et  $\text{PO}_4^{-3}$ ) subissent des fluctuations significatives à la fois au cours du temps (période d'échantillonnage), ainsi, qu'en fonction du site de prélèvement (agricole ou non agricole) et ceci au niveau des eaux analysées des quatre zones d'étude. Par ailleurs, les valeurs les plus élevées de ces paramètres ont été enregistrées au niveau des sites soumis à l'activité agricole par rapport aux sites témoins (non soumis à l'activité agricole).

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 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 ( $\text{NH}_4^+$ ), 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. 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 dans les sites agricoles des quatre régions d'étude.

Toutefois, cette augmentation reste faible, si on la compare à celle enregistrée par les ions nitrates. Cette différence peut être liée à la faible mobilité de l'ion phosphore au niveau du sol comparativement aux ions nitrates (Beaudin, 2006).

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 faible niveau piézométrique 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.

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 les sites agricoles et non agricoles concernons les deux paramètres à savoir le pH et la CE 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 au niveau des quatre zones étudiées.

Par ailleurs, d'après le système de classification des eaux de RIVERSIDE (1954), (modifié par Durand, 1958) les eaux analysées des quatre zones 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.

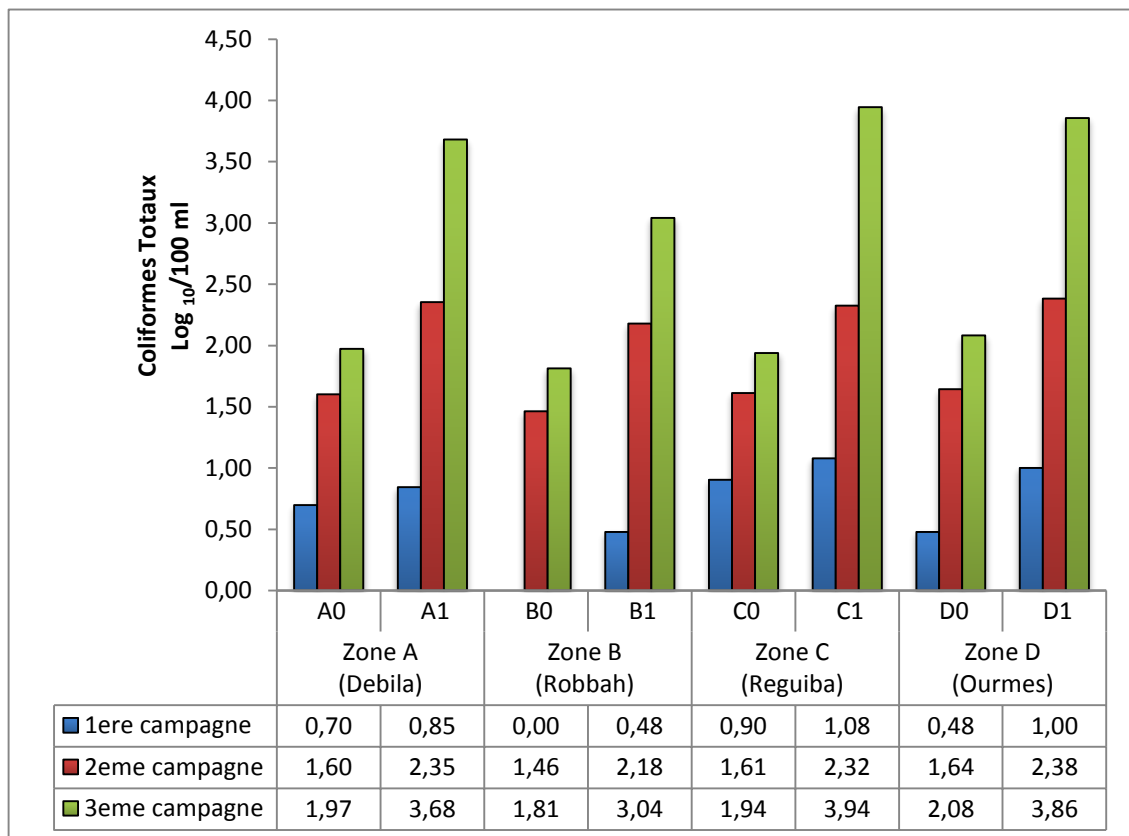
Toutefois, leur utilisation reste encore possible grâce à la texture sableuse très filtrante qui caractérise la région d'étude, ce qui est en mesure d'assurer un bon lessivage des sels en excès et par conséquent de limiter le risque d'accumulation des sels en surface.

## II. Qualité microbiologique des eaux analysées

L'analyse microbiologique des eaux analysées au niveau des sites agricoles des quatre zones 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 totaux et coliformes fécaux, streptocoques fécaux et en clostridium sulfito-réducteurs.

### II.1. Variation de concentration des coliformes totaux dans les eaux analysées



**Figure 27 :** Variation de concentration des coliformes totaux dans les eaux analysées

En ce qui concerne les coliformes totaux, à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage la concentration maximale a été enregistrée au niveau du site C1 (site agricole - Reguiba) avec 1.08 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis que, la concentration minimale a été obtenue au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 0.48 log<sub>10</sub>/100 ml. Les deux autres sites enregistrent des concentrations intermédiaires de 0.85 log<sub>10</sub>/100 ml et 1.00 log<sub>10</sub>/100 ml pour A1 (site agricole - Debila) et D1 (site agricole - Ourmes) respectivement.

À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage la concentration maximale a été enregistrée au niveau du site D1 (site agricole - Ourmes) avec 2.38 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis que, la concentration minimale a été obtenue au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 2.18 log<sub>10</sub>/100 ml.

Ainsi, la présence des coliformes totaux augmente au cours du temps pour atteindre à la 3<sup>ème</sup> campagne une concentration maximale au niveau du site C1 (site agricole - Reguiba) avec 3.94 log<sub>10</sub>/100 ml. Et une concentration minimale au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 3.04 log<sub>10</sub>/100 ml. Les deux autres sites enregistrent des concentrations intermédiaires de 3.68 log<sub>10</sub>/100 ml et 3.86 log<sub>10</sub>/100 ml pour A1 et D1 respectivement (Figure 27).

L'analyse de la variance appliquée sur les résultats obtenus par les coliformes totaux au niveau des quatre zones d'étude, montre des différences significatives entre les sites de prélèvement (agricole, non agricole), ainsi qu'entre les 3 campagnes d'échantillonnage dans les quatre zones étudiées.

## II.2. Variation de concentration des coliformes fécaux dans les eaux analysées

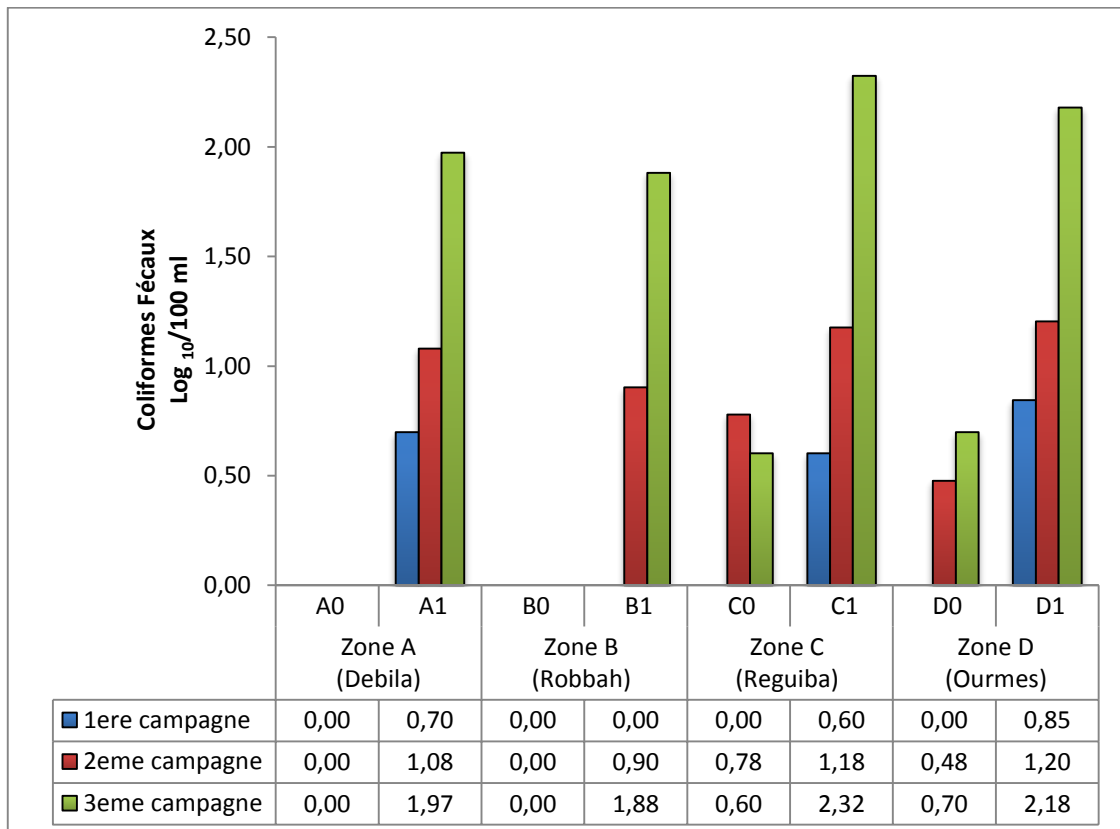


Figure 28 : Variation de concentration des coliformes fécaux dans les eaux analysées.

La numération des coliformes fécaux montre que les eaux des différents sites agricoles étudiés 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 28).

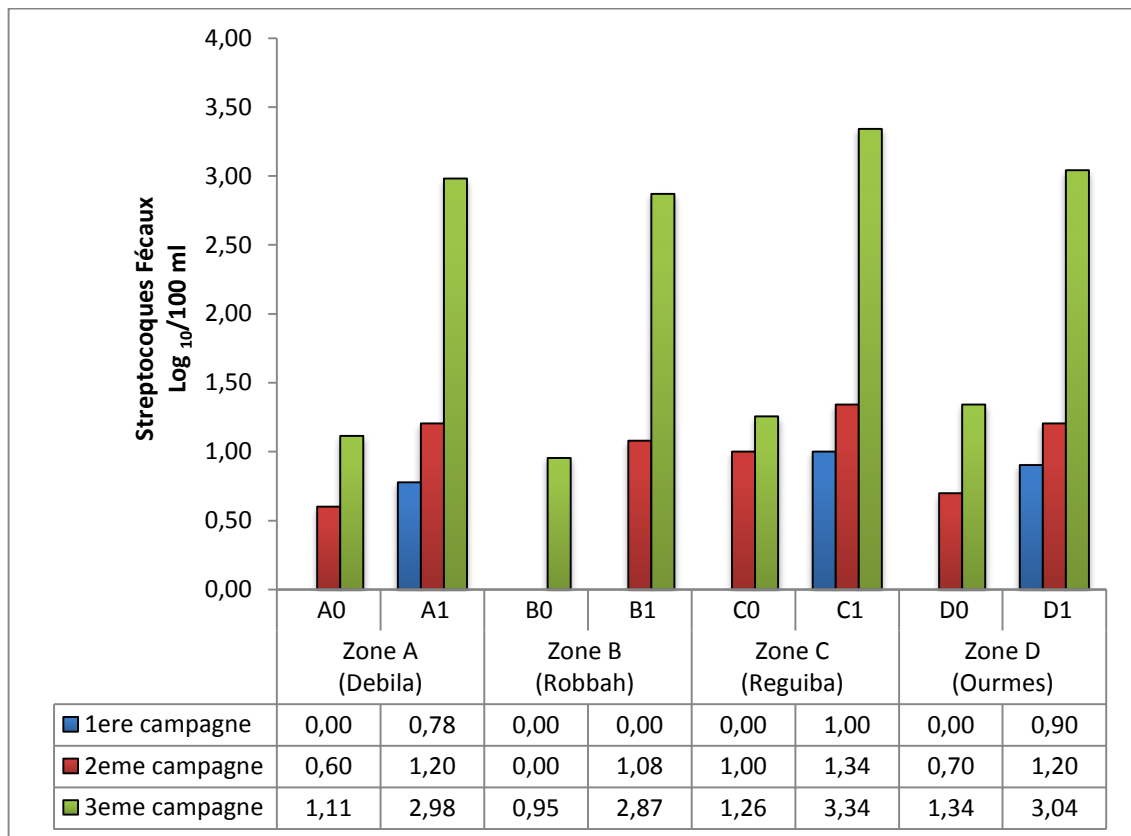
En fait, à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage la concentration maximale a été enregistrée au niveau du site D1 (site agricole - Ourmes) avec 0.85 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis qu'aucune contamination par ce type de bactérie n'a été observée au niveau du site B1 (site agricole - Robbah)

À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage la concentration maximale a été enregistrée au niveau du site D1 (site agricole - Ourmes) avec 1.20 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis que, la concentration minimale a été obtenue au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 0.90 log<sub>10</sub>/100 ml. Les deux autres sites enregistrent des concentrations intermédiaires de 1.08 et 1.18 log<sub>10</sub>/100 ml pour A1 (site agricole - Debila) et C1 (site agricole - Reguiba) respectivement.

Au cours de la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage la concentration maximale en coliformes fécaux a été enregistrée au niveau du site C1 (site agricole - Reguiba) avec 2.32 log<sub>10</sub>/100 ml, alors que, la concentration minimale a été enregistrée au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 1.88 log<sub>10</sub>/100 ml. Les deux autres sites enregistrent des concentrations intermédiaires de 1.97 et 2.18 log<sub>10</sub>/100 ml pour A1 (site agricole - Debila) et D1 (site agricole - Ourmes) respectivement.

L'analyse de la variance relative aux résultats des coliformes fécaux indiquent un effet significatif du site et du temps du prélèvement sur la concentration des eaux analysées et ceci dans les quatre zones étudiées.

**II.3. Variation de concentration des streptocoques fécaux dans les eaux analysées**



**Figure 29 :** Variation de concentration des streptocoques fécaux dans les eaux analysées.

Quant aux streptocoques fécaux, les résultats obtenus (Figure 29) montrent une concentration maximale enregistrée à la première campagne d'échantillonnage au niveau du site C1 (site agricole - Reguiba) avec 1,00 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis qu'aucune contamination par ce type de bactérie n'a été observée au niveau du site B1 (site agricole - Robbah).

À la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage la concentration maximale a été enregistrée au niveau du site C1 (site agricole - Reguiba) avec 1.34 log<sub>10</sub>/100 ml. Tandis que, la concentration minimale a été obtenue au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 1.08 log<sub>10</sub>/100 ml.

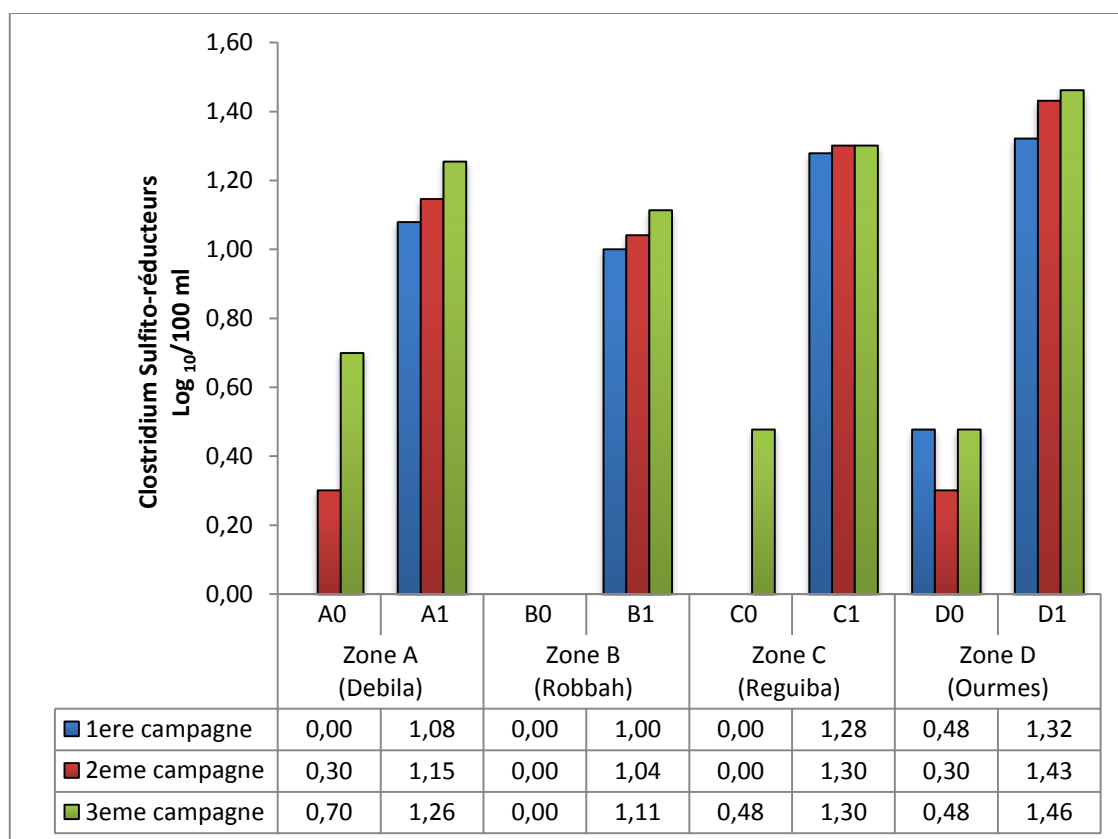
À la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, une augmentation significative de la concentration en streptocoques fécaux au niveau des sites agricoles a été observée. La concentration maximale au cours de cette période a été enregistrée au niveau du site C1 (site agricole - Reguiba) avec 3.34 log<sub>10</sub>/100 ml. Alors que, la plus faible concentration a été enregistrée au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 2.87 log<sub>10</sub>/100 ml. Les deux

autres sites enregistrent des concentrations intermédiaires de 2.98 et 3.04 log<sub>10</sub>/100 ml pour A1 et D1 respectivement.

Comme il est le cas de types bactéries précédentes (coliformes fécaux), l'analyse de la variance relative aux résultats des streptocoques fécaux, indique un effet significatif du site et du temps de prélèvement sur la concentration des eaux analysées, et ceci dans les quatre zones étudiées.

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

#### II.4. Variation de concentration des clostridium sulfito-réducteurs dans les eaux analysées



**Figure 30 :** Variation de concentration des clostridium sulfito-réducteurs dans les eaux analysées.

La présence des spores des anaérobies sulfito-réducteurs dans l'eau indique un cas de contamination fécale et en absence de bactéries Coliformes, à une contamination déjà ancienne (OMS, 1994). Elles sont très résistantes et leur présence est un bon indicateur de la vulnérabilité des aquifères (Travel et *al.*, 2006).

A la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage, la concentration maximale de Clostridium sulfito-réducteurs a été enregistrée au niveau du site D1 (site agricole - Ourmes) avec 1.32 log<sub>10</sub>/100 ml. Alors que, la concentration minimale a été enregistrée au niveau du site B1 (site agricole - Robbah) avec 1.00 log<sub>10</sub>/100 ml. Ces résultats montrent une faible variation entre les différents sites agricoles étudiés. C'est ainsi, qu'à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage, la concentration la plus élevée en clostridium sulfito-réducteur est de 1.46 log<sub>10</sub>/100 ml a été enregistrée au niveau du site D1 (site agricole - Ourmes), et la concentration la plus faible est de 1.11 log<sub>10</sub>/100 ml a été enregistrée au niveau du site B1 (site agricole - Robbah). Ces résultats montrent une faible variation au cours du temps.

L'analyse de la variance, montre que le site de prélèvement a un effet significatif sur la concentration des anaérobies sulfito-réducteurs. Toutefois, et contrairement aux types de bactéries précédentes, le temps de prélèvement n'a enregistré aucun effet significatif sur cette concentration pour l'ensemble des eaux analysées au niveau des quatre zones étudiées.

### **Discussion générale**

Les résultats obtenus montrent que la présence des polluants de la contamination fécale (Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux, Clostridium Sulfito-réducteurs), subissent d'amples fluctuations temporelles au niveau des eaux souterraines des différentes zones agricole étudiées.

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 des sites agricoles dans les quatre régions d'étude, 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.

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.

L'intensité de la pollution des eaux souterraines dépend du type du sol et de la dose en polluants (White *et al.*, 1986).

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 des sites étudiés. Ce rapport est de l'ordre de 0.80, 0.00, 0.33 et 0.85 pour A1, B1, C1 et D1 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 0.73, 0.63, 0.66 et 1.00 pour A1, B1, C1 et D1 respectivement. Enfin de la période expérimentale (3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage), les rapports enregistrés sont de l'ordre de 0.09, 0.10, 0.09 et 0.13 pour A1, B1, C1 et D1 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 quatre zones agricoles dans la région d'Oued Souf, on constate une dégradation de la qualité des eaux souterraines particulièrement au niveau de la zone soumise à l'écoulement de l'exutoire (Reguiba).

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 (agricole, non agricole) et de période de prélèvement (1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage).

Par ailleurs, les teneurs les plus élevées en nitrates ont été enregistrées dans la zone de Reguiba à la fin de la période de suivi avec une teneur de 146.66 mg/l, alors que les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau de la zone de Robbah avec 88.83 mg/l. Les deux autres zones enregistrent des teneurs intermédiaires de 115.42 et 133.70 mg/l respectivement pour la zone Debila et Ourmes.

La présence des indicateurs de pollution nitrique et de la contamination fécale au niveau des eaux souterraines des sites étudiés peut être liée d'une part, à la nature sableuse de sol de ces sites et au faible 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.

Enfin, l'ensemble des mesures réalisées sur les eaux profondes analysées présentent des signes de pollution par les nitrates. En fait, la majorité des analyses ont révélé des teneurs en nitrates qui dépassent les normes de potabilité (50 mg/l).

En ce qui concerne les analyses bactériologiques, les résultats obtenus montrent que tous les sites agricoles analysés ont des indicateurs de pollution fécale d'origine agricole (pollution ancienne indiqué par la présence des spores de clostridium sulfite-réducteurs et pollution récente indiqué par la présence des streptocoques fécaux).

Toutefois, la teneur la plus élevée en streptocoques fécaux a été enregistrée pendant la fin de la période de suivi (fin de campagne agricole) dans la zone de Reguiba avec une valeur de  $3.34 \log_{10}/100 \text{ ml}$ , alors que la teneur la plus faible a été enregistrées au niveau de la zone de Robbah avec  $2.87 \log_{10}/100 \text{ ml}$ . Les deux autres zones enregistrent des teneurs intermédiaires de 2.98 et  $3.04 \log_{10}/100 \text{ ml}$  en streptocoques fécaux respectivement pour la zone de Debila et la zone d'Ourmes.

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 utilisés.

A titre d'exemple dans le cas de la pollution diffuse des ressources en eau souterraines par l'ion nitrate on recommande que :

- La fertilisation azotées devrait être adaptée aux besoins des cultures pour un niveau de rendement optimum et aux potentialités du milieu, elle doit tenir compte du potentiel de minéralisation de la matière organique native du sol, des apports d'azote par le fumier et de la capacité de libération de l'ammonium non échangeable ;
- La fertilisation ainsi révisée devrait permettre de réduire, pour toutes les rotations culturales et à l'échelle du périmètre, l'azote minéral résiduel et la concentration en nitrate de la solution du sol et de l'eau de drainage à un niveau acceptable ;
- Une gestion rationnelle de l'irrigation tel 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 ;

- Le choix des mesures agronomiques de lutte contre la pollution nitrique des ressources en eau souterraine doit obligatoirement passer par une évaluation qui permet de comparer, en terme de réduction de la pollution mais aussi en terme de productivité des mesures envisagées.

- L'utilisation des techniques agronomiques de lutte contre la pollution microbiologique tel que le compostage des fumiers pour minimiser le risque de la pollution fécale des eaux souterraines.

- Par ailleurs, le contrôle de la pollution des eaux souterraines par les nitrates ne pourrait se concevoir sans un programme de sensibilisation des agriculteurs et de vulgarisation de pratiques culturales adéquates permettant d'obtenir de bons rendements tout en respectant la qualité nitrique des ressources en eau souterraine.

## 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 orthopterologiques 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.
- Bou Saab H., Nassif N., El Samrani A., Daoud R., Madawar S., Ouaini N., 2007 :** Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (Rivière Nahr Ibrahim, Liban). Revue science de l'eau N° 4, 341-352.
- 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.
- Cantor KP., 1997 :** Drinking water and cancer ; *Cancer causes and control* 1997 ;8:292–308.
- 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.
- Crane S.R., Westerman P.W. and Overcash M.R., 1980:** Die-off of fecal indicator organisms following land application of poultry manure. *J. Environ. Qual.* 9(3), p 531-537.
- 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.
- DHW, 2007 :** Bulletin d'information hydraulique -Ed. direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued 22 p.
- 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.
- 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 (OFEPF), Berne, Suisse.180 p.
- George I. et Servais P., 2002 :** Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine ; Rapport de synthèse. Programme PIREN Seine. Février 2002.
- 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.
- Hartemann P., 2004 :** Contamination des eaux en milieu professionnel ; EMC-Toxicologie Pathologie 1 (2004) 63–78.
- 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 edEcologia 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.

- Ladjet 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.
- Larpent Jean-Paul, 1997** : Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.
- Laurent François, 2013** : Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Thèse, Université du Maine, 214p.
- Lebres E. A., Mouffok F., 2008** : Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Laboratoires bactériologiques alimentaires et des eaux. Institut Pasteur d'Algérie, Alger, 53 p.
- Leclerc H., Festy B., Lazar P., 1982** : Connaissances actuelles sur la pathologie hydrique. *RevEpidémiol Santé Publ*1982;30: 363-385.
- 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
- 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 Imouzzar Marmoucha (Maroc) ; Science Lib Editions Mersenne : Volume 6, N ° 140103
- O.N.M., 2014** : Bulletin d'information climatique et agronomique. Office nati. météo, cent. clim. El-Oued, 3p.
- OCDE., 2004** : Agriculture et environnement: enseignements tirés de dix ans (1993-2003) des travaux de l'OCDE.

- OMS, 1994** : Directives de qualité pour les eaux de boisson; Volume 1- Recommandation. Organisation mondiale de la santé 2e édition.
- 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
- Travel A. et al., 2006** : Attention à la qualité de l'eau de boisson, Réussir Aviculture, Nov., n° 121, 21-23.
- 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.
- Vezie C., Bertru G., Brien T., Lefeuvre JC., 1997** : Blooms de cyanobactéries hépatotoxiques dans l'Ouest de la France. *TechSciMeth*1997;92(10):39-45.
- Vilain M., 1989** : La production végétale. Vol 2: la maitrise de technique de la production. ED. Lavoisier (ed.J. Baillié).Paris- France.
- Voisin P., 2004** : Le Souf ; Ed. El-Walide ; El-Oued ;319p.
- White R. E., Dayson J. S., Haigh R. A., Jury W. A. and Sposito G., 1986**: A Transfer Function Model of Solute Transport Through Soil, 2 Illustrative Applications. *Water Resources Research*, 22 (2) (1986) 248-254.
- Ziegler D., et Heduit M., 1991** : Engrais de ferme : Valeur fertilisante, gestion, environnement. Rapport ITP, ITCF, ITEB, 35p.



## Annexe I

Tableau 01 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux à la 1<sup>ère</sup> campagne d'échantillonnage

N° échantillon	Anions												Cations								Σ anions	Σ cations	% Erreur	Conductivité (μs/cm)	conclusion			
	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	
A0	R1	0,12	0,00	54,75	0,88	0,19	0,00	1888,37	39,34	492,79	13,90	111,02	1,82	31,12	1,73	541,08	27,00	148,26	12,36	400,00	17,39	35,00	0,90	55,95	59,37	-2,97	3500	bon
	R2	0,18	0,01	77,13	1,24	0,18	0,00	1975,56	41,16	457,34	12,90	95,16	1,56	35,29	1,96	549,09	27,40	177,42	14,79	350,00	15,22	30,00	0,77	56,87	60,13	-2,79	3752	bon
	R3	0,16	0,01	52,00	0,84	0,22	0,00	1795,45	37,41	492,79	13,90	100,04	1,64	33,28	1,85	501,00	25,00	157,98	13,17	400,00	17,39	25,00	0,64	53,79	58,05	-3,80	3472	bon
A1	R1	0,23	0,01	73,59	1,18	0,31	0,01	2074,61	43,22	691,33	19,50	100,04	1,64	37,78	2,10	549,09	27,40	109,37	9,11	700,00	30,43	30,00	0,77	65,56	69,82	-3,15	4740	bon
	R2	0,26	0,01	83,18	1,34	0,35	0,01	1983,75	41,33	662,97	18,70	104,92	1,72	35,68	1,98	569,13	28,40	116,66	9,72	600,00	26,09	35,00	0,90	63,10	67,09	-3,06	4478	bon
	R3	0,29	0,01	79,56	1,28	0,32	0,01	2124,35	44,26	606,24	17,10	108,58	1,78	33,49	1,86	573,14	28,60	53,47	4,46	800,00	34,78	25,00	0,64	64,43	70,34	-4,38	4986	bon
B0	R1	0,09	0,00	76,33	1,23	0,15	0,00	1877,88	39,12	386,43	10,90	68,32	1,12	29,78	1,65	492,98	24,60	65,62	5,47	550,00	23,91	25,00	0,64	52,38	56,28	-3,59	2780	bon
	R2	0,11	0,00	59,26	0,95	0,12	0,00	1889,78	39,37	407,70	11,50	87,84	1,44	26,19	1,46	501,00	25,00	72,91	6,08	550,00	23,91	35,00	0,90	53,27	57,34	-3,68	2963	bon
	R3	0,08	0,00	61,38	0,99	0,19	0,00	1902,98	39,65	414,80	11,70	92,72	1,52	30,87	1,72	521,04	26,00	77,77	6,48	500,00	21,74	20,00	0,51	53,86	56,45	-2,35	2568	bon
B1	R1	0,19	0,01	85,30	1,37	0,29	0,01	1882,09	39,21	301,35	8,50	79,30	1,30	31,56	1,75	460,92	23,00	46,17	3,85	600,00	26,09	20,00	0,51	50,39	55,20	-4,55	2620	bon
	R2	0,16	0,01	81,29	1,31	0,31	0,01	1908,75	39,77	464,43	13,10	87,84	1,44	30,16	1,68	484,96	24,20	51,04	4,25	650,00	28,26	25,00	0,64	55,62	59,03	-2,97	2468	bon
	R3	0,14	0,00	83,97	1,35	0,35	0,01	1854,93	38,64	450,25	12,70	98,82	1,62	32,97	1,83	496,99	24,80	48,61	4,05	600,00	26,09	25,00	0,64	54,33	57,41	-2,76	2789	bon
C0	R1	0,13	0,00	58,22	0,94	0,12	0,00	1925,62	40,12	918,23	25,90	109,80	1,80	32,16	1,79	625,24	31,20	189,57	15,80	550,00	23,91	60,00	1,54	68,76	74,24	-3,83	5090	bon
	R2	0,16	0,01	61,56	0,99	0,19	0,00	1957,23	40,78	847,32	23,90	113,46	1,86	29,35	1,63	649,29	32,40	172,56	14,38	550,00	23,91	70,00	1,79	67,54	74,12	-4,65	5387	bon
	R3	0,14	0,00	60,29	0,97	0,17	0,00	1900,48	39,59	882,77	24,90	107,36	1,76	33,26	1,85	637,27	31,80	174,99	14,58	500,00	21,74	65,00	1,67	67,23	71,64	-3,17	4785	bon
C1	R1	0,21	0,01	86,76	1,39	0,34	0,01	2219,81	46,25	1052,95	29,70	179,34	2,94	39,59	2,20	693,38	34,60	182,28	15,19	800,00	34,78	70,00	1,79	80,30	88,57	-4,90	5150	bon
	R2	0,23	0,01	82,69	1,33	0,29	0,01	2251,03	46,90	1024,59	28,90	164,70	2,70	36,98	2,05	717,43	35,80	170,13	14,18	750,00	32,61	75,00	1,92	79,84	86,56	-4,04	5386	bon
	R3	0,26	0,01	87,94	1,41	0,33	0,01	2198,32	45,80	1017,50	28,70	170,80	2,80	41,26	2,29	681,36	34,00	174,99	14,58	750,00	32,61	65,00	1,67	78,73	85,15	-3,92	4986	bon
D0	R1	0,17	0,01	62,57	1,01	0,20	0,00	1864,57	38,85	1052,95	29,70	190,32	3,12	31,52	1,75	637,27	31,80	123,95	10,33	750,00	32,61	70,00	1,79	72,68	78,28	-3,71	5840	bon
	R2	0,19	0,01	65,97	1,06	0,18	0,00	1902,32	39,63	1010,41	28,50	174,46	2,86	33,68	1,87	605,20	30,20	114,23	9,52	800,00	34,78	75,00	1,92	72,06	78,30	-4,14	5589	bon
	R3	0,21	0,01	71,52	1,15	0,21	0,00	1826,87	38,06	996,22	28,10	181,78	2,98	35,62	1,98	625,24	31,20	106,94	8,91	750,00	32,61	75,00	1,92	70,30	76,62	-4,30	6125	bon
D1	R1	0,31	0,01	96,71	1,55	0,36	0,01	1754,86	36,56	428,98	12,10	98,82	1,62	42,68	2,37	480,96	24,00	43,74	3,65	400,00	17,39	35,00	0,90	51,85	48,30	3,54	3200	bon
	R2	0,33	0,01	91,87	1,48	0,31	0,01	1802,35	37,55	485,70	13,70	112,24	1,84	39,56	2,20	496,99	24,80	60,76	5,06	450,00	19,57	30,00	0,77	54,58	52,40	2,04	3560	bon
	R3	0,29	0,01	93,68	1,51	0,37	0,01	1712,69	35,68	464,43	13,10	96,38	1,58	41,23	2,29	476,95	23,80	51,04	4,25	400,00	17,39	35,00	0,90	51,88	48,63	3,24	3008	bon

Tableau 02 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux à la 2<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage

N° échantillon	Anions													Cations								Σ anions	Σ cations	% Erreur	Conductivité (µs/cm)	conclusion		
	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] mg/l	[Cl] 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	
A0	R1	0,14	0,00	67,26	1,08	0,21	0,00	2123,45	44,24	563,70	15,90	123,22	2,02	35,26	1,96	569,13	28,40	160,41	13,37	500,00	21,74	40,00	1,03	63,25	66,49	-2,50	3720	bon
	R2	0,23	0,01	84,29	1,35	0,19	0,00	2212,38	46,09	499,88	14,10	108,58	1,78	39,65	2,20	581,16	29,00	194,44	16,20	450,00	19,57	30,00	0,77	63,34	67,74	-3,36	3968	bon
	R3	0,19	0,01	59,16	0,95	0,25	0,01	2045,23	42,61	535,34	15,10	111,02	1,82	36,45	2,03	533,06	26,60	167,70	13,98	400,00	17,39	30,00	0,77	60,49	60,76	-0,22	3865	bon
A1	R1	0,27	0,01	103,47	1,66	0,42	0,01	2345,68	48,87	719,69	20,30	112,24	1,84	51,29	2,85	581,16	29,00	133,67	11,14	800,00	34,78	35,00	0,90	72,69	78,67	-3,95	5130	bon
	R2	0,29	0,01	112,56	1,81	0,43	0,01	2278,63	47,47	698,42	19,70	117,12	1,92	49,53	2,75	597,19	29,80	126,38	10,53	650,00	28,26	40,00	1,03	70,92	72,37	-1,01	4875	bon
	R3	0,33	0,01	108,37	1,74	0,47	0,01	2456,37	51,17	634,60	17,90	124,44	2,04	47,89	2,66	601,20	30,00	80,20	6,68	800,00	34,78	35,00	0,90	72,88	75,02	-1,45	5368	bon
B0	R1	0,17	0,01	81,98	1,32	0,19	0,00	2145,86	44,71	428,98	12,10	80,52	1,32	32,56	1,81	521,04	26,00	85,06	7,09	650,00	28,26	25,00	0,64	59,45	63,80	-3,53	3620	bon
	R2	0,16	0,01	63,75	1,02	0,16	0,00	2178,38	45,38	436,07	12,30	98,82	1,62	30,89	1,72	533,06	26,60	92,35	7,70	600,00	26,09	35,00	0,90	60,34	63,00	-2,16	3785	bon
	R3	0,21	0,01	66,34	1,07	0,21	0,00	2245,37	46,78	457,34	12,90	111,02	1,82	33,79	1,88	549,09	27,40	99,65	8,30	600,00	26,09	30,00	0,77	62,58	64,44	-1,46	3586	bon
B1	R1	0,36	0,01	135,23	2,17	0,39	0,01	2191,36	45,65	358,07	10,10	92,72	1,52	45,29	2,52	496,99	24,80	65,62	5,47	700,00	30,43	30,00	0,77	59,47	63,99	-3,66	2965	bon
	R2	0,33	0,01	129,67	2,08	0,40	0,01	2211,35	46,07	499,88	14,10	98,82	1,62	43,18	2,40	505,00	25,20	77,77	6,48	800,00	34,78	30,00	0,77	63,89	69,63	-4,30	2865	bon
	R3	0,31	0,01	131,58	2,11	0,41	0,01	2149,86	44,79	492,79	13,90	112,24	1,84	46,89	2,61	533,06	26,60	68,05	5,67	700,00	30,43	25,00	0,64	62,66	65,95	-2,56	3285	bon
C0	R1	0,22	0,01	77,68	1,25	0,16	0,00	2227,86	46,41	953,68	26,90	124,44	2,04	35,28	1,96	653,30	32,60	206,59	17,22	650,00	28,26	70,00	1,79	76,61	81,83	-3,29	7340	bon
	R2	0,26	0,01	82,69	1,33	0,23	0,01	2254,36	46,97	896,96	25,30	131,76	2,16	33,18	1,84	673,34	33,60	194,44	16,20	600,00	26,09	75,00	1,92	75,77	79,66	-2,50	6598	bon
	R3	0,21	0,01	81,97	1,32	0,21	0,00	2203,75	45,91	911,14	25,70	124,44	2,04	34,86	1,94	669,33	33,40	196,87	16,41	550,00	23,91	65,00	1,67	74,98	77,32	-1,54	6689	bon
C1	R1	0,35	0,01	141,36	2,27	0,53	0,01	2531,86	52,75	1088,40	30,70	190,32	3,12	50,47	2,80	725,44	36,20	199,30	16,61	850,00	36,96	75,00	1,92	88,86	94,49	-3,07	6890	bon
	R2	0,36	0,01	132,86	2,13	0,47	0,01	2557,36	53,28	1074,22	30,30	180,56	2,96	48,93	2,72	749,49	37,40	189,57	15,80	800,00	34,78	80,00	2,05	88,70	92,75	-2,23	6195	bon
	R3	0,39	0,01	137,26	2,21	0,50	0,01	2489,36	51,86	1060,04	29,90	184,22	3,02	52,26	2,90	709,41	35,40	199,30	16,61	800,00	34,78	70,00	1,79	87,01	91,49	-2,51	6235	bon
D0	R1	0,21	0,01	69,34	1,11	0,23	0,01	2176,35	45,34	1095,49	30,90	208,62	3,42	35,76	1,99	669,33	33,40	148,26	12,36	850,00	36,96	75,00	1,92	80,79	86,62	-3,48	7590	bon
	R2	0,23	0,01	72,68	1,17	0,21	0,00	2208,35	46,01	1052,95	29,70	193,98	3,18	37,26	2,07	637,27	31,80	131,24	10,94	900,00	39,13	80,00	2,05	80,07	85,99	-3,56	6995	bon
	R3	0,25	0,01	79,37	1,28	0,26	0,01	2143,81	44,66	1017,50	28,70	197,64	3,24	38,98	2,17	657,31	32,80	131,24	10,94	800,00	34,78	75,00	1,92	77,89	82,61	-2,94	7652	bon
D1	R1	0,39	0,01	123,46	1,98	0,53	0,01	2063,86	43,00	485,70	13,70	117,12	1,92	53,76	2,99	509,01	25,40	63,19	5,27	550,00	23,91	40,00	1,03	60,63	58,59	1,71	4280	bon
	R2	0,40	0,01	132,84	2,13	0,43	0,01	2104,36	43,84	506,97	14,30	130,54	2,14	51,29	2,85	529,05	26,40	70,48	5,87	500,00	21,74	35,00	0,90	62,44	57,76	3,89	4475	bon
	R3	0,35	0,01	129,46	2,08	0,51	0,01	2041,22	42,53	499,88	14,10	114,68	1,88	50,77	2,82	509,01	25,40	75,34	6,28	500,00	21,74	40,00	1,03	60,61	57,26	2,84	4075	bon

**Tableau 03 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux analysées à la 3<sup>ème</sup> campagne d'échantillonnage**

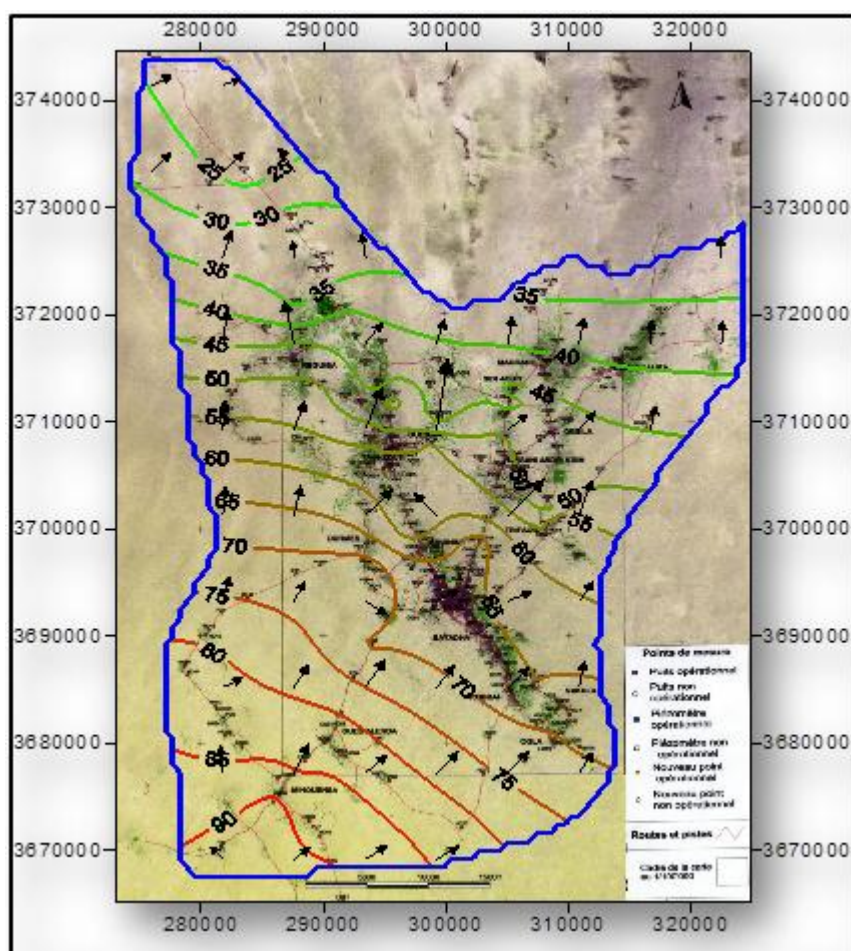
N° échantillon	Anions													Cations								Σ anions	Σ cations	% Erreur	Conductivité (µs/cm)	conclusion		
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg+2		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] mg/l	[Cl] 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	
A0	R1	0,19	0,01	71,38	1,15	0,25	0,01	2531,26	52,73	599,15	16,90	139,08	2,28	39,56	2,20	597,19	29,80	184,71	15,39	650,00	28,26	45,00	1,15	73,07	76,80	-2,49	4256	bon
	R2	0,27	0,01	89,34	1,44	0,21	0,00	2635,98	54,92	528,24	14,90	125,66	2,06	42,35	2,35	609,21	30,40	206,59	17,22	600,00	26,09	40,00	1,03	73,33	77,08	-2,50	4568	bon
	R3	0,23	0,01	66,34	1,07	0,27	0,01	2478,23	51,63	563,70	15,90	125,66	2,06	39,37	2,19	561,12	28,00	184,71	15,39	650,00	28,26	30,00	0,77	70,67	74,61	-2,71	4368	bon
A1	R1	0,63	0,02	112,27	1,80	0,44	0,01	2754,23	57,38	755,14	21,30	128,10	2,10	53,26	2,96	621,24	31,00	160,41	13,37	850,00	36,96	40,00	1,03	82,61	85,31	-1,60	5586	bon
	R2	0,65	0,02	118,69	1,91	0,47	0,01	2698,74	56,22	733,87	20,70	132,98	2,18	51,89	2,88	633,26	31,60	153,12	12,76	700,00	30,43	45,00	1,15	81,04	78,83	1,38	5235	bon
	R3	0,71	0,02	115,29	1,85	0,51	0,01	2847,12	59,32	670,06	18,90	141,52	2,32	49,67	2,76	645,28	32,20	104,51	8,71	1000,00	43,48	40,00	1,03	82,42	88,17	-3,37	5896	bon
B0	R1	0,26	0,01	79,34	1,27	0,16	0,00	2531,23	52,73	471,52	13,30	100,04	1,64	30,89	1,72	553,10	27,60	109,37	9,11	750,00	32,61	30,00	0,77	68,96	71,81	-2,02	4123	bon
	R2	0,29	0,01	61,45	0,99	0,13	0,00	2594,36	54,05	471,52	13,30	117,12	1,92	27,26	1,51	569,13	28,40	116,66	9,72	700,00	30,43	40,00	1,03	70,27	71,10	-0,58	4286	bon
	R3	0,30	0,01	63,46	1,02	0,20	0,00	2630,17	54,80	499,88	14,10	129,32	2,12	31,79	1,77	589,17	29,40	131,24	10,94	800,00	34,78	35,00	0,90	72,05	77,78	-3,83	3968	bon
B1	R1	0,66	0,02	91,35	1,47	0,31	0,01	2602,78	54,22	400,61	11,30	111,02	1,82	37,26	2,07	537,07	26,80	92,35	7,70	800,00	34,78	40,00	1,03	68,84	72,37	-2,50	3562	bon
	R2	0,61	0,02	89,26	1,43	0,33	0,01	2620,17	54,59	542,43	15,30	115,90	1,90	33,19	1,84	545,08	27,20	102,08	8,51	850,00	36,96	30,00	0,77	73,25	75,28	-1,36	3382	bon
	R3	0,59	0,02	85,89	1,38	0,36	0,01	2554,36	53,22	535,34	15,10	129,32	2,12	35,98	2,00	573,14	28,60	92,35	7,70	850,00	36,96	30,00	0,77	71,84	76,02	-2,82	3976	bon
C0	R1	0,33	0,01	93,16	1,50	0,23	0,01	2645,35	55,11	996,22	28,10	142,74	2,34	39,56	2,20	693,38	34,60	228,46	19,04	750,00	32,61	80,00	2,05	87,07	90,50	-1,93	7486	bon
	R2	0,36	0,01	98,36	1,58	0,27	0,01	2678,19	55,80	939,50	26,50	151,28	2,48	37,65	2,09	709,41	35,40	218,74	18,23	700,00	30,43	75,00	1,92	86,38	88,08	-0,98	6756	bon
	R3	0,31	0,01	93,16	1,50	0,25	0,01	2604,86	54,27	946,59	26,70	142,74	2,34	36,47	2,03	713,42	35,60	216,31	18,03	600,00	26,09	70,00	1,79	84,82	83,53	0,77	6895	bon
C1	R1	0,73	0,02	151,36	2,43	0,57	0,01	2941,23	61,28	1130,95	31,90	206,18	3,38	52,14	2,90	769,53	38,40	223,60	18,63	900,00	39,13	85,00	2,18	99,03	101,24	-1,11	7152	bon
	R2	0,76	0,02	147,23	2,37	0,51	0,01	2935,38	61,15	1109,67	31,30	197,64	3,24	49,38	2,74	793,58	39,60	199,30	16,61	950,00	41,30	80,00	2,05	98,10	102,31	-2,10	6743	bon
	R3	0,78	0,02	141,39	2,27	0,53	0,01	2879,36	59,99	1102,58	31,10	203,74	3,34	53,67	2,98	753,50	37,60	148,26	12,36	1000,00	43,48	75,00	1,92	96,74	98,34	-0,82	6698	bon
D0	R1	0,32	0,01	81,26	1,31	0,25	0,01	2584,36	53,84	1130,95	31,90	225,70	3,70	37,26	2,07	705,40	35,20	172,56	14,38	900,00	39,13	80,00	2,05	90,76	92,83	-1,13	7965	bon
	R2	0,35	0,01	85,36	1,37	0,24	0,01	2635,96	54,92	1088,40	30,70	213,50	3,50	40,17	2,23	677,35	33,80	157,98	13,17	950,00	41,30	85,00	2,18	90,51	92,68	-1,19	7256	bon
	R3	0,37	0,01	89,71	1,44	0,29	0,01	2539,57	52,91	1052,95	29,70	217,16	3,56	41,23	2,29	701,40	35,00	155,55	12,96	900,00	39,13	75,00	1,92	87,63	91,31	-2,05	7856	bon
D1	R1	0,75	0,02	129,34	2,08	0,54	0,01	2474,36	51,55	528,24	14,90	135,42	2,22	54,28	3,02	553,10	27,60	87,49	7,29	650,00	28,26	45,00	1,15	70,78	67,32	2,51	4523	bon
	R2	0,77	0,02	137,96	2,22	0,46	0,01	2511,36	52,32	549,52	15,50	151,28	2,48	53,79	2,99	573,14	28,60	94,78	7,90	650,00	28,26	40,00	1,03	72,55	68,77	2,67	4756	bon
	R3	0,72	0,02	133,79	2,15	0,53	0,01	2463,35	51,32	542,43	15,30	132,98	2,18	52,74	2,93	557,11	27,80	94,78	7,90	700,00	30,43	40,00	1,03	70,98	70,09	0,64	4256	bon

## Annexe II

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



## Annexe III

## - Les analyses statistiques pour les paramètres étudiés

## 1. Le potentiel hydrogène (pH)

- Effet du facteur zone sur la valeur du pH

## Descriptives

pH

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					A	18		
B	18	6,9717	,10182	,02400	6,9210	7,0223	6,81	7,19
C	18	7,1661	,12481	,02942	7,1040	7,2282	6,91	7,37
D	18	6,9600	,18595	,04383	6,8675	7,0525	6,68	7,28
Total	72	7,1843	,32191	,03794	7,1087	7,2600	6,68	7,95

## Test of Homogeneity of Variances

pH

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5,630	3	68	,002

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: pH

	(I) zone	(J) zone	Mean Difference (I-J)	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dunnnett C	A	B	,66778*	,05860	,5012	,8343
		C	,47333*	,06102	,2999	,6468
		D	,67944*	,06913	,4829	,8759
	B	A	-,66778*	,05860	-,8343	-,5012
		C	-,19444*	,03797	-,3024	-,0865
		D	,01167	,04997	-,1304	,1537
	C	A	-,47333*	,06102	-,6468	-,2999
		B	,19444*	,03797	,0865	,3024
		D	,20611*	,05279	,0561	,3562
	D	A	-,67944*	,06913	-,8759	-,4829
		B	-,01167	,04997	-,1537	,1304
		C	-,20611*	,05279	-,3562	-,0561

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- Effet du facteur site de prélèvement sur la valeur du pH

#### Group Statistics

	site	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
pH	0	36	7,1222	,28678	,04780
	1	36	7,2464	,34648	,05775

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
pH	Equal variances assumed	1,101	,298	-1,656	70	,102	-,12417	,07496	-,27367	,02534
	Equal variances not assumed			-1,656	67,638	,102	-,12417	,07496	-,27376	,02543

- Effet du facteur temps de prélèvement sur la valeur du pH

#### Descriptives

pH

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					1	24		
2	24	7,1850	,33114	,06759	7,0452	7,3248	6,75	7,91
3	24	7,2825	,31044	,06337	7,1514	7,4136	6,83	7,95
Total	72	7,1843	,32191	,03794	7,1087	7,2600	6,68	7,95

#### Test of Homogeneity of Variances

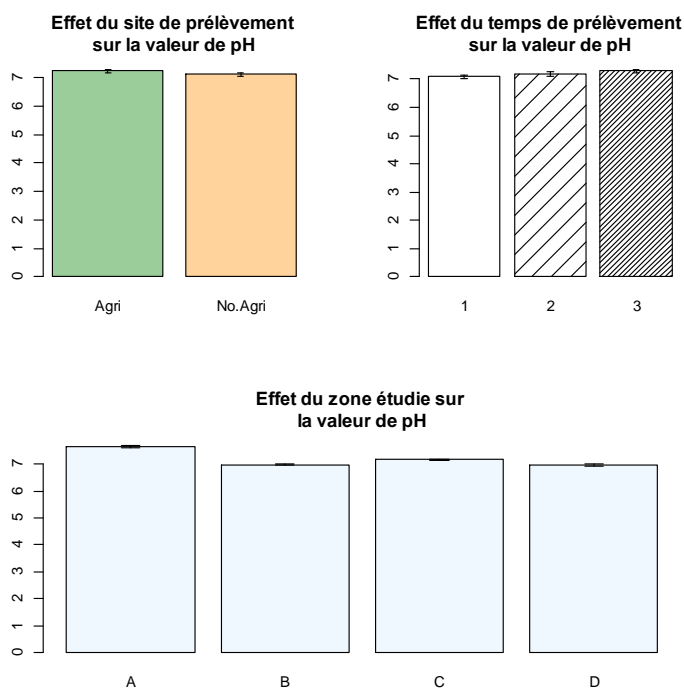
pH

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,117	2	69	,889

#### ANOVA

pH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,466	2	,233	2,333	,105
Within Groups	6,891	69	,100		
Total	7,358	71			



## 2. La conductivité électrique (CE)

- Effet du facteur zone sur la valeur de la CE

### Descriptives

CE

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					A	18		
B	18	3310,6111	578,16649	136,27515	3023,0957	3598,1265	2468,00	4286,00
C	18	6247,8333	879,92615	207,40058	5810,2564	6685,4103	4785,00	7486,00
D	18	5500,0556	1703,76377	401,58097	4652,7938	6347,3173	3008,00	7965,00
Total	72	4900,2222	1521,49238	179,30960	4542,6890	5257,7554	2468,00	7965,00

### Test of Homogeneity of Variances

CE

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
14,828	3	68	,000

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: CE

	(I) zone	(J) zone	Mean Difference (I-J)	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dunnett C	A	B	1231,77778*	220,63889	604,5988	1858,9567
		C	-1705,44444*	270,41746	-2474,1219	-936,7670
		D	-957,66667	437,46758	-2201,1938	285,8605
	B	A	-1231,77778*	220,63889	-1858,9567	-604,5988
		C	-2937,22222*	248,16510	-3642,6460	-2231,7984
		D	-2189,44444*	424,07334	-3394,8977	-983,9912
	C	A	1705,44444*	270,41746	936,7670	2474,1219
		B	2937,22222*	248,16510	2231,7984	3642,6460
		D	747,77778	451,97597	-536,9904	2032,5459
	D	A	957,66667	437,46758	-285,8605	2201,1938
		B	2189,44444*	424,07334	983,9912	3394,8977
		C	-747,77778	451,97597	-2032,5459	536,9904

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- Effet du facteur site de prélèvement sur la valeur de la CE

## Group Statistics

	site	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CE	0	36	5195,6111	1678,69029	279,78172
	1	36	4604,8333	1303,27393	217,21232

## Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
CE	Equal variances assumed	6,323	,014	1,668	70	,100	590,77778	354,20192	-115,65568	1297,21124
	Equal variances not assumed			1,668	65,948	,100	590,77778	354,20192	-116,41950	1297,97506



- Effet du facteur temps de prélèvement sur la valeur de la CE

### Descriptives

CE

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	24	4134,2500	1187,36003	242,36885	3632,8718	4635,6282	2468,00	6125,00
2	24	5085,2500	1585,03911	323,54475	4415,9467	5754,5533	2865,00	7652,00
3	24	5481,1667	1491,25003	304,40014	4851,4670	6110,8663	3382,00	7965,00
Total	72	4900,2222	1521,49238	179,30960	4542,6890	5257,7554	2468,00	7965,00

### Test of Homogeneity of Variances

CE

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,947	2	69	,150

### ANOVA

CE

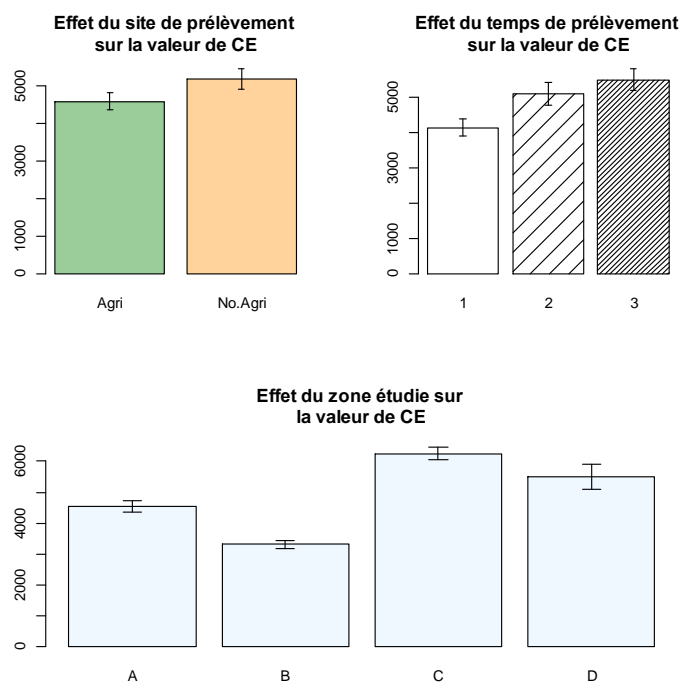
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23002684,111	2	11501342,056	5,614	,006
Within Groups	141357988,333	69	2048666,498		
Total	164360672,444	71			

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CE

	(I) sortie	(J) sortie	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-951,00000	413,18544	,062	-1940,7080	38,7080
		3	-1346,91667*	413,18544	,005	-2336,6247	-357,2087
	2	1	951,00000	413,18544	,062	-38,7080	1940,7080
		3	-395,91667	413,18544	,606	-1385,6247	593,7913
	3	1	1346,91667*	413,18544	,005	357,2087	2336,6247
		2	395,91667	413,18544	,606	-593,7913	1385,6247
Dunnnett C	1	2	-951,00000	404,25718		-1963,3960	61,3960
		3	-1346,91667*	389,10423		-2321,3646	-372,4688
	2	1	951,00000	404,25718		-61,3960	1963,3960
		3	-395,91667	444,23040		-1508,4190	716,5857
	3	1	1346,91667*	389,10423		372,4688	2321,3646
		2	395,91667	444,23040		-716,5857	1508,4190

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



### 3. Le nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

- Effet du facteur zone sur le taux de nitrate

#### Descriptives

NO3

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					A	18		
B	18	84,8239	24,15256	5,69281	72,8131	96,8347	59,26	135,23
C	18	100,8856	31,97968	7,53768	84,9824	116,7887	58,22	151,36
D	18	97,0494	26,62818	6,27632	83,8076	110,2913	62,57	137,96
Total	72	91,9207	26,87271	3,16698	85,6059	98,2355	52,00	151,36

#### Test of Homogeneity of Variances

NO3

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,951	3	68	,130

#### ANOVA

NO3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3707,869	3	1235,956	1,767	,162
Within Groups	47564,254	68	699,474		
Total	51272,123	71			

- Effet du facteur site de prélèvement sur le taux de nitrate

#### Group Statistics

	site	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
NO3	0	36	72,7725	12,12207	2,02034
	1	36	111,0689	23,74268	3,95711

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NO3	Equal variances assumed	32,136	,000	-8,619	70	,000	-38,29639	4,44303	-47,15774	-29,43504
	Equal variances not assumed			-8,619	52,086	,000	-38,29639	4,44303	-47,21164	-29,38114

- Effet du facteur temps de prélèvement sur le taux de nitrate

#### Descriptives

NO3

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					1	24		
2	24	100,1929	28,76176	5,87097	88,0479	112,3379	59,16	141,36
3	24	101,0892	27,34734	5,58225	89,5414	112,6369	61,45	151,36
Total	72	91,9207	26,87271	3,16698	85,6059	98,2355	52,00	151,36

#### Test of Homogeneity of Variances

NO3

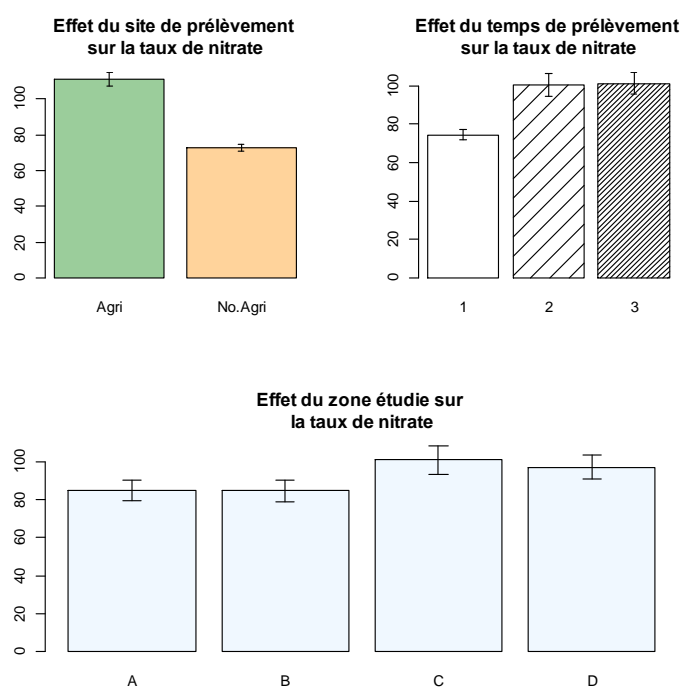
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
13,100	2	69	,000

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: NO3

	(I) sortie	(J) sortie	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-25,71292*	6,97754	,001	-42,4263	-8,9995
		3	-26,60917*	6,97754	,001	-43,3226	-9,8958
	2	1	25,71292*	6,97754	,001	8,9995	42,4263
		3	-,89625	6,97754	,991	-17,6096	15,8171
	3	1	26,60917*	6,97754	,001	9,8958	43,3226
		2	,89625	6,97754	,991	-15,8171	17,6096
Dunnett C	1	2	-25,71292*	6,47052		-41,9173	-9,5086
		3	-26,60917*	6,20974		-42,1604	-11,0579
	2	1	25,71292*	6,47052		9,5086	41,9173
		3	-,89625	8,10122		-21,1844	19,3919
	3	1	26,60917*	6,20974		11,0579	42,1604
		2	,89625	8,10122		-19,3919	21,1844

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



#### 4. L'Orthophosphate ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

- Effet du facteur zone sur le taux de l'orthophosphate

##### Descriptives

PO4

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					A	18		
B	18	,2989	,16994	,04006	,2144	,3834	,08	,66
C	18	,3439	,20520	,04837	,2418	,4459	,13	,78
D	18	,3672	,18796	,04430	,2738	,4607	,17	,77
Total	72	,3271	,18407	,02169	,2838	,3703	,08	,78

##### Test of Homogeneity of Variances

PO4

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,164	3	68	,920

##### ANOVA

PO4

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,063	3	,021	,612	,609
Within Groups	2,342	68	,034		
Total	2,405	71			

- Effet du facteur site de prélèvement sur le taux de l'orthophosphate

##### Group Statistics

	site	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PO4	0	36	,2167	,07690	,01282
	1	36	,4375	,19425	,03238

##### Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
PO4	Equal variances assumed	49,176	,000	-6,342	70	,000	-,22083	,03482	-,29028	-,15139
	Equal variances not assumed			-6,342	45,709	,000	-,22083	,03482	-,29093	-,15073

- Effet du facteur temps de prélèvement sur le taux de l'orthophosphate

### Descriptives

PO4

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					1	24		
2	24	,2754	,07956	,01624	,2418	,3090	,14	,40
3	24	,4975	,21181	,04324	,4081	,5869	,19	,78
Total	72	,3271	,18407	,02169	,2838	,3703	,08	,78

### Test of Homogeneity of Variances

PO4

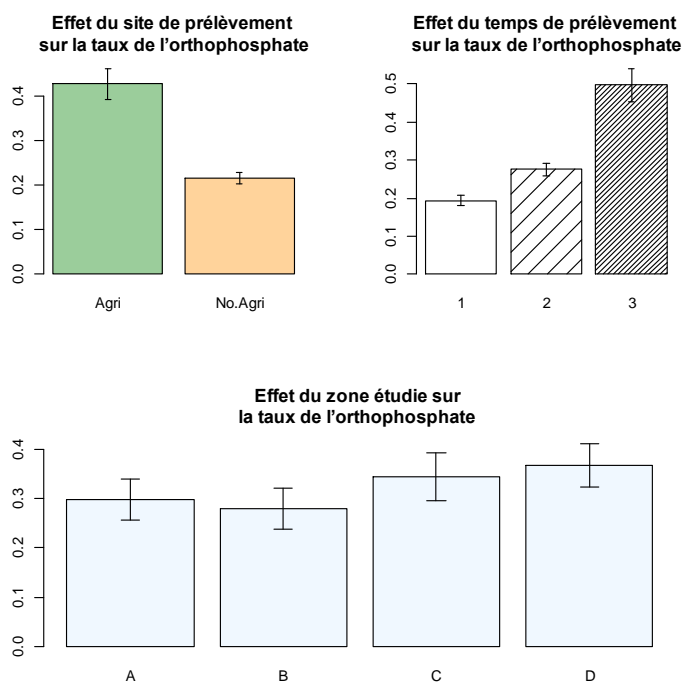
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
68,518	2	69	,000

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PO4

	(I) sortie	(J) sortie	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-,06708	,03971	,217	-,1622	,0280
		3	-,28917*	,03971	,000	-,3843	-,1940
	2	1	,06708	,03971	,217	-,0280	,1622
		3	-,22208*	,03971	,000	-,3172	-,1270
	3	1	,28917*	,03971	,000	,1940	,3843
		2	,22208*	,03971	,000	,1270	,3172
Dunnnett C	1	2	-,06708*	,02228		-,1229	-,0113
		3	-,28917*	,04585		-,4040	-,1743
	2	1	,06708*	,02228		,0113	,1229
		3	-,22208*	,04618		-,3377	-,1064
	3	1	,28917*	,04585		,1743	,4040
		2	,22208*	,04618		,1064	,3377

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



## 5. Le rapport d'adsorption du sodium (SAR)

- Effet du facteur zone sur la valeur du SAR

### Descriptives

SAR

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					A	18		
B	18	7,2672	1,00219	,23622	6,7688	7,7656	5,39	8,75
C	18	6,2200	1,17099	,27601	5,6377	6,8023	4,51	8,70
D	18	6,7861	1,27148	,29969	6,1538	7,4184	4,64	8,52
Total	72	6,5832	1,41499	,16676	6,2507	6,9157	3,31	9,61

### Test of Homogeneity of Variances

SAR

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,621	3	68	,058

### ANOVA

SAR

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16,475	3	5,492	2,971	,038
Within Groups	125,680	68	1,848		
Total	142,155	71			

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: SAR

	(I) zone	(J) zone	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD		B	-1,20778*	,45317	,046	-2,4013	-,0143
	A	C	-,16056	,45317	,985	-1,3541	1,0330
		D	-,72667	,45317	,384	-1,9202	,4668
		A	1,20778*	,45317	,046	,0143	2,4013
	B	C	1,04722	,45317	,106	-,1463	2,2407
		D	,48111	,45317	,714	-,7124	1,6746
		A	,16056	,45317	,985	-1,0330	1,3541
	C	B	-1,04722	,45317	,106	-2,2407	,1463
		D	-,56611	,45317	,598	-1,7596	,6274
		A	,72667	,45317	,384	-,4668	1,9202
	D	B	-,48111	,45317	,714	-1,6746	,7124
		C	,56611	,45317	,598	-,6274	1,7596
Dunnnett C		B	-1,20778	,49470		-2,6140	,1984
	A	C	-,16056	,51488		-1,6241	1,3030
		D	-,72667	,52796		-2,2274	,7741
		A	1,20778	,49470		-,1984	2,6140
	B	C	1,04722*	,36329		,0146	2,0799
		D	,48111	,38159		-,6036	1,5658
		A	,16056	,51488		-1,3030	1,6241
	C	B	-1,04722*	,36329		-2,0799	-,0146
		D	-,56611	,40742		-1,7242	,5920
		A	,72667	,52796		-,7741	2,2274
	D	B	-,48111	,38159		-1,5658	,6036
		C	,56611	,40742		-,5920	1,7242

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- Effet du facteur site de prélèvement sur la valeur du SAR

## Group Statistics

	site	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
SAR	0	36	6,0606	1,43790	,23965
	1	36	7,1058	1,19671	,19945



## Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
SAR	Equal variances assumed	2,070	,155	-3,353	70	,001	-1,04528	,31179	-1,66712	-,42343
	Equal variances not assumed			-3,353	67,766	,001	-1,04528	,31179	-1,66748	-,42307

- Effet du facteur temps de prélèvement sur la valeur du SAR

## Descriptives

SAR

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					1	24		
2	24	6,4800	1,36356	,27834	5,9042	7,0558	3,86	8,74
3	24	7,3096	1,18720	,24234	6,8083	7,8109	5,04	9,61
Total	72	6,5832	1,41499	,16676	6,2507	6,9157	3,31	9,61

## Test of Homogeneity of Variances

SAR

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,576	2	69	,565

## ANOVA

SAR

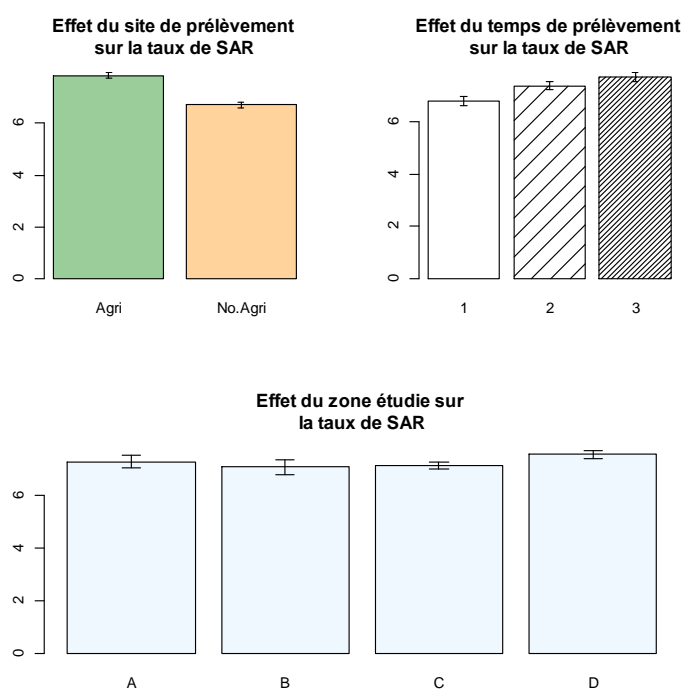
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22,240	2	11,120	6,398	,003
Within Groups	119,915	69	1,738		
Total	142,155	71			

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: SAR

	(I) sortie	(J) sortie	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-,52000	,38056	,364	-1,4316	,3916
		3	-1,34958*	,38056	,002	-2,2611	-,4380
	2	1	,52000	,38056	,364	-,3916	1,4316
		3	-,82958	,38056	,082	-1,7411	,0820
	3	1	1,34958*	,38056	,002	,4380	2,2611
		2	,82958	,38056	,082	-,0820	1,7411
Dunnnett C	1	2	-,52000	,39814		-1,5171	,4771
		3	-1,34958*	,37386		-2,2858	-,4133
	2	1	,52000	,39814		-,4771	1,5171
		3	-,82958	,36905		-1,7538	,0946
	3	1	1,34958*	,37386		,4133	2,2858
		2	,82958	,36905		-,0946	1,7538

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



### - La matrice de corrélation entre les paramètres étudiés

paramètre	pH	CE	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>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SAR
pH	1													
CE	0,03	1												
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,21	0,23	1											
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,13	0,17	0,74	1										
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,28	0,10	0,74	0,90	1									
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,31	0,49	0,71	0,49	0,41	1								
Cl <sup>-</sup>	-0,10	0,90	0,12	0,13	0,09	0,34	1							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,21	0,83	0,33	0,26	0,24	0,48	0,86	1						
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,33	0,25	0,71	0,89	0,90	0,48	0,18	0,33	1					
Ca <sup>++</sup>	0,03	0,87	0,26	0,22	0,14	0,60	0,90	0,80	0,23	1				
Mg <sup>++</sup>	0,25	0,66	0,01	-0,04	-0,14	0,45	0,67	0,49	0,06	0,77	1			
Na <sup>+</sup>	-0,06	0,58	0,50	0,36	0,35	0,69	0,57	0,67	0,30	0,59	0,17	1		
K <sup>+</sup>	-0,25	0,88	0,13	0,13	0,03	0,34	0,95	0,84	0,14	0,87	0,66	0,49	1	
SAR	0,26	0,15	0,68	0,55	0,67	0,42	0,09	0,18	0,58	0,03	-0,19	0,49	0,04	1

## Annexe IV

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

### - 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
C1	< 0.25	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.
C2	0.25 < CE < 0.75	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 ;
C3	0.75 < CE < 2.25	eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint même avec un bon drainage des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plante ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
C4	2.25 < CE < 5	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
C5	> 5	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
S1	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.
S2	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.
S3	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.
S4	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.