

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي الأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTÉ DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE
En vue de l'obtention d'un diplôme de Master LMD
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Écologie Générale Et Environnement
Option : Écologie végétale et environnement

THÈME

**Pollution Des Eaux Souterraines Par Les Nitrates Dans La Région
De Bordj Senouci (Nord-est de la wilaya de LAGHOUAT). Impact
Sur L'environnement.**

Présenté et soutenu par :

Mlle : BEN AHMED Fatima Mlle : CHEMMA Meriem

Soutenu publiquement le 23 Juin 2024.

Devant le jury :

Nom Et Prénom	Grade	Qualité
ALLAL Farida	Docteur-Laghouat	Présidente
CHAIBI Rachid	Professeur - Laghouat	Examinateur
BENTAHAR Fatiha	Docteur -Laghouat	Encadrante
HENNICHE Mohammed ADE-Laghouat		Invité

Année Universitaire 2023_2024

ملخص

المياه الجوفية في المناطق الريفية غالبًا ما تكون معرضة للتلوث من مصادر زراعية، نتيجة لانتشار الأسمدة والمبيدات تسلسل هذه الدراسة المتعمقة حول تلوث المياه الجوفية في برج سنوسي الضوء على التحديات الكبرى التي تواجهها المنطقة. بسبب الجفاف المطول وتكثيف النشاط الزراعي، اضطر المزارعون إلى حفر آبار عميقة للري، مما تسبب في انخفاض كبير في منسوب طبقة الباريميان المائية. وقد تفاقم هذا الوضع بفعل الاستخدام المتزايد للأسمدة الكيماوية والعضوية لتحسين المحاصيل. كشفت تحاليل عينات المياه من 9 آبار خلال فترة أربعة أشهر من مارس إلى يونيو 2024 عن مستويات مقلقة من التلوث بالنترات، مع تفاوتات ملحوظة في مستويات النترات تُعزى إلى إدارة الأسمدة والممارسات الزراعية. ساهم نظام الري بالرش المستخدم في المنطقة أيضًا في تفاقم الوضع، مما زاد من تعرض المياه الجوفية للتلوث بالنترات. تؤكد هذه النتائج على الحاجة الملحة لاتخاذ إجراءات تصحيحية لمنع التأثيرات الضارة على صحة الإنسان والبيئة، وخاصة من خلال اعتماد ممارسات زراعية أكثر استدامة وتحسين طرق الري.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية، طبقة الباريميان، التلوث، برج سنوسي، النترات،

Résumé,

Les eaux souterraines en milieu rural sont souvent exposées à des pollutions d'origine agricole résultant notamment de l'épandage de fertilisants et de pesticides. Cette étude approfondie sur la pollution des eaux souterraines à Borj Senouci met en lumière les défis majeurs auxquels la région est confrontée. En raison de la sécheresse prolongée et de l'intensification de l'agriculture, les agriculteurs ont été contraints de creuser des puits profonds pour l'irrigation, provoquant un abaissement significatif de la nappe de Barrémien. Cette situation a été aggravée par l'utilisation croissante d'engrais chimiques et organiques pour améliorer les cultures. L'analyse des échantillons d'eau de 9 forages sur une période de quatre mois de mars à juin 2024 a révélé des niveaux alarmants de pollution nitrique, avec des variations notables des niveaux de nitrates attribuées à la gestion des fertilisants et aux pratiques agricoles. Le système d'irrigation par aspersion utilisé dans la région a également contribué à aggraver la situation, augmentant la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution nitrique. Ces résultats soulignent l'urgence d'actions correctives pour prévenir les impacts néfastes sur la santé humaine et l'environnement, notamment en adoptant des pratiques agricoles plus durables et en améliorant les méthodes d'irrigation.

Mots clés : Les eaux souterraines, Borj Senouci, la nappe de Barrémien, Pollution agricole, Nitrates.

Abstract,

Groundwater in rural areas is often exposed to agricultural pollution, mainly resulting from the spreading of fertilizers and pesticides. This in-depth study on groundwater pollution in Bordj Senouci highlights the major challenges faced by the region. Due to prolonged drought and intensified agriculture, farmers have been forced to drill deep wells for irrigation, causing a significant lowering of the Barremian aquifer. This situation has been exacerbated by the increasing use of chemical and organic fertilizers to improve crops. The analysis of water samples from 9 wells over a four-month period, from March to June 2024, revealed alarming levels of nitrate pollution, with notable variations in nitrate levels attributed to fertilizer management and agricultural practices. The sprinkler irrigation system used in the region has also contributed to worsening the situation, increasing the vulnerability of groundwater to nitrate pollution. These results highlight the urgent need for corrective actions to prevent harmful impacts on human health and the environment, notably by adopting more sustainable agricultural practices and improving irrigation methods.

Keywords : Groundwater, agricultural pollution, Barrémien aquifer, nitrate levels.

Remerciements

Nous exprimons notre gratitude envers Allah Tout-Puissant pour nous avoir octroyé la patience et le courage indispensables pour mener à bien ce travail.

Nous aimerions exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrante, Mme BENTAHAR Fatiha, d'avoir accepté de superviser et de suivre ce travail. Travailler avec elle a été un réel plaisir, Nous avons particulièrement appréciés sa chaleur humaine et sa disponibilité quotidienne. Merci, Madame, pour votre disponibilité et votre gentillesse.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers les membres du jury pour leur présence lors de cette soutenance et pour l'attention qu'ils ont portée à notre mémoire. Leurs commentaires et suggestions seront d'une grande valeur pour améliorer notre travail :

Nos remerciements chaleureux à Mme ALLAL Farida d'avoir accepté de présider ce jury et d'avoir examiné notre mémoire avec minutie.

Nos sincères remerciements vont à M. CHAIBI Rachid d'avoir accepté d'examiner et de corriger ce mémoire, et pour sa précieuse contribution à son amélioration.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les membres du laboratoire d'analyse de l'Algérienne des Eaux de Laghouat. Nos remerciements vont tout particulièrement à Monsieur MECHRAOUI Abdellah et Monsieur HENICHE Ahmed pour leur aide précieuse et leurs encouragements constants.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude du fond du cœur à tous les enseignants de l'Université de Tizi-Ouzou. Leur accompagnement tout au long du stage de terrain, qui s'est déroulé pendant une semaine dans la wilaya de Laghouat, nous a permis de mieux comprendre et d'approfondir nos connaissances en géologie de la région. Cette expérience humaine a été extrêmement précieuse pour nous. Merci infiniment pour cette opportunité.

Nous sommes reconnaissants envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et nous leur exprimons notre profonde reconnaissance.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants du département de biologie,

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

**Mes chers parents pour leur amour inestimable, leur
Confiance, leur Soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su
M'inculquer.**

Ma mère et mon père

Mes belles sœurs Khadra, Elhadja, Razzika, et Abir

Mon frère Amine.

A Mes petits anges Yassmine, Kader, Wissem, Achraf, et Meriem.

A Ma source d'inspiration dans la vie, Mlle Ziouani Fatima,

A mon encadrant Mme Fatiha BENTAHAR

A mes chères cousines L'allia et Soumia et Aisha

Et

Toutes mes amies : Ferial, Imane, Maria, Meriem, Nour, Rokaya,

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

FATIMA

Dédicaces

À la mémoire de mon cher père, dont les conseils et l'amour continuent de guider mes pas chaque jour. Ton souvenir reste à jamais gravé dans mon cœur.

À ma chère mère, dont le soutien indéfectible et l'amour inconditionnel m'ont donné la force de persévérer et de réussir. Tu es ma source d'inspiration.

À mes chers frères Taibe et Ayoub et à mes belles-sœurs Hanane et Bouchera, qui ont toujours été à mes côtés, partageant mes joies et mes peines. Votre soutien a été inestimable.

À mes chers amis, dont l'amitié et la camaraderie ont rendu ce parcours enrichissant et inoubliable. Merci pour votre présence et votre encouragement constant.

À ma chère encadrante, madame BENTAHER, dont la patience, les conseils avisés et le soutien constant ont été essentiels à l'accomplissement de ce travail. Votre dévouement a été une source de motivation inépuisable.

Je vous dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon affection. Sans vous, cette réussite n'aurait pas été possible.

MERIEM

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Synthèses bibliographiques	4
I.1. Généralités sur l'eau	4
I.1.1. Définition de l'eau	4
I.1.2. Cycle de l'eau	4
I.1.3. Les sources de l'eau	5
I.1.3.1. Les eaux de surface	6
I.1.3.2. Les eaux souterraines	6
I.1.4. Les différents types de nappes	6
I.1.5. Les Ressources En Eau	8
I.1.5.1 Ressources en eau en Algérie.....	9
I.1.5.2. Ressources en eau dans le Sahara	11
I.2. Pollution Des Eaux Souterraines Par Les Nitrates.....	12
I.2.1. Définition des eaux souterraines	13
I.2.1.1 Les eaux souterraines et le cycle de l'eau	13
I.2.1.2. Constitution et fonctionnement des nappes souterraines	14
I.2.1.3. Importance des eaux souterraines	14
I.2.1.4. Vulnérabilité des eaux souterraines	14
I.2.1.4.1. Vulnérabilité Quantitative.....	14
I.2.1.4.2. Vulnérabilité Qualitative.....	15
I.3. Définition des nitrates	16
I.3.1. Caractéristiques de l'ion nitrate	16
I.3.2. Sources des nitrates.....	17
I.3.2.1. Dans l'organisme	17
I.3.2.1.1. Sources endogènes	17
I.3.2.1.2. Sources exogènes	18
I.3.2.2. Dans l'environnement.....	18
I.3.2.2.1. Les sources naturelles	18
I.3.2.2.2. Les sources anthropiques	18
I.3.3. Le cycle de l'azote	19
I.3.3.1. La minéralisation (ou ammonification)	20
I.3.3.2. L'organisation (ou immobilisation)	20

Sommaire

I.3.3.3. La nitrification	20
I.3.3.4. La dénitrification.....	21
I.3.4. Lessivage des nitrates	21
I.3.5. Taux de pollution des eaux souterraines en Algérie par les nitrates.....	22
I.3.6. Concentrations dans l'eau potable	25
I.3.6.1. Normes de potabilité de l'eau	26
I.3.7. Les conséquences de l'ingestion des nitrates sur la santé humaine	27
Chapitre II : Matériels et méthodes	30
II.1. Présentation de la zone d'étude	30
II.2. Présentation de la zone de Bordj Senouci	31
II.3. Aperçu Géologique et Hydrogéologique	31
II.3.1. Aperçu Géologique.....	31
II.3.2. Aperçu Hydrogéologique	38
II.4. Prélèvement de l'eau et conservation	41
II.4.1. Stratégie de prélèvement.....	41
II.4.2. Echantillonnage	41
II.5. Paramètres physico-chimiques	42
II.5.1. Analyse physique.....	42
II.5.1.1. La Température.....	42
II.5.1.2. Mesure du pH	43
II.5.1.3. Mesure de la conductivité électrique	43
II.5.1.4. Le taux des sels dissous	44
II.5.2. Dosage Des Nitrates	45
II.5.2.1. Principe de dosage des nitrates par spectrophotométrie en UV	47
II.5.2.2. Courbe d'étalonnage.....	47
II.5.2.3. Détermination de la teneur en nitrates dans un échantillon d'eau	49
II.5.2.4. Dosage de l'échantillon	49
Chapitre III : Résultats et discussions	52
III.1. Résultats et discussion des analyses physico-chimiques.....	52
III.1.1. Analyse physique	52
III.1.1.1. Température	52
III.1.1.2. Le potentiel d'hydrogène	53
III.1.1.3. La conductivité électrique	54

Sommaire

III.1.1.4. La Turbidité.....	57
III.1.1.5. Le TDS (Total Dissolved Solids).....	58
III.3.2. Analyse chimique.....	59
III.3.2.1. Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées.....	59
Conclusion générale.....	64
Références bibliographiques.....	67

Liste des figures

Liste des figures

N°	Titre	Pages
Figure I.1	Cycle de l'eau.	5
Figure I.2	les trois réservoirs (atmosphère, eaux de surface et eaux souterraines) de l'eau	6
Figure I.3	la profondeur de la nappe	7
Figure I.4	Schéma d'une nappe libre et nappe captive	8
Figure I.5	Utilisation de l'eau en Algérie	11
Figure I.6	Ressources en eau en Algérie et en Sahara Algérienne	12
Figure I.7	Cycle de l'azote	20
Figure II.1	Situation géographique de la wilaya de Laghouat.	30
Figure II.2	Localisation de la région de Bordj Senouci	31
Figure II.3	Bloc diagramme de la région de LAGHOUAT	32
Figure II.4	Courpe schématique de Djebel Laouidja.	32
Figure II.5	Coupe schématique de Djebel Seklafa.	33
Figure II.6	Coupe schématique de Djebel Milok.	35
Figure II.7	Situation générale des aquifères du Sahara septentrional	39
Figure II.8	Courbe d'étalonnage de la mesure des teneurs en nitrates	49
Figure III.1	Variation de la Température enregistrés dans les forages sur les quatre mois.	53
Figure III.2	Variation des teneurs du PH enregistrés dans les forages sur les quatre mois.	54
Figure III.3	Variation des teneurs de la conductivité enregistrés dans les forages sur les quatre mois.	56
Figure III.4	Variation des teneurs de la turbidité enregistrés dans les forages sur les quatre mois.	58
Figure III.5	Variation des teneurs de TDS enregistrés dans les forages sur les quatre mois.	59
Figure III.6	Variation des teneurs du nitrate enregistrés dans les forages sur les quatre mois.	60

Liste des photos

Liste des photos

N°	Titre	Pages
Photo II.1	La formation de Laouidja.	33
Photo II.2	Calcaires à polypiers.	34
Photo II.3	Grès de Seklafa.	34
Photo II.4	Des grès et des argiles rouges.	34
Photo II.5	Des calcaires limachelliques.	35
Photo II.6	Formations marno-gypseuses.	35
Photo II.7	Djebel Milok.	36
Photo II.8	Forage a Bordj Senouci	36
Photo II.9	Grès a ciment argileux.	37
Photo II.10	Argiles versicolores.	37
Photo II.11	Grès a dragées de quartz.	37
Photo II.12	Calcaires à silex.	38
Photo II.13	Calcaires dolomitiques.	38
Photo II.14	La stratégie de l'échantillonnage.	42
Photo II.15	Détermination de la Température et du pH.	43
Photo II.16	Détermination de la CE et le TDS.	44
Photo II.17	Mesure de la turbidité.	45
Photo II.18	Préparation de solution d'hydroxyde de sodium.	46
Photo II.19	Préparation de solution se salicylate de sodium.	47
Photo II.20	Préparation de solution de nitrure de sodium.	47
Photo II.21	Les étapes de l'étalonnage.	48
Photo II.22	Dosage des nitrates.	50

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
Tableau I.1	Bassins versants en Algérie.	10
Tableau I.2	Normes de potabilité concernant les nitrates dans l'eau potable	27
Tableau I.3	Métabolisme des nitrates dans le corps humain	28
Tableau II.1	Log géologique et hydrogéologique de la région de Laghouat (CHABOUR., 2006).	40
Tableau II.2	Tableau d'étalonnage	48
Tableau III.1	Résultats de la mesure de la température °C des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois,2024.	52
Tableau III.2	Résultats de la mesure du pH des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois,2024.	54
Tableau III.3	Résultats de la mesure de la conductivité électrique des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois,2024.	55
Tableau III.4	Résultats de la mesure de la turbidité des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois,2024.	57
Tableau III.5	Résultats de la mesure de TDS des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois,2024.	59
Tableau III.6	Résultats de la mesure des teneurs des nitrates des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois,2024	60

Liste des Abréviations

Liste des abréviations

Liste des abréviations	
ADE : Algérie des eaux.	nm : nanomètre.
C° : Degré Celsius.	UV : Ultra-violet.
CE : Conductivité électrique	Km² : kilomètre carré.
NTU : Unité Néphélogométrique de turbidité.	S : Sud
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.	N : Nord
pH : potentiel Hydrogène.	E : Est
TDS : Taux des Sels Dissous.	µS/cm : microSiemens par centimètre.
m : mètre.	ml : millilitre.
g : Le gramme	T° : la Température.
L : litre.	NO₃⁻ : Ion nitrate
MES : Matières en suspension	NO₂⁻ : Ion nitrite
mg/l : Milligramme par litre	

Introduction

Introduction générale

Introduction générale

Dans les pays à climat aride à semi-aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (TRAVI, 1993).

L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, est fragile et souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines. Le traitement d'une eau souterraine contaminée peut s'avérer long et coûteux, voire impossible dans certains cas. Voilà pourquoi il est impérieux de la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent (MOUFFOK, 2008).

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

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

La contamination des eaux souterraines par les nitrates est un problème environnemental majeur qui a suscité l'intérêt des chercheurs et des décideurs dans plusieurs régions dans le monde. En Algérie, les pratiques de fertilisation intense des sols dans certaines plaines agricoles et les rejets d'effluents industriels et domestiques ont augmenté la teneur en nitrates des eaux des nappes dans plusieurs régions durant ces dernières années. (BAALI ET AL., 2007 ; DROUCHE ET AL., 2011).

Les nitrates possèdent une particularité que les autres substances polluantes n'ont pas, Ils peuvent se trouver dans le sol et les eaux, le transfert des nitrates vers les nappes est conditionné par un excès d'eau d'irrigation ou de pluie (BARDAI ET AL., 2004). Le nitrate, qui est à la fois soluble et mobile, constitue aujourd'hui la cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eau souterraine du globe (ADDISCOTT, 2005).

Introduction générale

La présence des nitrates dans les aquifères cause des problèmes de santé humaine tels que la méthémoglobinémie (Syndrome du bébé bleu) qui est associée à l'ingestion de fortes concentrations des nitrates par les enfants et les bébés provoquant leur cyanose (BLIFFERT ET PERRAUD., 1997). De plus, une concentration élevée en nitrates peut mener à la formation de nitrosamines qui sont potentiellement cancérigènes (LEVINE ET SCHINDLER., 1989).

A Laghouat, la disponibilité en eau est limitée et risquerait de diminuer fortement à long terme en raison des périodes de sécheresses prolongées, Cette étude s'inscrit dans la problématique de la contamination de l'eau souterraine de la nappe du Barrémien par les nitrates dans la région de Bordj Snouci (Nord-est de la wilaya de Laghouat). Cette zone a été sélectionnée afin de refléter fidèlement les caractéristiques réelles des eaux de la nappe Barrémien, tout en étant représentative d'une zone à forte activité agricole.

Pour atteindre cet objectif, ce travail est scindé en trois parties :

La première partie consiste à faire une présentation du cadre naturel comprenant le contexte géologique, hydrogéologique dans le but de définir les différents aquifères existants dans la région d'étude, la structure et le fonctionnement du système aquifère.

La deuxième partie consiste à présenter la stratégie de prélèvement des échantillons, les méthodes d'analyse utilisées au laboratoire.

La troisième partie concerne la discussion des différents résultats obtenus.

-Une conclusion générale de ce travail, dans laquelle, nous mettrons en évidence les résultats auxquels nous avons abouti, d'autre part nous proposerons sur la base des résultats, des solutions adéquates pour préserver la qualité des eaux souterraines.

Chapitre I :
Synthèses
Bibliographiques

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

I.1. Généralités sur l'eau

L'eau est une molécule essentielle à la vie, présente en abondance sur la Terre, couvrant environ 71% de sa surface.

Il y a sur la terre près de 1.4 milliard km cubes d'eau, 96.5% de ce volume étant constitués d'eau salée. L'eau douce ne représente donc que 3.5% du volume planétaire, une partie importante étant emprisonnée dans les glaciers, dans une couverture de neige permanente (en haute montagne ou aux pôles) ou dans les nappes phréatiques à grandes profondeurs (GERIN ET AL., 2003)

I.1.1. Définition de l'eau

L'eau, une substance chimique composée de molécule H₂O, est essentielle à la vie sur Terre (RAVEN ET AL., 2005). Cette molécule, constituée de deux atomes d'hydrogène liés à un atome d'oxygène, joue un rôle crucial dans de nombreux processus biologique, environnementaux et industriels (CAMPBELL., REECE., 2005), aussi cette molécule présente des propriétés uniques, notamment sa capacité à dissoudre de nombreuses substances, son pouvoir de régulation thermique et sa polarité.

I.1.2. Cycle de l'eau

L'eau, source de la vie sur terre, est aussi le vecteur principal du déplacement de tous les éléments minéraux ou organiques. De l'océan à la terre, le cycle de l'eau est principalement lié à l'évaporation, celle-ci générant de la vapeur d'eau qui est transportée sur les conditions sous forme de pluie. Cette étape présente l'originalité de ne déplacer que l'eau dans l'atmosphère. En effet, lors de l'évaporation la quasi-totalité des minéraux reste dans l'océan. Ceci conduit à une concentration des éléments minéraux dans l'eau de mer.

L'eau retourne à l'océan en suivant deux voies : les eaux de surface ou les eaux souterraines. En fait, ces deux voies sont très liées, en raison des échanges entre rivières et aquifères en de nombreux points du parcours. Les sols représentent une étape importante dans ce processus, car ils redirigent les flux d'eau dans trois directions (fig. I.1)

- Une partie de l'eau va s'écouler en surface vers les rivières, ce phénomène est appelé ruissellement.

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

- Une autre partie va s'évaporer directement ou être absorbée par les plantes et ensuite libérée dans l'atmosphère par transpiration, le phénomène global est appelé évapotranspiration.
- Enfin, l'eau résultante reste dans le sol et descend progressivement jusqu'aux eaux souterraines, ce phénomène est nommé infiltration (OLIVIER, 2015).

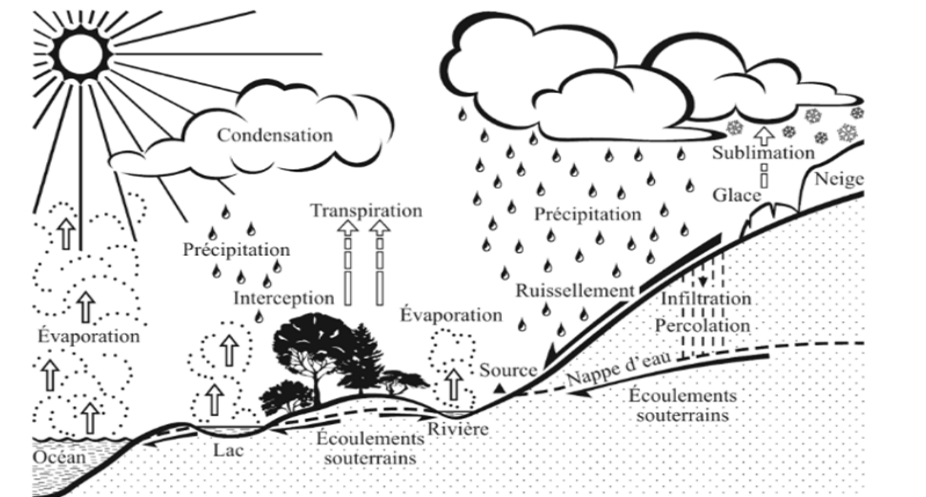


Figure.I.1 : Cycle de l'eau (ANCTIL ET AL., 2012).

I.1.3. Les sources de l'eau

L'eau est une substance chimique essentielle et indispensable à tous les êtres vivants pour leur survie et leur fonctionnement, se présentant sous forme liquide, solide (glace) ou gazeuse (vapeur). Elle est également essentielle pour les activités humaines (agriculture, industrie) et notre vie quotidienne.

La plupart de l'eau sur Terre (96.5%), seule une petite partie représente de l'eau douce. Cependant, elle constitue une source importante d'eau potable (BOUCENNA, 2009).

Le cycle de l'eau est distribué dans trois réservoirs (fig. I.2)

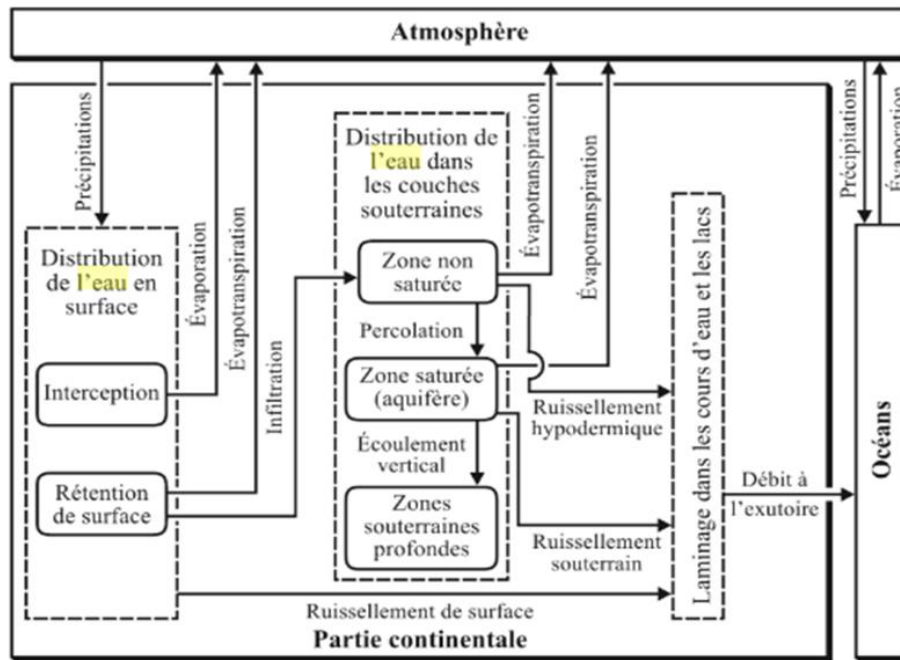


Figure.I.2 : Les trois réservoirs (atmosphère, eaux de surface et eaux souterraines) de l'eau. (ANCTIL ET AL., 2012)

I.1.3.1. Les eaux de surface

Les eaux de surface sont constituées par les eaux des rivières, des fleuves, des étangs, des lacs, des barrages, des réservoirs, des glaciers. Elles se présentent sous forme de masses d'eau solides ou liquide, immobile (stagnantes) ou en mouvement (courante). (MANCEUR., DJABALLAH.,2016)

I.1.3.2. Les eaux souterraines

Les ressources en eaux souterraines constituent une réserve en eau importante (KHELEIL ET AL., 2017). Elles représentent environ 22% des réserves d'eau douce et sont créées par l'accumulation d'infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique. Elles se rassemblent pour former des nappes souterraines. (CLAUDE., 1999).

I.1.4. Les différents types de nappes

Une nappe d'eau souterraine est une eau contenue dans les interstices ou les fissures d'une roche du sous-sol qu'on nomme aquifère, la profondeur de la nappe correspond à l'épaisseur de la zone non saturée, différence entre le niveau du sol et la surface de la nappe (DEFFA., 2020). (Fig.I.3)

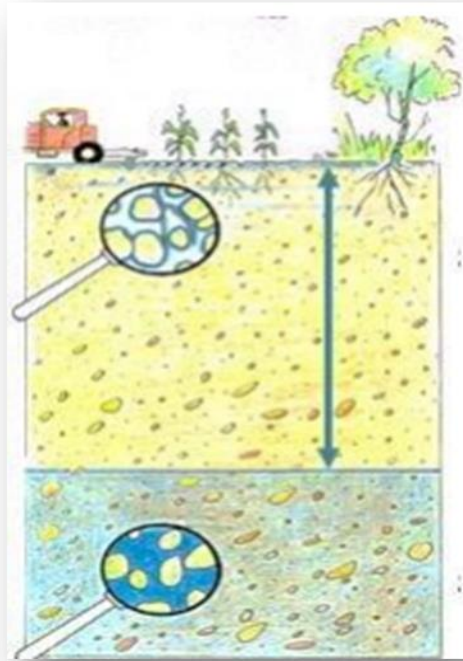


Figure.I.3 : La profondeur de la nappe (BRGM., 2006)

- **Aquifère à nappe libre** : une nappe libre est une nappe dont le niveau supérieur est soit en contact direct avec le sol soit dont la partie supérieure est constituée de terrain perméable

Utilisation : Les aquifères libres sont souvent utilisés comme sources d'eau potable, pour l'irrigation agricole, et pour des usages industriels. L'accès à l'eau est généralement plus facile et moins coûteux dans un aquifère libre comparé à un aquifère confiné.

Vulnérabilité à la Pollution : Étant donné que l'eau peut s'infiltrer directement depuis la surface, les aquifères libres sont plus vulnérables à la contamination par des polluants provenant de l'agriculture, des industries, et des activités domestiques.

- **Aquifère à nappe captive** : Une nappe captive (fig.I.4) est une nappe généralement profonde et située entre deux couches imperméables. Elle est entièrement saturée d'eau sous pression. Elle jaillit lorsque l'on fait un forage et c'est ce qu'on appelle un puits artésien.

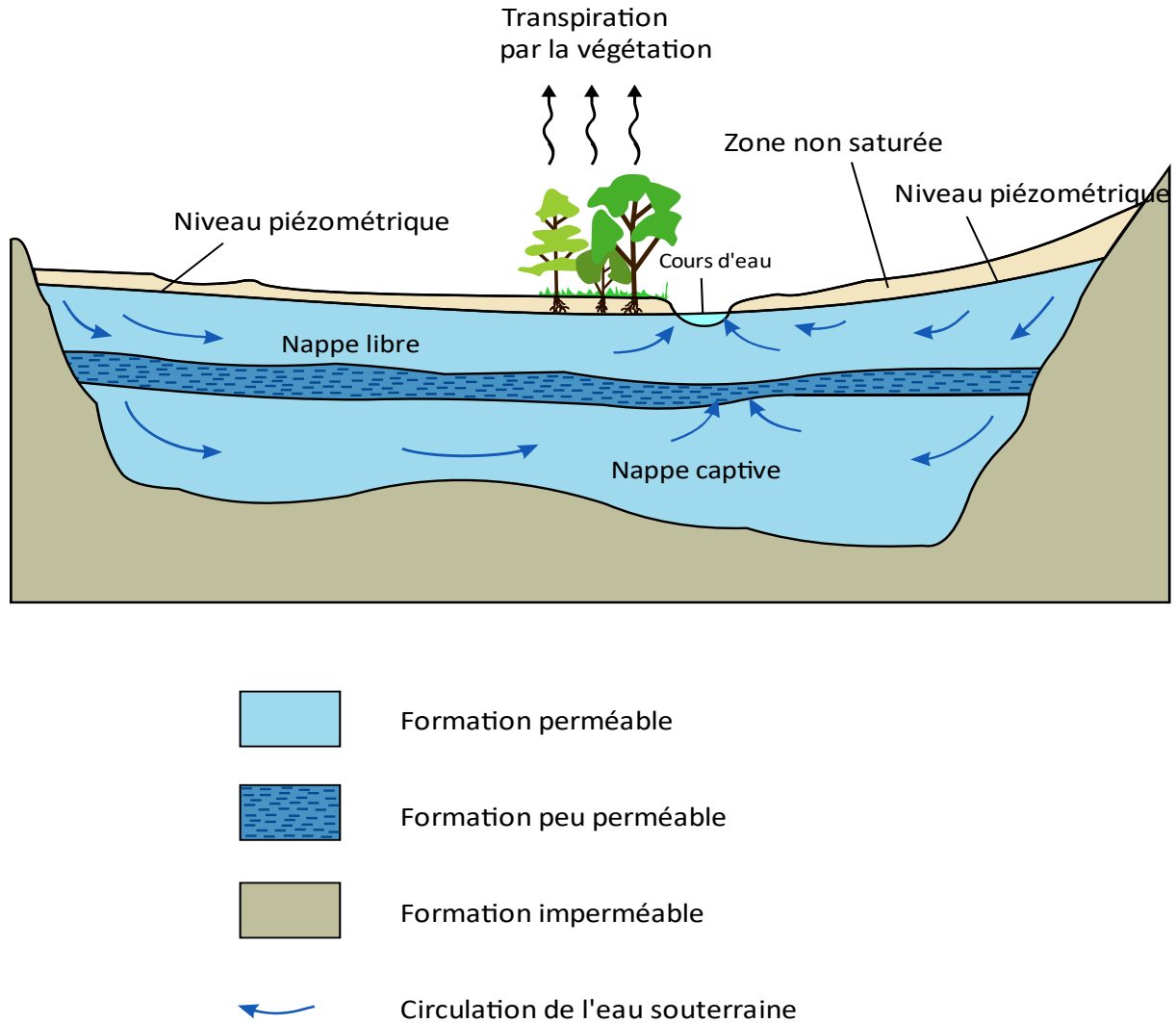


Figure.I.4 : Schéma d'une nappe libre et nappe captive. (BENTAHAR.,2007)

- **Aquifère à nappe semi-captive** : Est une nappe qui se limite d'un côté dans sa partie supérieure de couche imperméable et d'un autre côté perméable. Ou elle se trouve limitée dans sa partie supérieure d'une couche semi perméable.

I.1.5. Les Ressources En Eau

L'eau est une ressource socio-économique vitale limitée. Elle fait l'objet d'une demande croissante à des fins domestiques et industrielles, ce qui menace la pérennité des eaux souterraines et a des conséquences pour l'agriculture, l'industrie et les réserves d'eau potable. Il est essentiel que les ressources en eau soient gérées de manière stratégique et durable.

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Au niveau mondial, les prélèvements d'eau aux fins de l'irrigation ont augmenté de plus de 60% depuis 1960. Environ 70 % des ressources en eau douce disponibles sont utilisées aux fins de l'irrigation en agriculture. Néanmoins, du fait de systèmes d'irrigation inefficaces, en particulier dans les pays en développement, 60 % de cette eau s'évapore ou retourne dans les rivières et les aquifères souterrains. (ONU.,2006)

I.1.5.1 Ressources en eau en Algérie

Le territoire algérien couvre une superficie de près de 2,4 millions de km², mais 90% de cette étendue correspondent à un désert où les précipitations sont quasi-nulles. Dans cette partie du territoire, les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas ; les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional) (LOUCIF., 2003).

En Algérie la population était estimée à 23 millions en 1987 ; 28 en 1995 ; 32 en 2000 ; 39 en 2010 ; et 46 en 2020, soit une consommation potable et industrielle de l'ordre de 5 milliards de m³ alors que la mobilisation actuelle est à peine de 2 milliards de m³. Il faudrait mobiliser dans les 20 ans à venir 3 milliards de m³, en excluant les eaux d'irrigations et les fuites dans les conduites. Les superficies irriguées sont estimées à 450000 ha, l'objectif à atteindre à court terme étant de 770000 ha, et si l'on suppose qu'en moyenne, il faut 8000 m³/ha, il nous faudrait mobiliser 6.2 milliards de m³ (KETTAB., 2001)

Le pays est divisé en cinq bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (Tableau.I.1). Les ressources en eau superficielle renouvelables internes totalisent environ 9.8 km³/an pour l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que 0.6 km³ (FAO., 2005)

Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de 1.5 km³/an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines très importantes provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal. Si l'on considère qu'il n'existe pas de partie commune entre les eaux de surface et les eaux souterraines, les ressources totales renouvelables internes s'élèvent à 11.3 km³/an. Les ressources exploitables sont évaluées à 7.9 km³/an (FAO., 2005).

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Tableau.I.1 : Bassins versants en Algérie (FAO.,2005).

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

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

Les écoulements superficiels sont essentiellement concentrés dans la frange septentrionale du pays, s'étend sur environ 300 000 km², soit 13 % de la superficie du pays. Les régimes hydrographiques dans cette zone soumis à un régime climatique méditerranéen semi-aride sont caractérisés par l'extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des apports en eau, la violence et la rapidité des crues et l'importance des transports solides.

Schématiquement, les ressources en eau superficielles décroissent du Nord au Sud, au fur et à mesure que croissent les ressources en eau souterraines. Les eaux de surface figurent pour 32 % du bilan alors qu'elles constituent 80 % des ressources globales (LOUCIF., 2003).

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

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m³, dont 3.938 milliards destinés à l'irrigation (65 %), 1.335 milliard aux usages domestiques (22 %) et 801 millions à l'industrie (13 %) (FAO., 2005). (Fig. I.5)

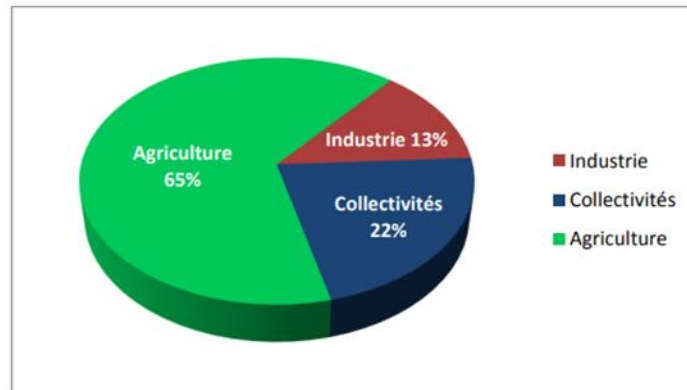


Figure.I.5 : Utilisation de l'eau en Algérie (FAO.,2005)

I.1.5.2. Ressources en eau dans le Sahara

L'eau au Sahara est un facteur primordial de tout développement des activités humaines. Dans un environnement socio-économique en pleine mutation, caractérisé par des conditions climatiques particulièrement difficiles, plusieurs contraintes d'ordre hydrogéologique et pédologique sont apparues, pouvant créer des situations irréversibles avec des conséquences graves sur l'environnement. En effet, l'irrigation au Sahara est mal conduite et a engendré de sérieux problèmes de mise en valeur, notamment par la création ou la remontée de nappes phréatiques gênantes pour les cultures (hydromorphie) et par l'accroissement de la salinité des sols et des eaux (halomorphie) (ACHIRI ET BOUZIANE., 2014).

Les ressources en eau sahariennes disponibles ne dépassent guère les 5,4 milliards de mètres cubes (Fig. I.6) Ressources en eau en Algérie et en Sahara Algérienne (SAKER ET AL., 2013). (SAKER ET AL., 2013). Les eaux superficielles restent faibles et très aléatoires. Toutefois, les nappes fossiles, non renouvelables, constituées principalement par les eaux du complexe terminal (CT) et du continental intercalaire (CI), constituent indéniablement la ressource la plus importante et la mieux étudiée (SAKER ET AL., 2013).

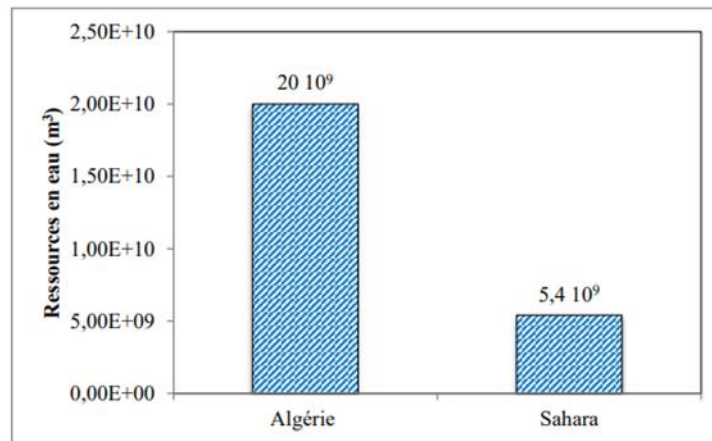


Figure.I.6: Ressources en eau en Algérie et en Sahara Algérienne (SAKER ET AL., 2013)

La demande en eau dans les régions sahariennes est estimée à environ 60 m³/s en année moyenne, dont près de 65 % sont garantis par les aquifères profonds du continental intercalaire et du complexe terminal (CI et CT), et le reste par les autres ressources en eau (autres nappes et ressources superficielles). Ces ressources n'ont cependant à l'évidence qu'un potentiel très limité pour le futur, et l'alimentation de ces régions doit être considérée comme un souci majeur.

On peut retenir que les ressources en eau sont très variables d'une région à une autre, concernant les grands aquifères, avec de fortes contraintes de salinité, température et profondeur. Par contre, elles sont faibles dans les autres nappes, avec des perspectives d'exploitation supérieure limitées. Elles sont très aléatoires pour les ressources superficielles, qui ne sont guère valorisables que dans une économie extensive (BNEDER., 1999).

I.2. Pollution Des Eaux Souterraines Par Les Nitrates

Dans les conditions naturelles, l'eau souterraine est généralement potable et ne nécessite quasiment pas de traitement avant la distribution et l'utilisation. La bonne qualité de l'eau est le résultat de la protection des sols et des roches dans la zone non saturée au-dessus de la nappe phréatique, ils filtrent les polluants et protègent les eaux souterraines des contaminants en surface. Mais l'entrée massive de polluants générés par l'agriculture moderne, l'industrie et le manque d'installations d'assainissement peut dépasser la capacité de la zone non saturée à filtrer les contaminants et protéger les eaux souterraines. (VANESSA ET AL., 2015).

L'agriculture utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures et à faciliter la vie des agriculteurs. Ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer les eaux de surface par lessivage et ruissellement et contaminer aussi les nappes souterraines par l'infiltration.

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

L'accumulation de nitrate dans les hydrosystèmes est aujourd'hui à l'origine de problèmes de santé publique même si cela fait encore l'objet de débats (WEYER ET AL., 2001). L'absorption répétée d'importantes quantités de nitrate pourrait favoriser l'apparition de certains cancers (MORALES ET AL., 1996).

I.2.1. Définition des eaux souterraines

Contrairement aux eaux de surface confinées à quelques canaux (les cours d'eau) et dépressions (les lacs), l'eau souterraine est omniprésente dans le sous-sol. Elle y remplit les interstices entre les particules du sol ou encore les crevasses et les fissures du roche. La formation de nappes d'eau souterraines ou « nappes phréatiques » résulte de l'accumulation d'eau infiltrée depuis la surface du sol suite à un épisode de pluie.

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain.

L'eau souterraine est une composante importante du cycle hydrologique, elle provient des précipitations et s'infiltré dans le sol. Elle circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval (MYRAND., 2008).

Les ressources en eaux souterraines constituent une réserve en eau importante (KHELEIL ET AL., 2017). Elles représentent environ 22% des réserves d'eau douce et sont créées par l'accumulation d'infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique. Elles se rassemblent pour former des nappes souterraines. (CLAUDE.,1999).

I.2.1.1 Les eaux souterraines et le cycle de l'eau

L'eau souterraine fait partie du système circulatoire des eaux terrestre constitué des trois stades : évaporation, condensation, précipitation, et dénommé cycle de l'eau. Sous l'effet des radiations solaires. L'eau des océans (97% des réserves d'eau du globe) et des plans d'eau continentaux s'évapore. L'eau évaporée est pure et dépourvue des sels marins. Les ressources

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

en eaux douces renouvelables sont alimentées par les précipitations sur les continents : 13 000 km³/an sur une surface de 134 840 mm /an (MARSILY., 2009).

I.2.1.2. Constitution et fonctionnement des nappes souterraines

La constitution et le fonctionnement des nappes souterraines font appel à un certain nombre de principes élémentaires, à des considérations de simple bon sens qui font apparaître clairement le rôle des conditions aux limites ainsi : (PELISSONNIER., 1965)

- Si l'eau circule, il faut une entrée et une sortie : l'entrée s'effectue par le bassin versant, c'est la quantité qui s'y est infiltrée et qui est parvenue jusqu'à la surface de la nappe ; la sortie s'effectue par l'exutoire naturel (source, rivière) ou artificiel (puits). A tout instant, le bilan en eau de la nappe exprime que : ce qui entre égale ce qui sort plus ce qui est stocké (ou prélevé sur les réserves).
- Pour une nappe dont les réserves ne sont pas très importantes, le principe de conservation nécessaire en permanence l'égalité entre entrée et sortie : si l'on n'y prend garde, on aura tôt fait d'épuiser les réserves d'une nappe dont on aura inconsidérément accru les exhaures artificielles. En vertu du même principe, il en peut y avoir de régime permanent que dans un système alimenté ; et dans ce cas, le bilan des entrées-sorties du système est rigoureusement équilibré.

I.2.1.3. Importance des eaux souterraines

Les eaux souterraines contribuent à l'alimentation des sources et des cours d'eau et leur rôle est souvent essentiel pendant les périodes d'étiage. Elles sont exploitées pour la consommation humaine (eau potable), l'agriculture (irrigation) et l'industrie.

I.2.1.4. Vulnérabilité des eaux souterraines

I.2.1.4.1. Vulnérabilité Quantitative

La variation du stock d'eau souterraine est soumise à des facteurs tels que la pluviométrie qui permet le renouvellement de la ressource avec un volume qui chaque année recharge la nappe. Cette variable est très hétérogène d'une nappe à l'autre et dépend fortement du temps de séjour de l'eau (IFEN., 2004). Ces temps de séjours sont très variables et peuvent être très longs (2 semaines à 10.000 ans).

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

L'autre facteur important qui détermine la vulnérabilité est l'exploitation de cette dernière, le pompage de la ressource peut être plus rapide que la recharge ce qui conduit à une baisse du stock. Les eaux souterraines sont donc une ressource très fragile du point de vue quantitatif (FURRY.,1997).

I.2.1.4.2. Vulnérabilité Qualitative

Il est admis que les eaux souterraines sont généralement mieux protégées des pollutions que les eaux de surface, ces dernières sont directement exposées aux émissions polluantes, tandis que les nappes peuvent bénéficier de la protection du sol (IFEN., 2004). La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère (FURRY.,1997). En effet, les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et dans la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique. Par ailleurs, la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. En outre, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à " rincer" les particules de la zone non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées (BEAUCHAMP J., 2006)

Il apparait donc que pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles.

Le sol

L'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation-réduction), de nombreux corps sont modifiés chimiquement, les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés.

Néanmoins cette biodégradation peut aboutir à des métabolites au moins aussi toxiques que les polluants d'origine (FURRY.,1997 ; BEAUCHAMP J., 2006)

Le sol peut jouer le rôle d'épurateur, ses fonctions sont complexes, ses principales actions sont fonction de sa nature, son épaisseur, le climat local et son activité biologique.

La zone non saturée : (Z.N.S)

Comme le sol, elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances : cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible.

La zone saturée : (ZS)

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

La filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe, le polluant est dilué dans la masse d'eau.

I.3. Définition des nitrates

Les nitrates sont des composés chimiques qui proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique et de la décomposition de la matière organique par des microorganismes. Ils constituent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles, et constitue la composante principale de l'azote inorganique (N-Inorganique) ou minéral (N-Minéral), lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique (N-Organique) (RODIER ET AL., 2009)

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

Le nitrate est un anion (NO_3^-), il représente le stade d'oxydation le plus élevé de l'azote. Sa charge négative explique qu'il n'est pas fixé par le complexe adsorbant (argile+humus) du sol, lui aussi de charge négative. Sous l'effet de l'eau, l'ion nitrate migre donc facilement dans le sol et peut être entraîné vers les eaux de rivières ou des nappes phréatiques. (THIOLLET P., 1990)

I.3.1. Caractéristiques de l'ion nitrate

D'un point de vue chimique, le nitrate est constitué d'un atome d'azote (N) et de trois atomes d'oxygène (O), sa formule est NO_3^- , sa masse moléculaire est de 62 g/mol. L'azote est un composant essentiel du nitrate, il est dénommé azote nitrique (N- NO_3), ainsi un gramme d'ion nitrate comporte 0,22 gramme d'azote nitrique (BANAS ET LATA., 2006). Le nitrate est un élément minéral nutritif pour les végétaux et les microorganismes, de ce fait, les sels de nitrate sont utilisés pour la fabrication de fertilisants azotés qui sont très solubles dans l'eau et ne sont pas retenus par le sol (ORS., 2007)

Les nitrates constituent l'une des causes majeures de la dégradation de la qualité des eaux souterraines et de surface, et ceci due à certaines propriétés physico-chimiques qui entraînent des concentrations importantes en nitrates dans ces eaux (SANTE CANADA., 1992 ; BOUALLA ET BENAOUA., 2011) :

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

- Les nitrates sont très solubles dans l'eau et très mobiles, ils migrent donc aisément vers les nappes aquifères ou ruissellent vers les eaux de surfaces lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation,
- La diffusion de nitrates dans les sols argileux est lente,
- Faible rétention par les particules du sol sableux,
- Déplacement avec le flux des eaux de précipitations ou d'irrigations,
- Le transfert des nitrates vers les aquifères est influencée par les variations des apports,
- L'intrusion des nitrates se fait par les précipitations drainant après que le déficit hydrique du sol soit comblé.

I.3.2. Sources des nitrates

La présence des nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines. L'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumier, associée aux cultures et à l'élevage intensif, favorise l'apparition de nitrates dans l'eau. Les installations septiques déficientes, de même que la décomposition de la matière végétale et animale, peuvent aussi être une source de nitrates dans l'eau. Le risque de contamination est plus important si le sol recouvrant la nappe d'eau est vulnérable. (GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU., 2003).

I.3.2.1. Dans l'organisme

I.3.2.1.1. Sources endogènes

L'homme possède naturellement des nitrates dans son organisme. Les concentrations plasmiqes des nitrates sont variables au cours de la journée et tout au long de son existence.

En 1919 MITHELL a remarqué que la quantité de nitrates dans les urines était plus importante que celle ingérée. En 2001, A. LESPINE a met ainsi en évidence la production endogène des nitrates. En 1981, la production de monoxyde d'azote (NO) est détectée dans l'organisme, sa durée de demi-vie est courte 3 à 5 secondes, il se trouve donc rapidement transformé en nitrates. En 1985 les travaux de nombreuses études permirent d'expliquer la formation de monoxyde d'azote. Il s'agit d'une réaction biochimique intracellulaire qui consiste en la dégradation d'une molécule d'un acide aminé la L-arginine en L-citrilline entraînant la

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

libération de monoxyde d'azote qui va réagir avec l'oxygène et former des molécules N_2O_3 et N_2O_4 donnant par hydrolyse les nitrates NO_3^- (BOUGHERARA., 2008).

I.3.2.1.2. Sources exogènes

Les nitrates exogènes proviennent de la nourriture et de l'eau, ce n'est pas uniquement l'eau qui apporte les nitrates mais aussi les légumes. Il a été estimé dans plusieurs études que les légumes apportent 70 à 80% des nitrates ingérées. Le reste correspond environ 10% à l'eau et 10% aux autres aliments. Tous les aliments n'apportent pas la même quantité des nitrates selon les saisons et les teneurs en nitrates utilisés comme engrais (BOUGHERARA., 2008).

I.3.2.2. Dans l'environnement

I.3.2.2.1. Les sources naturelles

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 dans leurs racines. Quand la plante a fini son cycle saisonnier, la matière organique azotée est peu à peu décomposée par les bactéries nitrifiantes du sol, et transformée en nitrates. Une autre source naturelle est due à l'urine des animaux. Celles-ci contiennent de l'ammoniac et de l'urée (contenant de l'azote), qui peuvent être rapidement oxydés en nitrates dans le sol. Il en va de même les déjections humaines, les ternîtes, les cimetières (par décomposition des corps). Ces derniers restent très négligeables. (SANTE-ENVIRONNEMENT., 2007).

I.3.2.2.2. Les sources anthropiques

Les nitrates sont indispensables au développement des plantes. C'est pourquoi l'homme en apporte à ses cultures afin de favoriser leurs productions car lors d'une culture intensive, les réserves naturelles en nitrates ne sont pas suffisantes. La source majeure (55%) des nitrates s'observe, soit dans les zones de culture céréalières et maraichères, soit dans les zones d'élevage intensif où la production d'engrais de ferme épandue dépasse souvent les capacités d'épuration des sols et des cultures. Car l'homme ne cherche pas à mettre la quantité idéale pour favoriser sa production, il préfère mettre les engrais et donc un excès des nitrates afin d'être sûr que les plantes aient ce qu'il faut. Les nitrates en excès finissent donc par rejoindre les cours d'eau et les nappes souterraines. Une autre source qui peut engendrer un excès des nitrates est l'activité domestique, on parle surtout des déjections humaines et les fosses septiques. Les activités

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

industrielles avec notamment l'industrie alimentaire, l'industrie lourde et l'industrie pharmaceutique qui peuvent ainsi engendrer un apport important des nitrates (BOUGHERARA., 2008).

I.3.3. Le cycle de l'azote

L'azote est un élément essentiel pour la croissance et le développement des végétaux. Il est naturellement présent dans l'environnement sous différentes formes (Fig. I.7)

- les ions : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et l'ammonium (NH_4^+) ;
- les gaz : ammoniac (NH_3), diazote (N_2), protoxyde d'azote (N_2O), dioxyde d'azote (NO_2), monoxyde d'azote (NO) ;
- l'azote organique (ex : protéines).

Dans le sol, l'azote se trouve principalement sous forme organique. Les processus de minéralisation et de nitrification permettent la transformation de l'azote organique en azote inorganique, assimilable par les plantes (principalement sous forme de nitrates). Les sources de nitrates présents dans les eaux superficielles et souterraines sont multiples. Sa présence peut résulter de l'application directe d'engrais azotés, des dépôts atmosphériques, mais aussi de la nitrification de composés azotés et des rejets d'eaux usées (domestiques ou d'élevage) (Briand., 2014).

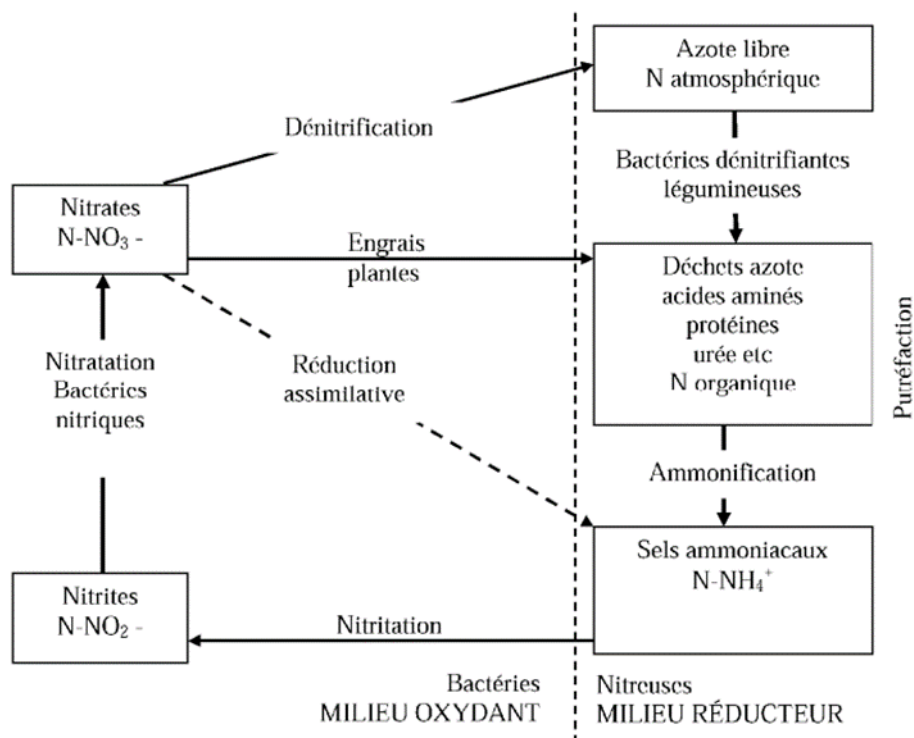


Figure.I.7 : Cycle de l'azote (METAHRI,2012)

I.3.3.1. La minéralisation (ou ammonification)

La minéralisation correspond à la dégradation de la matière organique, conduisant à la production d'ammonium (NH_4^+). La minéralisation est d'autant plus forte que les apports sont importants, elle est maximale au printemps et à l'automne lorsque les températures sont douces et le sol humide (MARTIN., 2003).

I.3.3.2. L'organisation (ou immobilisation)

L'organisation correspond à l'assimilation d'azote, préférentiellement sous forme ammoniacale par les micro-organismes (MARTIN., 2003).

I.3.3.3. La nitrification

La nitrification correspond à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique (NO_3^-). Les étapes successives de la nitrification se font par l'intermédiaire de deux familles de bactéries principalement présentes dans les sols : Nitrosomas pour la nitrification (transformation de NH_4^+ en NO_2^-) et Nitrobacter pour la nitratation (transformation de NO_2^- en NO_3^-) (MARTIN., 2003).

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

I.3.3.4. La dénitrification

La dénitrification est la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux (N₂). La dénitrification fait intervenir de nombreuses espèces bactériennes dont l'action est maximale dans des conditions d'anoxie, de présence de nitrate et d'une source de carbone assimilable. L'ion NO₃⁻ est utilisé comme accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène. La dénitrification conduit principalement à la libération d'azote gazeux N₂ (MARTIN., 2003).

I.3.4. Lessivage des nitrates

Dans le cycle de l'azote, les nitrates peuvent être assimilés par les plantes et les microorganismes, retournés à l'atmosphère par les processus de dénitrification et de volatilisation, ou captés par l'eau qui s'infiltre dans le sol et être transportés vers les nappes d'eau souterraine. Contrairement aux ions ammonium, qui s'adsorbent facilement sur les surfaces des particules argileuses, les nitrates sont très mobiles étant donnée leur grande solubilité dans l'eau. De nombreuses recherches ont montré que les principaux facteurs impliqués dans le lessivage des nitrates sont le climat, le type de sol, le type de culture et la fertilisation (STREBEL ET AL., 1989).

Le climat va influencer le lessivage par la fréquence et la durée des précipitations. L'eau qui s'infiltre dans le sol agit comme vecteur de transport des nitrates. La température, qui est un facteur limitant de l'activité microbienne impliquée dans le cycle de l'azote, va aussi influencer la concentration en nitrates.

L'influence du type de sol réside dans sa capacité de rétention de l'eau liée à la matière organique, aux particules argileuses (granulométrie, teneur en eau, perméabilité) et au développement du système racinaire des plantes (KASPAR ET AL., 1991). Ce pouvoir de rétention permet de retenir les nitrates à l'automne et au printemps lors des fortes précipitations. Cette capacité de rétention de l'eau varie beaucoup d'un sol argileux (20-30 kg/ha), à un sol sableux (5-20 kg/ha), ce dernier étant beaucoup plus susceptible au lessivage (STEEN., 1989 ; BERGSTROM ET AL., 1991). La quantité de matière organique est primordiale comme source d'énergie pour la biomasse intervenant dans le cycle de l'azote (fixation, minéralisation et nitrification), ainsi que la présence de particules argileuses agissent comme sites d'adsorption de l'ammonium.

Le type de culture influence beaucoup par sa demande en azote (exportation d'azote), sa période de croissance, son développement racinaire et par ses résidus après la récolte. Les cultures ayant une forte demande en azote diminueront les risques de lessivage à l'automne et

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

au printemps. La présence d'un couvert végétal (culture combinée), suite à la récolte, contribue à maximiser l'utilisation des nitrates durant les périodes de précipitations abondantes. Les racines des plantes modifient la structure du sol (perméabilité, aération) et la distribution de la biomasse associée. Les nitrates sont conservés dans la zone racinaire. Au-delà de cette zone, seule la capillarité du sol peut réduire le lessivage (STEENVOORDEN., 1989). Les résidus des récoltes constituent un apport en azote qui pourra ultérieurement être lessivé.

La fertilisation des sols est un facteur très important sur lequel, comme pour le choix des cultures, l'homme a un pouvoir de décision. La quantité et le type de fertilisant utilisé (organique et inorganique), le moment et la méthode d'application ont un rôle majeur à jouer. Une fertilisation organique améliore la structure des sols avec une meilleure stabilité des agrégats et un taux d'infiltration supérieur (EKWUE., 1991). Une étude a montré que le lessivage suite à un épandage de fertilisant inorganique seul est supérieur à celui suivant une fertilisation organique et inorganique (BORG ET AL., 1990).

Des pratiques culturales optimales doivent donc adapter l'apport en azote en fonction des besoins des plantes, améliorer les méthodes d'application et le type de fertilisant, et optimiser les dates d'épandage.

I.3.5. Taux de pollution des eaux souterraines en Algérie par les nitrates

La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité des ressources naturelles, déjà en quantité limitée. Le contrôle des concentrations en nitrates dans l'eau est essentiel pour limiter la pollution des eaux de surfaces et souterraines.

L'acquisition des connaissances sur l'origine et la voie de transfert des nitrates constitue un instrument efficace pour la gestion des ressources naturelles (PAUL ET AL., 2015).

En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine du fait de son exploitation relativement facile. Plusieurs travaux ont été réalisés sur ce problème, et ont mis en évidence l'effet de l'activité agricole dans la pollution des eaux souterraines par les nitrates.

La concentration de nitrates varie entre 77 et 175 mg/l dans le bassin de Chlef, 100 à 200 mg/l dans la plaine de Sidi Bel Abbés, et supérieure à 50 mg/l dans le forage de Mazafran et dans la moitié des puits de la plaine de la Mitidja. L'enrichissement en nitrates dans ces

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

régions est étroitement lié aux activités agricoles et aux rejets domestiques urbains surtout lorsque les couches superficielles sont perméables. (BOUDJADJA ET AL., 2003)

Dans la cuvette de Chéria au Nord-Est algérien, l'exploitation des eaux souterraines à partir des aquifères carbonatés représentent la seule ressource pour répondre aux différents besoins. La contamination de ces eaux par les nitrates est importante de 80 à 120 mg/l particulièrement dans les eaux de la partie Sud de la zone. (BAALI ET AL., 2007) montrent que l'origine de nitrates est due à l'existence d'une dépression du niveau piézométrique et d'un grand nombre d'élevages d'ovin et bovin dans la région.

A partir des analyses chimiques faites pendant l'année 2005 des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen, les teneurs en nitrates dépassent les normes par endroits, par exemple au forage d'Ain Defla la teneur en nitrates est de 82 mg/l. Ces nitrates sont apportés soit par les engrais soit par la matière organique enfouie dans le sol (résidus des précédentes récoltes, humus&), en plus des engrais chimiques et des fumiers utilisés pour la fertilisation des zones agricoles, ainsi que les rejets domestiques et industriels participent à l'enrichissement significatif de nitrates dans les nappes souterraines (ABDELBAKI ET BOUKLI., 2007).

Chekroud (2007) a remarqué que les eaux souterraines de la partie Nord de la plaine Koudiet Telezza (Nord-Ouest Skikda) ont des concentrations en nitrates (57,33 mg/l) dépassant 50 mg/l, qui s'expliquent par l'usage des fertilisants azotés et la mauvaise gestion des sols cultivés.

La présence des teneurs importantes en nitrates dans la plaine de Meskiana (Sud Annaba) est liée aux facteurs polluants attachés aux activités humaines en particulier à l'activité agricole et à la nature lithologique de la couche superficielle. La cartographie des concentrations de nitrates montre que la zone de grande perméabilité (0,77.10⁻⁴ m/s) qui se trouve à proximité de la ville de Meskiana est beaucoup plus exposée à la pollution nitrique car les nitrates s'infiltrant rapidement et on y enregistre des teneurs dépassant 120 mg/l. Au contraire, celle de faible perméabilité se situe à côté de Dalâa, où les teneurs enregistrées sont faibles et ne dépassent pas 20 mg/l, car le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe ; les faibles teneurs en nitrates dans cette zone peuvent s'expliquer par le mélange des eaux récentes issues des formations carbonatées avec celles de la nappe d'âge Mio-Plio-Quaternaire. Durant la période d'observation en Novembre 2005, 52 % des puits ont présenté une teneur dépassant les normes de l'OMS (GOUAIDIA., 2008).

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

La vallée du moyen Cheliff (Nord algérien) se caractérise par une activité importante de l'agriculture portée surtout sur le maraîchage, qui constitue un grand consommateur de fertilisants minéraux de type azoté. Les zones pour lesquelles le niveau d'intensification de la fertilisation azotée le plus fort et sous les sols les plus perméables sont caractérisées par une forte concentration des nitrates qui dépassent les normes, et sont situées sur les bordures de la vallée (BETTAHAR ET AL., 2009).

Dans la région d'Oued Souf, les concentrations en nitrates peuvent atteindre 97,19 mg/l et dépassent les normes (50 mg/l) dans les eaux souterraines. Ces teneurs élevées en nitrates sont liées à l'utilisation des engrais chimiques et des eaux usées domestiques rejetées directement dans la nappe, qui est peu profonde majorant ainsi la contamination nitrique (ZINE., 2010).

La majorité des eaux de la plaine de Gadaïne-Ain Yaghout (Nord-Est Batna) ont des teneurs en nitrates supérieures aux normes de l'OMS. Cette présence de nitrates dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques, des fumiers et aux eaux usées domestiques rejetées directement dans les oueds et dans les chotts (DIB., 2010).

Dans la basse plaine de la Seybouse (Nord-Est algérien), la forte activité agricole a produit une augmentation rapide de nitrates au niveau de la nappe superficielle (0-550 mg/l), qui résulte de l'utilisation intensive des produits fertilisants avec des quantités supérieures aux besoins des plantes (BADRA., 2010).

Boualla et Benaouda (2011) retrouvent que la concentration de nitrates varie entre 2 et 100 mg/l dans les eaux souterraines du bassin Sebkhia d'Oran et dépend de divers facteurs naturels et anthropiques. Un certain nombre de points dans le bassin sont sous l'influence de drainage des eaux usées. La gravité de la contamination des eaux souterraines doit tenir compte encore à ce qui se passe en surface.

L'agriculture est responsable en majeure partie de la pollution par les nitrates qui sont apportés soit par les engrais soit par les matières organiques enfouies dans le sol (résidus des précédentes récoltes, humus, fumiers, compost...) (BOUALLA ET BENAOUA., 2011).

Brinis (2011) retrouve que la présence de nitrates dans les eaux de la plaine d'El-Outaya (Biskra) est légèrement faible et varie de 0 à 30 mg/l, cette variabilité des teneurs en nitrates est due probablement à l'utilisation spatiale sélective des engrais.

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Dans la wilaya de Sétif, le barrage d'Ain Zada constitue la principale source d'alimentation en eau potable (AEP) mais il est de mauvaise qualité malgré le traitement, ce qui pousse la population de la région de s'alimenter par les eaux souterraines et principalement par les eaux des forages des mosquées (qui ne sont pas sous le contrôle de l'algérienne des eaux (ADE)). Bentouati et Bouzidi (2011), à travers les résultats obtenus d'une étude mensuelle, ont remarqué que certains paramètres analysés dépassent les normes algériennes de l'eau potable : les nitrates varient entre 4,86 et 126,8 mg/l dépassant alors la norme fixée à 50 mg/l et la consommation de ces eaux peut nuire la santé humaine.

Les études de Drouiche et al (2011) et Kheliel et al (2017) montrent que la nappe du Miopliocène située au Sud de la région d'El-Ghrous (Biskra) de 30 à 100 m de profondeur présente des concentrations importantes en nitrates allant jusqu'à 180 mg/l, ceci implique une pollution due à la fertilisation azotée et surtout à la localisation peu profonde de la nappe étudiée.

Dans la plaine de Tadjenanet-Chelghoum Laid (Est de Sétif), la pollution azotée diffuse aux eaux souterraines et les teneurs en nitrates peuvent atteindre 486 mg/l, et elle est souvent liée au développement industriel et agricole dans la région ([KHEDIDJA ET BOUDOUKHA., 2013](#)).

Dans la région de Biskra, Kheliel et al (2018) ont montré que les teneurs en nitrates des eaux souterraines de la nappe du Miopliocène dépassent 50 mg/l dans le Nord-Est et le Sud-Ouest de la région. D'après ces auteurs, cette pollution peut être expliquée d'une part par l'utilisation massive des engrais azotés et d'autre part par l'accumulation de nitrates dans les eaux souterraines qui diffusent en suivant le sens d'écoulement du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Ces études ont montré que la pollution nitrique des nappes souterraines en Algérie provient de plusieurs années d'épandage d'engrais azotés, ce qui fait que même si l'on arrête aujourd'hui de fertiliser les sols, il faudrait attendre plusieurs décennies avant de retrouver une situation normale.

I.3.6. Concentrations dans l'eau potable

La concentration de nitrates dans l'eau potable peut être classée selon quatre catégories : inférieur à 0.2 mg-N/l (aucune influence humaine), entre 0.21 et 3.0 mg-n/l (influence possible des activités humaines), entre 3.1 et 10 mg-N/l (influence très nette des activités humaines mais

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

sans impact apparent sur la santé), supérieur à 10 mg-N/l (impact majeur des activités humaines et effet possible sur la santé ([GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU., 2003](#)).

I.3.6.1. Normes de potabilité de l'eau

Compte tenu des études qui confirment le risque d'effets nocifs aigus à partir de 50 mg/l de nitrates dans l'eau de consommation ([BANAS ET LATA., 2006](#)), il apparaît recommandable pour les populations à risque de s'alimenter à partir d'eau garantissant une teneur en nitrates inférieure à ce seuil. La norme concernant la concentration de nitrates dans l'eau potable est basée sur la prévention du risque de méthémoglobinémie ([WALTON., 1951 ; ORS., 2007](#)). Bien que le risque à long terme dû au potentiel cancérigène de nitrates via la formation de nitrosamines ne soit pas pris en compte pour la détermination de la norme de nitrates dans l'eau potable, on considère prudent de minimiser l'exposition à ces composés pour l'ensemble de la population ([SANTE CANADA., 1992](#)).

I.3.6.2. Norme algérienne

La norme algérienne de l'eau potable pour les nitrates, a été fixée à 50 mg/l ([JORA., 2011](#)).

➤ Norme de l'OMS

La valeur guide maximale de l'OMS pour les teneurs en nitrates dans les eaux de consommation est de 50 mg/l ([OMS., 2006](#)).

A. Norme européenne

La communauté européenne a créé un niveau maximum de nitrates de 50 mg/l et un niveau recommandé de 25 mg/l ([CE., 2003](#)).

B. Norme française

La directive européenne 98/83/CE du 3 Novembre 1998 et sa transposition en droit français par décret N°2001-1220 du 20 Décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique, mentionnent une limite de qualité de 50 mg/l pour les nitrates ([MEMOTEC., 2006](#)).

C. Norme américaine

L'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis a fixé à 45 mg/l (Tab.I.2) la quantité de nitrates à ne pas dépasser dans l'eau de consommation ([USEPA., 1991](#)).

Tableau.I.2 : Normes de potabilité pour les nitrates dans l'eau potable.

Normes de potabilité pour les nitrates dans l'eau potable				
Algérienne	OMS	Européenne	Française	Américaine
JORA, 2011	OMS, 2006	2003/CE	98/83/CE	USEPA, 1991
50 mg/l				45 mg/l

D'après le tableau.I.2, la valeur maximale admissible en nitrates dans les eaux de consommation a été fixée à 50 mg/l pour la totalité des normes internationales sauf les normes américaines qui fixent la teneur en nitrates à 45 mg/l comme valeur maximale admissible.

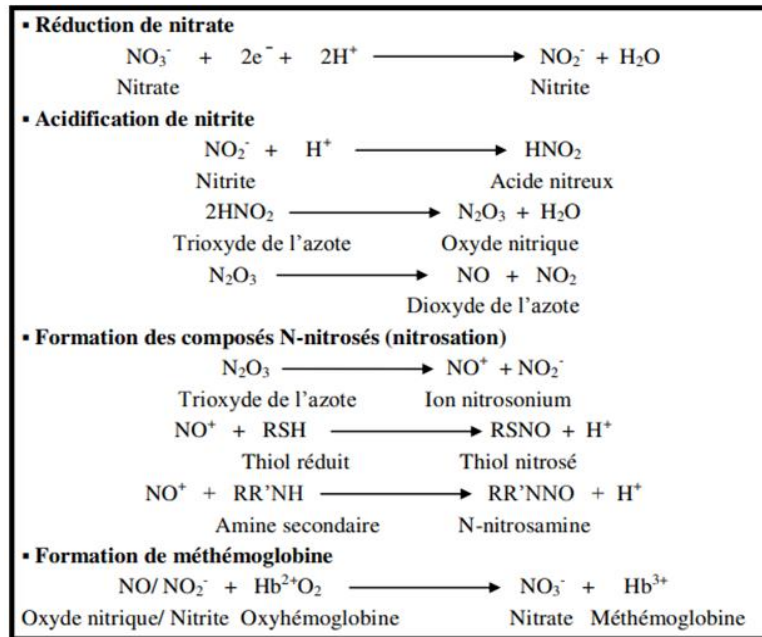
I.3.7. Les conséquences de l'ingestion des nitrates sur la santé humaine

L'homme produit naturellement entre 60 et 70 mg/Jour de nitrates qui sont retrouvés dans le sang, les urines, la sueur, les larmes, etc. Les apports extérieurs aux environs de 150 mg/J, par ingestion d'eau et d'aliments, 70 à 80 % des nitrates sont apportés par l'alimentation et 20 à 30 % par l'eau. Pour un adulte, l'OMS recommande de ne pas dépasser une dose journalière admissible (DJA) de 3,65 mg/kg, par exemple chez un adulte de 70 kg la dose journalière admissible (DJA) est de 255 mg/J de nitrates (MIQUEL ET AL., 2003).

Les nitrates ne sont pas dangereux à doses physiologiques et tant qu'ils sont sous cette forme, mais ils ont une toxicité indirecte c'est-à-dire ils deviennent dangereux après leurs transformation en nitrites et autres composés qui ont une toxicité directe, ces dérivés reconnues comme pathogènes sont issues d'une cascade de réactions de transformations de nitrates en oxydes nitriques, qui peuvent réagir avec des thiols, des amides et amines formant ainsi des composés cancérigènes de forme N-nitrosé (OLUYOMI ET AL, 2008). La formation de NO₃-/NO₂- peut parfois être bénéfique, sa présence dans le corps humain a plusieurs effets protecteurs de la santé (OLUYOMI ET AL, 2008) : protection gastrique, protection orale/dentaire, règlement de tension artérielle et la prévention des infections de l'appareil urinaire. Dans le tableau.I.3 on récapitule les transformations des nitrates dans le corps humain.

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Tableau.I.3 : Métabolisme des nitrates dans le corps humain (OLUYOMI ET AL.,2008)



A. Effets directs

Les nitrates et leurs dérivés ont été incriminés dans la survenue d'une intoxication aiguë, la méthémoglobinémie chez les nouveau-nés, et dans la survenue de cancers à long terme en particulier digestifs dans la population générale (ORS., 2007).

A.1. Méthémoglobinémie

Les nitrites formés par réduction des nitrates sont susceptibles de se fixer sur l'hémoglobine. Celle-ci est alors oxydée en méthémoglobine. Le transport de l'oxygène vers les tissus qui en ont besoin ne se fait plus. Cette maladie est dénommée méthémoglobinémie (OLUYOMI ET AL, 2008).

Chez le nourrisson, les nitrates ont été incriminés dans la survenue de la méthémoglobinémie (ou maladie bleue). La formation des nitrites à partir des nitrates ingérés est réalisée par la flore bactérienne intestinale. Chez les enfants, les nitrites en excès provoquent une moindre capacité des globules rouges à fixer et transporter l'oxygène d'où une cyanose. L'effet produit est proche de celui lié à l'intoxication par le monoxyde de carbone. Cet effet est bien démontré lorsque les taux de nitrates sont très élevés notamment au-delà de 100 mg/l (ORS, 2007).

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

La vulnérabilité de la femme enceinte à la présence de nitrates dans l'eau de consommation s'explique, quant à elle, par le fait que le niveau de méthémoglobinémie peut atteindre 10 % à la trentième semaine de grossesse (LEVALLOIS ET PHANEUF., 1994).

A.2. Risque carcinogène

Les nitrates ne sont pas directement cancérigènes alors que les nitrites, forme transitoire et instable, seraient associés à certaines formes de cancers, notamment des cancers digestifs, de l'estomac et de l'œsophage (ORS., 2007). Le pouvoir cancérigène a été montré chez l'homme en exposition professionnelle. Aucune association n'a été établie pour la population générale. En absence de certitudes absolues, ces résultats imposent de prendre les précautions nécessaires afin de préserver la santé humaine (BANAS ET LATA., 2006).

B. Effets indirects

L'eutrophisation des eaux est à l'origine de la production de toxines par des microalgues, et peut constituer un risque indirect pour la santé. Ces toxines sont problématiques pour la santé des baigneurs mais aussi pour celle des consommateurs de crustacés filtreurs (huîtres, moules et crabe) qui bioaccumulent ces toxines et peuvent être à l'origine d'intoxications, trois types de toxines dangereuses : les toxines diarrhéiques, les toxines paralysantes et les toxines amnésiantes (ORS., 2007).

Chapitre II :

Matériels et Méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

La présente étude vise à évaluer la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la région de Bordj Snouci (Nord-est de la wilaya de Laghouat). Cette zone a été sélectionnée afin de refléter fidèlement les caractéristiques réelles des eaux de la nappe du Barrémien, tout en étant représentative d'une zone à forte activité agricole.

II.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de LAGHOUAT occupe une superficie de 25 052 km², située à 400 km au Sud de la capitale Alger, à une altitude plus de 750 m sur le flanc Sud de l'Atlas Saharien. Elle est perchée entre deux régions distinctes : l'Atlas Saharien au Nord et les plateaux sahariens au Sud (Fig.II.1) :

Elle est délimitée :

- Au Nord par la Wilaya Tiaret ;
- À l'Est par la Wilaya de Djelfa ;
- Au Sud par la Wilaya de Ghardaïa ;
- À l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad.



Figure.II.1 : Situation géographique de la wilaya de Laghouat.

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.2. Présentation de la zone de Bordj Senouci

Bordj Senouci est une agglomération secondaire se situe à 5 km au Nord-Est de chef-lieu LAGHOUAT (fig.II.2) Délimitée par :

- Au Nord djebel Dakhla ;
- A l'ouest l'oued M'Zi ;
- Au Sud Kef Seridja ;
- A l'Est El Assafia.



Figure.II.2 : Situation géographique de la région de Bordj Snouci.

II.3. Aperçu Géologique et Hydrogéologique

Pour mieux comprendre les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région étudiée, nous avons effectué un stage de terrain de 7 jours, en compagnie de Mme BENTAHAR et des étudiants spécialisés en géologie (Master I ensembles sédimentaire) de l'Université de Tizi Ouzou. Ce stage nous a permis d'acquérir une connaissance approfondie de la géologie locale grâce à des observations directes et à des analyses sur le terrain.

II.3.1. Aperçu Géologique

La région de Laghouat se compose de deux domaines structuraux : au Nord le domaine Atlasique, et au Sud le domaine saharien, ces deux domaines sont séparés par la Flexure Sud Atlasique. (HANNACHI.,1981)

Chapitre II : Matériels et méthodes

La Flexure Sud Atlasique : Cet accident sépare l'Atlas Saharien du Sahara, formé par des calcaires dolomitiques du Turonien, marne Cénomaniens ; cette séparation est visible dans le Kef Seridja au Sud de la ville de Bordj Snouci.

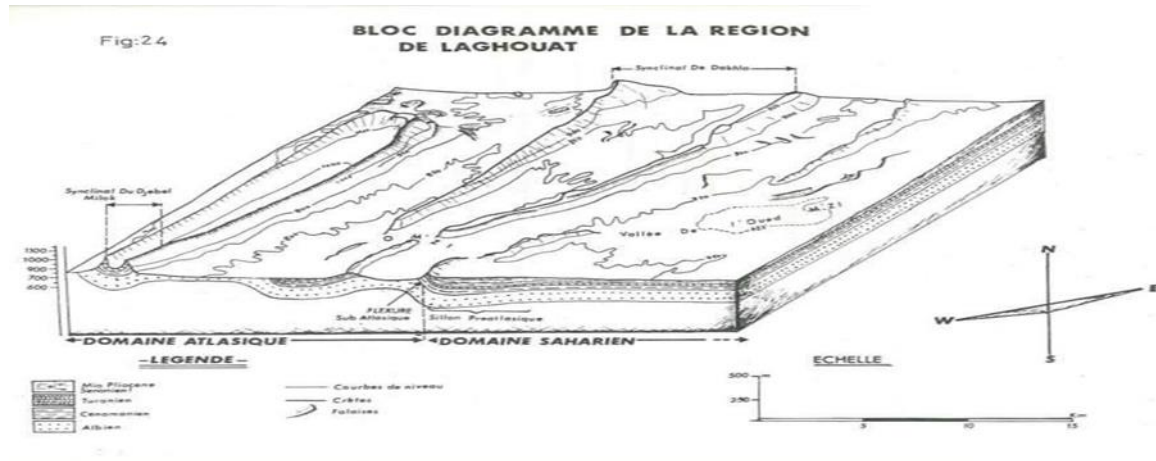


Figure. II.3 : Bloc Diagramme de la région de LAGHOUAT. (HANNACHI.,1981)

La géologie de l'Atlas saharien est formée essentiellement par des terrains attribués au Secondaire, allant de l'âge Trias au Crétacé supérieur. (CHETTIH., 2007)

- **La série de El Bayadh** : composée de 3 formations

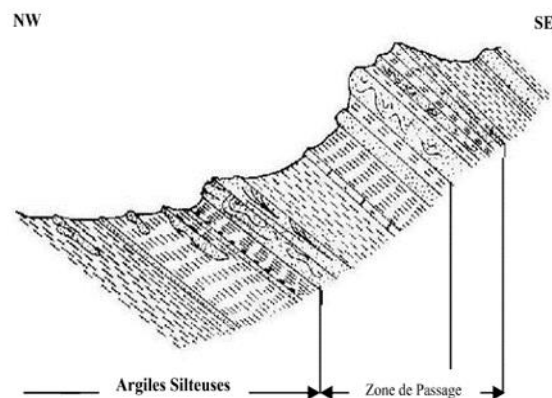


Figure.II.4 : Coupe schématique de djebel Laouidja (CHETTIH., 2007)

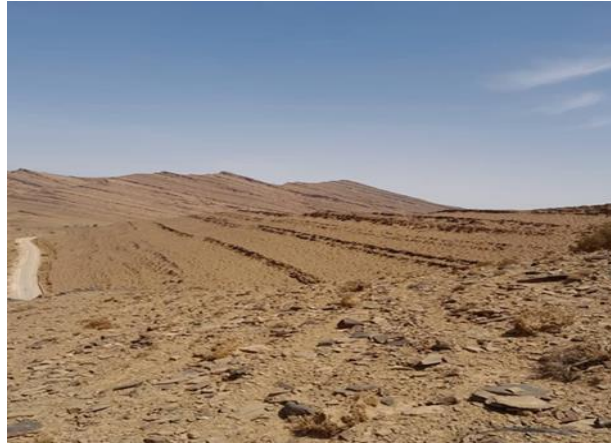


Photo.II.1 : La formation de Laoudja ([cliché originale., 2024](#))

- La première formation constitue les argiles de Kef l'Aouidja (500 m).
- La deuxième formation est une zone de passage composée d'une alternance de 7 séquences de grès et d'argiles attribués à l'Oxfordien (150 m).
- La troisième formation est composée de grès et de dolomies de Kerakda de l'âge Oxfordien (800 m).
- **La série de Brezina** : attribué au Kimmeridgien inférieur, composée de 3 formations

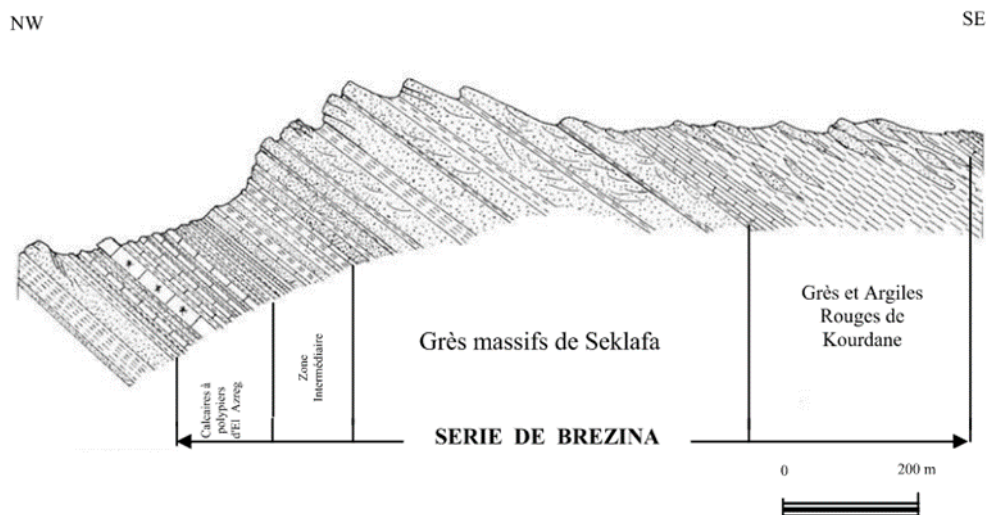


Figure.II.5 : Coupe schématique de djebel Seklafa ([CHETTIH.,2007](#))

- La formation des calcaires à polypiers de Djebel l'Azreg (300 m).



Photo.II.2 : Calcaires à polypiers (cliché originale, 2024)

- La formation de grès de Seklafa (300 m).



Photo.II.3 : Grès de Seklafa (cliché originale, 2014)

- La formation des grès et des argiles rouges de Kourdane (350 m au maximum).



Photo.II.4 : Des grès et des argiles rouges (cliché originale, 2024)

- **La série de Laghouat** : attribué au Kimmeridgien supérieur, commence par
 - **La sous-série de Tadjmout** : formée par des calcaires limachelliques suivie par des formations marno-gypseuses qui se terminent par des grès à chenaux de Taouiala avec une épaisseur totale de 800 m.



Photo.II.5 : Des calcaires limachelliques (cliché originale,2024)



Photo.II.6 : Formations marno-gypseuses (cliché originale,2024)

- **Au niveau du Crétacé inférieur**, commence la coupe de Djebel Milok qui a les mêmes caractéristiques géologiques que notre zone d'étude.

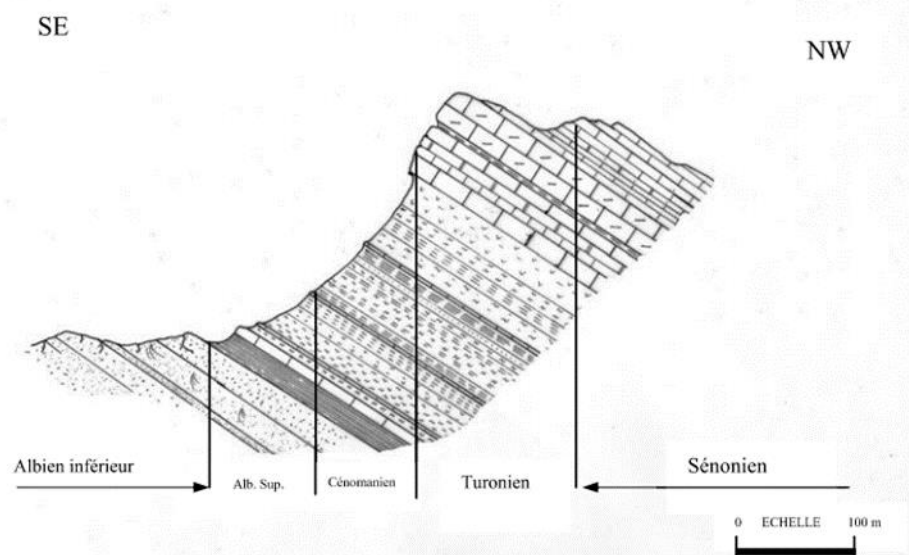


Figure.II.6 : Coupe schématique de djebel Milok (Chettih,2007)



Photo.II.7 : Djebel Milok (cliche originale,2024)



Photo.II.8 : Forage à Bordj Senouci (cliche originale,2024)

Nous avons une méga-séquence argilo-gréseuse (800 m d'épaisseur) de l'âge Barrémien.



Photo.II.9 : Grès à ciment argileux ([cliché original,2024](#))

Passant à l'Aptien qui compose des argiles versicolores, où elle s'arrête la coupe de Laghouat.



Photo.II.10 : Argiles versicolores ([cliché originale,2024](#))

- **La série de Boussaâda**
 - **Albien inférieur** : composé de grès à dragées de quartz



Photo.II.11 : Grès à dragées de quartz ([cliché originale,2024](#))

- **De l'Albien supérieur jusqu'au Cénomanién** : ce sont des formations marno-calcaires (100 m) et de marnes gypseuses (140 m).
- **Au Turonien** : on a trouvé du calcaire à silex.



Photo.II.12 : Calcaires à silex (cliché originale,2024)

- **Au Sénonien** : composé des formations des calcaires dolomitiques.



Photo.II.13 : Calcaires dolomitiques (cliché originale,2024)

II.3.2. Aperçu Hydrogéologique

Dans la région de Laghouat, on peut distinguer trois systèmes aquifères principaux : la nappe phréatique du Quaternaire, le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire (KHADAOUI., 2004) (tableau.II.1).

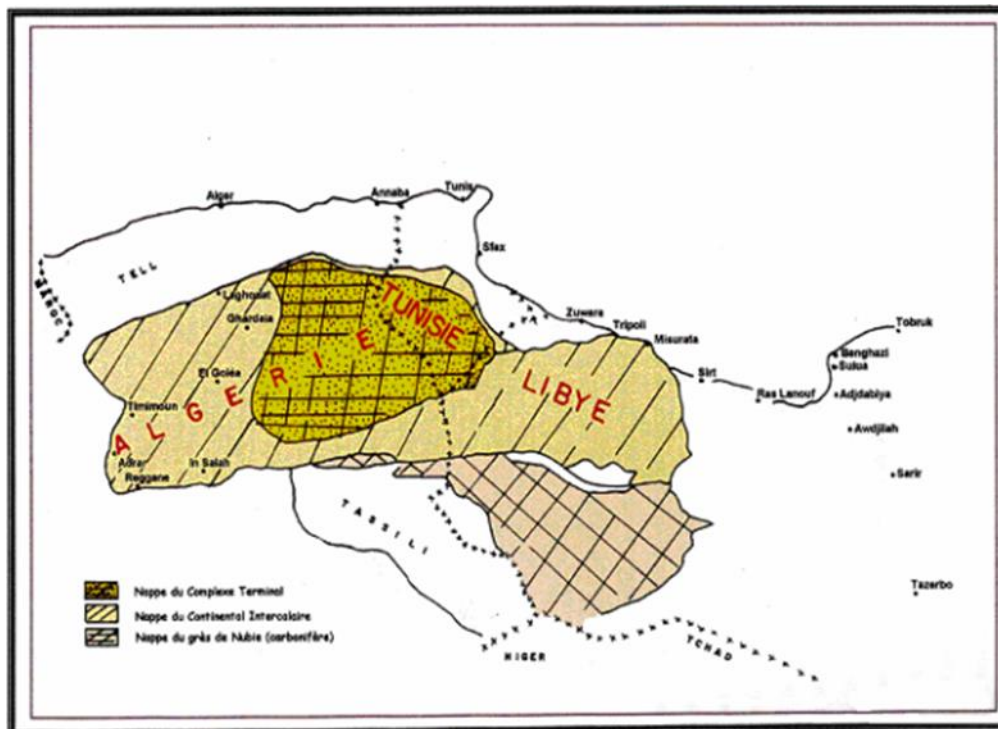


Figure.II.7 : Situation générale des aquifères du Sahara septentrional (CHABOUR., 2006).

Dans notre zone d'étude, nous avons identifié trois nappes d'eau essentielles :

- La nappe du Barrémien.
 - La nappe de l'Albien inférieur.
 - La nappe du Turonien.
- **La nappe du Barrémien** : C'est l'aquifère le plus important de la région du point de vue épaisseur qui dépassent les 800 m formé par des grès moyens blanchâtres et rougeâtres avec la présence des quelques niveaux argileux et considérée comme une nappe libre. (HANNACHI., 1981)
- **La nappe d'Albien inférieure** : c'est essentiellement détritique, gréseux avec une épaisseur de 250 m. Elle est assez fracturée. Les intercalations d'argiles sont importantes à la base et au sommet ; elles délimitent un ensemble aquifère pouvant donner de gros débits. (HANNACHI., 1981)
- **La nappe du Cénomani** : est formé de marno-calcaires. Les niveaux calcaires se présentent :
- En gros bancs (1m) individualisés au sein des marnes.
 - En petits bancs souvent, peu fracturés, colmatés par des sédiments marneux ou gypseux. (HANNACHI., 1981)

Chapitre II : Matériels et méthodes

- **La nappe du Turonien** : est essentiellement calcaire à silex avec une épaisseur de 130 m. Elle se présente souvent en gros bancs et peut contenir de l'eau dans ses fissures. (HANNACHI., 1981)
 - **La nappe Sénonien** : est caractérisé par des dépôts lagunaires (marneux, gypseux, et calcaires sublithographiques) absolument imperméable. (HANNACHI., 1981)
- L'ensemble des nappes du Barrémien et d'Albien inférieure formée la nappe du continentale intercalaire, tandis que l'ensemble des nappes du Turonien et du Sénonien formée la nappe du complexe terminale.

Tableau.II.1 : Log géologique et hydrogéologique de la région de Laghouat (CHABOUR., 2006).

UNITE stratigraphique	LOG Stratigraphique	Description Stratigraphique	Unite Litho-Stratigraphique	Unite Hydrogeologique
quaternaire		Alluvions	Continental	Nappe Phreatique
Mio-Pliocene		poudingues calc. gypseux sable, argile	Terminal	Nappe De Sable
Eocene Moy.		argile, gypse calc. dolomitique	Eocene Argilo-Evaporitique	Nappe de l'Eocene moyen Semi-impermeable
Eocene Inf.		Calc. blancs à silex.	Eocene Carbonaté	Nappe Calcaire
Sénonien Sup.		Calc. dolomitique	Sénonien Carbonaté	Impermeable
Sénonien Inf.		Alternance de calcaires et de marnes	Sénonien Lagunaire	
TURONIEN		calc. dolomitique calc.	Turonien Carbonaté	Nappe Calcaire Du Turonien
CENOMANIEN		Marno - Calc. Marnes Gypse	Cenomanien Argilo-Evaporitique	Impermeable
ALBIEN		Argiles Gres	Albien Argilo Gresoux	NAPPE DU "CONTINENTAL INTERCALAIRE"
APTIEN		calc. marnes argiles.gres.	Aptien lagunaire Gresoux	
BARREMIEN		Gres	Barremien Gresoux	

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.4. Prélèvement de l'eau et conservation

II.4.1. Stratégie de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (RODIER., 2009)

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté ou en polyéthylène haute densité (PEHD) avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau déionisée puis séchés, est recommandé.

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique, ces temps devront être réduits au minimum.

Pour prélever un échantillon d'eau en vue d'analyser le nitrate, il est recommandé de prélever au moins 250 ml d'eau. Il est crucial de conserver cet échantillon à une basse température et de réaliser l'analyse dans les 24 heures suivant le prélèvement, en évitant toute exposition à la lumière directe. Cette procédure garantit des résultats précis et fiables.

Pour faciliter le travail de l'analyse et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il convient d'étiqueter ou de numéroter très soigneusement les prélèvements. Chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements utiles au laboratoire ainsi que les observations relevées au cours des opérations (RODIER., 2009).

II.4.2. Echantillonnage

Notre étude a porté sur l'évaluation de la qualité des eaux de neuf forages dans la région de Borj Snouci. Pour mener à bien cette analyse, nous avons suivi une formation intensive au laboratoire d'analyse des eaux de l'ADE Laghouat pendant un mois. Cette formation nous a permis d'acquérir des compétences en techniques d'analyse physico-chimique, notamment le dosage des nitrates et l'analyse partielle. Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été réalisés mensuellement sur une période de quatre mois, de mars à juin 2024.

Chapitre II : Matériels et méthodes

Chaque échantillon d'eau a été prélevé directement aux tuyaux des forages après écoulement de l'eau. Tous les prélèvements d'eau ont été effectués à l'aide de flacons en verre d'une contenance de 250 ml. Au moment du prélèvement, les flacons ont été soigneusement rincés à trois reprises avec de l'eau à analyser, puis remplis jusqu'au bord. Chaque flacon a été étiqueté avec le nom du forage, le lieu, la profondeur et la date du prélèvement. Les échantillons ainsi préparés ont été conservés à une basse température jusqu'au moment du traitement des mesures.



Photo.II.14 : La stratégie de l'échantillonnage

II.5. Paramètres physico-chimiques

La détermination des paramètres physico-chimiques, nécessite l'utilisation de certains appareils qui seront cités par la suite :

- ✓ Appareil multi-paramètres
- ✓ Conductimètre
- ✓ Turbidimètre
- ✓ Spectrophotomètre
- ✓ Pipette graduée
- ✓ Etuve
- ✓ Bécher
- ✓ Agitateur magnétique

II.5.1. Analyse physique

II.5.1.1. La Température

La mesure de la température est effectuée sur le terrain à l'aide d'un multiparamètre portatif. Nous lirons directement la température exprimée en degré Celsius (°C).



Photo.II.15 : Détermination de la Température et du pH (in situ)

II.5.1.2. Mesure du pH

- ✓ **Mode opératoire** : Allumer le pH-mètre. Prendre une quantité suffisante d'échantillon pour immerger l'électrode et la sonde dans un bécher. Plonger l'électrode de pH dans l'échantillon. Attendre la stabilisation de la mesure pour effectuer la lecture. (Photo.II.16)
- ✓ **Expression de résultats** : La valeur du pH s'affiche sur l'écran de l'appareil.

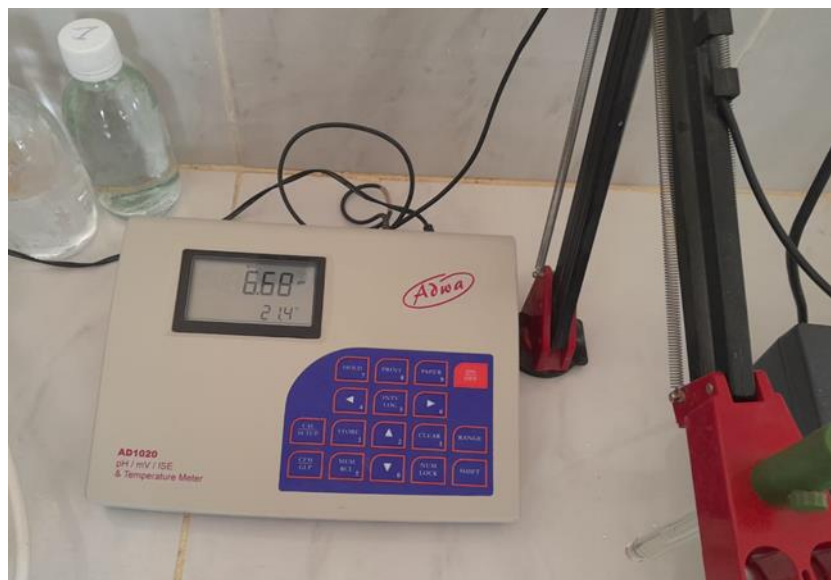


Photo.II.16 : Détermination de la Température et du pH (ex situ)

II.5.1.3. Mesure de la conductivité électrique

- ✓ **Mode opératoire** : Remplir un bécher avec une quantité suffisante d'échantillon pour l'immersion de l'électrode du conductimètre. Mettre l'électrode dans le bécher puis

Chapitre II : Matériels et méthodes

appuyer sur la touche Read. La valeur de la conductivité s'affiche sur l'écran de l'appareil.

- ✓ **Expression des résultats** : Les résultats s'expriment en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$).



Photo.II.17 : Détermination de la CE et le TDS

II.5.1.4. Le taux des sels dissous

La quantité des sels minéraux dissous influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale de sels minéraux dissous dans l'eau qu'est appelée le TDS. La mesure de la TDS se fait dans le laboratoire à l'aide d'un multi-paramètre, en mettant une quantité de l'eau analysée dans un bécher et on mesure.

II.5.1.5. Mesure de la turbidité

- ✓ **Mode opératoire** : Après avoir rempli la cuvette de mesure propre et bien essuyée avec du papier hygiénique, contenant l'échantillon à analyser, bien homogénéisé, effectuer la mesure rapidement. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulles d'air avant la mesure. La mesure de la turbidité a été réalisée à l'aide d'un turbidimètre
- ✓ **Expression des résultats** : les résultats obtenus sont exprimés en Unités de Turbidité Néphélométrique (UTN).



Photo.II.18 : Mesure de la turbidité

II.5.2. Dosage Des Nitrates

A. Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent des paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune susceptible d'un dosage spectrophotométrique (RODIER.,1996).

B. Matériel et appareils

- Etuve
- Spectrophotomètre U.V visible
- Bêchers / Fioles
- Pipettes
- Balance précis
- Baro-magnétique
- Agitateur magnétique

C. Réactifs

- Acide acétique 6 %
- Solution de salicylate de sodium 5 %

Chapitre II : Matériels et méthodes

- Acide sulfurique H₂SO₄ concentré
- Solution de nitrure de sodium
- Solution de Hydroxyde de sodium Na OH
- Eau distillée
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 10 mg/l

D. Préparation des solutions :

➤ Solution mère étalon de nitrate à 1000 mg /l.

Pour obtenir une solution mère de nitrate à une concentration de 1000 mg/l, il a été préparé 0,137 g de nitrate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.

➤ Solution d'hydroxyde de sodium 20% (Na OH).

Pour préparer une solution d'hydroxyde de sodium à 20%, 20 g de NaOH ont été dissous dans une fiole jaugée de 100 ml contenant également 100 ml d'eau distillée. La dissolution et le mélange ont été effectués dans un agitateur magnétique. (Photo.II.19)

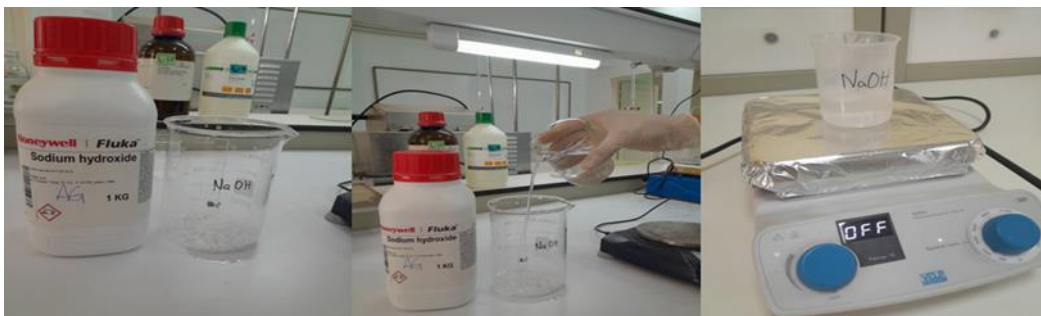


Photo.II.19 : Préparation de solution d'hydroxyde de sodium

➤ Solution de salicylate de sodium à 5%

Une solution de salicylate de sodium à 5% est obtenue en dissolvant 5g de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée. Cette solution doit être renouvelée toutes les 24 heures pour garantir son efficacité. (Photo.II.20)



Photo.II.20 : Préparation de solution de salicylate de sodium

➤ Solution de Nitrure de sodium

Pour préparer une solution de nitrure de sodium, nous avons mesuré 0,05 g de nitrure de sodium dans un bécher, ajouté 100 ml d'eau distillée, puis dissous le soluté dans un agitateur. (Photo.II.21)



Photo.II.21 : Préparation de solution de nitrure de sodium

II.5.2.1. Principe de dosage des nitrates par spectrophotométrie en UV

Cette méthode est utilisée uniquement pour des eaux contenant une très faible quantité de matières organiques (REJSEK., 2002). Elle est donc applicable pour des eaux souterraines (eaux de forage ou de puits).

II.5.2.2. Courbe d'étalonnage

Une solution mère de nitrates de 100 mg-NO₃⁻/l a été préparée en faisant dissoudre 0,137 g de nitrate de sodium dans 100 ml d'eau distillée. A partir de la solution mère à 100 mg-NO₃⁻/l, on prépare une série des solutions étalons de 0 à 10 mg-NO₃⁻/l dans l'eau distillée.

Chapitre II : Matériels et méthodes

Pour chaque solution étalon, une quantité spécifique (0, 1, 2, 5, 6, 8, 10 ml) de la solution mère étalon à 10 mg/l a été introduite dans des fioles jaugées de 10 ml. Le volume a été ajusté au trait de jauge à 10 ml en ajoutant de l'eau distillée. (Tableau II.2)

Tableau II.2 : Tableau d'étalonnage

N° de capsule	T	1	2	3	4	5	6
Solution mère à 10 mg/l	0ml	1ml	2ml	5ml	6ml	8ml	10ml
Eau distillé (ml)	10ml	9ml	8ml	6ml	4ml	2ml	0ml
Acide acétique 6 %	4gts	4gts	4gts	4gts	4gts	4gts	4gts
Solution en ml de Nitrure de Na 0.5 %	8gts	8gts	8gts	8gts	8gts	8gts	8gts
Solution en ml de salicylate de Na 5 %	0.5ml	0.5ml	0.5ml	0.5ml	0.5ml	0.5ml	0.5ml
Evaporation à 110°C							
Acide sulfurique H2So4 concentré en ml	16gts	16gts	16gts	16gts	16gts	16gts	16gts
Laisser reposer 10mn							
Hydroxyde de Na en ml 20 %	10ml	10ml	10ml	10ml	10ml	10ml	10ml

Dans chaque fiole, 4 gouttes d'acide acétique, 8 gouttes de nitrure de sodium et 0,5 ml de salicylate de sodium ont été ajoutés. Ensuite, une évaporation à sec a été réalisée dans une étuve à 110°C. Après refroidissement, 16 gouttes d'acide sulfurique concentré ont été ajoutées à chaque fiole. Les fioles ont été laissées à reposer pendant 10 minutes. Après 10 minutes, 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium ont été introduits dans chaque fiole. (Photo.II.22)



Photo.II.22 : Les étapes de l'étalonnage

C'est la gamme de linéarité pour cette méthode de dosage des nitrates. Pour chaque solution étalon on lit l'absorbance sur le spectrophotomètre UV/Visible à une longueur d'onde égale à 415 nm, les valeurs d'absorbance ainsi obtenues sont présentées graphiquement afin d'obtenir l'équation de la courbe d'étalonnage suivante :

$$\text{Absorbance } (\lambda = 415\text{nm}) = f(\text{Concentration de NO}_3^- \text{ en mg/l})$$

Sur la figure.II.9 on présente un exemple de la courbe d'étalonnage utilisée pour la détermination de la teneur en nitrates dans les échantillons d'eau.

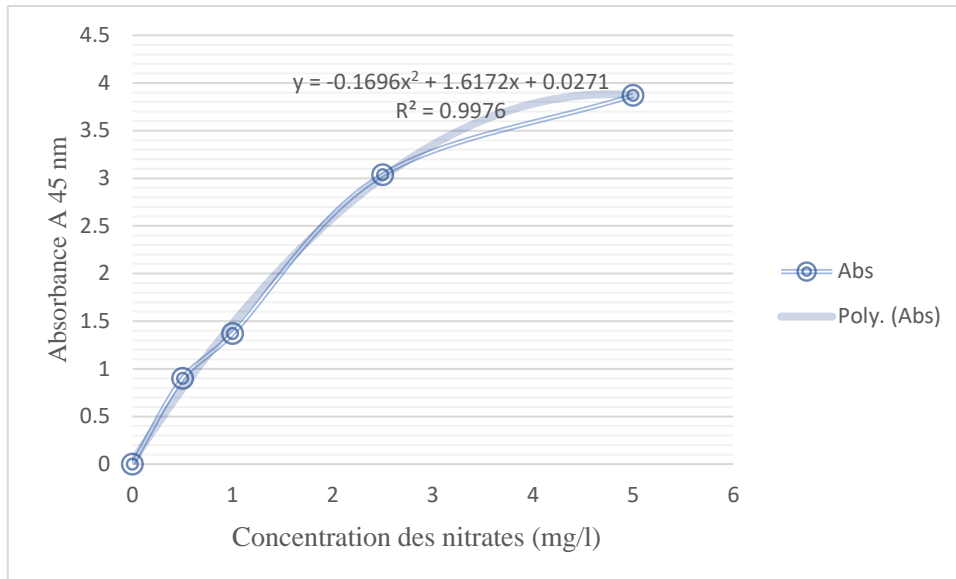


FIGURE.II.9 : Courbe d'étalonnage de la mesure des teneurs en nitrates ($\lambda = 415$ nm).

II.5.2.3. Détermination de la teneur en nitrates dans un échantillon d'eau

On lit l'absorbance de l'échantillon sur le spectrophotomètre en UV et on détermine sa teneur en nitrates (mg/l) en utilisant l'équation de la courbe d'étalonnage précédemment tracée : Concentration en $\text{NO}_3^- = f^{-1}$ (Absorbance)

II.5.2.4. Dosage de l'échantillon

Un échantillon de 10 ml est prélevé. Ensuite, dans cet échantillon, on ajoute 4 gouttes d'acide acétique, 8 gouttes de nitrate de sodium et 0,5 ml de salicylate de sodium. Cette préparation est ensuite évaporée à sec dans une étuve réglée à 110°C . Après cette étape, le résidu est repris, auquel on ajoute 16 gouttes d'acide sulfurique concentré, puis on laisse le tout reposer pendant 10 minutes. Après cette période, 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) sont ajoutés à la solution. Enfin, la lecture de la solution est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible, en utilisant une longueur d'onde de 415 nm pour obtenir les résultats de l'analyse de la concentration en nitrates dans l'échantillon. (Photo.II.23)

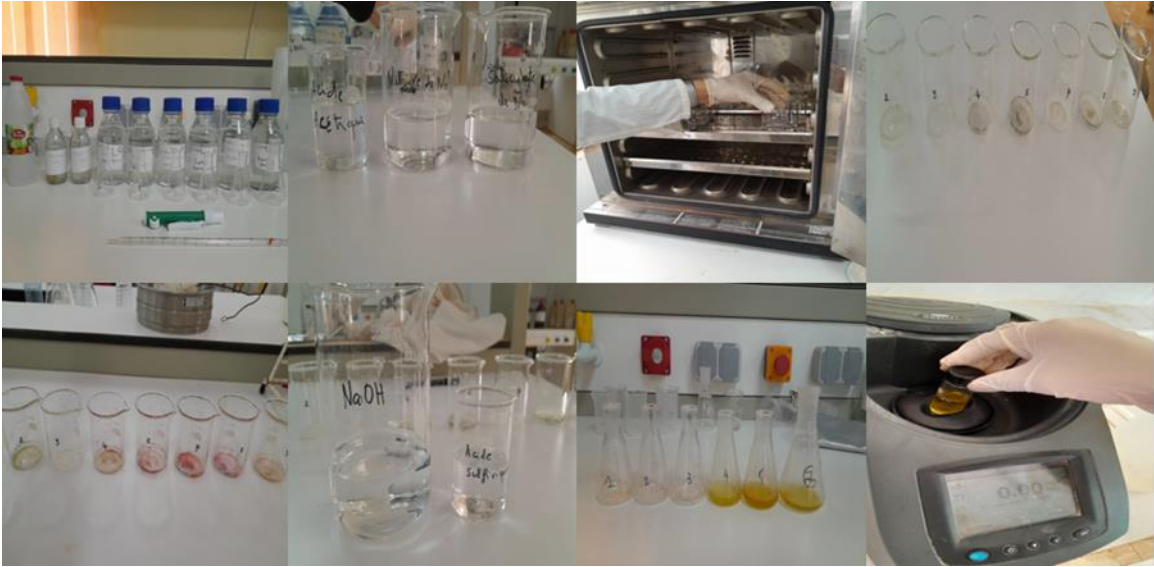


Photo.II.23 : Dosage des nitrates

Chapitre III :
Résultats
Et discussions

Chapitre III : Résultats Et Discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Résultats et discussion des analyses physico-chimiques

III.1.1. Analyse physique

III.1.1.1. Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyses dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment), il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. La température joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous. Dans la détermination de pH. (RODIER ET AL., 1996)

Les variations des valeurs de température de l'eau pour tous les forages sur les quatre mois sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau.III.1 : Résultats de la mesure de la température °C des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois, 2024.

Forage	Senouci mohamed	Chraife	Senouci thamer	Lakri	Djoudi	Témoin	ACV	Houari	Naciri
T° de Mars	1	4	9	8	17.2	17	16.2	20.6	ND
T° d'Avril	2	7		3	6	ND	8	23	22
T° de Mai	3	3	6	5	6	ND	26.2	22.3	23.7
T° de Juin	4	7	5	9	9	ND	28.5	ND	25.2
Norme	4	3	3	3	3	30	30	30	30

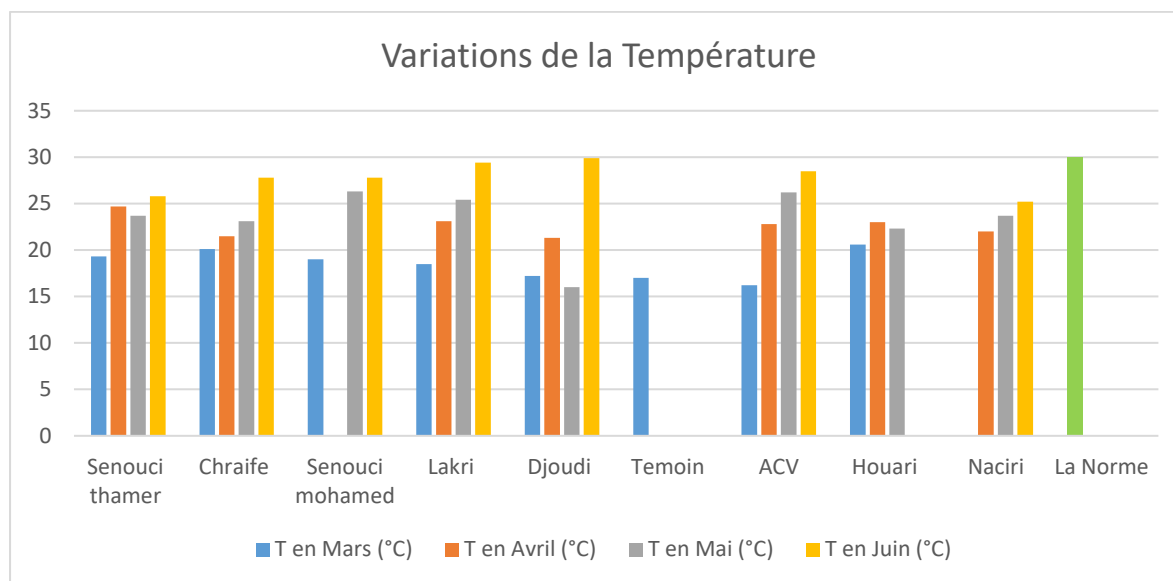


Figure.III.1 : Variations de la température enregistrés dans les forages de Bordj Senouci

Le graphique montre la fluctuation de la température de l'eau dans différents forages de Bordj Snouci sur une période de 4 mois. Nous avons observé des valeurs similaires situées entre 16 et 29,9 °C, toutes restant inférieures à la limite de 30 °C fixée par l'Organisation mondiale de la santé. Certaines températures sont proches de cette limite, tandis que d'autres sont nettement en dessous.

III.1.1.2. Le potentiel d'hydrogène

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu, il résulte de la composition ionique de l'eau (AMINOT ET KEROUEL., 2004). Il est inférieur ou supérieur à 7, suivant que l'eau est acide (Ph inférieur à 7) ou basique (Ph supérieur à 7). Une solution est neutre lorsqu'il y'a autant de H3O+ que de OH-. Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traverser (DUSSART., 1966 ; BERMOND ET VUICHARD., 1973). Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris entre 6 et 9.

Les valeurs du Ph sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau.III.2 : Résultats de la mesure du pH des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois 2024.

Chapitre III : Résultats Et Discussions

	Forage	Senouci mohamed	Chraife	Senouci thamer	Lakri	Djoudi	Témoin	ACV	Houari	Naciri
In situ	pH de Mars	7.3	7.2	7.9	7.16	7.37	6.43	7.4	7.2	ND
	pH d'Avril	7.5	7.52	ND	7.38	7.56	ND	7.53	7.24	7.4
	pH de Mai	7.3	7.64	6.6	7.4	7.5	ND	7.4	7.4	7.4
	pH de Juin	7.62	7.39	7.6	7.64	7.55	ND	7.55	ND	7.9
Ex situ	pH de Mars	7.3	7.2	7.9	7.16	7.37	6.43	7.4	7.2	ND
	pH d'Avril	7.43	7.14	ND	7.26	7.39	ND	7.38	7.34	7.05
	pH de Mai	7.1	6.9	7.2	6.95	7.5	ND	7.4	6.96	7
	pH de Juin	6.43	5.47	6.62	6.18	6.82	ND	6.53	ND	6.39
Norme inférieur		6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Norme supérieur		9	9	9	9	9	9	9	9	9

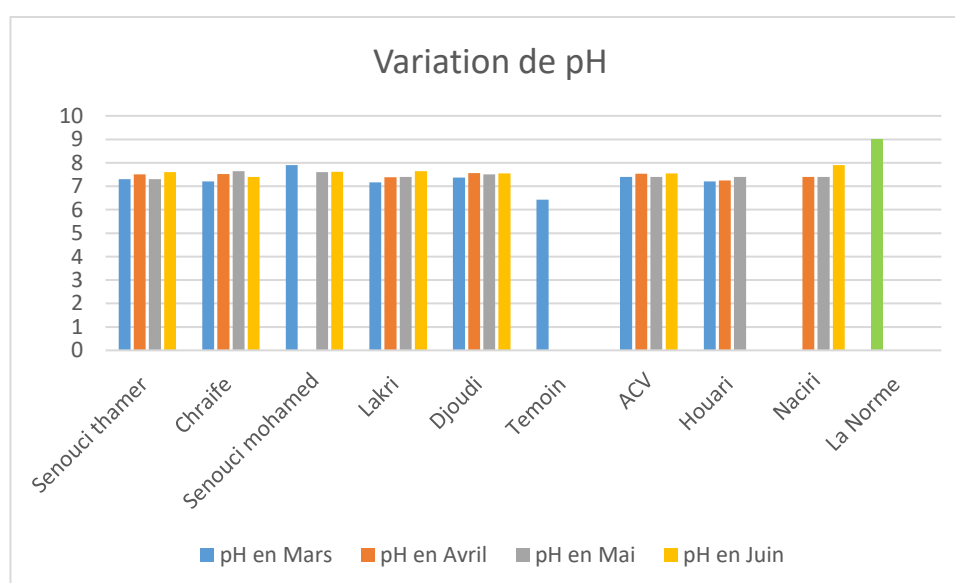


Figure.III.2 : Variations des teneurs du pH enregistrés dans les forages de Bordj Senouci

Les valeurs de pH enregistrés sur les 4 mois montrent une variation de légèrement acide au forage témoin avec une valeur de 6,4 à neutre et alcalin dans tous les autres forages allant de 7,2 à 7,9, restant inférieurs à la norme fixée par l'Organisation mondiale de la santé. Ces variations peuvent être attribuées à la composition géologique du substrat, notamment la présence de roches calcaires, qui pourrait contribuer à l'augmentation du pH de l'eau.

III.1.1.3. La conductivité électrique

Elle exprime la capacité de conduction de courant électrique d'une eau, toute eau est plus ou moins conductrice. Cette conductivité électrique est liée à la présence des ions dans l'eau, de ce fait il existe une relation entre la teneur des sels dissous d'une eau et sa conductivité. La

Chapitre III : Résultats Et Discussions

mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau. C'est-à-dire la conductivité électrique constitue de ce fait un critère d'appréciation de la minéralisation. Une conductivité électrique élevée traduit soit une température élevée, soit le plus souvent une salinité élevée comme elle peut conduire à un entartrage des conduites. (RODIER, 1984).

Les valeurs enregistrées de la conductivité sont représentées sur les tableaux suivants :

Tableau.III.3 : Résultats des mesures du Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) des forages de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois, 2024.

	Forage	Senouci mohamed	Chraife	Senouci thamer	Lakri	Djoudi	Témoin	ACV	Houari	Naciri
In situ	CE d'Avril									
	CE de Mai									
	CE de Juin									
Ex situ	CE de Mars									
	CE d'Avril									
	CE de Mai									
	CE de Juin									
Norme										

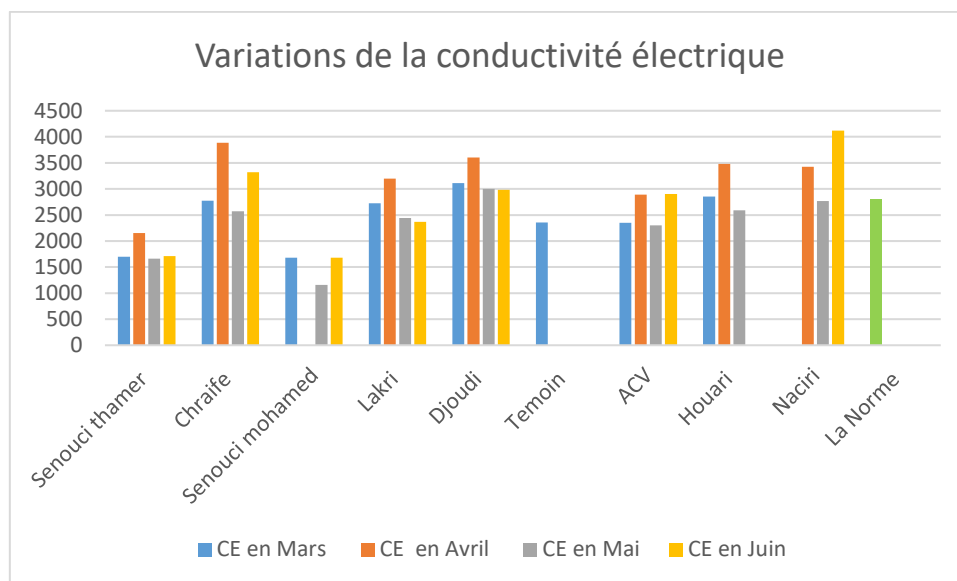


Figure.III.3 : Variations de la Conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$) enregistrés dans les forages de Bordj Senouci

Le graphique (Fig.III.3) illustre les variations de la conductivité électrique sur une période de quatre mois. En mars, les forages Senouci Thamer et Senouci Mohamed présentent une conductivité inférieure à la norme de $2800 \mu\text{S/cm}$, tandis que le forage Djoudi dépasse cette norme avec une conductivité de $3113 \mu\text{S/cm}$.

En avril, on observe des écarts entre les mesures in situ et ex situ de la conductivité, probablement dus à des variations de température qui influent sur la mobilité des ions dans la solution, tous des forages affichent une conductivité supérieure à la norme à l'exception de Senouci Thamer, suivie d'une diminution en Mai pour tous les forages sauf le forage de djoudi qui dépasse la norme. Ces variations semblent être influencées par des facteurs hydrogéologiques spécifiques à chaque site de forage.

En juin, les forages Senouci Thamer, Senouci Mohamed et Lakri présentent une conductivité inférieure à la norme de $2800 \mu\text{S/cm}$, tandis que les forages Chraïfe, Djoudi et Naciri dépassent cette norme. Il est important de noter que le forage Naciri dépasse largement la norme avec une conductivité de $4740 \mu\text{S/cm}$ in situ et $4120 \mu\text{S/cm}$ lors de la mesure ex situ, Cette conductivité élevée dans le forage Naciri, due à sa proximité avec l'accident sud-atlasique où le Barrémien est en contact direct avec les argiles de Cénomaniens, peut avoir des implications importantes sur la composition chimique de l'eau captée par ce forage. Cela souligne l'importance de prendre en compte les caractéristiques géologiques locales lors de l'évaluation de la qualité de l'eau dans cette région.

Chapitre III : Résultats Et Discussions

Le forage Djoudi maintient une conductivité supérieure à la norme tout au long des quatre mois, ce qui pourrait être lié au contact direct de la nappe du Barrémien avec les marnes et les argiles à gypse du Cénomaniens.

III.1.1.4. La Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (REJSEK., 2002).

Tableau.III.4 : Résultats des mesures de la turbidité (NTU) des forages de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois, 2024.

Forage	Senouci mohamed	Chraife	Senouci thamer	Lakri	Djoudi	Témoin	ACV	Houari	Naciri
Mars									
Avril									
Mai									
Juin									
Norme									

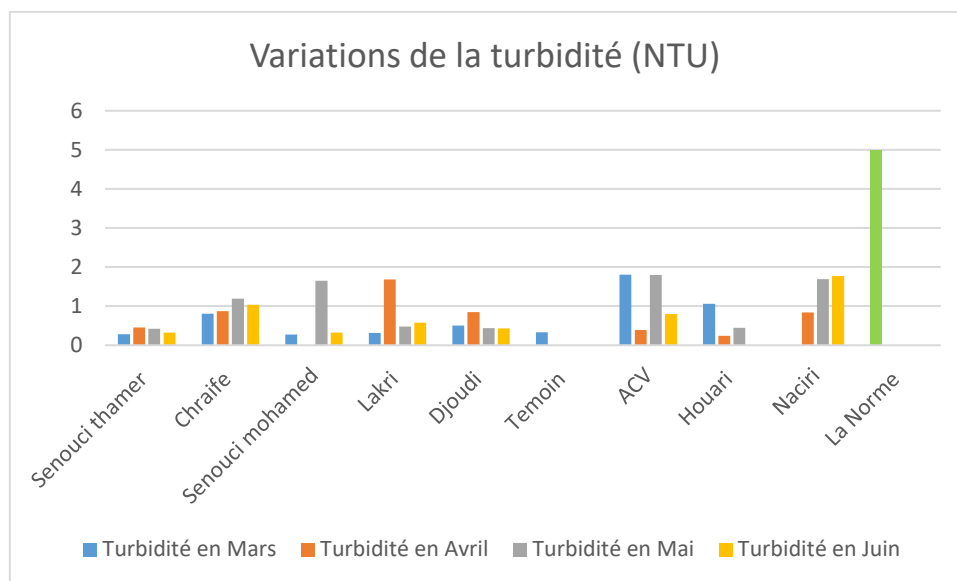


Figure.III.4 : Variation des teneurs de la turbidité enregistrés dans les forages de Bordj Senouci

Selon les normes algériennes, la turbidité de l'eau ne doit jamais dépasser 5 NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique). Dans l'ensemble, tous les forages semblent respecter cette norme en termes de turbidité, avec des valeurs qui varient de 0,8 NTU à 1,81 NTU, ce qui témoigne d'une eau claire sans présence significative de matières en suspension. Cependant, une observation révèle une augmentation de la turbidité de l'eau en mai par rapport à mars et avril dans certains forages. Ces variations peuvent être influencées par plusieurs facteurs, notamment les déchets provenant de l'élevage et l'intensification de l'activité agricole.

III.1.1.5. Le TDS (Total Dissolved Solids)

La quantité totale d'ions chargés mobiles, y compris les minéraux, les sels et les métaux dissous dans un volume donné d'eau, exprimé en mg/l ou en particules par million (ppm).

Tableau.III.5 : Résultats de la mesure de TDS (mg/l) des eaux de la région de Bordj Senouci sur les trois mois (Avril, Mai, Juin),2024.

Chapitre III : Résultats Et Discussions

	Forage	Senouci mohamed	Chraife	Senouci thamer	Lakri	Djoudi	Témoin	ACV	Houari	Naciri
In situ	TDS d'Avril									
	TDS de Mai									
	TDS de Juin									
Ex situ	TDS d'Avril									
	TDS de Mai									
	TDS de Juin									
Norme										

Le graphique indique (Fig.III.5) que toutes les valeurs de TDS des forages au cours des trois mois dépassent la norme de 1000 mg/l à l'exception de forage Senouci mohamed. Cette situation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment l'utilisation intensive d'engrais chimiques dans l'agriculture et les activités d'élevage. De plus, la sécheresse dans les régions arides et semi-arides peut entraîner une concentration des sels et des minéraux par évaporation.

III.3.2. Analyse chimique

III.3.2.1. Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées

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

Tableau.III.6 : Résultats des mesures du nitrate (mg/l) des eaux de la région de Bordj Senouci sur les quatre mois, 2024.

Forage	Senouci mohamed	Chraife	Senouci thamer	Lakri	Djoudi	Témoin	ACV	Houari	Naciri
--------	-----------------	---------	----------------	-------	--------	--------	-----	--------	--------

Chapitre III : Résultats Et Discussions

Mars									
Avril									
Mai									
Juin									
Norme									

Au mois de Mars, la plupart des valeurs enregistrées sont principalement inférieures à la norme de 50 mg/l. Cependant, le forage F5 (Djoudi) présente une teneur de 59 mg/l, dépassant ainsi la norme. Les autres forages demeurent en dessous de cette limite, avec des valeurs allant de 11,1 mg/l (F2 : Chraife) à 41 mg/l (F8 : Houari).

Au mois d'Avril, une augmentation significative des teneurs en nitrates est observée dans la majorité des forages. Le forage F1 (Senouci Thamer) passe de 15 mg/l en mars à 43,2 mg/l en avril, tandis que le forage F2 (Chraife) augmente de 11,1 mg/l à 37,7 mg/l. Le forage F4 (Lakri) montre une augmentation de 23,1 mg/l à 43 mg/l, tandis que le forage F5 (Djoudi), déjà au-dessus de la norme en mars, voit ses nitrates augmenter de manière significative à 90,5 mg/l. Le forage F7 (ACV) passe de 21 mg/l à 49,7 mg/l, approchant de la limite, tandis que le forage F8 (Houari) augmente légèrement de 41 mg/l à 43,4 mg/l. Le forage F9 (Naciri), pour lequel les données de mars ne sont pas disponibles, présente une valeur élevée de 69,4 mg/l en avril, dépassant également la norme.

Au mois de Mai, une baisse des teneurs en nitrates est constatée dans tous les forages. Le forage F1 (Senouci Thamer) voit sa concentration diminuer à 39,3 mg/l, tandis que F2 (Chraife) chute à 21,4 mg/l. Le forage F3 (Senouci Mohamed), pour lequel les données d'avril sont manquantes, affiche une valeur de 17,1 mg/l. Le forage F4 (Lakri) connaît une légère augmentation par rapport à avril, atteignant 47,1 mg/l, restant toujours en deçà de la norme. Le forage F5 (Djoudi), après avoir largement dépassé la norme en avril, revient à 34,2 mg/l en mai. Le forage F7 (ACV) voit également sa concentration baisser à 28,9 mg/l, tandis que F8 (Houari) affiche 33,4 mg/l. Quant au forage F9 (Naciri), qui présentait une concentration élevée en avril, elle diminue à 25 mg/l en Mai.

En Juin, les concentrations de nitrates diminuent et aucun forage ne dépasse la norme. Cela pourrait également être influencé par les précipitations de fin mai et de début juin favorisant l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol, ce qui dilue les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines, les cultures agricoles, en pleine croissance, absorbent activement

Chapitre III : Résultats Et Discussions

les nitrates, diminuant ainsi la quantité de nitrates susceptible d'être lessivée vers les eaux souterraines.

Les ions nitrates sont très mobiles dans le sol et, étant chargés négativement, ces ions ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique, ce qui favorise leur lessivage et augmente le risque de pollution des eaux profondes par les nitrates

Les variations des teneurs en nitrates pourraient être attribuées à plusieurs facteurs, tels que :

- Le lessivage des engrais azotés utilisés en agriculture, les besoins élevés en fertilisation de plantes comme la luzerne,
- Les excréments issus de l'élevage,
- Les pratiques agricoles (comme l'irrigation par aspersion), et le type de nappe.

La nappe libre du Barrémien, étant perméable, se trouve particulièrement exposée à la pollution, en raison de l'absence d'une couche protectrice imperméable limitant la pénétration des polluants dans l'aquifère. Les augmentations observées en avril pourraient être attribuées aux excréments issus de l'élevage, à l'irrigation par aspersion et à une intensification de l'utilisation d'engrais avant la saison de croissance, tandis que les diminutions en mai pourraient résulter d'une réduction de cette utilisation d'engrais ou de la mise en pratique de périodes de jachère par les agriculteurs. Pendant cette période, les terres sont laissées en repos, sans culture ni fertilisation, ce qui permet au sol de se régénérer naturellement et de réduire la pression exercée sur les ressources en eau et en nutriments. La jachère favorise ainsi la restauration des nutriments du sol et limite le lessivage des nitrates, contribuant ainsi à la baisse des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines. En juin, la diminution des taux de nitrates dans les eaux souterraines continue, principalement en raison des précipitations qui ont eu un effet dilutif. Les précipitations ont été modérées, l'eau de pluie peut avoir pénétré progressivement dans le sol sans provoquer un lessivage rapide des nitrates. Ce type de précipitation favorise une infiltration plus uniforme et une recharge lente des eaux souterraines, ce qui contribue à la dilution des nitrates.

Conclusion

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'analyser l'évolution de la pollution nitratée dans la région de Bordj Senouci afin d'identifier son origine principale. Les résultats montrent une dégradation de la qualité des eaux souterraines, avec des variations significatives des teneurs en nitrates selon les périodes d'échantillonnage.

Le pH, la température et la turbidité des eaux souterraines de Bordj Senouci sont acceptables et conformes aux exigences de l'OMS. Cependant, la conductivité électrique (CE) et le total des solides dissous (TDS) indiquent une qualité d'eau inférieure aux normes de l'OMS, particulièrement pour les forages situés à proximité de la flexure Sud-atlasique, où la nappe du Barrémien est en contact direct avec les marnes et les argiles à gypse du Cénomanién.

Les variations des niveaux de nitrates dans les eaux analysées au niveau de la zone d'étude peuvent être attribuées, d'une part, à la gestion des fertilisants et aux pratiques agricoles. D'autre part, le type de nappe barrémienne, qui est une nappe libre vulnérable, accentue le processus de pollution. Par ailleurs, le système d'irrigation adopté dans la région d'étude (irrigation par aspersion) contribue efficacement à aggraver la situation et à augmenter la vulnérabilité des eaux à la pollution nitrique.

La pollution des eaux souterraines par les nitrates entraîne des risques environnementaux majeurs. Elle peut causer une eutrophisation des plans d'eau, affectant la biodiversité aquatique et les écosystèmes terrestres. De plus, elle perturbe les cycles biogéochimiques naturels et rend l'eau impropre à la consommation humaine. Cette forme de pollution compromet la santé des écosystèmes, la biodiversité et la qualité de l'eau potable, ainsi qu'elle contribue à des problèmes de santé humaine tels que les maladies infectieuses et le cancer. De plus, elle affecte la qualité du sol et la productivité des cultures.

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

Dans le cas de la pollution diffuse des ressources en eau souterraines par l'ion nitrate, on recommande que :

Conclusion générale

-La fertilisation azotée soit adaptée aux besoins des cultures pour un niveau de rendement optimum et aux potentialités du milieu, en tenant compte du potentiel de minéralisation de la matière organique native du sol.

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

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

**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- ABDELBAKI C., BOUKLI H. 2007. Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. Revue des énergies renouvelables, Volume 10, N°02, 257-263.
- ACHIRI O et BOUZIANE Y., 2014 : Diagnostique qualitatif des eaux potables distribuées pour l'alimentation dans la ville d'el oued. Diagnostique Système Alimentation en eau potable, Université El- Oued, p70.
- AMINOT, A. ET KEROUEL, R. 2004. Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Éditions Ifremer, France.
- ANCTIL, FRANÇOIS ; ROUSSELLE, JEAN ; LAUZON, NICOLAS. 2012. Hydrologie : cheminements de l'eau. Presses inter Polytechnique, 2012.
- BAALI F., ROUABHIA A., KHERICI N., DJABRI L., BOUCHAOU L., HANI A. 2007. Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (Nord-Est Algérien). Estudios geológicos, Volume 63, N°02, 127-133.
- BADRA A.S. 2010. Gestion optimisée des ressources en eau d'une nappe côtière. Application à la plaine d'Annaba (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat en génie civil. Université Lille, France.
- BANAS D., LATA J.C. 2006. Les nitrates. Université Paris-Sud ; Laboratoire d'écologie, systématique et évolution, 10.
- BARDAI H. ET AL., 2004. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril 2004.
- BEAUCHAMP J., 2006. L'eau souterraine : éléments d'hydrogéologie. Université de Picardie Jules Vernes.
- BENTAHAR FATIHA, 2007. Cartographie hydrogéologique des eaux souterraines du plateau de Mostaganem et du bas Chélif (Nord-ouest Algérie). Thèse magistère, Université des sciences de la technologie Houari Boumediene, USTHS, Bab Ezzouar, Alger.
- BENTOUATI L., BOUZIDI A. 2011. Etude de la qualité des eaux souterraines de la wilaya Sétif. Science Lib, Volume 3, N°111207, 1-10.
- BERGSTROM, L., JOHANSSON, R. 1991. Leaching of nitrate from monolith lysimeters of different types of agricultural soils. J. Environ. Qual., 20, no.4 :801-807 .
- BERMOND R., VUICHAARD R., 1973 : Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179p.

Références bibliographiques

- BESBES M. 2010. Hydrogéologie de l'ingénieur, Centre de Publication Universitaire, Tunisie, ISBN : 978-9973-37-617-6, 350 p.
- BETTAHAR N., BENAMAR A.A., KETTAB A., DOUAOUI A. 2009. Risque de pollution nitrate des zones semi-arides, cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien). Revue des sciences de l'eau, Volume 22, N°01, 69-78.
- BLIFFERT C., PERRAUD R. 1997. Chimie de l'environnement : Techniques de L'ingénieur. Paris. 3940 pp.
- BNEDER, 1999 : Plan de développement des régions sahariennes, Alger, 47 p.
- BORG, G.CH., JANSSON, P.EET LINDÉN, B. 1990. Simulated and measured nitrogen conditions in a manured and fertilized soil. Plant Soil, 121 :251-267.
- BOUALLA N., BENAOUA H.H. 2011. Variabilité et répartition des nitrates dans les systèmes aquifères : Cas du bassin sebkha d'Oran. Science Lib, Volume 3, N°111106, 9.
- BOUCENNA F, 2009. Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale d'oued Djendjen, mémoire de magister, université de Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- BOUDJADJA A., MESSAHEL M., PAUC H. 2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord. Revue des sciences de l'eau, Volume 16, N°03, 285-304.
- BOUGHERARA.H, 2008. La dénitrification par l'utilisation d'une culture mixte. Thèse de doctorat. Univ constantine, 148p.
- BOULIER FLORENT, 2011 : Retour d'expérience des opérations de lutte contre la pollution diffuse d'origine agricole ; AgroParisTech-ENGREF ; Centre de Montpellier 17p.
- BRIAND.C, 2014. Approche multi-traceurs pour la détermination de l'origine des nitrates dans les eaux souterraines : exemple d'une source karstique dans les landes. Thèse de doctorat en science de l'environnement. Univ Pierre et Marie curie, 297p.
- BRINIS N. 2011. Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride, cas de l'aquifère d'El-Outaya, région Nord-Ouest de Biskra. Algérie. Thèse de Doctorat en hydraulique. Université Mohamed Kheider, Biskra, Algérie.
- CAMPBELL, N.A., et REECE, J.B.2005. Biology 7ème édition. SAN FRANCISCO : Benjamin Cummings.
- CHABOUR, N. 2006. Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. UM-Constantine/Algeria : Thesis.
- CHEKROUD H. 2007. Etude de la pollution des eaux de la plaine de Telezza due aux activités agricoles et commerciales. Mémoire de Magister en chimie. Université du 20 Août 1955, Skikda, Algérie.

Références bibliographiques

- CHETTIH MOHAMED,2007. analyse fonctionnelle de quelques systèmes aquifères de l'Atlas saharienne Centrale, thèse de doctorat, faculté des sciences de la terre de géographie et de l'aménagement du territoire, Université STHB Alger.
- CLAUDE CARDOT., 1999. Les traitements de l'eau. Procédés physicochimiques et biologiques. Edition Ellipses.
- COSANDEY, CLAUDE et al. 2003 : Les eaux courantes : Géographie et environnement. Édition Belin, Paris, 239 p.
- DEFFA Khaled,2020. PERIMETRES DE PROTECTION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED BISKRA.Master. Département de Génie Civil et d'Hydraulique. Université Mohamed Khider- Biskra.
- DEGREMONT, 2005. Mémento technique de l'eau, 10ème édition Lavoisier, Technique et documentation, Paris.
- DIB I. 2010. L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine-Ain Yaghout (Est Algérien). Mémoire de Magister en hydraulique. Université El-Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.
- DROUICHE A., REZEG A., BOUGHERIRA N., HAMZAOUI W., DJABRI L. 2011. Mise en évidence d'une pollution des eaux par les nitrates au niveau de la nappe du Miopliocène d'ElGhrous (Biskra), 1er Séminaire international d'étude sur l'agriculture biologique et développement durable. Les 13 et 14 Février, Oran, Algérie, écotoxicologiques sur les
- DUSSART B., 1966 : Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier Villars, Ed., Paris
- EKWUE, EI. 1991. Effect of organic and fertilizer treatments on soil physical properties and erodibility. Soil and Tillage Research, 22 : 199-209.
- FAO, 2005 : Rapports Sur L'eau ; L'irrigation en Afrique en chiffres ; Enquête AQUASTAT ; 637p.
- FURRY V., 1997. Les eaux souterraines en Picardie. Mém. DESS Environnement, Université de Picardie.
- GERIN, MICHEL, ET AL.2003. Environnement et santé publique : Fondements et pratiques. édisem/ Tec and Doc.
- GOUAIDIA L. 2008. Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat en hydrogéologie. Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- GROSCLAUDE G., 1999. L'eau : usages et polluants ; INRA édition 210p.
- GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU, 2003. Nitrate/Nitrites, dans fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 12p

Références bibliographiques

- HANNACHI, ABDENOUR,1981. Relations entre aquifères profonds et superficiels : hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'est de Laghouat, Wilaya de Laghouat (Algérie). Diss. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, p 83-84.
- HUBERT P, OLIVE P ET RAVAILLEAU S. 1996. Estimation pratique de l'âge des eaux souterraines par le tritium, Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science, vol. 9, n° 4, pp 523-533.
- IFEN : Institut Français de l'Environnement, 2004. L'état des eaux souterraines en France : aspects qualitatifs et quantitatifs.
- JORA. 2011. La qualité de l'eau de consommation humaine. Décret exécutif N°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432. Imprimerie Officielle. Les Vergers : Bir-Mourad Raïs. Alger. Algérie.
- KASPAR, T.C., BROWN, H.J. ET KASSMEYER, E.M.1991. Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement. Soil Sci. Soc. Am. J.,55: 1390-1394.
- KETTAB AHMED, 2001 : Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision ; Desalination 136 (2001) 25–33
- KHEDIDJA A., BOUDOUKHA A. 2013. Risk assessment of agricultural pollution on groundwater quality in the high valley of Tadjenamet: Chelghoum Laid (Eastern Algeria). Desalination and water treatment, Volume 51, N°1-3, 292-301.
- KHELIEL O., YUCEF L., ACHOUR S. 2017. Les nitrates dans les eaux souterraines de la région d'El-Ghrous (Biskra) et possibilités de traitement. LARHYSS journal, N°30, 349-360
- KHELIEL O., YUCEF L., ACHOUR S. 2018. Qualité des eaux souterraines de la nappe Miopliocène de la commune de Biskra ; Risque de la pollution par les nitrates. Courrier du Savoir, N°25,135-142.
- LEVALLOIS P., PHANEUF D. 1994. La contamination de l'eau potable par les nitrates : Analyse des risques à la santé. Revue canadienne de santé publique, Volume 85, N°03, 192-196.
- LEVINE S.N., SCHINDLER D.W. (1989). Phosphorus, nitrogen, and carbon dynamics of Experimental Lake 303 during recovery from eutrophication. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 46 : 2-10.
- LOUCIF SEIAD N., 2003 : Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie ; Revue H.T.E. N° 125 ; Mars 2003 ; 94-101
- MANCEUR YASSMINA., AND SALWA DJABALLAH.2016. Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville de Tébessa. Diss. Université laarbi tebessi tebessa.
- MARSILY DE.G. (2009), L'eau, un trésor en partage, Préface d'Erik Orsenna, Dunod, Paris, France.
- MARTIN G., 1979. Le problème de l'azote dans les eaux. Editions Tech&Doc.

Références bibliographiques

- MARTIN.C, (2003). Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versant agricoles : approche expérimentale et modélisation, thèse de doctorat. Univ Rennes 1, 268p.
- MEMOTEC. 2006. L'élimination des nitrates pour la production d'eau potable. GLS, N°07, 2
- MERHI MAYSALOUN, 2008 : Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de Pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines Et sur le système hématopoïétique murin ; Thèse doctorat ; Université De Toulouse ; p139.
- METAHRI.M. S, (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat. Univ TiziOuzou, 148p.
- MIQUEL G., REVOL H., BIRRAUX C. 2003. La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Assemblée nationale N°705, Sénat N°215, 195.
- MORALES, F. J., ROMERO, C., & JIMÉNEZ-PÉREZ, S., 1996 : Fluorescence associated with Maillard reaction in milk and milk-resembling systems. Food Chemistry, 57(3), 423-428
- MOUFFOK.,2008, Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson, Manuel Des travaux pratiquent des eaux. Institut Pasteur d'Algérie.
- MOUFTI K., 1996. Pollution des eaux souterraines par les nitrates liés à l'agriculture dans le Vexin français. Thèse doctorale. Université de Lille1.
- MYRAND Diane. ing, M. Sc. 2008 « GUIDE TECHNIQUE ; CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE POUR DES RÉSIDENCES ISOLÉES».
- OCDE., 2004 : Agriculture et environnement : enseignements tirés de dix ans (1993-2003) des travaux de l'OCDE.
- OLIVIER, ATTEIA,2015. Chimie et pollutions des eaux souterraines. PARIS. Tec and Doc.
- OLUYOMI A.O., PAUL V.S., JEFFERY T.D. 2008. Natural and synthetic receptors for nitrate anion. Supramolecular chemistry, Volume 20, N°1-2, 169-190.
- OMS. 2006. Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème Edition, Recommandation. Genève, Suisse, 78.
- ORS. 2007. Les nitrates. Tableau de bord santé-environnement, Région Rhône-Alpes, France, 16.
- PAUL A., MOUSSA I., PAYRE V., PROBST A., PROBST J.L. 2015. Flood survey of nitrate behavior using nitrogen isotope tracing in the critical zone of a French agricultural catchment. Comptes rendus géoscience, Volume 347, N°7-8, 328-337.

Références bibliographiques

- PELISSONNIER H. (1965), Propriétés élémentaires des milieux poreux naturels, Cours polycopié, Ecole Nat, Sup, des Mines de Paris.
- RAVEN, P.H., EVERT, R.F., et EICHHORN, S.E. 2005. Biology of plants. NEW YORK: W.H. Freeman and company.
- REJSEK F. 2002. Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques, Collection biologie technique, Série Sciences et techniques de l'environnement. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, France, N°1254-731X, 360.
- RODIER JEAN, LEGUBE BERNARD, MERLET NICOLE ET COLL.,. 2009 : L'analyse de l'eau, 9e édition ; Ed. Dunod, Paris, 1526p.
- RODIER, J., 1984 : L'analyse de l'eau. 7eme édition. Paris, France.
- RODIER. J, BAZIN. C, BROUTIN. J.P, CHAMBON. P, CHAMPSAUR. H, RODIER. L, (1996) L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8e édition. Dunod, Paris, France.
- SAKER MOHAMED LAKHDAR, DADDI BOUHOUN MUSTAPHA, BOUTOUTAOU DJAMEL ET OULD EL HADJ MOHAMED DIDI, 2013 : Gestion Des Potentialités Hydriques En Régions Sahariennes ; Algérien Journal of Arid Environment ; vol. 3, n° 2, Décembre 2013 : 96-102
- SANTE CANADA. 1992. Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 1-9
- STEEN, E (1989). 8. Agricultural outlook. Dans: Ecology of arable land Organisms, Carbon and Nitrogen Cycling. O Andren, T Lindberg, Paustian and T Rosswall [Eds.]. EcoI.Bull. (Copenhagen) 40: 181-189, 295 pp.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M.(1989). Session IV: Nitrate leaching. Dans: Nitrogen in organic wastes applied to soils. Hansen J.A and Henrksen K.[Eds.], 1-3, Academy Press, London, U.K., 376 pp.
- STREBEL, O., DUYNISVELD, W.H.M., BOTTCHEER, J.(1989). Nitrate pollution of groundwater in Western Europe. Agric. Ecos. and Environ.,26: 189-214.
- THIOLLET P., 1990. Les nitrates en question. Argumentaire SNIE.
- TRAVI, YVES. 1993. Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines. Persée-Portail des revues scientifiques en SHS.
- USEPA. 1991. National primary drinking water regulations; Final rule, in federal register Part II (40 CFR Parts 141, 142 and 143, January 1991), 3526-3597.
- VANESSA V, RAMON R., 2015 : Les risques liés à l'eau souterraine. Allemagne p20.
- WALTON G. 1951. Survey of literature relating to infant methemoglobinemia due to nitrate contaminated water. American journal of public health, Volume 41, Part 1, N°08, 986-996.

Références bibliographiques

- WEYER, P. J., CERHAN, J. R., KROSS, B. C., HALLBERG, G. R., KANTAMNENI, J., BREUER, G., ... & LYNCH, C. F., 2001: Municipal drinking water nitrate level and cancer risk in older women: the Iowa Women's Health Study. *Epidemiology*, 12(3), 327-338
- WILLIAMSON, B., et HEYDEN, R.J.2006. *Biology : concepts and connexions* 5^{ème} édition. Benjamin Cummings.
- ZINE B. 2010. La remonté des eaux souterraines en surface, mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf). Mémoire de Magister en hydraulique. Université El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie. Différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas loukkos). Thèse de doctorat. Univ Mohammed V. Agdal, Rabat, 232p.