



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ahmed Draïa Adrar  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences de la Matière

**MEMOIRE**  
**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Science de la Matière**

**Spécialité : Chimie de l'environnement**

**Intitulé**

**DETERMINATION DE L'ORIGINE DES NITRATES  
DANS LA NAPPE DU CONTINENTAL  
INTERCALAIRE REGION ADRAR**

**Présenté par :**

**GHOULAM Abdelhamid  
OULED BRAHIM Habiba**

**Devant le jury :**

**Président : KALLOUM Slimane**

**Pr.**

**Univ. Adrar**

**Promoteur : SLIMANI Saïd**

**MCA**

**Univ. Adrar**

**Co-Promoteur :NASRI Bahous**

**Dr**

**Univ. Adrar**

**Examineur : HABCHI Abdelmadjid**

**M. C. A**

**Univ. Adrar**

**Année Universitaire : 2019/2020**

## REMERCIEMENTS



### REMERCIEMENTS

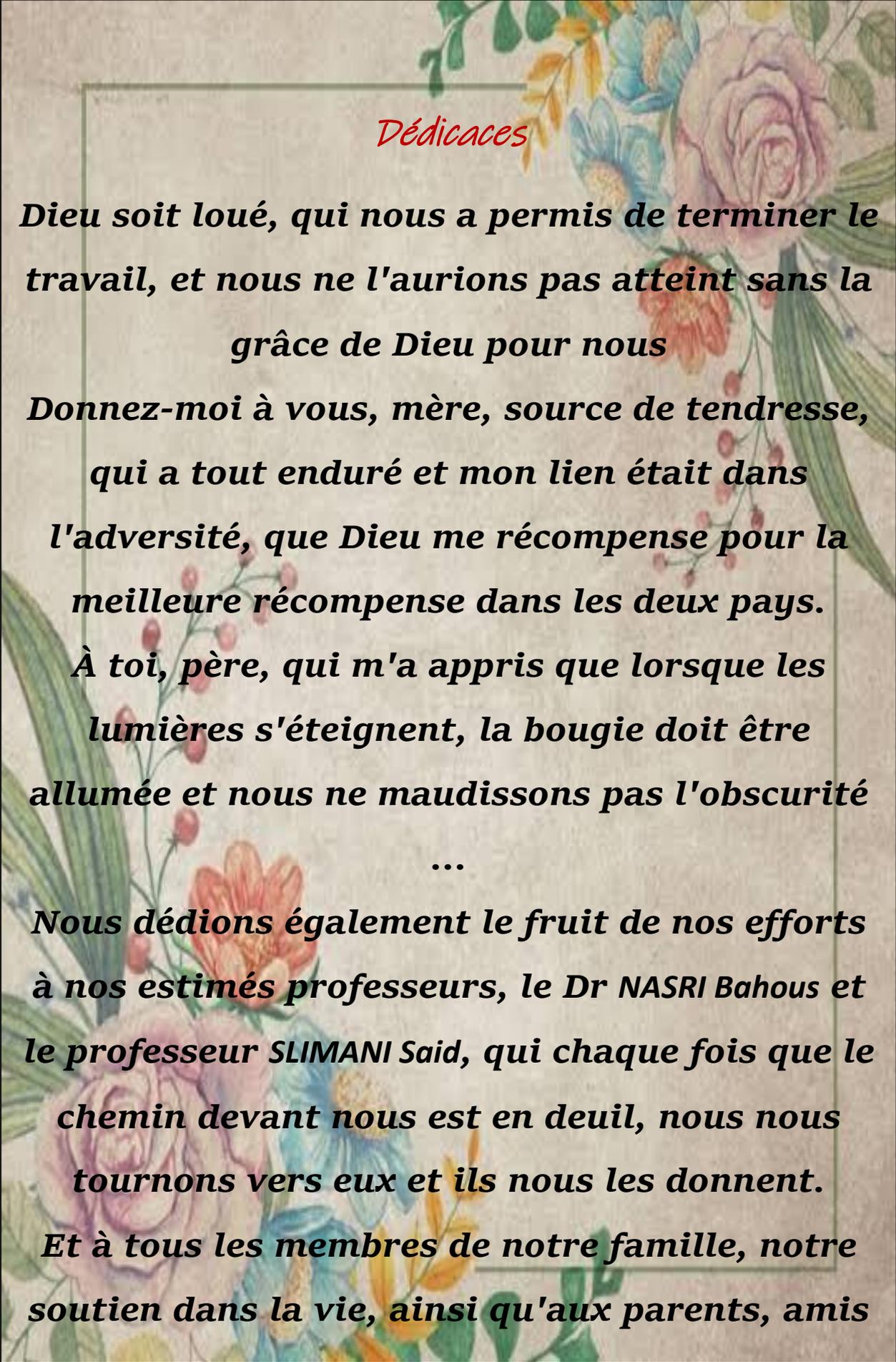
Louange à Dieu pour sa gentillesse et merci à lui pour son succès dans  
l'accomplissement de ce travail

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés à accomplir ce travail et à  
surmonter les difficultés que nous avons rencontrées, en particulier les chers  
parents et ceux qui nous ont honorés en supervisant notre note de recherche, le  
Dr **NASRI Bahous** et le professeur **SLIMANI Said**, qui ne nous ont pas trahis  
avec leurs directives et leurs précieux conseils qui nous ont été utiles pour  
terminer ce travail.

Nous remercions également à tous les enseignants de l'université  
Ahmed Draia Adrar, et particulièrement à ceux qui ont contribué à notre  
formation.

" رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي وعلى والدي وأن أعمل صالحا ترضاه

وأدخلني برحمتك في عبادك الصالحين "



*Dédicaces*

**Dieu soit loué, qui nous a permis de terminer le travail, et nous ne l'aurions pas atteint sans la grâce de Dieu pour nous**

**Donnez-moi à vous, mère, source de tendresse, qui a tout enduré et mon lien était dans l'adversité, que Dieu me récompense pour la meilleure récompense dans les deux pays.**

**À toi, père, qui m'a appris que lorsque les lumières s'éteignent, la bougie doit être allumée et nous ne maudissons pas l'obscurité**

...

**Nous dédions également le fruit de nos efforts à nos estimés professeurs, le Dr NASRI Bahous et le professeur SLIMANI Said, qui chaque fois que le chemin devant nous est en deuil, nous nous tournons vers eux et ils nous les donnent.**

**Et à tous les membres de notre famille, notre soutien dans la vie, ainsi qu'aux parents, amis**

## Table des matières

Table des matières .....	i
Liste des Abréviations et Nomenclatures .....	ii
Listes des figures .....	iii
Liste des Tableaux .....	vi
Liste des annexes .....	v
ملخص .....	iv
Abstract.....	iiiv
Résumé .....	iiiiv
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I . Présentation de la zone d'étude (région d'Adrar).....</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction .....	3
I.2 Situation géographique .....	3
I.3 Réseau Hydrographique .....	4
I.4 Aspect socio-économique.....	4
I.4.1 Agriculture .....	4
I.4.2 L'Élevage.....	4
I.4.3 Industrie .....	4
I.4.4 Tourisme .....	5
I.5 Cadre géomorphologique .....	5
I.6 Géologie de la région.....	6
I.6.1 Situation générale.....	6
I.6.2 Quaternaire.....	7
I.6.3 Complexe terminal.....	7
I.6.4 Continental intercalaire .....	8
I.7 Hydro climatologie .....	9
I.7.1 Température .....	9
I.7.2 Le vent .....	9
I.7.3 Humidité de l'air .....	10
I.7.4 La précipitation .....	10
I.7.5 L'évaporation.....	11
I.8 Hydrogéologie .....	11
I.8.1 Nappe du complexe terminal CT .....	12
I.8.2 Nappe du Continental Intercalaire CI .....	12
I.8.2.1 Caractéristiques principales du CI .....	12
I.9 Conclusion .....	13
<b>Chapitre II . Généralités sur les composés azotés .....</b>	<b>14</b>

II.1	Introduction .....	14
II.2	Généralités sur l'azote .....	14
II.3	Les matières azotées .....	14
II.3.1	Sources et formes des matières azotées .....	15
II.3.1.1	Rejets domestiques .....	15
II.3.1.2	Rejets industriels .....	15
II.3.1.3	Rejets diffus issus du lessivage des sols enrichis en engrais azotés.....	16
II.3.2	Cycle de l'azote.....	16
II.3.2.1	La fixation .....	17
II.3.2.2	L'assimilation.....	18
II.3.2.3	L'ammonification.....	18
II.3.2.4	La nitrification.....	18
II.3.2.5	La dénitrification .....	18
II.3.2.6	Lessivage.....	19
II.3.3	Les Normes de potabilité .....	19
II.3.4	Nitrates.....	20
II.3.4.1	Définition .....	20
II.3.4.2	Fuites des nitrates et pollution nitrique des nappes souterraines .....	21
II.3.4.3	Propriétés physico-chimique des nitrates .....	22
II.3.4.4	Origine des nitrates.....	22
II.4	Pollution de l'eau par des nitrates.....	24
II.5	Les effets des nitrates .....	25
II.5.1	Effet sur la santé de l'homme .....	25
II.5.2	Effet sur l'environnement .....	26
II.6	Conclusion.....	27
<b>Chapitre III . Matériel et Méthodes .....</b>		<b>28</b>
III.1	Introduction .....	28
III.2	Prélèvement des échantillons.....	28
III.2.1	Analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau .....	28
III.2.1.1	Détermination du pH.....	28
III.2.1.2	Mesure de la conductivité .....	29
III.2.1.3	Détermination de la turbidité.....	30
III.2.1.4	Détermination du résidu sec .....	30
III.2.1.5	Mesure de la dureté de l'eau (TH) .....	31
III.2.1.6	Détermination de l'alcalinité (TA-TAC).....	31
III.2.1.7	Dosage du Sodium et du Potassium par photométrie de flamme.....	32
III.2.1.8	Dosage des Chlorures.....	33

III.2.1.9	Dosage des sulfates $\text{SO}_4^{2-}$ .....	34
III.2.1.10	Dosage des carbonates et bicarbonates.....	34
III.2.1.11	Détermination du Calcium et Magnésium.....	35
III.2.1.12	Détermination des nitrates <b>NO3</b> – .....	35
III.2.1.13	Détermination des nitrites ( <b>NO2</b> –) .....	37
III.2.1.14	Dosage de l’ammonium.....	39
III.2.1.15	Dosage de l’orthophosphates ( <b>PO43</b> –) .....	41
III.3	Conclusion.....	42
<b>Chapitre IV . Résultats et Discussions.....</b>		<b>43</b>
IV.1	Introduction .....	43
IV.2	Résultats et discussions .....	43
IV.2.1	Compagnes d’échantillonnages .....	43
IV.2.2	Paramètres analysés .....	44
IV.2.3	Interprétations des données.....	44
IV.2.4	Potentiel Hydrogène (pH).....	44
IV.2.5	Variation de la conductivité.....	44
IV.2.6	La variation du TDS.....	44
IV.2.7	Titre hydrotimétrique total.....	45
IV.2.8	La teneur en Calcium <b>Ca2</b> +.....	45
IV.2.9	La teneur en Magnésium.....	45
IV.2.10	La Teneur en Sodium .....	46
IV.2.11	La teneur en Potassium .....	46
IV.2.12	La teneur en Chlorures .....	46
IV.2.13	La teneur en Sulfates .....	47
IV.2.14	La teneur en Carbonates et en Bicarbonates .....	47
IV.2.15	La teneur en l'ortho phosphate ( <b>PO4 – 3</b> ) .....	47
IV.2.16	La teneur en l’ammonium ( <b>NH4+</b> ).....	47
IV.2.17	La teneur en nitrite ( <b>NO2</b> –) .....	47
IV.2.18	La teneur en nitrate ( <b>NO3</b> –) .....	47
IV.2.18.1	Variation des nitrates en fonction de l’usage des eaux.....	48
IV.2.18.2	Variation spatiale des teneurs en nitrates .....	49
IV.2.19	Relation chimiques des éléments avec les nitrates.....	50
IV.2.19.1	Relation des nitrates avec le Calcium Ca-NO3 .....	50
IV.2.19.2	Relation des nitrates avec le Magnésium Mg-NO3 .....	51
IV.2.19.3	Relation des nitrates avec le Sodium Na-NO3.....	52
IV.2.19.4	Relation des nitrates avec le Potassium K-NO3.....	52
IV.2.19.5	Evolution des nitrates dans le temps.....	53

IV.2.19.6	Matrice de corrélation.....	54
IV.2.19.7	Sources des nitrates .....	54
IV.2.20	Faciès chimiques .....	55
IV.2.20.1	Qualité des eaux pour l'irrigation .....	55
IV.3	Conclusion.....	56
	Conclusion générale .....	57
	Références Bibliographiques.....	59
	Annexes .....	62

## Liste des Abréviations et Nomenclatures

Symbole	Désignation	Unité
ANRH	Agence Nationale de Ressources Hydrauliques	
AEP	Alimentation en Eau Potable	
CE	Conductivité électrique	ms/cm
CI	Continental Intercalaire	
CT	Continental Terminal	
EDTA	Ethylène Diamine Tétra Acétique	
H%	Taux Humidité	
MES	Matières En Suspension	mg
OMS	Organisation Mondiale de la Santé	
OSS	Observatoire Du Sahara du Sahel	
N	Azote	
NO <sub>2</sub> -	Nitrite	
NO <sub>3</sub> -	Nitrate	
NH <sub>3</sub>	Ammoniac	
NH <sub>4</sub> -	Ammonium	
P	Phosphore	
PE	Prise d'essai	ml
PH	Potentiel Hydrogène	
SAR	Sodium Adsorption Ration	
SASS	Système Aquifère Du Sahara Septentrional	
T	Température	°C
TH	La Dureté Totale	
Symbole	Désignation	Unité
ANRH	Agence Nationale de Ressources Hydrauliques	
AEP	Alimentation en Eau Potable	
CE	Conductivité électrique	ms/cm
CI	Continental Intercalaire	
CT	Continental Terminal	
EDTA	Ethylène Diamine Tétra Acétique	
H%	Taux Humidité	
MES	Matières En Suspension	mg
OMS	Organisation Mondiale de la Santé	
OSS	Observatoire Du Sahara du Sahel	
N	Azote	

NO <sub>2</sub> -	Nitrite	
NO <sub>3</sub> -	Nitrate	

## Listes des figures

Figure I.1 1 Situation géographique de la zone d'étude.....	4
Figure I.2 Carte géomorphologique de la région d'Adrar .....	6
Figure I.3 Les Bassins les plus importants de la plateforme saharienne en Algérie.(ministre d'énergie).....	7
Figure I.4 Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique de la région d'Adrar [9].	8
Figure I.5 Diagramme géologique de la région d'étude [4].	8
Figure I.6 Variations moyennes annuelles des températures [11].	9
Figure I.7 les moyennes mensuelles de la vitesse du vent (1991-2010) [12].	10
Figure I.8 Les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes [8].	11
Figure I.9 Zone de SSAS [16].	12
Figure II.1 Organigramme présentant les formes de l'azote.....	14
Figure II.2 Cycle de l'azote [3].	17
Figure II.3 Compartiment de l'azote dans le sol. ....	22
Figure III.1 Mesure du pH.....	29
Figure III.2 Mesure de la turbidité .....	30
Figure III.3 Photomètre de flamme de type WTW .....	33
Figure III.4 Dosage des nitrates .....	36
Figure III.5 Conservation des flacons à l'obscurité. ....	37
Figure III.6 Les solutions étalons des nitrites .....	39
Figure III.7 Dosage de l'ammonium.....	40
Figure III.8 Dosage des phosphates .....	42
Figure III.9: UV-Visible pour mesurer la densité optique des éléments,.....	42
Figure IV.1 Points d'eaux échantillonnées .....	43
Figure IV.2 Répartition des teneurs en nitrates des eaux d'Adrar .....	48
Figure IV.3 Variation des nitrates en fonction de l'usage des points d'eaux .....	49
Figure IV.4 Variation spatiale des nitrates dans la région d'Adrar .....	50
Figure IV.5 Corrélation Ca-NO <sub>3</sub> .....	51
Figure IV.6 Corrélation Mg-NO <sub>3</sub> .....	51
Figure IV.7 Corrélation Na-NO <sub>3</sub> .....	52
Figure IV.8 Corrélation K-NO <sub>3</sub> .....	53
Figure IV.9 Evolution des nitrates avec le temps dans les piézomètres .....	53
Figure IV.10 Diagramme de Piper des eaux de la région d'Adrar .....	55
Figure IV.11 Diagramme de Richards des eaux de la région d'Adrar.....	56

## Liste des Tableaux

Tableau 1 Les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air (HR%) durant (1994 2013) [13] .....	10
Tableau 2 Pluviométrie mensuelle moyenne de la période (2004-2013) [14].	10
Tableau 3 1 les différents composés de l'azote distingués pour leurs degrés d'oxydation.....	17

Tableau 4 Matrice de corrélation des éléments analysées..... 54

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقديم الخصائص الجيولوجية والهيدروجين الرئيسية للمياه الجوفية لطبقة القاري المحشور في منطقة ادرار ومعرفة وتحديد المصادر والأسباب الرئيسية لأصل النترات في المنطقة.

تتمثل أهمية النترات في هذه الدراسة كونها الملوثات الكيميائية الأكثر قدرة على التواجد في المياه الباطنية وعند تواجد فائض من النترات (الناتجة عن الأسمدة الزراعية ومخلفات الحيوان) فان ذلك يسبب مشاكل صحية مثل مرض المتهيموغلوبين والسرطان.

النتائج التي تم الحصول عليها بعد التحاليل لعدة عينات سجلت نسبة تتراوح ما بين 0,17 ملغ/ل و 214 ملغ/ل.

للإشارة فان هذه النسبة عليها أن لا تتجاوز 50 ملغ/ل.

## **Abstract**

The purpose of this study is to provide the main geological and hydrogeological characteristics of the groundwater to the stratified continental infill in the area of Adrar and as knowledge and identify the sources and the main causes of nitrate in the region.

The importance of nitrate is the most efficient chemical pollutants in the inhabitants and when surplus nitrates resulting from agricultural fertilizers and animal residues, such as health problems such as methemoglobin disease and cancer.

The results obtained after tests for several samples recorded a ratio of between 0,17 mg/l and 214 mg/l. For signal, this ratio should not exceed 50 mg/l.

## Résumé

Le but de cette étude est de présenter les principales caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des eaux souterraines à la couche continentale intercalaire dans la région de l'Adrar, ainsi que la connaissance et l'identification des principales source et causes de l'origine des nitrates dans la région.

L'importance des nitrates dans cette étude est qu'ils sont les polluants chimiques les plus susceptibles d'être présents dans l'eau interne et quand il y a un excès de nitrates résultant des engrais agricoles et des déchets animaux, cela provoque des problèmes de santé comme la maladie de l'hémoglobine et le cancer.

Le résultat obtenu après l'analyse de plusieurs échantillons enregistrés un rapport entre 0,17 mg/l et 214 mg/l. Pour référence, ce rapport ne doit pas dépasser 50 mg/l.

### Introduction générale

Aujourd'hui, l'homme prend possession des milieux aquatiques pour satisfaire ses activités récréatives (baignade, pêche...) et convoite également grandement les ressources d'eau potable, pour son alimentation et son confort sanitaire. Les cours d'eau sont en outre utilisés depuis longtemps à des fins commerciales et économiques (transport fluvial, usines installées aux bords des rivières, génération d'énergie, irrigation des sols cultivés). Toutes ces activités humaines conduisent à l'artificialisation et à la pollution des cours d'eau, auxquelles s'ajoutent de multiples rejets domestiques et industriels ainsi que les apports par le lessivage des sols agricoles et miniers[1].

Les eaux souterraines destinées à l'alimentation humaine sont souvent sujettes à d'innombrables sortes de pollution chimique. L'une des principales pollutions des eaux souterraines par les produits diffusés, d'origine notamment agricole, est la pollution par les nitrates. Au cours des dernières décennies un grand nombre d'observations ont conduit les autorités sanitaires de nombreux pays et l'OMS à considérer les nitrates des eaux d'alimentation et, sans doute leur augmentation progressive consécutive aux activités de l'homme, comme un danger potentiel pour la santé publique. Environ 70% des fertilisants azotés utilisés en agriculture sont perdus dans l'environnement sous forme de ce que l'on retrouve dans les eaux de surface et souterraines[1].

La pollution de l'eau par les nitrates à cause des pratiques agricoles est un problème croissant dans les principales zones agricoles du monde[2].

L'objectif de notre travail est d'aboutir à déterminer l'origine et la source de contamination de cette nappe par les composés azotés.

Ce travail est constitué principalement de quatre chapitres, précédé par une introduction générale.

Dans le premier chapitre, on a présenté des informations utiles sur la région d'Adrar et également les données nécessaires sur la nappe du Continental Intercalaire.

Dans le deuxième chapitre une présentation des généralités sur les composés azotés et plus particulièrement les nitrates et ces effets nocifs sur la santé et l'environnement. Le troisième chapitre expose le matériel et la méthodologie adoptée durant notre expérimentation.

## Introduction générale

---

Le quatrième chapitre présente l'interprétation des résultats obtenus à l'issue des expériences. Enfin une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus dans le cadre de ce travail et dégage les perspectives ouvertes par nos résultats..

## Chapitre I . Présentation de la zone d'étude (région d'Adrar)

### I.1 Introduction

Le premier chapitre concerne la présentation du cadre général de la zone d'étude et les caractéristiques de la région d'Adrar, ce chapitre permet de connaître la situation géographique, géologique et hydroclimatologique de la région d'étude.

### I.2 Situation géographique

La zone d'étude fait partie de la wilaya d'Adrar, elle est située dans le Sud-Ouest de l'Algérie (figure I.1) ; elle s'étend entre les coordonnées géographiques suivantes :

- Les longitudes entre 0°30'E et 0°30'W ;
- Les latitudes entre 26°30'et 28°30'au Nord ;
- Avec une altitude moyenne de 222m.

La wilaya d'Adrar couvre une superficie totale de 443782 Km<sup>2</sup>. C'est-à-dire 17.97% de la superficie total de l'Algérie, occupée par une population de 432.193 habitants répartie sur 11 daïra et 28 communes. Elle est bordée au Nord par les wilayas d'EL Bayedh et Ghardaïa, à l'Ouest par les wilayas de Béchar et Tindouf, à l'Est par la wilaya de Tamanrasset, et au Sud par la Mauritanie et le Mali[3].

Géométriquement est limitées :

- Au Nord par le Grand Erg Occidental.
- A l'Ouest par Erg Ecéçh.
- Au Sud par la Tanezrouft.
- A l'Est par le plateau de Tademaït

Divisée en quatre régions sahariennes naturelles représentées par :

- Gourara : son centre administratif est la daïra de Timimoun, cette région regroupe tous les palmeraies et les ksars de cette daïra et s'étend de Tabelkouza à Aougrou ;
- Touat : elle se prolonge du Brinkane jusqu'à Reggane, c'est la plus vaste région ;
- Tidikelt : cette région se prolonge de Reggan à Aoulef, ce dernier représente le centre de cette région ;
- Tanezrouft : région de Bordj Badji Mokhtar[3].

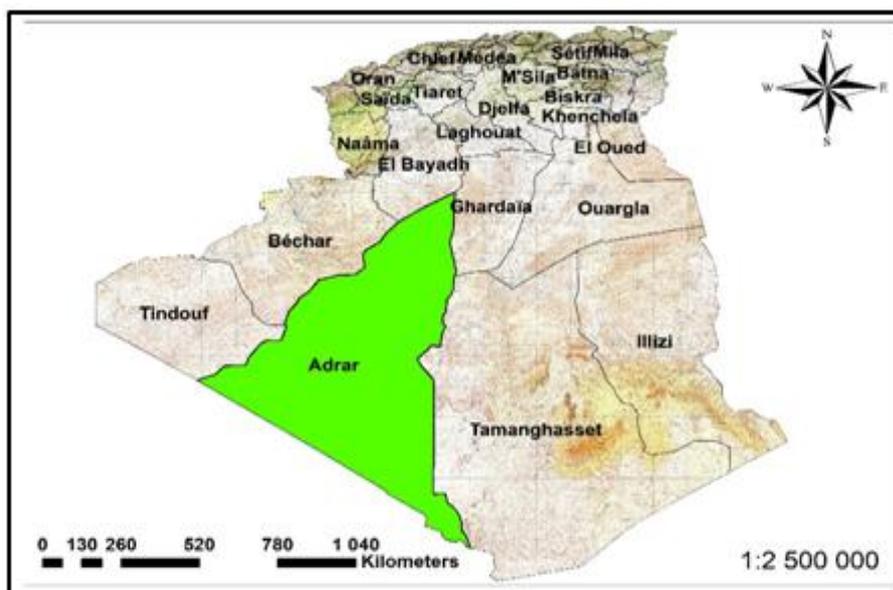


Figure I.11 Situation géographique de la zone d'étude

### I.3 Réseau Hydrographique

Dans la région d'Adrar les réseaux hydrographiques s'appartiennent à l'unité du bassin occidental du Sahara septentrional en raison des faibles précipitations, le réseau hydrographique est peu développé il existe un seul Oued qui est OuedMessaoud, il est temporaire [4].

### I.4 Aspect socio-économique

#### I.4.1 Agriculture

L'agriculture dans la région de Touat représente l'activité la plus répandue, elle est caractérisée par la production des dattes, de céréales, et des cultures diverses [5].

#### I.4.2 L'Élevage

Vu la rareté des précipitations et l'aridité de la région, les pâturages sont inexistantes ce qui constitue l'entrave principale qui gêne le développement de l'élevage dans cette région, quelques espèces animales typiques aux régions sahariennes, camelins, caprins, ovins et des centaines de bovins constitue la ressource animale dans la région [6].

#### I.4.3 Industrie

La région d'Adrar a connu ces dernières années une dynamique industrielle accélérée avec la découverte des gisements de gaz et pétrole, elle est devenue un pôle industriel avec la réalisation de la raffinerie de Sbaâ [5].

#### **I.4.4 Tourisme**

Le secteur de tourisme est en voie de développement, et peut constituer dans l'avenir un réel axe dans le développement socio-économique de la région, et même à l'échelle nationale. La région regroupe de nombreuses activités culturelles diverses à l'échelle national et international (festivals de la danse folklorique, etc.) et de nombreuses curiosités à vocation touristiques (l'artisanat traditionnel, ruines, architecture des ksours, systèmes traditionnels d'irrigation (foggaras), des grottes, des dunes de sables, des forêts de bois pétrifiés, rose de sable[7].

#### **I.5 Cadre géomorphologique**

La région d'Adrar fait partie d'une grande zone allongée, sensiblement orientée N-S. Elle renferme différents traits géomorphologiques distincts, qui sont[8] ;

##### **a- La plaine**

C'est une vaste plaine (plateau), limitée vers l'Est par le plateau de Tademaït et vers l'Ouest par la dépression de Touat et se caractérise par une altitude maximale de l'ordre de 300m au pied du plateau de Tademaït, une pente faible de l'ordre de 0.1% à 0.2% et un pendage vers le Sud-Ouest et l'Ouest.

##### **b - la dépression**

La dépression se trouve le long de l'extrémité Ouest de la plaine et se caractérise par une largeur moyenne de l'ordre de 5 Km à 10 km, par exemple la dépression de Touat.

##### **c -les sebkhas**

Les sebkhas sont des successions de petites sebkhas, généralement non communicantes, qui marquent la limite occidentale de la dépression et constitue l'exutoire naturel des eaux de la nappe aquifère. Exemple : sebkha de Tamantit.

##### **d - les ergs**

Toutes les nuances existent entre le simple voile sableux et les dunes massives constituées en ergs. L'erg Chech est la forme d'accumulation sableuse la plus massive à l'ouest de la région. Les autres ergs abritent une végétation éphémère, ces ergs sont formés artificiellement par des obstacles (affrègue) contre la progression du sable, comme les Ergs d'Ikkis et de Tillouline.

##### **e - Le Reg**

C'est des grandes superficies plates composée de rocaille et gravier en général. Il est d'âge quaternaire, on peut trouver des sables d'âge Crétacé inférieur. Exemple le Reg de Tanezrouft.

### f - Les terrasses d'apport éolien

D'après la nature des roches et la force la vitesse du vent (agent érosif), les terrasses sont classées selon leur importance. Dans la région de Touat elles se sont formées au cours du Quaternaire.

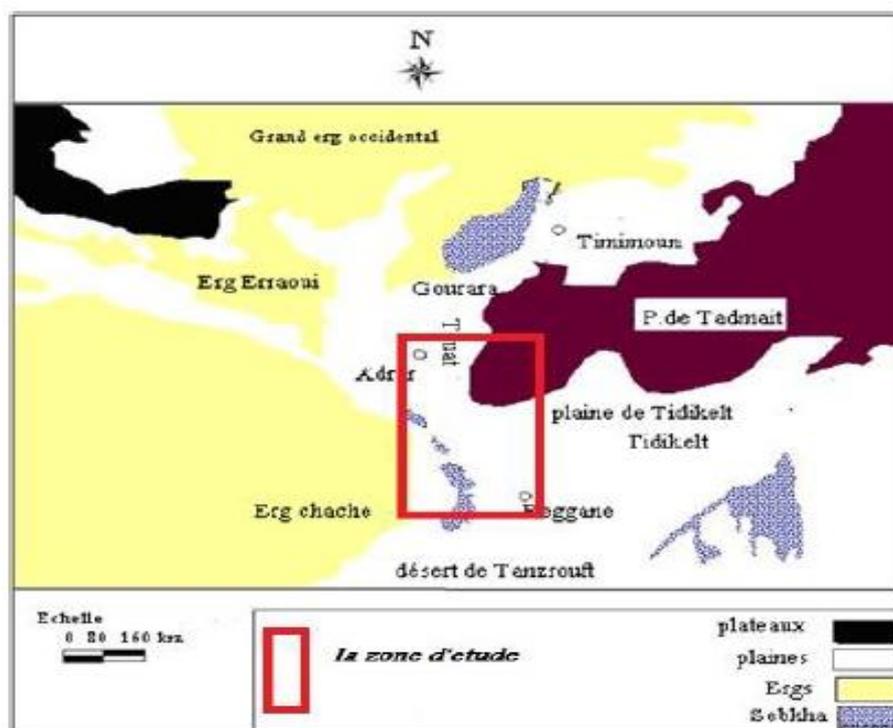


Figure I.2 Carte géomorphologique de la région d'Adrar [8]

## I.6 Géologie de la région

### I.6.1 Situation générale

La zone d'étude fait partie de la grande plateforme saharienne, située au Sud de l'Algérie elle appartient au Craton Nord-Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au paléozoïque en plusieurs bassins (figure I.2), on distingue de l'Ouest à Est [5]:

- Le Bassin de Tindouf ;
- Les bassins de Boubernous et Ougarta ;
- Le bassin de Béchar ;

- Le bassin d'Ahnet-Timimoun ;
- Les bassins Azzene et Azzel-Matti ;
- Le bassin de Sbaâ ;
- Le bassin de Reggane ;
- Bassins d'Illizi-Ghadamès

Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya

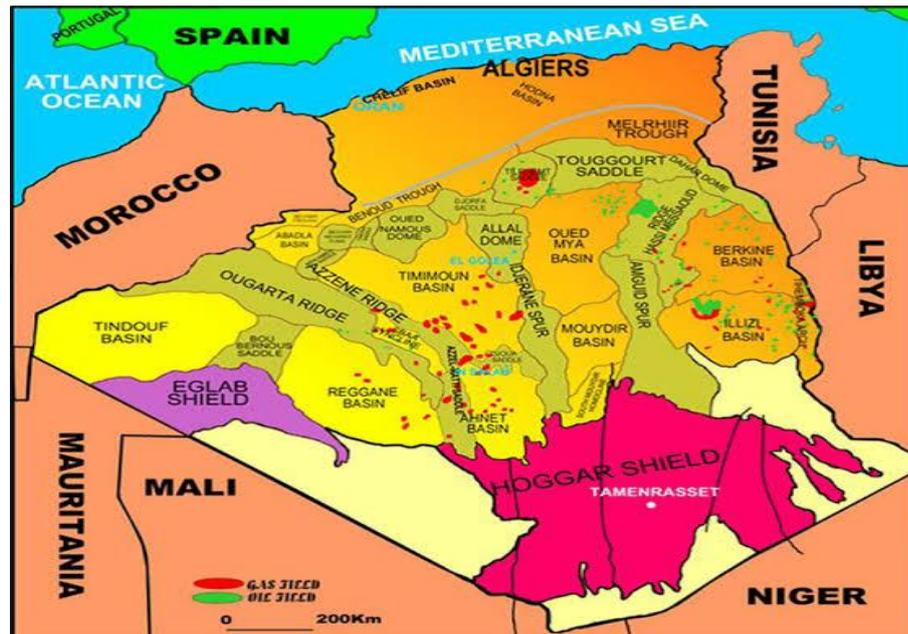


Figure I.3 Les Bassins les plus importants de la plateforme saharienne en Algérie. (ministre d'énergie)

## I.6.2 Quaternaire

Le Quaternaire est constitué de sable éolien et sable argileux, représenté à l'Ouest et au Sud de la région par les dunes de l'Erg Chech et de la Tanezrouft, et au Nord par les dunes du Grand Erg Occidental[4].

## I.6.3 Complexe terminal

Dans une grande partie du bassin occidental, à l'exception du sillon Sud atlasique marquant la flexure saharienne, il n'existe pas des formations intermédiaires entre les sables du Continental Intercalaire et les sables du Miopliocène, ce qui rend très difficile de distinguer entre les deux formations ; l'interprétation des coupes lithologiques peut d'ailleurs, selon la source, attribuer indifféremment les sables et sables argileux situés dans cette position à l'une ou l'autre de ces deux formations[4].

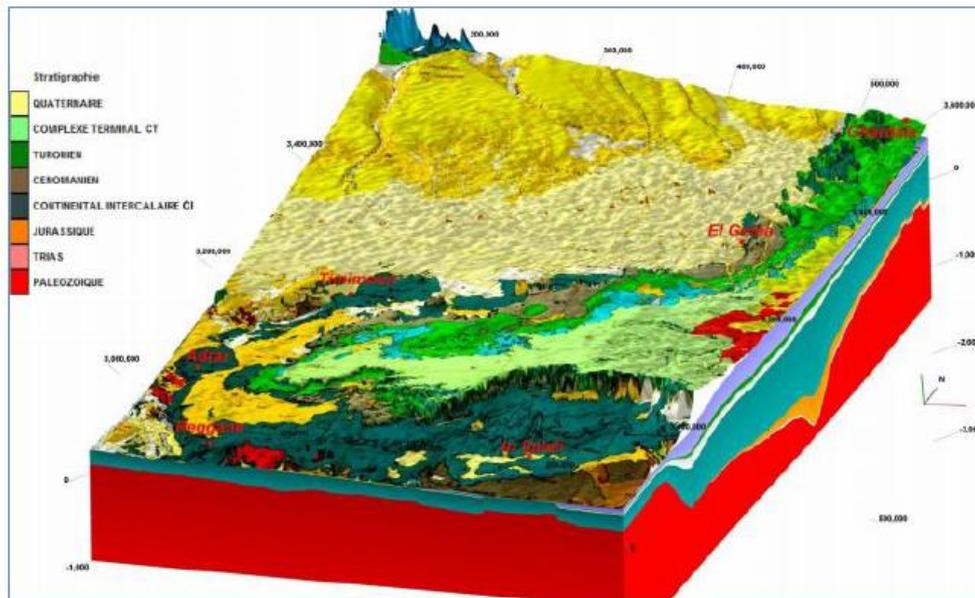


Figure I.4 Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique de la région d'Adrar[9].

#### I.6.4 Continental intercalaire

En géologie, le Continental Intercalaire désigne les formations continentales qui se sont déposées entre le cycle marin du Paléozoïque clôt par l'orogénèse hercynienne et la transgression marine du Cénomanién. Elle couvre une large période du Trias à l'Albien (figure I.5)[10].

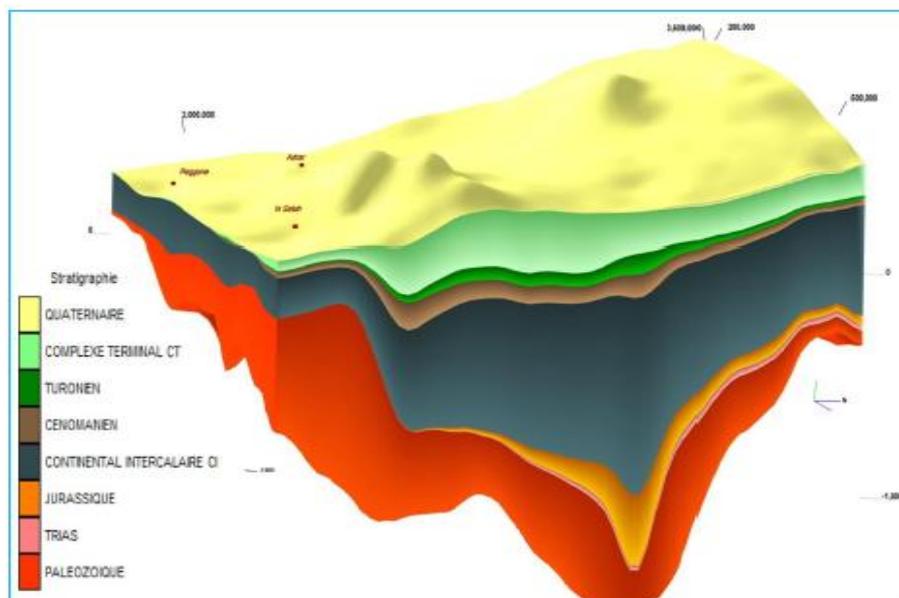


Figure I.5 Diagramme géologique de la région d'étude[4].

## I.7 Hydro climatologie

### I.7.1 Température

La région d'Adrar est caractérisée par des températures élevées en été et par un climat froid en hiver, la valeur la plus basse a été enregistrée est de 15°C et la valeur la plus élevée enregistrée était à 39 °C (figure I.6)[11].

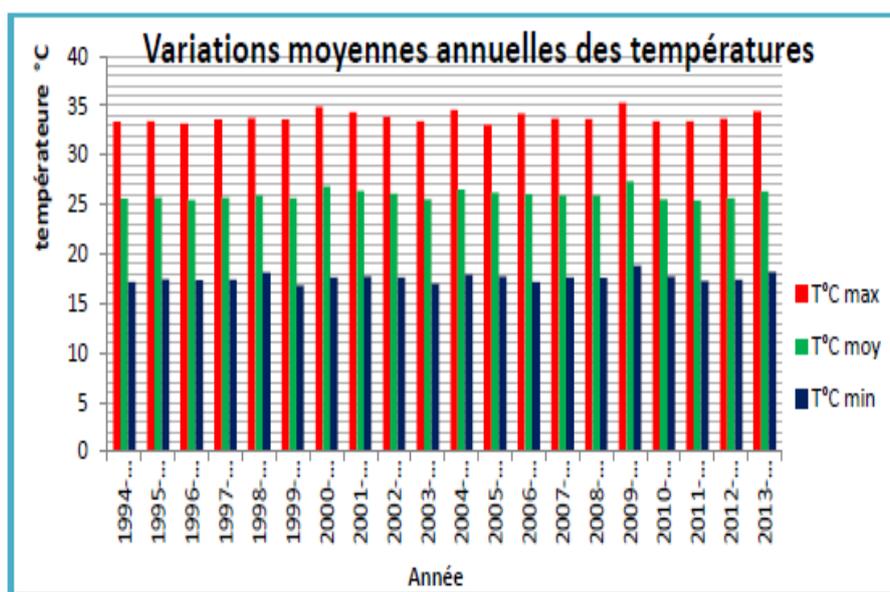


Figure I.6 Variations moyennes annuelles des températures[11].

### I.7.2 Le vent

Notre zone d'étude est l'une des régions les plus exposées au vent dans le Sahara algérien. Ces vents sont particulièrement violents[11].

La région d'Adrar est considérée comme une région active en termes de la vitesse de vents, avec la valeur la plus basse enregistrée 7 m/s en décembre et la vitesse la plus élevée 15 m/s en mars. Le graphe (figure I.7) représente les moyennes mensuelles annuelles de la vitesse du vent enregistré durant la période 1991 à 2010[12].

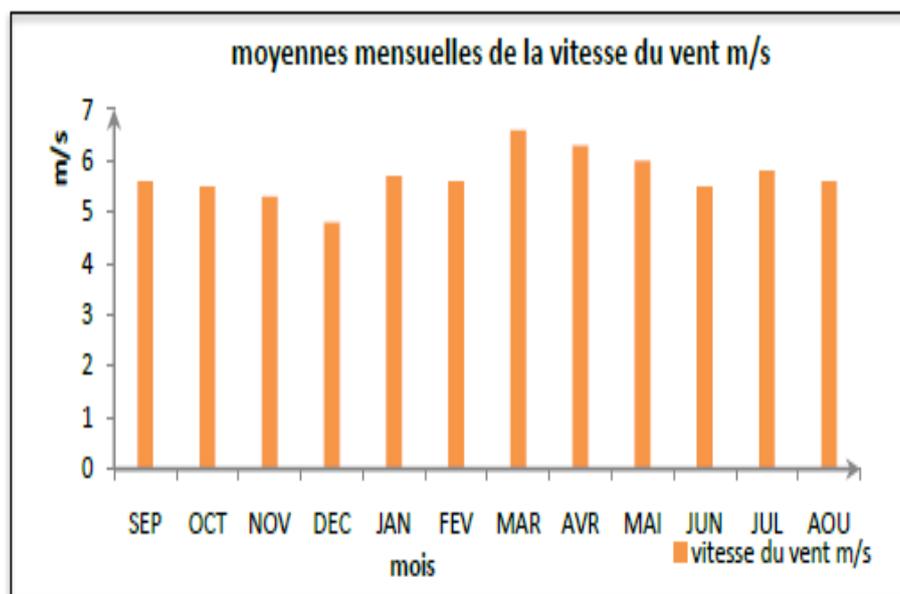


Figure I.7 les moyennes mensuelles de la vitesse du vent (1991-2010)[12].

### I.7.3 Humidité de l'air

La région d'Adrar est caractérisée par un climat sec pendant la majeure partie de l'année, le pourcentage le plus bas étant enregistrée à 13% en juillet et le plus élevé à 48% en janvier (Tableau I.1).

Tableau 1 Les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air (HR%) durant (1994-2013)[13]

Mois	J	F	M	A	M	J	J	S	O	N	D
HR%	48	38	28	23	19	15	13	24	33	43	47

### I.7.4 La précipitation

La région d'Adrar se caractérise par des faibles pluviométries durant toute l'année (Tableau I.2), le maximum enregistré est de 4,08 mm dans le mois d'Avril et le minimum est de 0,09 mm pendant le mois de Juillet.

Tableau 2 Pluviométrie mensuelle moyenne de la période (2004-2013)[14].

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluies(mm)	1,72	1	2,56	4,08	0,34	0,83	0,09	0,36	1,6	3,94	0,46	0,27	17,25

### I.7.5 L'évaporation

La région d'Adrar est caractérisée par des températures élevées, ce qui engendre le phénomène d'évaporation, où la valeur la plus élevée a été enregistrée à 700 mm en juillet et la valeur la plus basse à 100 en janvier [13].

A partir la (figure I.8) des moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008) [8].

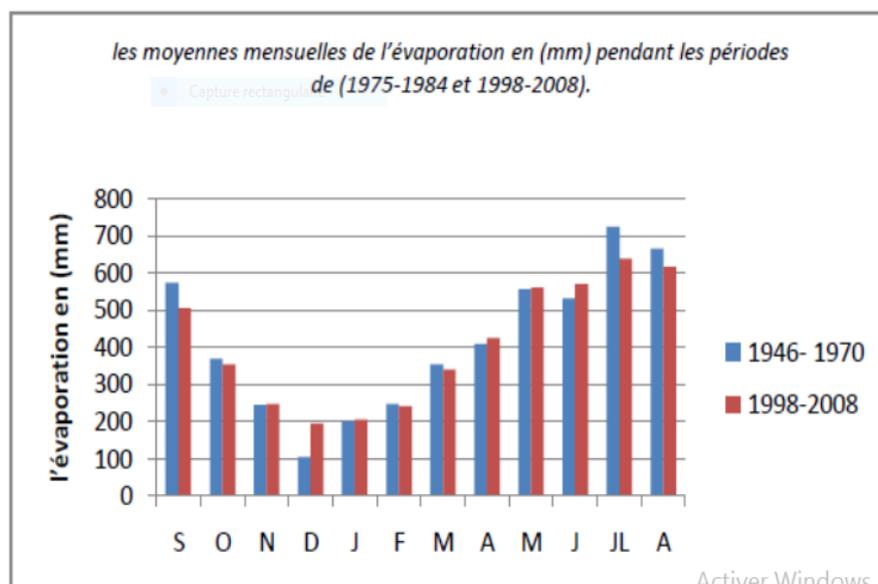


Figure I.8 Les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes [8].

### I.8 Hydrogéologie

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » couvre une vaste superficie plus d'un million de km<sup>2</sup>. Il est reparti entre trois pays, à savoir l'Algérie (700 000 km<sup>2</sup>), la Tunisie (80 000 km<sup>2</sup>) et la Libye (220 000 km<sup>2</sup>). Il s'étend du Nord depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et le rebord méridional du Tinrhert au Sud, et de l'Ouest depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye à l'Est [9].

Ce bassin renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux grands réservoirs appelés le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI) [15].

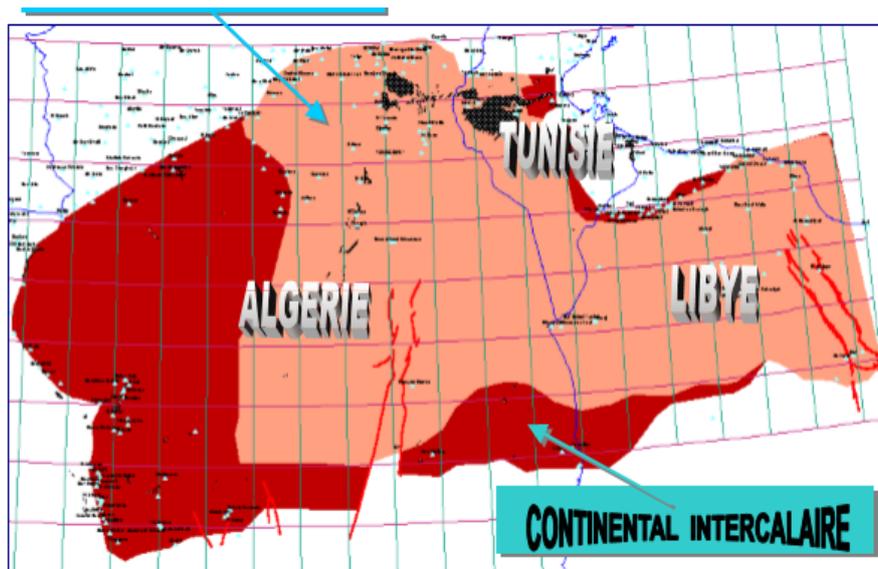


Figure I.9 Zone de SSAS [16]

### I.8.1 Nappe du complexe terminal CT

La nappe du Complexe Terminal est contenue dans les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire. Elle s'étend en Algérie sur un vaste territoire allant de la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'à la hamada du Tinhert au Sud [9].

### I.8.2 Nappe du Continental Intercalaire CI

Le Continental Intercalaire constitue la seule et l'unique nappe d'eau dans la zone d'étude. Elle affleure tout le long de l'axe reliant Timimoun à In Salah, et représente la partie à surface libre du Système Aquifère du Sahara Septentrional dans sa partie Sud -Ouest.

La nappe du CI est contenue dans des formations d'âge Crétacé inférieur, composée d'une lithologie de grès fins et d'argile, sable et gravier. Elle est sollicitée par un nombre important de foggaras, de forages et de puits traditionnels.

Le niveau statique de la nappe varie de 10 mètres dans l'axe reliant Adrar à Sbaa, à plus de 100 m sous le recouvrement du plateau du Tademaït à l'Est. Les débits des forages sont en moyenne de l'ordre de 20 à 50 l/s ; ils engendrent des rabattements qui peuvent atteindre 20 à 40 m dans les forages exploités [9].

#### I.8.2.1 Caractéristiques principales du CI

Cette nappe est contenue dans les horizons sablo-Gréseux et argilo-Gréseux du Continental Intercalaire qui s'étend sur tout le Sahara septentrional. Elle constitue un relais

entre les bassins Oriental et Occidental. Le trait marquant de ce réservoir aquifère est son volume considérable qui est de l'ordre de 60 000 milliards de m<sup>3</sup> dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 km<sup>2</sup> et son épaisseur moyenne de 120 à 1000 m. Les transmissivités s'échelonnent de 6 à  $30 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$  et les coefficients d'emmagasinement de 1 à  $50 \times 10^{-3}$  [16].

Cet aquifère est de type général à nappe captive surtout au centre du bassin oriental où la nappe profonde est fortement artésienne, l'eau jaillit à une température élevée [17].

Sur les bordures du Touât, du Gourara et du Tidikelt, elle n'est qu'ascendante ou à surface libre peu profonde avec des températures normales [17].

## I.9 Conclusion

La région d'Adrar est à une altitude moyenne de 200 m, elle fait partie du bas Sahararecouvert au nord par le Grand Erg Occidental et au Sud par le plateau du Tanezrouft, à l'Est par le plateau du Tademaït.

L'activité principale de la population d'Adrar est la culture du palmier dattier, mais il y a aussi l'artisanat, le tourisme et quelques activités industrielles comme la briqueterie de la commune d'Adrar.

Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz) et la présence de calcaires compacts siliceux par fois.

Le climat dans la région d'Adrar est connu pour sa température élevée, ses précipitations rares et irrégulières, ses tempêtes de sable violentes, ces conditions rendent la région très hostile. D'après les données, la précipitation moyenne annuelle ne dépasse pas les 38 mm/an, avec une température moyenne de l'ordre de 26°C, le climat est saharien de type hyper aride.

## Chapitre II . Généralités sur les composés azotés

### II.1 Introduction

Dans les écosystèmes l'azote est présent sous forme gazeuse, dissoute et liée à des solides. L'azote est majoritairement présent sous forme gazeuse dans l'atmosphère (80%), il est inutilisable que par certaines plantes (les légumineuses). Les autres apports se font sous forme d'engrais chimiques (généralement des nitrates  $\text{NO}_3^-$ ) ou d'amendements organiques tels que fumier et lisier.

### II.2 Généralités sur l'azote

L'azote est un élément chimique très répandu dans la nature. L'ensemble des réactions biologiques de croissance requiert la présence de cet élément. La forme azotée la plus abondante et la plus stable ( $\text{N}_2$ ), représentant 80 % de l'atmosphère terrestre. En effet, il constitue entre 16 et 23% de protéines cellulaires et environ 12% des acides nucléiques, dans l'eau, l'azote se trouve en solution sous forme combinée : nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), azote ammoniacal ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), et l'azote organique [18].

### II.3 Les matières azotées

Les matières azotées sont présentes essentiellement sous formes :

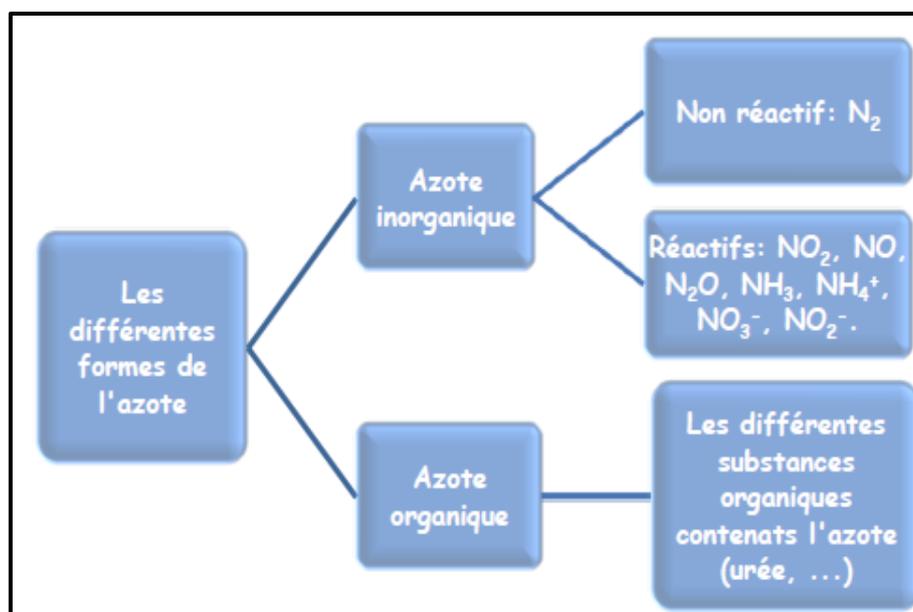


Figure II.1 Organigramme présentant les formes de l'azote

Les ions ( $\text{NO}_3^-$ ) et ( $\text{NO}_2^-$ ) sont très mobiles dans les sols, car, ils présentent une faible capacité de rétention à leur égard. En conséquence, la principale source de nitrite et de nitrate dans les eaux (hors rejets ponctuels) correspond aux excédents d'azote minéral non prélevé par les racines des végétaux et entraîné par les eaux de lessivage [19].

L'ion nitrate est la forme d'azote la plus commune et la plus stable dans les eaux de surface bien oxygénées. L'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) provient, quant à lui, essentiellement de la biodégradation de la matière organique. Il est en général rapidement réabsorbé par les organismes aquatiques, mais il peut être présent en concentrations importantes dans les eaux polluées et peu oxygénées, ainsi que dans les couches d'eau profondes, riches en matière organique (par exemple dans l'hypolimnion des lacs eutrophes). En général, l'ion nitrite est présent en faibles concentrations dans les eaux bien oxygénées car il est rapidement transformé en d'autres formes d'azote (nitrate principalement) [19].

A l'heure actuelle, il ne semble pas y avoir de consensus scientifique sur le fait de savoir si le nitrate est une substance toxique pour les organismes aquatiques. L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) peut, quant à lui, provoquer des symptômes de toxicité aiguë chez de nombreux organismes aquatiques à partir d'un certain seuil de concentration (perturbation des équilibres  $\text{NH}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  et accumulation d'ammoniac dans les cellules) [19].

### II.3.1 Sources et formes des matières azotées

L'azote apporté au milieu provient de trois sources principales :

#### II.3.1.1 Rejets domestiques

L'azote est presque en totalité sous la forme d'azote organique (urée, acide urique, créatinine) et d'azote ammoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ). L'urée et les acides aminés s'hydrolysent rapidement pour donner de l'ammonium. De ce fait, selon le temps de séjour dans le réseau d'assainissement, l'azote organique sera plus ou moins ammonifié. Aussi bien que l'on considère le rejet de 13 à 15 g d'azote total Kjeldhal (NTK) par habitant et par jour soit composé pour 2/3 de formes organiques, la proportion moyenne des deux composants du NTK obtenue sur six eaux résiduaires urbaines s'établit à 70% de  $\text{NH}_4^+$  et 30% de N organique ; les composés oxydés ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ) n'atteignant pas 1% [19].

#### II.3.1.2 Rejets industriels

Selon l'activité industrielle, les concentrations d'azote dans le rejet sont très variables. Les industries les moins polluantes, telles que la fabrication de pâte à papier produisent des

concentrations de 5 à 20mg/l d'Azote totale Kjeldhal (NTK). Pour les industries les plus polluantes, le rejet présente des concentrations beaucoup plus élevées (fabriques d'engrais : 1500 à 5000 mg/l)[18].

### II.3.1.3 Rejets diffus issus du lessivage des sols enrichis en engrais azotés

Les apports d'azote d'origine agricole dus aux eaux de surface varient de façon considérable d'une région à une autre, en relation avec la pédologie, l'hydrographie, le climat, les pratiques culturales, la nature des récoltes et là plus ou moins bonne maîtrise des agriculteurs de l'emploi des divers engrais.

Selon la nature des apports fertilisants et la granulométrie du sol, on constate que les engrais représentent un surcroît de 10 à 50% des pertes naturelles (maximum pour des sols à faible fraction fine). Cet apport se fait presque uniquement sous la forme la plus mobile, c'est-à-dire l'azote nitrique.

L'ampleur et la hiérarchie des apports d'azote aux eaux de surface sont donc fonction de l'importance relative de l'urbanisation (rejets domestiques), de l'industrialisation (rejets industriels) et de l'intensification de l'agriculture (rejets issus du lessivage des sols) de la région considérée[19].

### II.3.2 Cycle de l'azote

On appelle cycle de l'azote les diverses transformations que subit l'azote dans la biosphère (figure II.2). La plupart entre elles sont d'origine microbienne et leur importance agronomique est considérable car elles régissent le bilan de l'azote du sol et la mise en disposition de la plante des formes minérales seule utilisables. Pour une circulation effective des nutriments dans le cycle de l'azote, chaque composant du cycle doit servir comme récepteur et comme source [20].

L'azote est présent à différents degrés d'oxydation dans la nature, et le va-et-vient entre les formes les plus oxydées et les plus réduites est appelé couramment le cycle de l'azote. On donne dans ce tableau (Tableau II.1) les différents composés de l'azote distingués pour leurs degrés d'oxydation [2].

Tableau 3.1: les différents composés de l'azote distingués pour leurs degrés d'oxydation

Composés	Degrés d'oxydation	Nom systématique
$\text{NO}_3^-$	+5	Nitrate
$\text{NO}_2^-$	+3	Nitrite
NO	+2	Oxyde Nitrique
$\text{N}_2\text{O}$	1	Oxyde Nitreux
$\text{N}_2$	0	Diazote
$\text{NH}_3/(\text{NH}_4^+)$	-3	Ammoniac/Ammonium

L'azote est soumis à des cycles d'assimilation, minéralisation, oxydation, réduction modifiant le niveau de valence de l'atome d'azote qui sont le fait d'organisme animaux et végétaux, ainsi que de microorganismes. Les principales étapes du cycle de l'azote sont la fixation, l'assimilation, l'ammonification, la nitrification La fixation et la dénitrification[2].

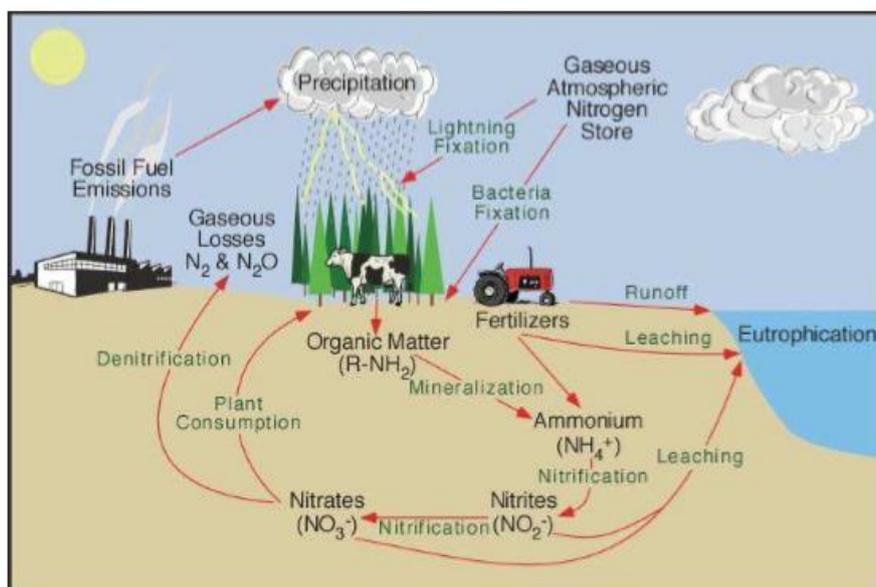
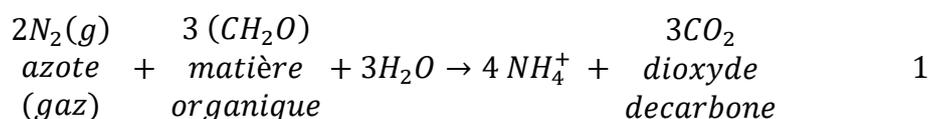


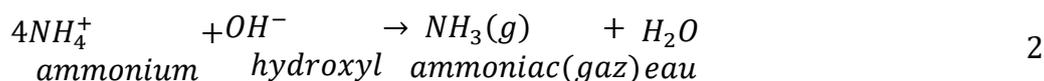
Figure II.2 Cycle de l'azote[3]

### II.3.2.1 La fixation

La fixation correspond au passage de l'azote atmosphérique ( $\text{N}_2$ ) en azote combiné sous l'action de certains organismes qui consomment cet élément ( $\text{N}_2$ ) par la réaction de réduction[2].



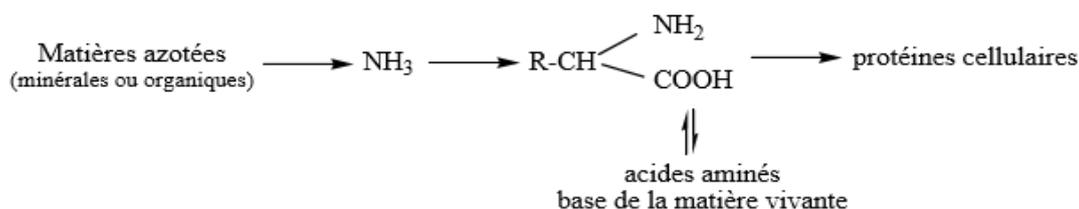
De plus, si le sol est basique, il y aura formation d'ammoniac :



2

### II.3.2.2 L'assimilation

L'assimilation est la transformation de la forme assimilable de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_3$ ) ou organique inerte en matière vivante. Elle est simultanée à celle du carbone et conduit à la synthèse de protéines et d'acide nucléiques[2].



### II.3.2.3 L'ammonification

L'ammonification c'est la libération d'ammoniac à partir de matière azotés organiques[21].

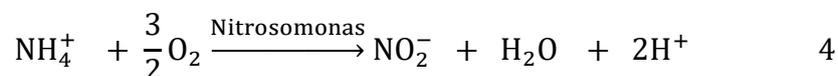


3

### II.3.2.4 La nitrification

La nitrification c'est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrate par l'intermédiaire de Bactéries nitrifiantes.

Elle s'opère en deux étapes la nitrification qui est l'oxydation de l'ammoniac en nitrite et la nitrification correspondant à l'oxydation du nitrite en nitrates[21].



4

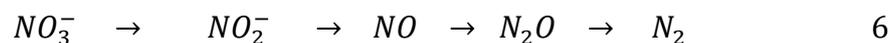


5

Ces deux réactions nitrification et nitrification sont réalisées uniquement en présence d'oxygène.

### II.3.2.5 La dénitrification

La dénitrification c'est la réduction des nitrates en azote gazeux par l'intermédiaire de bactéries dénitrifiantes [21].



6

### II.3.2.6 Lessivage

Lors d'une précipitation, les  $\text{NO}_3^-$  peuvent être transportés hors du sol à l'aide de deux moyens de transport : le ruissellement et/ou le lessivage. Cependant, le lessivage représente la voie préférentielle empruntée par les  $\text{NO}_3^-$ , par exemple, les  $\text{NO}_3^-$  dans les eaux de drainage agricoles sont de 20 à 100 fois supérieures à l'eau de ruissellement[22].

### II.3.3 Les Normes de potabilité

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé une eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. Cette définition doit être traduite en termes permettant de déterminer si une eau est potable ou non. C'est là l'objet des normes de potabilité, approche quantitative de la notion qualitative de potabilité. Ces normes s'appliqueront à un certain nombre de grandeurs jugées pertinentes en la matière [23].

- **Les paramètres indésirables**

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût (matières organiques, phénols, fer...), odeur (matières organiques, phénols...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor)[24].

- **Matières organiques**

La contamination des eaux par des matières organiques est mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium. Cette dernière est admissible pour une concentration maximale de 5 mg/l d'oxygène[24].

- **Ammonium**

Par mesure de précaution, une concentration supérieure à 0,05 mg/l en ammonium laisse suspecter une pollution récente d'origine industrielle ou humaine. En effet, la concentration maximale admissible est de 0,5 mg/l [24].

- **Nitrites**

Etant un signe très fort de la pollution pour des concentrations limites de 0,1 mg/l, la présence de nitrites dans les eaux justifie une analyse chimique et bactériologique détaillée[24].

- **Nitrates**

Une eau contenant plus de 50 mg/l de nitrates est officiellement non potable. Cependant, on estime que la consommation d'une eau ayant une teneur en nitrates comprise entre 50 et 100 mg/l peut être tolérée, sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons. Au-delà de 100 mg/l, l'eau ne doit pas être consommée. Les populations concernées doivent être informées dans les meilleurs délais et par tous les moyens adaptés [24].

### **II.3.4 Nitrates**

#### **II.3.4.1 Définition**

Le nitrate est un composé inorganique composé d'un atome d'azote (N) et de trois atomes d'oxygène (O). Sa formule chimique est  $\text{NO}_3^-$ . Sa masse moléculaire est de 62 g/mol.

Les nitrates constituent la forme azotée dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. En milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture.

Les nitrates ne sont pas toxiques, mais ce n'est qu'à deux conditions que peut se révéler une toxicité des nitrates : s'il y a ingestion vraiment massive de ces composés ou s'ils sont transformés en nitrites par la microflore digestive au sein de l'organisme. Une fois ingérés, les nitrates sont rapidement absorbés au niveau de l'intestin grêle puis distribués dans tout l'organisme. Une partie des nitrates absorbés est sécrétée dans la salive. La microflore buccale transforme une partie de ces nitrates en nitrites. Leur réduction en nitrites peut également survenir au niveau des voies urinaires à la suite d'une infection bactérienne et dans l'estomac[25].

Pour les effets néfastes des nitrates sur la santé, il y a lieu de noter que l'ingestion de nitrates à fortes doses est susceptible, sous certaines conditions, de perturber l'oxygénation du sang chez les nourrissons ("maladie bleue", ou méthémoglobinémie). En outre, ils sont suspectés d'être à l'origine de l'apparition de cancers digestifs. Sur le plan floral, les effets des nitrates sur l'écosystème sont considérables. Associés au phosphore, les nitrates modifient le comportement de certaines espèces végétales. Dans les eaux douces, ils participent aux phénomènes de prolifération d'algues microscopiques (eutrophisation), préjudiciables aux

traitements de potabilisation et à la sécurité des baignades (diminution de la transparence de l'eau). Dans les eaux de mer, cette eutrophisation se manifeste par des accumulations importantes d'algues vertes sur les plages[25].

### **II.3.4.2 Fuites des nitrates et pollution nitrique des nappes souterraines**

Les fuites de nitrate vers les eaux souterraines, que l'on peut également nommer lixiviation, se produisent en période d'excès hydrique lorsque la réserve en eau du sol est remplie.

La lixiviation, plus communément appelée lessivage par abus de langage (le terme concerne plus spécifiquement le transfert de particules), consiste en la migration des solutés, dont le nitrate, avec les eaux de drainage, hors de portée des racines. Le terme "drainage" sous-entend ici les eaux d'infiltration verticale ou de percolation, à la différence du terme "drainage artificiel", qui lui fera référence aux écoulements d'eau en excès dans le sol par tuyaux poreux enterrés. La lixiviation est la résultante de pratiques culturales et de processus qui interagissent dans le temps et dans l'espace, à savoir : la fertilisation, la minéralisation, le transfert (vertical et/ou horizontal), et l'absorption de nitrate.

La part des pertes d'azote par lixiviation de nitrate (exporté par les eaux de drainage sous la forme d'azote nitrique) représente une part parfois importante de l'azote minéral du sol, mais une très faible part de l'azote total présent dans le sol. L'azote minéral ne correspond qu'à une faible fraction de cet azote total. Plus de 95% de l'azote total du sol est ainsi sous forme organique. Les quantités d'azote minéral du sol varient entre quelques unités et quelques centaines de kg/ha, alors qu'un sol présentant un taux de matière organique faible contient 3 à 4,5 tonnes d'azote total à l'hectare (figure II.3) [18].

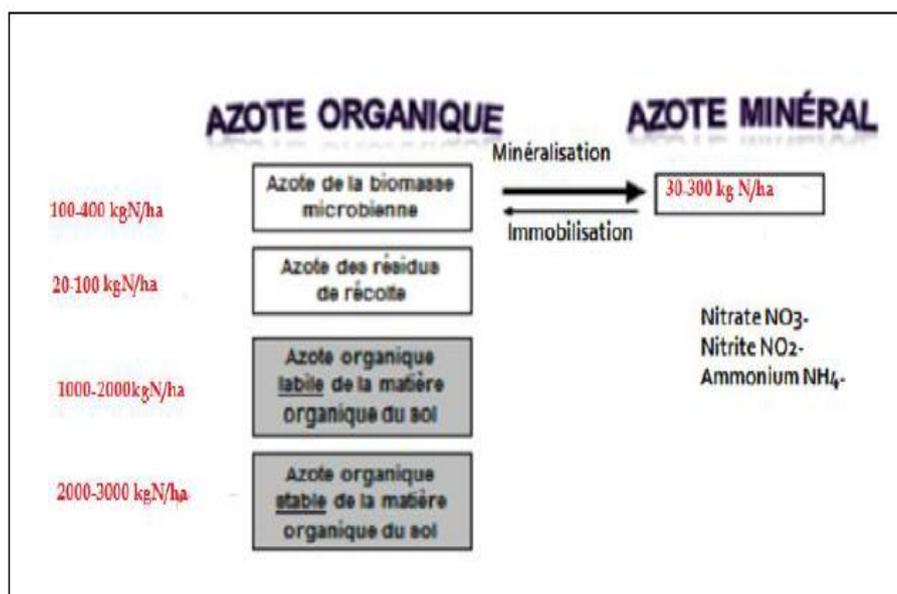


Figure II.3 Compartiment de l'azote dans le sol.

### II.3.4.3 Propriétés physico-chimique des nitrates

Les nitrates sont, d'un point de vue chimique, des sels de l'acide nitrique. Ces sels sont caractérisés par la présence de l'ion nitrate  $\text{NO}_3^-$ , composé d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène. Ils existent naturellement dans les sols et les eaux. Les ions nitrates se forment naturellement au cours du cycle de l'azote, notamment lorsque des matières organiques se décomposent, par l'action des bactéries du sol. L'azote organique se transforme par oxydation en composés ammoniacaux puis en nitrates [26].

Les nitrates étant des sels très solubles dans l'eau ; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent ce que les plantes peuvent utiliser.

Les concentrations de nitrates et de nitrites dans l'eau peuvent être exprimées sous forme de nitrates (ou nitrites) ou sous forme d'azote ; un milligramme de nitrates par litre (mg/l de  $\text{NO}_3^-$ ) équivaut à 0,226 mg de nitrates, sous forme d'azote, par litre (mg-N/l). Dans le cas des nitrites, un mg/l équivaut à 0,304 mg-N/l [3].

### II.3.4.4 Origine des nitrates

#### ❖ Dans les eaux naturelles

Les nitrates existent dans les eaux à l'état naturel en absence de pollution. Leur concentration, alors, n'excède en général pas 3 mg/l à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines [4].

Les teneurs en nitrates sont en augmentation ces dernières années. La progression dans les eaux souterraines est couramment de 0,5 à 1 mg/l/an et peut atteindre 2 mg voire plus. Une situation voisine se rencontre dans les eaux superficielles.

Les concentrations en nitrates dans les nappes sont généralement d'autant plus élevées que celles-ci sont sensibles, peu protégées, influencées par l'urbanisation, les sites industriels et l'agriculture ou l'élevage intensif. Ces concentrations varient aussi avec la vitesse de circulation/renouvellement des eaux dans les nappes[20].

### ❖ Dans les eaux alimentation

De par leur forte solubilité dans l'eau, les nitrates se retrouvent souvent dans l'eau du robinet à des concentrations proches des limites autorisées. En effet, l'utilisation d'engrais azotés qui s'est fortement développée depuis 1950 conduit à une augmentation des teneurs en  $\text{NO}_3^-$  dans les eaux de surfaces et souterraines. Par conséquent, les teneurs élevées en azote des nappes se répercutent sur les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable.

L'organisation mondiale pour la santé précise que dans les régions où les concentrations en nitrate dans l'eau sont inférieures à  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , l'exposition par ingestion de légumes est plus élevée. Cependant, l'eau devient la principale source de nitrate lorsque les concentrations en nitrates dans l'eau dépassent la concentration maximale conseillée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) dans les eaux de boisson et fixée à  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [20].

### ❖ Dans aliments

On trouve du nitrite et du nitrate dans de nombreuses denrées alimentaires ; il s'agit soit de composants présents naturellement dans les aliments, soit d'additifs ajoutés dans un but précis. Les légumes et les viandes de salaison constituent la principale source alimentaire de ces composés, qui peuvent aussi se retrouver, quoique dans une moindre mesure, dans le poisson et les produits laitiers. Le nitrate et le nitrite peuvent être utilisés comme agents de conservation dans certains produits alimentaires pour leur donner une couleur plus attrayante (couleur rose caractéristique des produits de salaison). Les nitrates peuvent être présents en fortes concentrations, soit de 200 à 2 500 mg/kg, dans les légumes et les fruits. Les légumes constituent une source importante de nitrate ; ils sont à l'origine de plus de 85 % de la consommation quotidienne moyenne de ces composés par les humains [27].

### ❖ Dans l'atmosphère

Les nitrates aérosols sont des particules secondaires formées dans l'atmosphère par des transformations chimiques au cours desquelles les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) réagissent avec des

substances déjà présentes dans l'air, comme l'ammoniac. Le processus naturel de dénitrification conduit à charger l'atmosphère en oxydes d'azote.

Alors formé est rapidement transformé en acide nitrique, lui-même converti en nitrate d'ammonium et nitrate de calcium.

Des nitrates sont formés à partir du  $N_2$  atmosphérique lors d'orages. Les éclairs provoquent une formation d'oxydes d'azote et sont à l'origine d'une nitrification abiotique. L'acide nitrique formé se combine ultérieurement à l'ammoniac présent dans l'atmosphère et donne des microcristaux de nitrate d'ammonium qui sont ramenés à la surface du sol par les précipitations sous formes de pluies ou de neiges.

Les divers processus de combustion liés à l'activité anthropique (en particulier l'utilisation de véhicules à moteur), conduisent à enrichir l'atmosphère en oxydes d'azote.

Comme c'est le cas pour les oxydes d'azotes issus de sources naturelles, ceux-ci sont transformés en nitrate d'ammonium et nitrate de calcium. Cette concentration atmosphérique en nitrates peut être particulièrement accrue au voisinage des grandes agglomérations où la circulation routière est importante[27].

#### ❖ Dans le sol

En l'absence de toute fertilisation azotée, les nitrates présents dans les sols proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales, les légumineuses. Ces plantes captent l'azote de l'air et le transforment en matière organique azotée dans leurs racines. Quand la plante a fini son cycle saisonnier, la matière organique azotée est peu à peu décomposée par des bactéries nitrifiantes du sol, et transformée en nitrates. Ces nitrates sont à leur tour utilisés par les autres espèces végétales pour leur propre croissance. On estime qu'un sol normal contient environ 1 000 kg d'azote par hectare. Seule une fraction est transformée en nitrates[28].

### II.4 Pollution de l'eau par des nitrates

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et (où) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines (eaux de source).

Selon la législation algérienne, la norme de potabilité pour les nitrates est fixée à 50 mg/l avec une concentration guide de 25 mg/l. Si la teneur en nitrates est comprise entre 50 et

100 mg/l, l'eau ne peut être destinée à la consommation qu'après une mise en garde de la population. Au-delà de 100 mg/l[28].

## II.5 Les effets des nitrates

### II.5.1 Effet sur la santé de l'homme

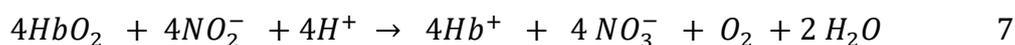
La contamination des eaux souterraines et superficielles par les nitrates est un problème rencontré de plus en plus fréquemment. Les effets sur la santé des nitrates sont liés à la transformation des nitrates en nitrites et éventuellement en nitrosamines au niveau du tube digestif. Chez l'homme, les nitrites sont responsables des risques de méthémoglobinémie aiguë qui s'observe principalement chez le nourrisson. Les risques liés à la formation de nitrosamines, à savoir la survenue de cancers, sont actuellement moins bien établis. Possibilité de survenue d'effets toxiques aigus (méthémoglobinémie aiguë du nourrisson) pour des concentrations de nitrates supérieures à 50 mg/l d'eau destinée à la consommation humaine, difficulté de repérer et contrôler les contaminations bactériologiques présentes dans l'eau, les aliments et le tube digestif, responsables de la transformation de nitrates en nitrites et principal facteur de risque associé à la présence de nitrates dans l'eau, les aliments et le tube digestif[28].

#### ❖ Risque de la méthémoglobinémie

La méthémoglobine est une forme d'hémoglobine dans laquelle le fer hémique est oxydé sous forme ferrique et donc impropre à transporter l'oxygène. Au-delà d'une quantité critique de méthémoglobine dans le sang (généralement 15% de la quantité d'hémoglobine), une cyanose apparaît.

Les méthémoglobinémies ont des origines diverses : déficit des enzymes méthémoglobines réductases, anomalies génétiques de l'hémoglobine qui la rendent plus sensible à l'oxydation, exposition à des médicaments ou composés chimiques oxydants comme les nitrites[29].

C'est le phénomène le plus anciennement connu et scientifiquement prouvé. L'hémoglobine assure le transport de l'oxygène dans l'organisme grâce à la présence de fer dans la molécule à l'état bivalent : fer ferreux. Dans ce cas l'hémoglobine au contact de l'oxygène donne naissance à l'oxyhémoglobine qui assure la livraison d'oxygène aux divers tissus de l'organisme. Si le fer est oxydé à l'état trivalent en présence des nitrites, l'oxyhémoglobine libère son oxygène et se transforme en méthémoglobine [2].



### ❖ Risque carcinogène

Les nitrates sont susceptibles de présenter un risque lié à leur transformation en nitrites et éventuellement en nitrosamines dans le tractus digestif.

Carcinogènes des nitrates via la formation de nitrosamines chez l'animal. Les études épidémiologiques et toxicologique n'ont pas mis en évidence de relations certaines entre ingestion de nitrates et risque de cancers. Démontrer avec certitude une telle relation est particulièrement difficile étant donné le temps de latence entre la cause et le dépistage de la pathologie qui peut dépasser 20 ans. Cette démonstration est rendue encore plus ardue par la grande variabilité dans la durée et l'espace des teneurs en  $\text{NO}_3^-$  dans l'eau et les aliments. Cependant, les tests chez de nombreuses espèces animales ont montré l'effet carcinogène d'un grand nombre de nitrosamines. Diverses études permettent de suspecter fortement la responsabilité de teneurs élevées en nitrates dans l'eau et les aliments, et le développement de cancers de la prostate, du pharynx, de l'œsophage ou du colon. En absence de certitudes absolues, ces résultats imposent de prendre les précautions nécessaires afin de préserver la santé humaine [2].

### II.5.2 Effet sur l'environnement

Les fertilisants agricoles, le fumier, les rejets domestiques d'eaux usées et la décomposition d'organismes végétaux et animaux figurent parmi les sources les plus importantes de nitrates/nitrites. Compte tenu de leur très grande solubilité dans l'eau, les sels de nitrates et de nitrites peuvent migrer facilement dans le sol et se retrouvent dans les eaux souterraines servant de sources d'approvisionnement en eau potable [29].

L'origine des nitrates dans les eaux de consommations est principalement due aux engrais, aux systèmes septiques et du stockage des engrais. Les engrais à l'azote ne sont pas absorbés par les plantes, volatilisés ou emportés par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable [28].

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constituent le stade final de l'oxydation de l'azote présent dans la nature sous différentes formes. En agriculture, ils sont utilisés principalement pour fertiliser les cultures (engrais minéraux et organiques, déjections animales). Si les nitrates sont appliqués en trop grande quantité ou au mauvais moment, les excès non absorbés par les plantes sont lessivés par les pluies et rejoignent les eaux souterraines et les eaux superficielles et dans ce cas l'excès de nitrates peut être.

Considéré comme dangereux pour la santé humaine. Les concentrations élevées en nitrates et nitrites dans l'eau constituent un problème de pollution et de santé publique dont les paramètres sont liés à nos conditions de vie.

Pourquoi ces composés suscitent-ils donc une inquiétude? Parce que les nitrates s'accumulent dans notre environnement et constituent le premier maillon d'une chaîne de transformation biologique et chimique qui aboutit à la formation de composés toxiques dans notre organisme.

En outre, si les teneurs indiquent une concentration de nitrates- nitrites supérieure à 50 mg/l, il faudra vérifier la présence de sources de contamination au voisinage du lieu de captage comme la fosse septique et l'épandage de fumier ou d'engrais, et apporter au besoin les correctifs appropriés[28].

## **II.6 Conclusion**

Cette partie de notre travail représente des généralités sur les composés azotés et plus particulièrement les nitrates qui constituent la forme la plus stable de ces composés. On constate que l'origine des nitrates dans les eaux de consommations est principalement due aux engrais, aux systèmes septiques et du stockage des engrais. Aussi les nitrates s'accumulent dans notre environnement et constituent le premier maillon d'une chaîne de transformation biologique et chimique qui aboutit à la formation de composés toxiques dans notre organisme. On peut observer aussi que les concentrations élevées en nitrates et nitrites dans l'eau constituent un problème de pollution et de santé publique dont les paramètres sont liés à nos conditions de vie.

## Chapitre III . Matériel et Méthodes

### III.1 Introduction

Les différents travaux effectués dans le cadre de cette étude ont été réalisés au niveau du laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

### III.2 Prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été effectués manuellement dans des flacons de polyéthylène de 1500 ml de capacité. L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le numéro et les coordonnées du point d'eau, la date, et la profondeur et le niveau statique. Ces échantillons sont conservés selon les méthodes standard [30], et ils sont transportés par la suite au laboratoire de l'ANRH Adrar.

Une analyse des paramètres physiques (pH, CE, TDS, T) et des éléments chimiques a été effectuée pour les éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ), le cycle de l'azote ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ), et les éléments mineurs en traces ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

#### III.2.1 Analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau

##### III.2.1.1 Détermination du pH

Le pH d'une eau est une information de son pouvoir à être acide ou alcaline, il est fonction de la présence de l'activité des ions hydrogènes  $\text{H}^+$  dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des causes diverses en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels.

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode préalablement étalonnée avec des solutions tampon pH (4 et 7). La méthode consiste à plonger l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bêcher, Après la stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH mètre, on lit la valeur du pH directement[21].

##### Mode opératoire

Tout d'abord on rince le bêcher et l'électrode avec de l'eau distillée, puis avec de l'eau à analyser, ensuite, on remplit le bêcher avec l'échantillon et on immerge l'électrode avec agitation, Nous lisons directement le pH lorsque sa valeur est stabilisée. Le montage est donné par la figure suivante (figure III.1).



Figure III.1 Mesure du pH

### III.2.1.2 Mesure de la conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes de platine de 1 cm<sup>2</sup> de surface, séparé par une distance de 1 cm, Elle est l'inverse de la résistivité électrique ( $\rho$ )[22].

La conductivité de l'eau est la mesure de la concentration en sels inorganiques dans l'eau par l'aptitude de celle-ci à conduire de l'électricité. Dans des eaux naturelles, elle est basse tout en augmentant avec la pollution. C'est l'inverse de la résistivité.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \times \frac{L}{S}$$

Avec :

$\gamma$  : conductivité (en  $\Omega^{-1} \cdot m$  ou  $S \cdot m^{-1}$ )

$\rho$ : résistivité (en  $\Omega \cdot m$ ),

R : résistance (en  $\Omega$ ),

L : distance entre les deux électrodes (en m),

S : surface de chaque électrode (en m<sup>2</sup>)

#### Mode opératoire

Premièrement on rince plusieurs fois la cellule de la conductivité avec de l'eau distillée, puis on plonge l'électrode complètement dans un récipient contenant l'eau à analyser. Par la suite on agite l'échantillon afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique

à celle du liquide, cette agitation permet d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes. Enfin on note la valeur finale affichée sur le conductimètre. Le résultat est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ [22].

### III.2.1.3 Détermination de la turbidité

La turbidité mesure la propriété optique de l'eau qui résulte de l'absorption de la lumière par les particules en suspension présentes dans l'eau [30].

#### ✚ Mode opératoire

On met l'appareil sous tension (figure III.2) et après rinçage plusieurs fois la cuvette par l'échantillon à analyser, on remplit par la suite la cuvette par ce dernier et on place la prise d'essai de l'échantillon et on appuie " READ " le résultat en NTU s'affiche[22].



Figure III.2 Mesure de la turbidité

### III.2.1.4 Détermination du résidu sec

La détermination des résidus sec permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

#### ✚ Mode opératoire

Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée. On prélève 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et on le verse dans la capsule. Ensuite on

portecette dernière à l'étuve à 110° C, pendant 24 heures, on laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur, en fine on pèse immédiatement et rapidement.

### III.2.1.5 Mesure de la dureté de l'eau (TH)

Le titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium.

#### Principe

Les ions des élément alcalino-terreux présente dans l'eau forment un complexe de type chélate avec le sel de l'acide éthylène-diamine-tétracétique. La disparation des dernières traces d'élément libre à doser est décelée par le virage de l'indicateur spécifique. Enmilieu convenablement tamponné pour empêcher la participation de magnésium, la méthode de dosage est pour la somme des ions de calcium et de magnésium.

#### Réactifs

- Solution titrée de l'EDTA N/50 ;
- Solution tampon a pH compris entre 10 et 11 ;
- Un indicateur noir d'ériochromeT.

#### Mode opératoire

Prendre 100 ml d'eau à l'aide d'une pipette de 50ml et les transférés dans un erlenmeyer de 500 ml. La solution est chauffée à 60 °C, et on ajoute 5ml de la solution tampon et 30mg de l'indicateur. On titre alors avec la solution titrée de l'EDTA jusqu'au virage du rouge violacé au bleu.

### III.2.1.6 Détermination de l'alcalinité (TA-TAC)

#### Principe

L'alcalinité est la capacité quantitative des milieux aqueux à réagir avec les ions hydrogènes. À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bases et des sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrates. La silice ionique peut aussi interférer notamment lorsque le pH est supérieur à 8,5.

**+ Réactif**

Acide sulfurique 0.2 N, avec une solution de phénolphthaléine dans l'alcool à 0.5 % et une solution de méthylorange 0.5 %.

**+ Mode opératoire**

Pour la détermination de TA : prélever 100 ml d'eau à analyse dans un erlenmeyer de 250ml, ensuite ajoute 1 à 2 gouttes phénophtaléine. Une coloration rose doit alors apparaitre, dans le contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le  $\text{PH} < 8,3$ . Verser ensuite doucement à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution soit (V) le nombre de millilitre d'acide versé

Pour la détermination de TAC : utiliser un prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration. Ajoute 2 gouttes de méthylorange et titrez de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orange ( $\text{pH}=4.3$ ). Soit (V') le nombre de millilitres d'acide versé depuis le début du dosage. Retrancher 0.5ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate.

**III.2.1.7 Dosage du Sodium et du Potassium par photométrie de flamme****+ Principe**

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normal (on dit que les atomes sont excités par la flamme). Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendu au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme d'étalons pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue (figure III.3).

Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme.

**+ Réactifs**

- Solution mère de Sodium et de Potassium ;
- Solutions étalons en  $\text{Na}^+$  et  $\text{k}^+$  ;

- Solution mère de calcium ;
- Solutions étalons de calcium ;

#### ✚ Appareillage

- Photomètre à flamme ;
- Bouteille de gaz ;
- Compresseur d'air.



Figure III.3 Photomètre de flamme de type WTW

### III.2.1.8 Dosage des Chlorures

#### ✚ Principe

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique  $[\text{Hg}(\text{SCN})_2]$  et de l'alun ferrique  $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2 24\text{H}_2\text{O}]$  donnent en milieu nitrique et acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

#### ✚ Réactifs

- Solution saturée de thiocyanate mercurique ;
- Solution d'alun ferrique ;
- Solution mère de chlorures à 10g/l ;
- Solutions étalons.

#### ✚ Mode opératoire

On place (5 ml) d'échantillon dans des fioles de 50 ml, les PE des solutions étalons, le témoin ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir, on ajoute

dans l'ordre 5ml de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 3 ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6, on agite vigoureusement les fioles pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant un demie heure. Enfin on effectue la lecture au colorimètre à la longueur d'onde de 470nm en réglant le zéro avec le témoin.

### III.2.1.9 Dosage des sulfates $\text{SO}_4^{2-}$

#### Principe

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm.

#### Réactifs

- Solution de chlorure de baryum et de gélatine ;
- Solution mère de sulfate a 10g/l ;
- Solutions étalons.

#### Mode opératoire

On prend (5ml) d'échantillon dans des fioles de 50ml et les PE des solutions étalons, le témoin ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir on ajoute à chaque PE, 5 ml de la solution de  $\text{BaSO}_4$  et de la gélatine préalablement diluée 1/6. Compléter avec l'eau distillée Q.S.P. 50 ml, on agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures, on effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495 nm en réglant le zéro avec le témoin.

### III.2.1.10 Dosage des carbonates et bicarbonates

#### Principe

Les carbonates n'existant qu'à  $\text{pH} > 8,3$  et les bicarbonates si le  $\text{pH}$  est compris entre 4,4 et 8,3. Au cours d'un dosage acidimétrique doublé d'une mesure de  $\text{pH}$ , à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.

#### Réactifs

- Solution  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en 0.01N
- $\text{pH}$ -mètre

#### Mode opératoire

On prend 40 ml dans le bécher et on dose avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  jusqu'à le  $\text{pH} = 4.4$

### III.2.1.11 Détermination du Calcium et Magnésium

#### ✚ Principe

Le sel disodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique cristallisé avec  $\text{H}_2\text{O}$ , appelé aussi complexons ou versante forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du  $\text{pH}$ .

#### ✚ Réactifs

- Solution EDTA ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ ) : 40g de EDTA ; ajoutez 5 g Soude caustique ( $\text{NaOH}$ ) et 1 g Chlorure de Magnésium ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ensuite compléter à 1000ml d'eau distillée ;
- Solution d'hydroxyde d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) : 67 g de chlorure d'ammonium avec 448 ml d'Ammoniaque  $\text{NH}_3$  (25%) et de  $\text{HCl}$  concentré et compléter à 1000 ml d'eau distillée ;
- Solution d'hydroxyde de sodium : 80g de  $\text{NaOH}$  avec 1000 ml d'eau distillée
- Noir ériochromeT ;
- Solution mère de  $\text{Ca}^{2+}$  à 100 mg/l

#### ✚ Mode opératoire

On prend 10 ml échantillon et on ajoute 2 ml de  $\text{NaOH}$ , puis une ajout de Meruxide, et on titre avec l'EDTA jusqu'au virage au violet, soit  $V_1$  de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . Pour le volume ( $V_2$  pour  $\text{Mg}^{2+}$ ) On prend PE de 10 ml et on ajoute 2 ml de solution tampon, puis un ajoute le Noir ériochromeT, et on titre avec l'EDTA jusqu'au virage au bleu.

### III.2.1.12 Détermination des nitrates $\text{NO}_3^-$

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence du sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie, diazotation avec l'acide sulfanilique et copulations avec l' $\alpha$  – Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm[22].

#### ✚ Réactifs

- ✓ Solution mère de nitrates à 1000 mg/l :

Dissoudre 1,631g de nitrates de potassium préalablement séchés au dessiccateur et compléter à 1000 ml par de l'eau distillée,

## ✓ Solutions étalons :

Prendre successivement : 0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10 et 15 ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement à 100 ml par de l'eau distillée, On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 et 150 mg/l de nitrates [30].



Figure III.4 Dosage des nitrates

- ✓ Solution de soude à 0,05 M,
- ✓ Mélange réducteur à préparer au moment de l'emploi :
  - 5 ml de la solution de Sulfate de Cuivre
  - 5 ml de la solution d'hydrazine
  - Eau distillée Q,S,P 200 ml
- ✓ Mélange colorant (conserver en flacon brun) :
  - 10 ml d'acétone,
  - 20 ml d'acide sulfanilique,
  - 20 ml d'E,D,T,A,
  - 20 ml d'acétate de sodium,
  - 20 ml d'  $\alpha$ -Naphthylamine,
  - Eau distillée Q,S,P 1000 ml,

Ajouter l' $\alpha$ -Naphthylamine en dernier et après une dilution pour éviter la formation d'un précipité blanc laiteux, et compléter avec l'eau distillée à 1000 ml.

**✚ Mode opératoire**

De préférence, on effectue le dosage dans des flacons bruns et on réalise le mélange suivant en introduisant dans le flacon : 1 ml prise d'essai, 5 ml de solution de soude à 0,05 M,

après l'agitation on ajoute, 5 ml de mélange réducteur, encore une fois on agite ce dernier mélange.

Après une heure, on ajoute 40 ml du mélange colorant, et on met à l'obscurité pendant 15 min, finalement on mesure la densité à 520 nm [30].



Figure III.5 Conservation des flacons à l'obscurité.

#### Expression des résultats

La courbe donne directement les teneurs en azote nitriques des échantillons exprimés en mg/l.

#### III.2.1.13 Détermination des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

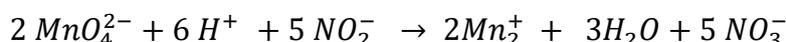
Par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique à pH 2,5 puis par copulation du composé formé avec l' $\alpha$ -Naphthylamine, on obtient un colorant azoïque rouge stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 520 nm[22].

#### Réactifs

- Solution d'acide sulfanilique ;
- Solution d' $\alpha$ -naphthylamine ;
- Solution tampon d'acétate de sodium ;
- Solution d'E, D.T.A à 5 g/l ;
- Solution mère étalon des nitrites à 100 mg/l :
  - Eau distillée Q.S.P 1000 ml ;
  - 150 mg de nitrite de sodium ; On les conserve en y ajoutant 1ml/l de chloroforme.

### ✚ Titrage de la solution mère de nitrite

Le nitrite est oxydé au moyen d'un excès de permanganate, L'excès d'oxydant est ensuite dosé par iodométrie [30].



Tout d'abord on fait le mélange suivant dans un bécher : 10 ml de permanganate de potassium à 0,01N, avec 2 ml d'acide sulfurique dilué au 1/2, et 20 ml de solution de nitrite. Après l'agitation on ajoute 5 ml d'iodure de potassium à 10%. La concentration de la solution mère de nitrite exprimé en mg/l, est donnée par :

$$[\text{NO}_2^-] \text{ en mg/l} = \frac{(T_{\text{thiosulfate de sodium}} \times (V_0 - V) \times 23000)}{\text{PE}}$$

Avec :

$V_0$  : le volume trouvé pour un témoin effectué avec de l'eau distillé (ml).

$V$  : le volume de thiosulfate de sodium nécessaire pour l'échantillon (ml).

$T$  : titre de thiosulfate de sodium (mol/l).

PE : prise d'essai (ml)

A partir de cette solution de nitrites, on prépare une solution fille à 1mg/l de  $\text{NO}_2^-$

➤ Solutions étalons :

Prendre successivement : 1, 2, 4, 6, 8, 10 ml de la solution à 1 mg/l de  $\text{NO}_2^-$  et compléter par l'eau distillée à 50 ml. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 0,02;0,04; 0,08; 0,12; 0,16 et 0,20 mg/l de  $\text{NO}_2^-$ .



Figure III.6 Les solutions étalons des nitrites

#### ✚ Mode opératoire

On réalise le mélange en introduisant 50ml de prise d'essai, avec 1ml de solution d'E,D,T,A et 1 ml d'acide sulfanilique, ensuite on agite et on attend 10 minutes, puis on ajoute 1ml d' $\alpha$ -Naphthylamine, 1ml de la solution de tampon acétate. Encore une fois on agite et on attend 30 minutes, enfin on effectue la mesure colorimétrique à 520 nm.

#### ✚ Expression des résultats

Après le traçage de la courbe d'étalonnage on lit directement les teneurs en azote nitreux des échantillons exprimé en mg/l.

### III.2.1.14 Dosage de l'ammonium

L'ammonium, en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique. On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur.

#### ✚ Réactifs

- Solution mère d'ammonium 1 g/l ( $NH_4^+$ ):

Peser 2,972g de chlorure d'ammonium  $NH_4Cl$  préalablement séché et refroidi au dessiccateur. Dissoudre cette quantité dans de l'eau distillée et compléter à 1000 ml.

- Solution d'ammonium 10 mg/l ( $NH_4^+$ ).

Prendre 2 ml de la solution mère à 1g/l et compléter à 200 ml par de l'eau distillée.

- Solution d'hypochlorite de sodium à 2° chlorométrique

➤ Solution étalon :

Prendre successivement : 0,25; 0,5 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 ; 7 et 10ml de la solution à 10mg/l et compléter à 50 ml par de l'eau distillée, On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 0,05 ; 0,1 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 et 2mg/l de  $(\text{NH}_4^+)$ .

➤ Mélange des réactifs :

On mélange les 3 premiers réactifs dans les proportions suivantes :

- 200 ml de la solution tampon et complexante ;
- 25 ml de la solution de phénate de sodium ;
- 10 ml de la solution de nitroprussiate de sodium ;

✚ **Mode opératoire**

La mesure colorimétrique s'effectue en opérant le mélange suivant : 20 ml PE , 2 ml du réactif mélangé , 0,5 ml d'hypochlorite à 2 °Cl.

La coloration bleue se développe à partir du moment où on les laisse les flacons à l'obscurité pendant une heure et demie, La coloration reste stable plusieurs heures. Ensuite on effectue la mesure colorimétrique à 625 nm.



Figure III.7 Dosage de l'ammonium

✚ **Expression des résultats**

La courbe donne directement la teneur en azote ammoniacal des échantillons exprimés en mg/l.

### III.2.1.15 Dosage de l'orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

En milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium  $\text{MO}_7(\text{NH}_4)_4\text{H}_2\text{O}$ , les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui est réduit par l'acide ascorbique, et développe une coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 710 ou 800 nm.

#### ✚ Réactifs

- Solution d'acide ascorbique à 10 g/l.
- Solution de molybdate d'ammonium.
- Solution mère de l'ortho-phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) à 1g/l :

Dissoudre 143,2 mg de phosphate Dihydrogénophosphate de potassium ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) (desséché au préalable à l'étuve à 100°C) dans 1000 ml d'eau distillée.

- Solution de ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) à 10mg/l :

Placer dans une fiole jaugée de 200 ml, 2 ml de la solution mère et compléter ensuite par de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge.

- Solutions étalons :

Prendre successivement les volumes de : 2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 15 et 20 ml de la solution à 10 mg/l, puis compléter à 50 ml avec de l'eau distillée, On obtient donc des solutions étalons contenant respectivement les concentrations suivantes : 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 3 et 4 mg/l.

#### ✚ Mode opératoire

Dans des tubes à essai on introduit 20 ml prise d'essai, puis on ajoute 5 ml des réactifs mélangés (3 volumes de la solution molybdique, 1 volume de la solution de l'acide ascorbique).



Figure III.8 Dosage des phosphates

On les met à l'étuve durant 20 minutes à 80 °C et on les laisse refroidir puis on mesure l'absorption à une longueur d'onde de 825 nm.



Figure III.9: UV-Visible pour mesurer la densité optique des éléments,

#### ✚ Expression des résultats :

La courbe donne directement la teneur en ortho-phosphate des échantillons exprimée en mg/l.

### III.3 Conclusion

Dans cette partie on a présenté les différentes méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail, on constate que les différentes techniques sont effectuées avec des appareils modernes et sophistiqués.

## Chapitre IV . Résultats et Discussions

### IV.1 Introduction

Un rapport d'état des lieux a été réalisé par un comité du contrat de nappe dans la région d'Adrar a révélé que la nappe de CI présente des teneurs en nitrates considérables notamment dans les zones agricoles. Des teneurs excédantes les normes ont été observées dans les zones vierges, ce qui impose une étude de diagnostique pour arriver à déterminer l'origine de cette contamination, dans ce qui suit on essaye de trouver les causes les plus possibles de cette pollution.

### IV.2 Résultats et discussions

L'interprétation des données a été faites selon la disponibilité des données, ces données ont été récupérées au niveau de l'ANRH Adrar.

#### IV.2.1 Campagnes d'échantillonnages

Dans cette étude nous avons utilisé les données de trois campagnes, la première campagne a été effectuée durant l'année 2010 sur un nombre de 256 échantillons des forages et puits d'alimentation en eau potable (AEP) et d'irrigation, la deuxième a été effectuée en 2018 sur un réseau piézométrique de 14 échantillons, et la troisième a été réalisée sur 12 échantillons au cours de l'année 2020, afin de donner une bonne répartition dans l'espace et dans le temps et pour mieux caractériser l'aquifère du continental intercalaire. Les points échantillonnés sont représentés sur la carte suivante (Figure IV.1).

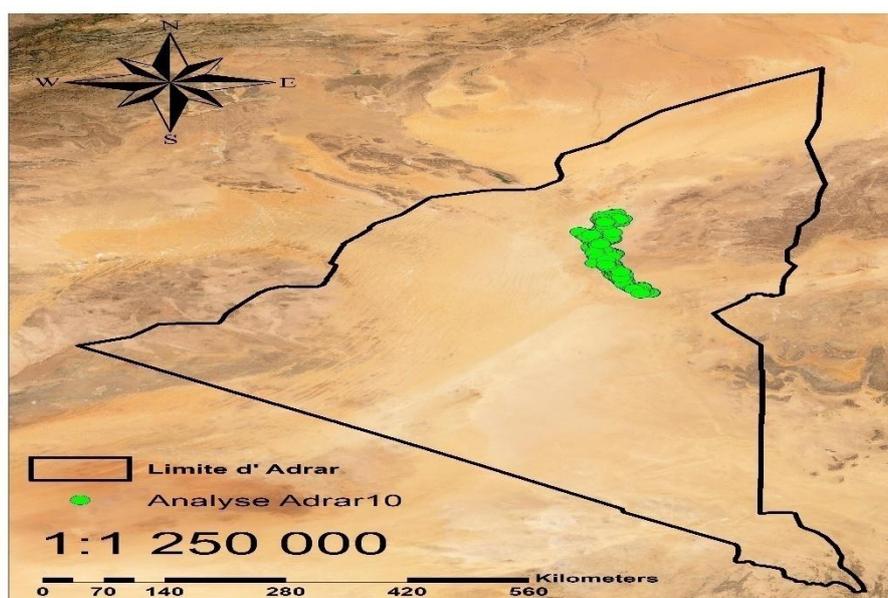


Figure IV.1 Points d'eaux échantillonnés

### IV.2.2 Paramètres analysés

Une analyse des paramètres physiques tel que (pH, CE, TDS) et des éléments chimiques comme les éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ), le cycle de l'azote ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ), les éléments mineurs en traces ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a été effectuée.

### IV.2.3 Interprétations des données

Les interprétations seront présentées sur les différents paramètres analysés, après un intérêt particulier sera donné aux dérivés de l'azote et particulièrement aux nitrates et aux dérivés de l'azote.

### IV.2.4 Potentiel Hydrogène (pH)

Selon les normes locales, les valeurs du pH des eaux souterraines doivent être situées entre 6,5 et 9[23].

Les analyses des eaux de la région ont montré que le pH varie entre 6,43 et 9,22 avec une tendance à être plus ou moins alcalin. Ces résultats sont conformes aux normes algériennes et celle de l'OMS, pour la totalité des eaux analysées.

### IV.2.5 Variation de la conductivité

La conductivité donne une idée rapide sur la minéralisation de l'eau est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. La valeur maximale recommandée pour la conductivité électrique par l'OMS est de 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ [22].

Les valeurs de la conductivité des eaux analysées montrent que ces eaux ont des conductivités qui varient entre 700 et 8030  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dans certaines régions les conductivités sont très élevées et dépassent parfois largement les normes de potabilité, elles sont supérieures à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et qu'elles atteignent les 8030  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### IV.2.6 La variation du TDS

MTD ou TDS ou RS signifie le total des solides dissouts et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions. Des cations sont des ions chargés positivement et des anions sont des ions chargés négativement.

L'OMS recommande une valeur limite de 1000 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine[23]. Le Ministère des ressources en eau prescrit une valeur de 1500 mg/l[30]. Dans les pays à climat semi-aride et aride cette valeur est largement dépassée.

Les résultats des analyses effectuées dans cette région ont montré que le TDS des eaux analysées oscille entre 400 et 5200 mg/l. Les analyses des eaux la campagne piézométrique de l'année 2018 montre que le résidu sec oscille entre 505 mg/l et 2460 mg/l. L'actualisation de la campagne piézométrique en 2020 montre qu'il n'existe aucune évolution du RS dans les piézomètres.

#### IV.2.7 Titre hydrotimétrique total

La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH fait référence à la concentration en hydrogénocarbonates de magnésium et de calcium dissous dans l'eau. Totalité de tous les sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. En général, la somme des duretés carbonaté et non-carbonaté.

La dureté des eaux de la région d'Adrar est généralement entre 4 et 236°F, avec une valeur moyenne de 53,15 °F, ces teneurs traduisent des eaux très dures qui sont supérieures à 30°F. On constate également que 82 % des eaux sont dures avec une valeur supérieure à 30 °F. Pour les eaux de consommation, les normes algériennes indiquent comme bonne qualité une eau dont la dureté inférieure à 20 °F[31].

#### IV.2.8 La teneur en Calcium $Ca^{2+}$

La dissolution des formations carbonatées, calcite ( $CaCO_3$ ), dolomie  $[(Ca, Mg)CO_3]$  ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse  $[CaSO_4, 2(H_2O)]$  et anhydrite ( $CaSO_4$ ), sont à l'origine de la présence du calcium  $Ca^{2+}$  dans les eaux souterraines[9].

La concentration du calcium dans les eaux de la région varie entre (9 – 536) mg/l avec une valeur moyenne de 107,069 mg/l, avec 92 % des échantillons ont des teneurs inférieures à 200 mg/l. Les analyses des piézomètres en 2018 et 2020 ont donné une teneur en Calcium qui varie entre 40 mg/l et 168 mg/l, avec une évolution négligeable.

#### IV.2.9 La teneur en Magnésium

L'abondance de l'élément magnésium dans la nature, et surtout dans les formations évaporites (sel de  $Mg$ ), la carnallite ( $KMgCl_3, 6H_2O$ ), la kiesérite ( $MgSO_4, H_2O$ ), et

carbonatés, la dolomie  $[(Ca, Mg)CO_3]$ , sont probablement la cause de l'existence du magnésium dans les eaux souterraines[9].

Les valeurs de magnésium dans la région varient de 3 à 255 mg/l, avec une moyenne de 67,65 mg/l. Ces résultats montrent également que 96 % sont conformes à la norme de potabilité (150 mg/l) d'après l'OMS. Les deux campagnes des analyses des piézomètres ont montré que les valeurs du magnésium sont entre 22,5 et 117,5 mg/l.

#### **IV.2.10 La Teneur en Sodium**

La dissolution des formations salifères comme la halite (NaCl) constitue la source principale de l'élément sodium dans l'eau souterraines. Les teneurs des eaux de la région sont comprises entre 22 et 790 mg/l avec une moyenne de 262,840. Ces données indiquent que les eaux de ces régions sont contenues dans des formations salifères qui dépassent parfois largement la valeur 200 mg/l pour (62 %), les valeurs les plus élevées supérieures à 400 mg/l sont localisées dans la région de Reggane, Bouda et Fenoughil alors que les valeurs inférieures à 200 mg/l sont localisées dans la commune d'Adrar. La campagne piézométrique effectuée en 2018 montre que la teneur en sodium dans les piézomètres est entre 98.6 et 490 mg/l, quant à l'évolution n'a pas observée, la campagne de 2020 confirme ces résultats.

#### **IV.2.11 La teneur en Potassium**

L'élément potassium peut être observé dans les eaux issues des formations argileuses et des eaux issues des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), et carnallite ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6(H_2O)$ ), les valeurs enregistrées dans les eaux de la région sont entre 8 et 165 mg/l, avec une valeur moyenne de 24,078 mg/l. On constate un léger dépassement des normes dans certaines zones.

#### **IV.2.12 La teneur en Chlorures**

Les teneurs en chlorures sont très élevées dans notre région et dépassent les 1200mg/l, les fortes teneurs sont localisées dans les régions de Fenoughil, Reggane et Bouda. Cette teneur varie entre 46 mg/l et 1200 mg/l avec une valeur moyenne de 390,451 mg/l. on ce qui concerne les mesures piézométriques de 2018 et 2020 ont montré que les valeurs sont entre 110 mg/l et 750 mg/l. La présence des chlorures dans l'eau souterraine résulte probablement de la dissolution des sels naturels comme la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl).

### IV.2.13 La teneur en Sulfates

Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région d'Adrar varient de 10 mg/l à plus de 2100 mg/l, les teneurs les plus élevées sont observées dans la région de Reggane, Fenoughil et Bouda. Les dernières analyses de 2018 et 2020 ont données des teneurs qui oscillent entre 140 mg/l et 800 mg/l. La présence des sulfates est généralement due au lessivage des formations évaporites, telle que le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ) et l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), ils peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite ( $\text{FeS}_2$ ).

### IV.2.14 La teneur en Carbonates et en Bicarbonates

Les ions bicarbonates et les carbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son l'infiltration dans le sous-sol. Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varient de 9 à 262 mg/l, avec 80 % des teneurs sont entre 100 et 200 mg/l, les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans la région de Timi. Les piézomètres donnent des valeurs entre 61 mg/l et 158,6 mg/l.

### IV.2.15 La teneur en l'ortho phosphate ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

Les phosphates dans les eaux de la région sont entre quelques traces et 0,35 mg/l, ces résultats mettent en évidence que les valeurs les plus élevées rencontrées dans les puits et forages d'irrigations cela signifie que ces contaminations sont d'origine agricole.

### IV.2.16 La teneur en l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

Les teneurs de l'ammonium des eaux de la région sont de l'ordre de quelques traces à 0,35 mg/l et sont au-dessous de la norme (0,5 mg/l) dans la totalité des eaux. Cela s'explique par l'instabilité de cette élément avec la présence d'une saturation en oxygène.

### IV.2.17 La teneur en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites sont la forme la plus instable dans les composés azotés, ils varient de quelques traces à 0,45 mg/l. Ce paramètre disparu juste après son contact avec l'oxygène et il se transforme en nitrates.

### IV.2.18 La teneuren nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

Selon les données de 2010, 2018 et 2019, on constate que la teneur des nitrates dans les eaux de la région sont parfois très élevées, ils dépassent les 50 mg/l dans 40 % des eaux analysées, et peut atteindre des valeurs de 214 mg/l dans certains points. Les valeurs

enregistrées au niveau des piézomètres sont relativement variables entre 0,17 mg/l et 83,65 mg/l, (Figure IV.2).

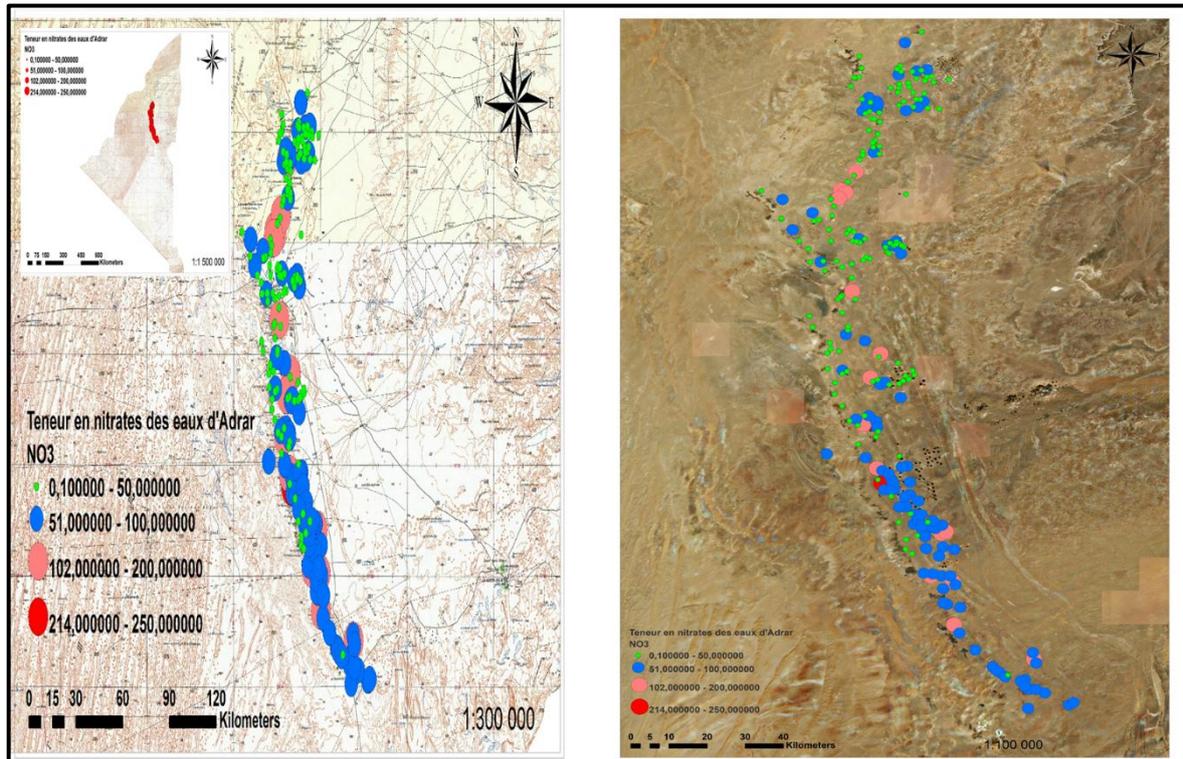


Figure IV.2 Répartition des teneurs en nitrates des eaux d'Adrar

#### IV.2.18.1 Variation des nitrates en fonction de l'usage des eaux

Dans cette partie on traite l'évolution des concentrations en nitrates en fonction de l'usage des points d'eaux analyses que ce soit pour l'AEP ou l'irrigation, on constate que les points d'eaux contenant des teneurs qui dépasse 50 mg/l de nitrates sont des points d'eaux utilisés pour l'irrigation et seulement 18% des points destinés à la consommation humaine possèdent des valeurs supérieures de 50mg/l (figure IV.3).

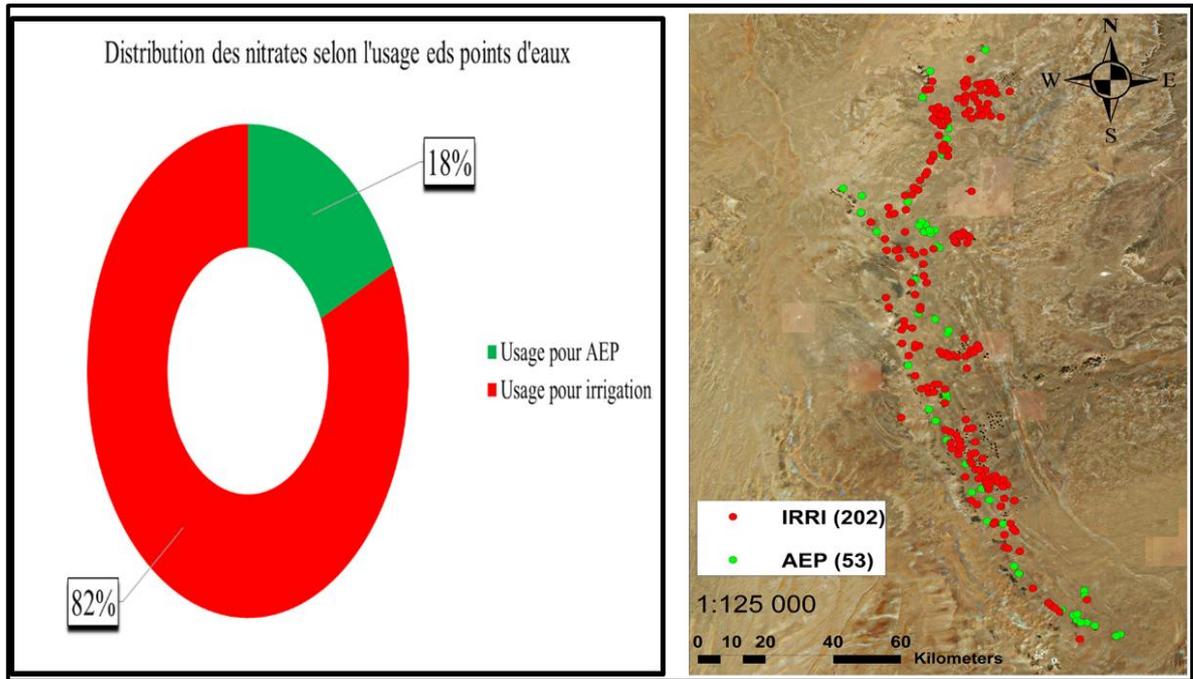


Figure IV.3 Variation des nitrates en fonction de l'usage des points d'eaux

#### IV.2.18.2 Variation spatiale des teneurs en nitrates

Dans cette partie nous essayons de donner le sens d'évolution des nitrates dans la région d'Adrar. On ne dispose pas de carte piézométrique pour voir le sens d'évolution mais on peut observer de la figure (figure IV.4) que le sens d'évolution correspond bien au sens d'écoulement de la nappe (Nord-Est, Sud-Ouest), et également du Nord au Sud, ce qui nous permet de dire que les zones concentrées sont les zones agricoles et aussi les dépressions et les sebkhas (zones d'exutoires).

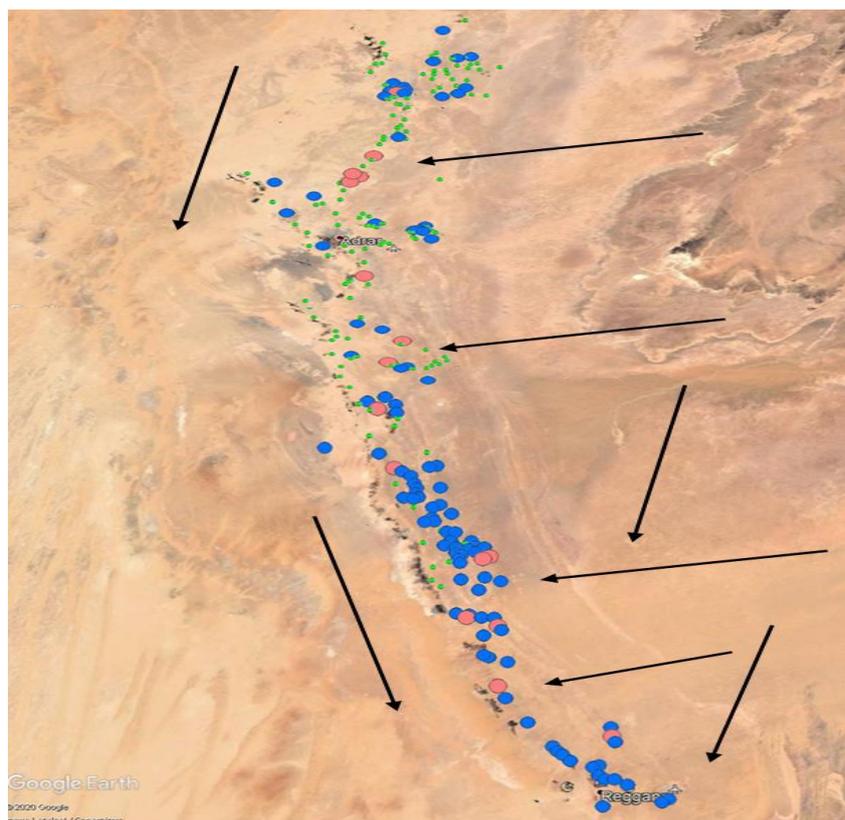
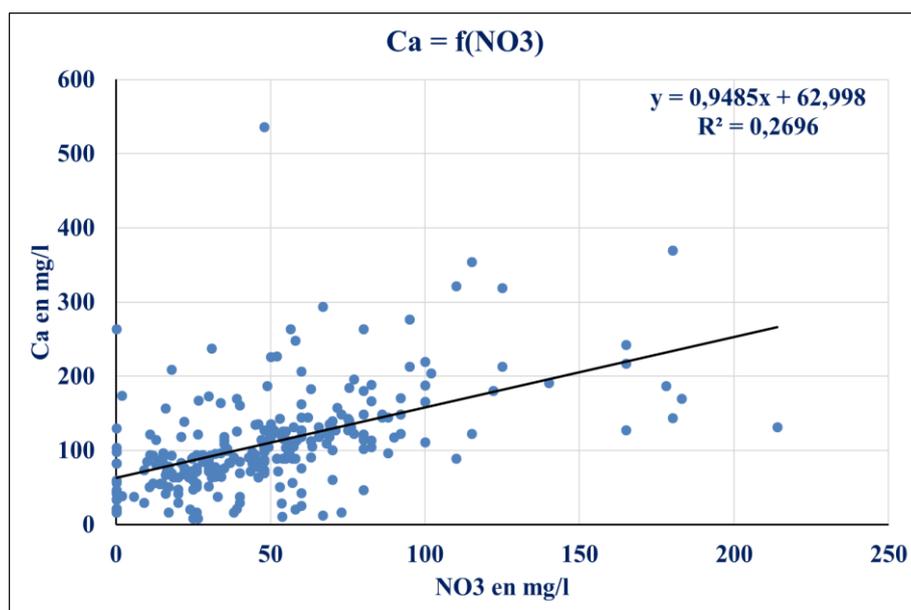


Figure IV.4 Variation spatiale des nitrates dans la région d'Adrar

## IV.2.19 Relation chimiques des éléments avec les nitrates

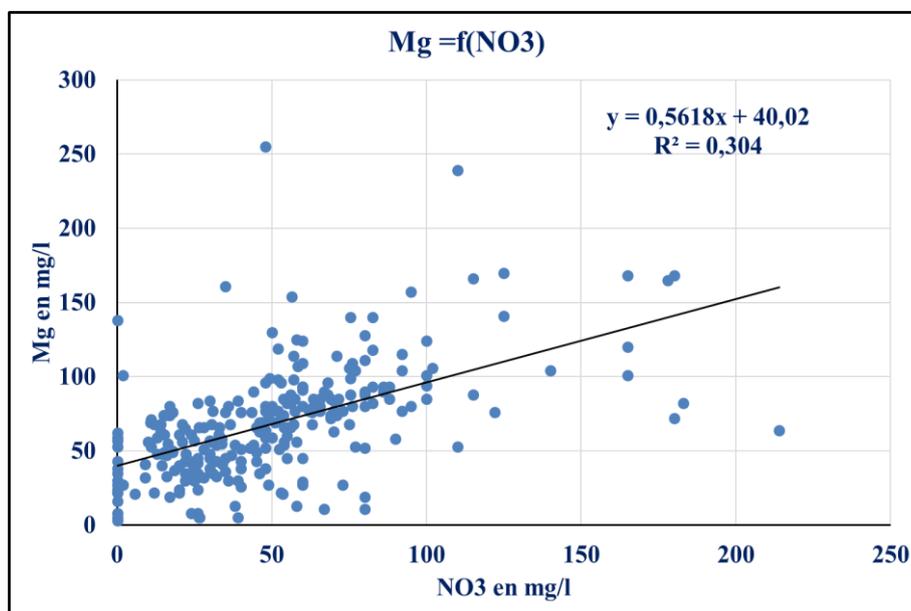
### IV.2.19.1 Relation des nitrates avec le Calcium Ca-NO<sub>3</sub>

La relation qui se présente par la (figure IV.5), montre la faible corrélation entre le calcium et les nitrates (NaCl) avec un coefficient de la régressionlinéaire de 0.27, ce qui indique une origine différente entre les deux éléments.

Figure IV.5 Corrélation Ca-NO<sub>3</sub>

#### IV.2.19.2 Relation des nitrates avec le Magnésium Mg-NO<sub>3</sub>

La relation entre le magnésium et les nitrates est donnée par la figure suivante (figure IV.6). On remarque qu'une faible corrélation avec ces deux éléments comme la précédente, ce qui traduit que ces deux éléments n'ont pas la même origine.

Figure IV.6 Corrélation Mg-NO<sub>3</sub>

### IV.2.19.3 Relation des nitrates avec le Sodium Na-NO<sub>3</sub>

La courbe représentant la corrélation entre le sodium et les nitrates montre qu'il existe une faible corrélation entre ces deux éléments ce qui traduit l'origine différente de ces éléments et n'ont pas la même source.

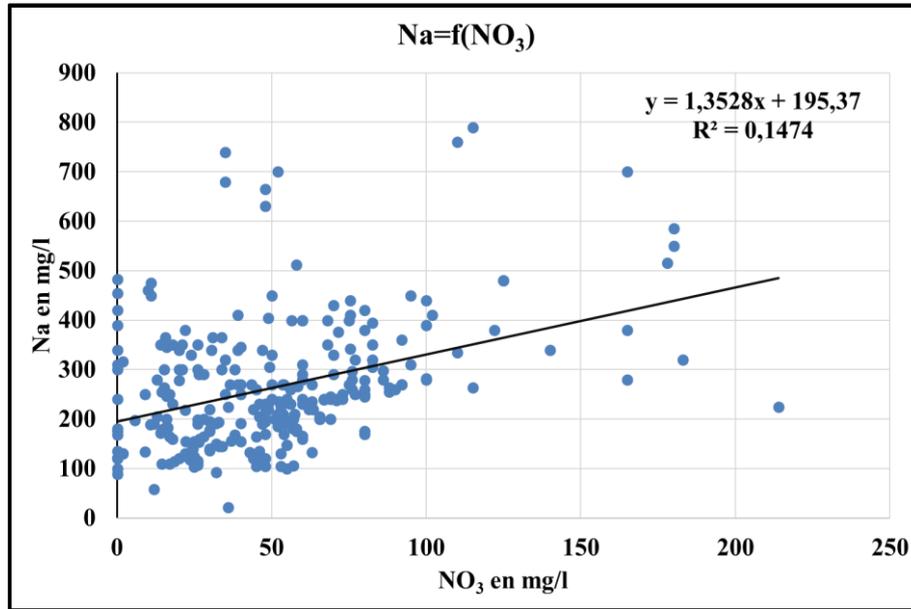


Figure IV.7 Corrélation Na-NO<sub>3</sub>

### IV.2.19.4 Relation des nitrates avec le Potassium K-NO<sub>3</sub>

Cette représentation a permis d'apprécier la corrélation entre le potassium et les nitrates, on observe de cette figure (figure IV.8) que n'existe pas de corrélation entre ces deux éléments avec un facteur de 0.01, ce qui traduit les différentes sources de cette contamination.

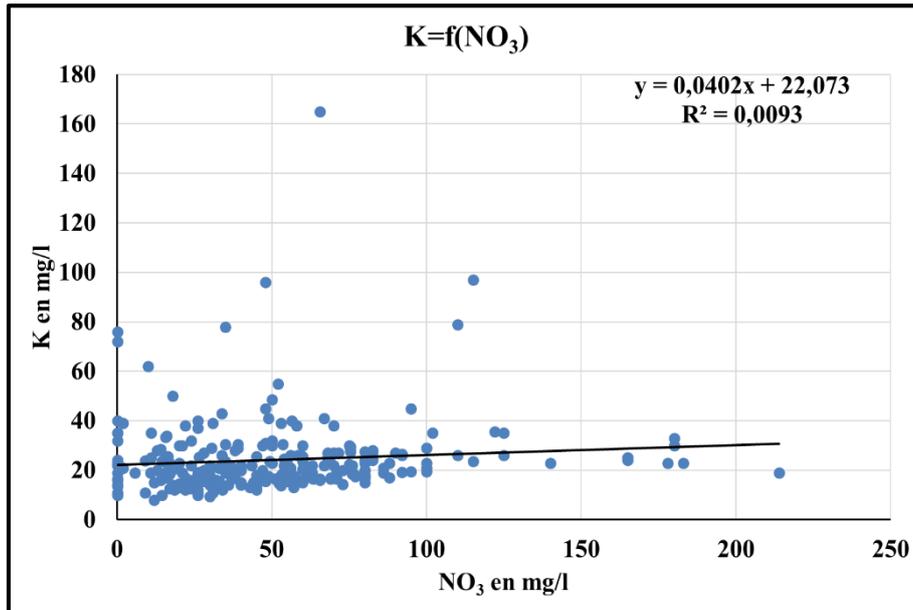


Figure IV.8 Corrélation K-NO<sub>3</sub>

#### IV.2.19.5 Evolution des nitrates dans le temps

Pour l'étude de l'évolution des teneurs en nitrates dans le temps dans la région d'Adrar (figure IV.9) une deuxième campagne piézométrique et d'échantillonnage a été réalisée en 2020. On constate donc une faible variation des teneurs dans le temps de ces points, surtout ils se trouvent dans les zones vierges. Pour mieux démontrer ces informations il faut une campagne totale des points dans les zones proches aux périmètres agricoles.

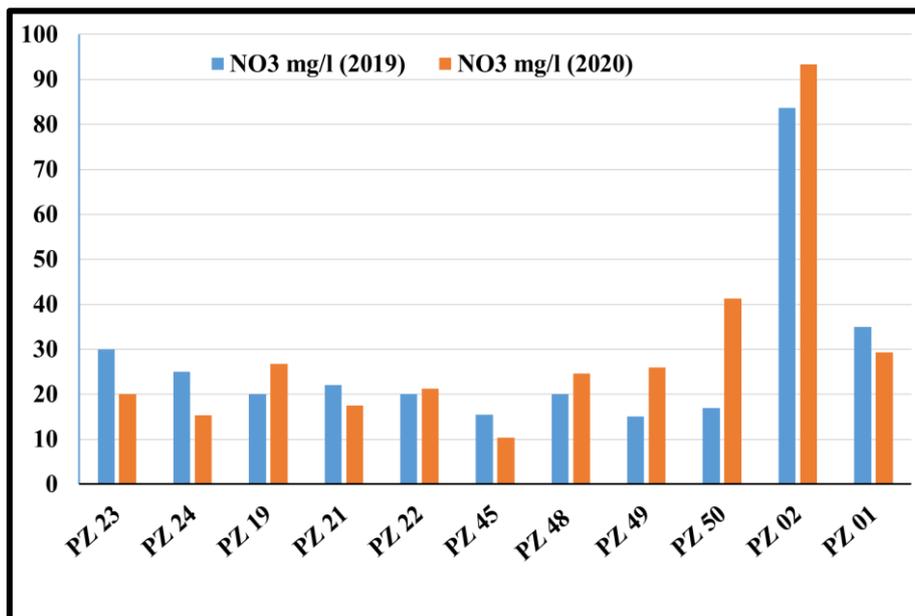


Figure IV.9 Evolution des nitrates avec le temps dans les piézomètres

### IV.2.19.6 Matrice de corrélation

L'utilisation de l'analyse en composante principale ACP, permet de voir les corrélations qui existent entre les différents éléments analysés. A partir de cette matrice (Tableau IV.1) on remarque que les nitrates ont une bonne corrélation entre le calcium et le magnésium avec des facteurs de l'ordre de (0,524 et 0,553) respectivement. Cela est probablement dû à la formation du nitrate alcalins en combinaison avec les métaux alcalins empruntés du chlorure et cela apparait généralement dans les zones riches en chlorures.

Tableau 4 Matrice de corrélation des éléments analysés

Variables	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
Ca	<b>1</b>							
Mg	0,765	<b>1</b>						
Na	0,640	0,627	<b>1</b>					
K	0,438	0,403	0,591	<b>1</b>				
Cl	0,674	0,633	0,963	0,574	<b>1</b>			
SO <sub>4</sub>	0,868	0,849	0,738	0,524	0,687	<b>1</b>		
NO <sub>3</sub>	0,524	0,553	0,381	0,096	0,377	0,445	<b>1</b>	
HCO <sub>3</sub>	0,346	0,384	0,123	0,079	0,115	0,261	0,200	<b>1</b>

### IV.2.19.7 Sources des nitrates

Il est très difficile d'arriver à des conclusions bien précises sur les sources de contamination des eaux par les nitrates à cause de l'indisponibilité des informations sur l'évolution des teneurs en nitrates. Selon les informations disponibles et les interprétations précédentes on peut penser à l'hypothèse anthropique, car, les concentrations en nitrates sont plus grandes dans le réservoir superficiel que dans le réservoir profond du Continental intercalaire, ce qui confirme la démonstration de l'ingénieur Guillaume in[32]. Egalement, les petits gisements de nitrates seraient d'origine organique par transformation des déchets de vie animale, ou à travers des eaux météoriques et des interactions entre le sol et la végétation (synthèse directe de l'acide nitrique par oxydation de l'azote de l'air), aboutissant aux nitrates de potassium et de sodium par l'intermédiaire du nitrate d'ammonium (ou de calcium) qui emprunte aux chlorures leurs métaux alcalins.

Elles peuvent être aussi d'origine anthropique, l'épandage agricole d'engrais et son lessivage, l'élevage et les rejets d'eaux usées domestiques. Une autre possibilité de la présence des nitrates peut être expliquée très simplement : il s'agit d'un dépôt superficiel, forme par évaporation des eaux issues de la nappe et surtout dans l'exutoire de la nappe et les zones

vierges a la limité ouest du continental intercalairecomme le cas de Bouda et Reggane. Il est à signaler que la ligne de sebkha s'étend de Gourara à Reggane.

#### IV.2.20 Faciès chimiques

Le report des eaux sur le diagramme de Piper nous permet de caractériser les différentes familles des faciès chimiques. On peut déduire de ces résultats que le faciès le plus dominant est chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec une tendance a chloruré sodique et potassique (figure IV.10).

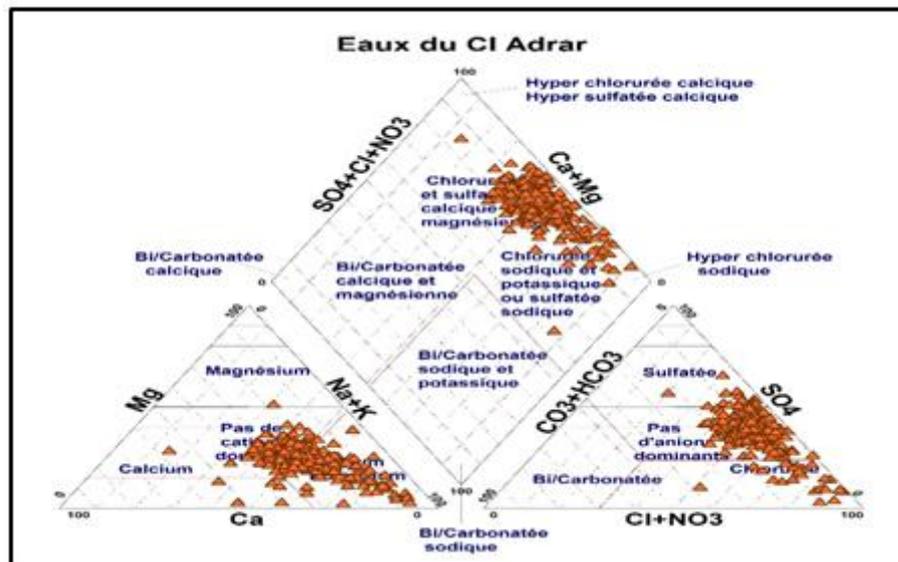


Figure IV.10 Diagramme de Piper des eaux de la région d'Adrar

##### IV.2.20.1 Qualité des eaux pour l'irrigation

Pour mettre en évidence tout danger que peut présenter certains éléments chimiques de l'eau d'irrigation sur les sols agricoles et les plantes. La classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classer les eaux en fonction de leurs conductivités électriques à 25 °C et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, défini par la formule ci-dessous.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Le report des eaux étudiées sur ces diagrammes montre que :

La classe C3S1 : est dominante dans les zones d'Adrar, Oued ghozala, et Aougrouit se sont les eaux dont la conductivité est inférieure à 2250 µs/cm. Les eaux étudiées sont de la 3ème classe. Ces eaux présentent un risque de salinité appréciable et faible risque d'alcalinité

;donc ce sont des eaux à utiliser pour l'irrigation en prévoyant des doses de lessivage et nécessite un drainage pour empêcher le dépôt des sels et en conséquence la salinité des sols (formation de sebkhas).

La classe C3S2 : cette classe présente les eaux dont la conductivité inférieure à 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  toujours, ces eaux sont de la 4ème classe, ce sont des eaux qui présentent un fort danger de salinité et un risque moyen d'alcalinité. L'utilisation de cette classe d'eau pour l'irrigation nécessite des plantes tolérantes et des doses de lessivage sur des sols légers et bien drainés.

La classe C4S2 : cette classe est dominante aussi, ces eaux sont de la 5ème classe, ce sont des eaux qui présentent un fort danger de salinité et une alcalinité moyenne, c'est une classe de mauvaise qualité d'eau à utiliser avec beaucoup de précautions et bien drainés et prévoir des plantes tolérantes à la salinité, le lessivage est très important.

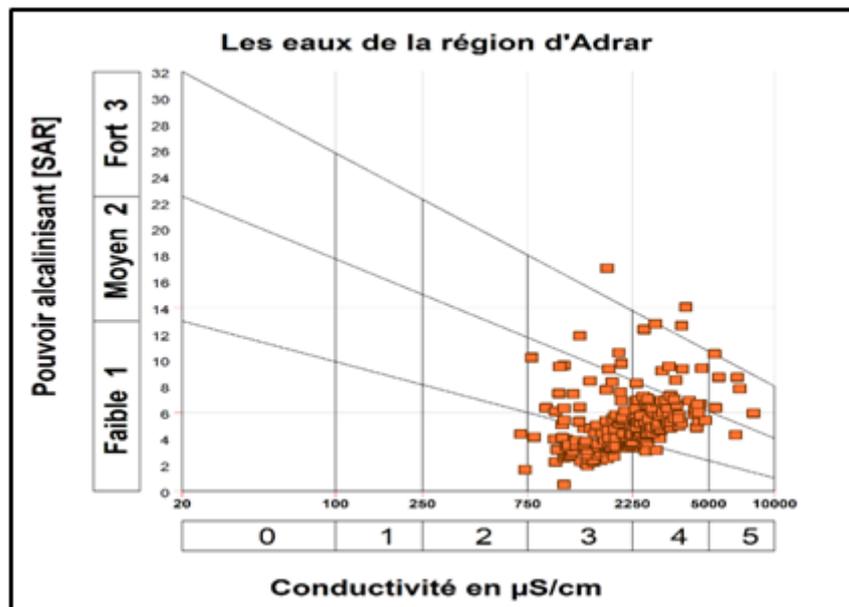


Figure IV.11 Diagramme de Richards des eaux de la région d'Adrar

### IV.3 Conclusion

On a pu constater une augmentation progressive de la teneur en nitrates et nitrites de certaines eaux de consommations, le seuil considéré comme teneur acceptable pour la consommation humaine ne doit pas dépasser 50 mg de nitrate/l.

Cependant nous avons abusé dans l'emploi d'engrais chimiques, cette usage intensif appauvrit le sol en constituants organiques et à la longue entraîne une assimilation moins complète par les plantes de ces mêmes fertilisants dont l'azote est la principale source.

### Conclusion générale

Malgré les études réalisées sur la contamination des eaux souterraines par les composés azotés, notamment dans la région d'Adrar, l'origine de ce problème reste encore mal identifiée. Notre objectif au cours de ce travail a donc été de clarifier l'origine de ce problème et ces conséquences sur la dégradation de la qualité des eaux de la nappe du continental intercalaire et ces effets sur santé humaine.

Les résultats obtenus mettent en évidence que la région d'Adrar est située dans la partie Sud de l'Algérie, elle représente la limite Sud-ouest du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

La géologie de la région nous a permis de voir l'ensemble des formations géologiques, et affirme que la nappe est peu épaisse dans la région d'Adrar, elle est de l'ordre de 250 m, ils montrent aussi le plongement de la nappe sous le recouvrement du crétacé supérieur du plateau de Tademaït et qu'elle devient ainsi captive et plus profonde.

Hydrogéologique nous a permis de comprendre que le SASS représente la superposition des deux nappes, à savoir le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI) et le CI est composé des formations meubles (grès, argiles et sables avec des intercalations évaporitiques au Sud).

Ces résultats montrent aussi que les eaux souterraines constituent les principales ressources en eau potable. On constate que la qualité des eaux dans cette région présente des signes de dégradation par les composés azotés notamment les nitrates.

On constate aussi à la lumière de ces résultats que, les eaux de la nappe possèdent un pH neutre, et une conductivité électrique relativement élevée et peut atteindre des valeurs de 8030  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , et un TDS de l'ordre de 5200 mg/l dans certaines régions.

On constate aussi que la teneur des nitrates dans les eaux de la région sont très élevées, ils dépassent les 50 mg/l dans 40 % des eaux analysées, et peut atteindre des valeurs de 214 mg/l dans certains points.

On remarque également que les points d'eaux contenant des teneurs qui dépasse 50 mg/l de nitrates sont des points d'eaux utilisés pour l'irrigation ce qui confirme l'hypothèse des intrants agricoles, et aussi que le sens d'évolution correspond bien au sens d'écoulement de la nappe (Nord-Est, Sud-Ouest), et également du Nord au Sud, ce qui nous permet de dire que

## Conclusion Générale

---

les zones concentrées sont les zones agricoles et aussi les dépressions et les sebkhas (zones d'exutoires).

L'étude des corrélations des éléments chimiques avec les nitrates montrent la faible corrélation avec ces éléments ce qui nous permet de dire que l'origine des nitrates est toujours anthropiques.

En fin, il est très difficile d'arriver à des conclusions bien précises sur les sources de contamination des eaux par les nitrates à cause de l'indisponibilité des informations sur l'évolution des teneurs en nitrates. Donc une étude détaillée avec un suivi périodique durant une longue période apparait très nécessaire pour aboutir à des résultats fiables.

### Références Bibliographiques

- [1] O.B. Yapo, V. Mambo, E.-C.M. Djedjess, M.J. Ohou, A. Seka, A.S. Tidou, P.V. Houenou, Searching for parameters optimising the biological denitrification of nitrate- and ammonium-rich well waters by private slow sand filtration reactors, *Eur. J. Sci. Res.* 26 (2009) 565–576.
- [2] B. Habiba, la dénitrification par l'utilisation d'une culture mixte, These de doctorat, Université Mentouri Constantine, 2017.
- [3] B. Hammou Ali, Y. Belkhamsa, B. Nasri, Evaluation de la pollution azotée des eaux de consommation dans la région d'Adrar, Memoire de Master, Université Ahmed Draïa-ADRAR, 2014.
- [4] M. Benhamza, Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines «foggara» dans la région d'Adrar, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar de Annaba, 2013.
- [5] O. Banaceur, Etude hydrogéologique et hydrochimique de foggara dans la région Touat (Adrar), Memoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.
- [6] D.E. Moussaoui, Contribution à l'étude morphométrique de *Leucaena leucocephala* (Lam.) dans la région d'Adrar, Memoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2016.
- [7] A.E. Zaghtou, Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans la région d'Adrar (Touat), Mémoire de Magister, universite Houari Boumediene Alger, 2011.
- [8] A. Hidaoui, Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat, Memoire de Master, 2015.
- [9] B. Nasri, Étude Expérimentale et Optimisation d'un Système de Dessalement Solaire En Milieu Saharien, These de doctorat, Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [10] N. Ouali, Etude géothermique du sud de l'Algérie, Memoire de Magister, Université M'hmed Bougara De Boumerdes, 2006.
- [11] H. Younes, hydrogeologique et hydrochimique de la region de Touat, Memoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [12] A. Bensaid, Étude ethnobotanique et antifongique de *Cistanche tinctoria* Et *Cistanche violacea* dans la wilaya d'Adrar, Memoire de Master, Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.

## Références Bibliographiques

---

- [13] S. Dahali, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de Touat (wilaya d'Adrar), Memoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla, 2013.
- [14] K. Ben Ali, L'efficacité de traitement des eaux naturelles issues de la nappe continentale intercalaire au niveau d'In Salah, Memoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla, 2013.
- [15] Observatoire du Sahel et Sahara, Bassin Occidental ; Hydrogéologie et Modèle conceptuel, Observatoire du Sahel et Sahara, Tunisie, 2005.
- [16] Observatoire du Sahel et Sahara, Système Aquifère Du Sahara Septentrional (Algérie, Tunisie, Lybie): Gestion Commune d'un Bassin Transfrontalier, Observatoire du Sahel et Sahara, Tunisie, 2008.
- [17] Y. Boutadara, Etude hydrogéologique des systèmes de captage traditionnels dans les Oasis Sahariennes Cas des Foggaras de la région du Touat (Adrar), These de Magister, Université des Sciences et de la Technologies d'Oran, 2009.
- [18] I. Brika, D. Belbali, S. Kalloum, B. Nasri, Etude de caractérisation d'une argile et son pouvoir d'adsorption des nitrates, PhD Thesis, Université Ahmed Draia-ADRAR, 2017.
- [19] M. Khellou, flux l'azote et du phosphore minéraux a l'embouchure d'oued seybose, Memoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba., 2012.
- [20] L. Levesque, Elimination des nitrates des eaux potables, Association française pour l'étude des eaux, 1976.
- [21] N. Guenfoud, Qualité des eaux de consommation dans la région de Constantine Teneur en nitrates et nitrites, Memoire d'Ingenieur, Université Mentouri Constantine, 2009.
- [22] É. Fillion, La problématique des nitrates dans l'eau souterraine en milieu agricole: du sol à l'aquifère: cas de l'aire d'alimentation de l'eau souterraine de la municipalité de Sainte-Luce, Québec, Canada, These de doctorat, Université du Québec à Rimouski, 2017.
- [23] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, 2011.
- [24] Z. Kouidri, Etude et traitement de l'eau du barrage djorf-torba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables, Memoire de Magister, Universite Tahri Mohamed de Bechar, 2006.

## Références Bibliographiques

---

- [25] T. Mokadem, La cartographie des nitrates de la plaine de mitidja, Memoire de Master, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, 2016.
- [26] B. Ouaddah, Adsorption des nitrates par un matériau phylliteux Traitement des eaux nitratées, Memoire de Magister, université Mahamed Boudiaf Oran, 2014.
- [27] F. P. T. Canada, Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada: document technique-Acide (4-chloro-2-méthylphénoxy) acétique (MCPA)[Santé Canada, 2010], 2010.
- [28] A. Hind, Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole, Memoire de Magister, Universite Mentouri Constantine, 2017.
- [29] M. Joyeux, A. Baert, P.-J. Cabillic, C. Casellas, E. Creppy, A. Montiel, A. Robin, M.-P. Sauvart-Rochat, R. Seux, L. Grimault, Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de qualité de l'arsenic dans les eaux destinées à la consommation humaine, Association pharmaceutique française pour l'hydrologie, 2005.
- [30] J. Rodier, B. Legube, N. Merlet, R. Brunet, L'analyse de l'eau - 9e éd.: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, Dunod, Dunod, France, 2009.
- [31] Minstre des Ressources en Eau MRE, Décret exécutif N°A14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif N°A 11-125 du 17. Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars. 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, 2014.
- [32] G. Conrad, L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien:(Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir), Éditions du Centre national de la recherche scientifique, 1969.

**Annexes**

Tableau A 1 Statistiques descriptives des données

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca	266	9,000	536,000	110,305	66,504
Mg	266	3,000	255,000	68,038	37,088
Na	266	22,000	790,000	262,840	128,270
K	266	8,000	165,000	24,078	15,148
Cl	266	46,000	1200,000	390,451	193,859
SO4	266	10,000	2100,000	413,107	259,793
NO3	266	0,100	214,000	49,875	36,403
HCO3	266	9,000	262,000	129,765	47,710

Tableau A 2 Statistiques descriptives des piézomètres

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca mg/l	11	40,000	168,000	89,818	41,813
Mg mg/l	11	22,500	117,500	56,136	32,314
Na mg/l	11	98,600	490,000	172,391	121,515
K mg/l	11	6,000	45,600	13,609	12,121
Cl mg/l	11	110,000	750,000	246,818	195,656
SO4 mg/l	11	140,000	800,000	387,636	196,804
CO3 mg/l	11	0,000	0,000	0,000	0,000
NO3 mg/l	11	0,170	83,650	26,019	21,084