

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

UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Thème

EVALUATION DE LA POLLUTION AZOTEE DES EAUX
DE CONSOMATION DANS LA REGION D'ADRAR

Soutenu le :

Présenté par :

HAMMOU ALI Brahim

BELKHAMSA Youcef

Membres de jury :

Président :

M^r. LAKHDARI Lakhdar Univ.d' Adrar

Promoteur(s) :

M^r YOUNSI Maamar Univ.d' Adrar

M^r NASRI Bahous (CO-Encadreur) ANRH-Adrar

Examineurs :

D^r KALLOUM Slimane URER-Ms d'Adrar

Année Universitaire: 2013-2014

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Allah, Dieu le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant, Pour son guide et sa protection.

Nous tenons à remercier vivement Mr Younsi M, pour la confiance qu'il nous a accordée en acceptant de nous encadrer. Pour sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce modeste travail de fin d'études.

Un grand merci, pour M^r Nacéri et leur encouragement qui n'a ménagé aucun effort pour nous assister durant notre stage au sein de leur établissement pour son aide, ses critiques et ses suggestions, qui ont été pour nous d'un grand apport.

Nous exprimons notre gratitude a l'ensemble de nos enseignants qui ont si soigneusement partagé leurs connaissances en faculté des sciences et de la technologie surtout departement des sciences de la matiere, passion qui nous a tous réuni a l'Université; et Sans oublier tous les autres employés, particulièrement ceux de la bibliothèque les deux messoudes et Mr Ben Hmadi H et grande frère M^r Mazer

Nos remerciements vont aussi, a M^r Lkhdari et D^r Kalloum, M^r Maamir T, M^r Omari B, et M^r Sid aamer et Mr Slimani et M^{me} Fatiha et toutes les équipes de labo de L'ANRH d'adrar; nous ont tous si bien accueilli et aimablement aidé.

Enfin, Nos remerciements a tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, puissent trouver ici, toute notre reconnaissance.

BRAHIM . H / YOUCEF . B



DIDICACE

A l'esprit de mes parents.

A mes frères Mohamed et Abdellah et sœurs Meryem et Fatima.

Vous êtes dépensés pour moi sans compter.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous

Pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

Avec toute ma tendresse :

A mes, tantes, cousins et cousines.

Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.

Affectueuse reconnaissance :

A ma belle-épouse Rekia, et mes enfants : Sid Ahmed
Al Mouaatassimilah Et Fatima Zohra, Latifa et la petite pousse Hicham.

A mes camarades d'auditoires et tous ceux de la faculté des sciences et de
la technologie surtout département des sciences de la matière

BRAHIM. HAMMOU ALI



DIDICACE

*Je dédie ce mo
deste travail*

*À la mémoire de ma mère
A mon cher père que dieu le garde
A ma grande famille, sur tous mes
frangins et mes frères et tous mes
Amis.*

*Je dédie ce Modeste Travail
A monsieur : Omari Boumedién,
Maamir Taher. et tout les Adurants
de A N R H.*

*Et tous les Enseignant de faculté de
Sciences et de la Technologie
Finalement je demande l'excuse
Qu'ils me pardonnent.*

BELKHAMSA YOUCEF

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA REGION D'ETUDE	
I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	03
I.2. GEOMORPHOLOGIE.....	04
I.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	05
I.4. CADRE PHYSIQUE.....	05
I.4.1. les caractères généraux.....	05
I.4. 2. Activités de la population.....	06
I.5. CLIMATOLOGIE.....	07
I.5.1. Introduction.....	07
I.5.2. Température.....	08
I.5.3. Le vent	09
I.5.4. Précipitation	11
I.5.5. L'évaporation	12
I.6. GEOLOGIE	14
I.6.1 Introduction.....	14
I.6.2.2. Cadre géologique de la région.....	15
I.6.3. La litho stratigraphie.....	15
I.6.3.1. Précambrien.....	17
I.6.3.2. Paléozoïque.....	17
I.6.3.2.1. Cambrien.....	17
I.6.3.2.2. Ordovicien.....	17

I.6.3.2.3. Silurien.....	17
I.6.3.2.4. Dévonien.....	18
I.6.3.2.5. Carbonifère.....	18
I.6.3.3. Mésozoïque.....	18
I.6.3.3.1. Crétacé inférieur Continental intercalaire.....	19
I.6.3.3.2. Le Crétacé supérieur (Crétacé marin).....	21
I.6.3.4. Le Cénozoïque.....	21
I.6.3.4.1. Néogène.....	21
I.6.3.4.2. Le Plio – Villafranchien.....	21
I.6.3.5. Le Quaternaire	21
I.6.3.5.1 Villafranchien Supérieur (Quaternaire ancien).....	21
I.6.3.5.2 Le Pléistocène moyen (Quaternaire moyen).....	22
I.6.3.5.3. L'Holocène (Quaternaire récent).....	22
I.6.4. Tectonique	22
I.7. HYDROGEOLOGIE.....	23
I.7.1. Introduction	23
I.7.2. Les deux systèmes aquifère du Sahara	24
I.7.2.1. L'aquifère du Complexe Terminal (CT)	24
I.7.2.2. Le Continental Intercalaire (CI).....	25
I.7.2.3. Limites et morphologie du Continental Intercalaire	27
I.7.2.4. Alimentation du Continental Intercalaire (CI)	29
I.7.2.6. Qualité des eaux en général.....	31

CHAPITRE II : ETUDE GENERALE DES NITRATES

II.1. INTRODUCTION.....	32
II.2. GENERALITES SUR L'AZOTE.....	33
II.3. CYCLE DE L'AZOTE.....	33
II.4. FORME GEOMETRIQUE DES NITRATES	37
II.5 .PROPRETES PHYSICO-CHIMIQUE DES NITRATES.....	38
II.6. SOURCE DE CONTAMINATION.....	38
II.7.ORIGINE DES NITRATES DANS LES EAUX.....	38
II.8.LES EFFETS DES NITRATES.....	41
II.8.1.Nitrates et risques sanitaires	41
II.8.1.1. La méthémoglobinémie	41
II.8.1.2. Pouvoir cancérigène	42
II.8.2. Effet sur l'environnement	43
II.9.LES PROCEDES D'ELIMINATION DES NITRATES.....	44
II.9.1. Les procédés physico-chimiques	44
II.9.1.1. Echange d'ions.....	44
II.9.1.2. Procédés membranaires	45
II.9.2. Les procédés biologiques	46
II.9.2.1. Microorganismes dénitrifiant	47
II.9.2.2. Facteurs influençant la dénitrification	47
II.9.3.1.Dénitrification hétérotrophe	48
II.9.3.2. Dénitrification autotrophe	48
II.9.4. Aspect réglementaire	49

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. INTRODUCTION.....	51
III.2. BUT DE L'ETUDE.....	51
III.3. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS.....	51
III.4. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	52
III.5. METHODES D'ANALYSES.....	52
III.6. RESULTATS D'ANALYSE.....	52
III.6.1. pH.....	52
III. 6.2. La conductivité électrique (EC)	53
III. 6.3. Résidu sec	54
III .6.4. Dureté totale.....	56
III.7. ELEMENTS MAJEURS	57
III.7.1. Le Calcium (Ca^{++})	57
III.7.2. Le Magnésium (Mg^{++})	57
III.7.3. Le Sodium (Na^+)	57
III. 7.4. Le Potassium (K^+)	58
III. 7.5. Les Chlorures (Cl^-)	58
III. 7.6. Les Bicarbonates (HCO_3^-)	58
III. 7.7. Les Sulfates (SO_4^{--}).....	58
III .8. LES ELEMENTS DE POLLUTION.....	59
III.8.1. Les Phosphates (PO_4^{--3})	59
III.8.2. L'Ammonium (NH_4^+)	59
III.8.3. Les Nitrites (NO_2^-)	59

III.8.4. Les Nitrates (NO_3^-)	60
III.9. ÉVOLUTIONS DES NITRATES DANS LA REGION D'ETUDE.....	64
III.10. SOURCES DE CONTAMINATION PAR LES NITRATES.....	65
III.11. PROPOSITION DE SOLUTION D'ELIMINATION DES NITRATES.....	69
III. 11.1. Echangeur d'ions.....	69
III. 11.2. L'osmose inverse.....	69
III. 11.3. L'électrodialyse.....	70
III. 11.4. La dénitrification biologique.....	70
CONCLUSION GENERALE	71
RECOMMANDATIONS.....	72

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Localisation de la région d'étude.....	04
Figure I.2: Carte géomorphologique de la région d'Adrar.....	05
Figure I.3 : La carte qui représente les 11 daïras de wilaya d'Adrar et leurs limites.....	06
Figure I.4 : Les moyennes mensuelles de températures de la période en °C (1990-2008).....	09
Figure I.5 : Les moyennes mensuelles des la vitesse du vent en m/s des période (1975-1985, 1998-2008).	11
Figure I.6 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes en mm: (1980-2008..	12
Figure I.7 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).....	13
Figure I.8 : Carte géologique de la région d'étude.....	14
Figure I.9 : Litho stratigraphie de bassin occidental.....	16
Figure I.10 : Coupe lithologique d'unité de CI.....	20
Figure I.11 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien (ABHS) Système aquifère du Sahara septentrional.....	23
Figure I.12 : Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe Terminal).....	27
Figure I.13 : Les sens d'écoulement des eaux de deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le CT et le CI.....	30
Figure I.14 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional.....	31
Figure II.1 : le cycle de l'azote.....	35

Figure II.2 : schéma représentant la relation entre les divers composés azotés et les risques qui résultent de leur présence.....	43
Figure III. 1: La mesure de PH.....	53
Figure III. 2 : carte de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la wilaya d'Adrar année 2010	55
Figure III. 3 : Carte de répartition de la Dureté total des eaux de la wilaya d'Adrar	56
Figure III. 4: les solutions en dosage de nitrite.....	60
Figure III. 5: les solutions en dosage de nitrate.....	62
Figure III. 6 : carte de répartition des nitrates de la région d'Adrar.....	63
Figure III. 7 : carte piézométrique de région d'Adrar.....	66
Figure III. 8 : positionnement des points d'eaux sur la carte géologique.....	67
Figure III.9 : positionnement des points d'eaux sur la carte géologique région de Reggan..	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1 : Répartition des surfaces agricoles dans la wilaya d'Adrar.....	07
Tableau I. 2 : Les moyennes mensuelles des températures de la période °C (1990-2008).....	08
Tableau I. 3 : Les moyennes mensuelles des vitesses du vent en m/s des périodes: (1975-1985,1998-2008).....	10
Tableau I. 4 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008).....	11
Tableau I. 5 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes (1975-1984 et 1998-2008).....	13
Tableau I. 6 : Données générales sur la nappe du continental intercalaire (albien).....	29
Tableau II. 1 : Les différents composés de l'azote distingués par leurs degrés d'oxydation....	34
Tableau II. 2 : Principales origines des NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ dans l'environnement.....	40
Tableau II. 3 : Teneurs en nitrates et activités ou occupation du sol.....	41
Tableau III.1 : L'évolution de la concentration en nitrates des eaux souterraines de la Wilaya d'Adrar.....	64

RESUME :

L'eau est le milieu dans lequel la vie est apparue sur terre, pendant plus d'un milliard d'années. Cependant, sa consommation nécessite des limites de qualité qu'on doit les respecter scrupuleusement ; ce sont de valeurs de numérotation obligatoires (paramètres organoleptiques, paramètres physiques et paramètres chimiques). L'objet du présent travail est d'étudier la qualité d'eau de certaines zones de la région d'Adrar et plus particulièrement d'évaluer la pollution en ions nitrates.

Dans un premier chapitre, on se concentre sur une étude géographique et climatique des zones de la région d'adrar choisies et leur effet sur la nature d'eau potable, dans un second chapitre, on fera une étude théorique approfondie, beaucoup plus sur la chimie des ions nitrates, et on terminera enfin par une partie expérimentale et une conclusion générale, en souhaitant de trouver une source concrète de l'excès de la quantité des nitrates. et de proposer une solution réalisable comme méthode de traitement éternelle de ces eaux de consommation.

Mots clés : Eau de consommation, qualité d'eau, pollution, nitrates, pollution azotée, région d'Adrar.

ملخص :

الماء هو الوسط الذي منح استمرارية الحياة على الأرض لأكثر من مليار سنة. بيد أن استخدامه يتطلب خضوعه إلى معايير الجودة التي يجب أن تلتزم بالدقة. وهي (المعايير الفيزيائية ومعايير الضبط الكيميائية).

أما تناولنا لموضوع الدراسة فقد كان الغرض من هذا العمل هو دراسة نوعية المياه في بعض المناطق في ولاية أدرار، خاصة لتقييم تلوث أيونات النترات .

في الفصل الأول، نركز على مجالات الدراسة الجغرافية والمناخية في منطقة أدرار. وتأثيرها على طبيعة مياه الشرب، في الفصل الثاني، تناولنا بشيء من الإسهاب كيمياء أيونات النترات، وتنتهي أخيرا مع جزء التجريبي والاستنتاج العام، على أمل العثور على المصدر العملي للكمية الزائدة من النترات ونقترح حلا ممكنا كوسيلة من وسائل العلاج الدائم للمياه التي يمكن أن تكون صالحة للشرب .

كلمات البحث: استهلاك المياه، ونوعية المياه، والتلوث، والنترات وتلوث النيتروجين، منطقة أدرار.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie dans le monde. En vue du développement industriel et de la demande de plus en plus croissante, tous les pays auront, à plus ou moins brève échéance, à faire face au problème de son manque. La mobilisation des eaux superficielles a été de tous temps une préoccupation pour l'homme. L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière, qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique, ou animale, n'existerait. Devant les besoins croissants en eau douce, et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'humanité est conduite à étudier et à développer divers procédés permettant de l'obtenir à partir des eaux de mers, des eaux saumâtres, et des eaux usées dans des conditions admissibles techniquement et économiquement.

La protection des eaux souterraines, d'un point de vue qualitatif comme d'un point de vue quantitatif, est essentielle. Les nappes occupent en effet une place stratégique pour les activités humaines puisque dans la région d'Adrar ; 100% des volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable proviennent des eaux souterraines. Maintenir un bon état quantitatif et qualitatif des eaux souterraines équivaut donc à garantir le maintien à long terme des activités humaines. [1]

Les eaux souterraines destinées à l'alimentation humaine sont souvent sujet à d'innombrables sortes de pollution chimique. L'une des principales pollutions des eaux souterraines par les produits diffusés, d'origine notamment agricole, est la pollution par les nitrates. Ces derniers proviennent essentiellement de l'utilisation intensive des substances chimiques et organiques (engrais, fumiers, lisiers) en agriculture. Les conséquences de leur présence ne constituent certes pas un problème nouveau mais plusieurs conditions d'ordre agronomique économique et sociologique se trouvent réunis aujourd'hui pour que des solutions soient recherchées avec un maximum d'efficacité.

L'impact le mieux documenté des nitrates sur la santé humaine est le risque de formation de méthémoglobine (forme sous laquelle l'hémoglobine ne peut capter l'oxygène du sang), ce qui diminue l'oxygène disponible pour les cellules. Les nourrissons de moins de six mois et les femmes enceintes sont plus vulnérables à la méthémoglobinémie. Des risques potentiels de cancérogénicité et de tératogénicité seraient aussi associés à l'ingestion de nitrates.

INTRODUCTION GENERALE

Dans la région d'Adrar 39% des eaux analysées en 2009/2010 par le laboratoire de l'ANRH dépassent la norme algérienne (50 mg/l) fixée par le Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

L'objectif général de ce projet est d'étudier les sources de contamination des points d'eau par les nitrates. Pour ce faire, nous avons évalué la présence des composés azotés dans les eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable dans des zones qui présentent des teneurs élevées en nitrates d'une part et de proposer des solutions de lutte contre la pollution par les nitrates d'autre part.

Elle est divisée en trois grandes régions la wilaya d'Adrar : Gourara, Touat et Tidikelt, donc un très vaste territoire qui s'étend sur une longueur dépassant 550 Km. Il est très difficile de réaliser des prélèvements de tous les points d'eau de la wilaya. Les territoires étudiés se situent dans la partie Nord Ouest à 140 Km du chef lieu de la wilaya d'Adrar plus particulièrement la commune de Charouine et la deuxième partie au Sud à 150 Km c'est la zone de Reggane. Ces deux zones sont les plus contaminées par les nitrates drape les analyses suscitées effectuées auparavant

La présente étude a été réalisée au niveau de l'ANRH Adrar pour but d'obtenir un diplôme de Master en chimie de l'environnement. Elle rentre dans le cadre de la réalisation d'une étude de la source de contamination des eaux dans la région d'Adrar et l'évaluation de cette pollution.

Dans cette étude, et dans un premier stade, nous avons exploité surtout les données hydrochimiques des forages d'eau de la région.

Les principaux points qui ont été développés dans ce mémoire sont :

- Une synthèse géologique et hydrogéologique qui permet de situer la région d'étude et ces différentes caractéristiques géologiques et hydrogéologiques à la lumière des anciens travaux.
- Des généralités sur les nitrates en présentant le cycle de l'azote, Propriétés physico-chimique, origine, les effets des nitrates, Source de contamination et la lutte contre la pollution des eaux par les nitrates.
- Le troisième chapitre est consacré au traitement des résultats des analyses avec des interprétations et discussions. [1]
- Cette étude se termine par une conclusion générale suivie des propositions et des recommandations.

Partie Théorique

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black and has a light gray shadow on the right side, giving it a three-dimensional appearance.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉ SUR
LA RÉGION D'ETUDE

I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La wilaya d'Adrar dit dans ce contexte **région d'étude** se située dans le sud – ouest de l'Algérie; elle s'étend entre les coordonnées géographiques :

- - Les longitudes entre 0°30`E et 0°30`à l'Ouest
- - Les latitudes entre 26°30`et28°30`au Nord
- - Avec une altitude moyenne de 222m

La wilaya couvre une superficie totale de 443782 km².C'est-à-dire 17,97 % de la superficie totale de l'Algérie, occupée par une population de 432.193 habitants répartie sur 11 daïra et 28 communes. Elle est bordée au nord par les wilayas d'El Bayedh et de Ghardaïa, à l'ouest par les wilayas de Béchar et Tindouf, à l'est par la wilaya de Tamanrasset, et au sud par la Mauritanie et le Mali.

Géométriquement est limitée :

- Au Nord par le grand Erg Occidental.
- Au Sud par le plateau du Tanezrouft.
- A l'Est par le plateau du Tademaït.
- A l'Ouest par l'Erg Chèche.

Divisée en quatre régions sahariennes naturelles représentées par :

- **Gourara:** Son centre administratif est la daïra de Timimoun, cette région regroupe tout les palmerais et les ksars de cette daïra et s'étend de Tabelkouza à Aougrout.
- **Touat:** Elle se prolonge du Brinkane jusqu'à Reggane; c'est la plus vaste des régions.
- **Tidikelt:** Cette région se prolonge d'Aoulef à Ain Saleh qui est le centre de la région
- **Tanezrouft :** région de Bordj Badji Mokhtar.

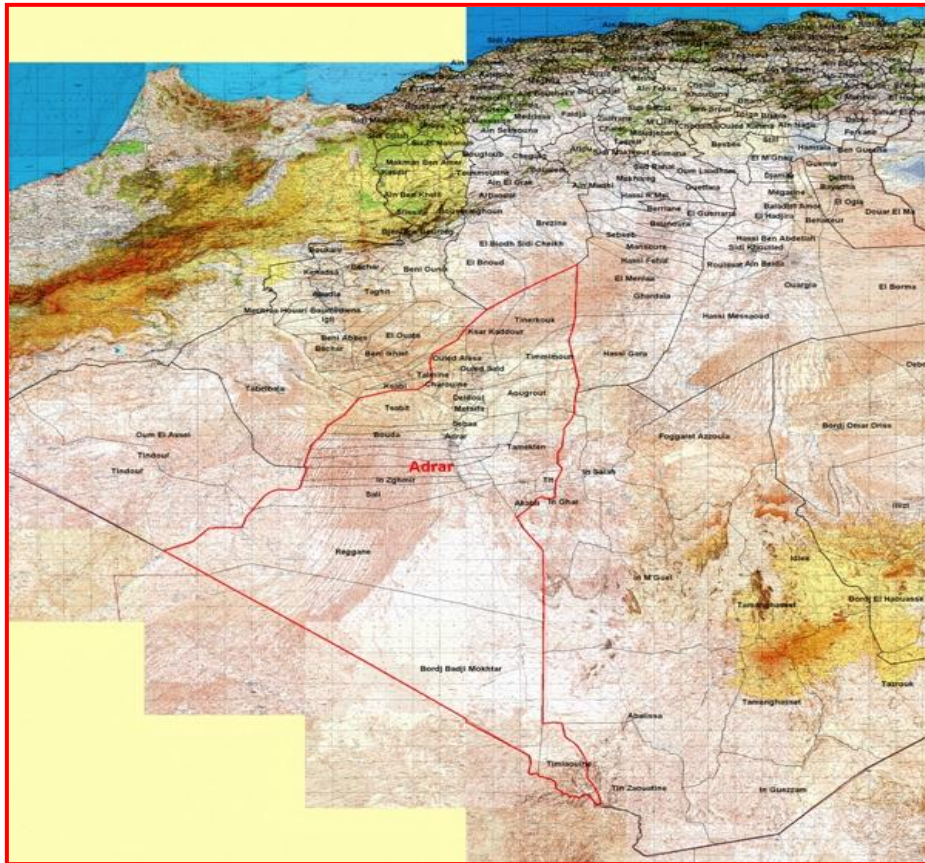


Figure I.1 : Localisation de la région d'étude

I.2 GEOMORPHOLOGIE :

La région d'Adrar fait partie d'une grande zone allongée sensiblement orientée (Nord – Sud) Elle renferme différents traits géomorphologiques telles que : la plaine qui se caractérise par une altitude maximum de l'ordre de 300m au pied du plateau de Tademaït, la dépression qui se caractérise par une largeur moyenne de l'ordre de 5 Km à 10 km, par exemple la dépression de Touat, la sebkha qui marque la limite occidentale de la dépression et constituant l'exutoire naturel des eaux de la nappe aquifère, l'erg telle que L'erg Chèche, le reg comme Reg de Tanezrouft [1].

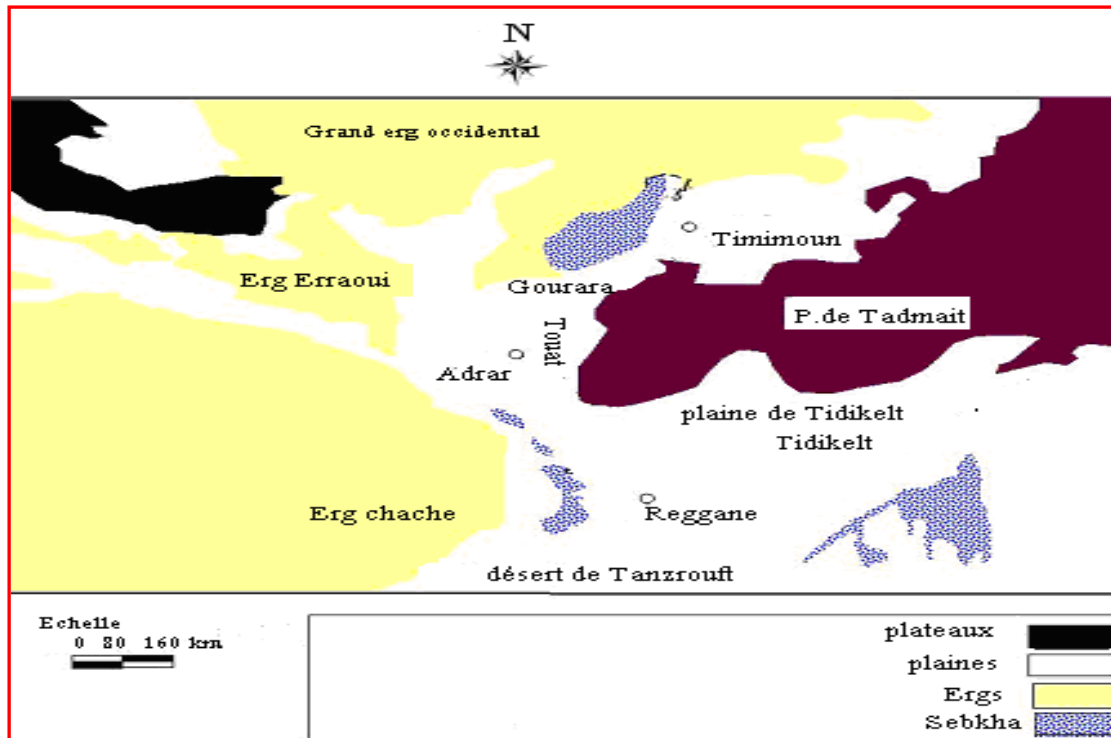


Figure I.2: Carte géomorphologique de la région d'Adrar

I.3 RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Dans la région d'Adrar les réseaux hydrographiques sont rares par rapport à la région de Béchar, comme oued Messaoud qui est la continuité d'oued Saoura vers le Nord ; ce dernier draine à partir de l'Atlas Saharien et Oued Tillia et ses affluents drainent (traversé) le plateau de Tademaït vers le Sud Est au niveau de Zaouiet Kounta. [2]

I.4 CADRE PHYSIQUE :

I.4.1 Les caractères généraux :

La wilaya d'Adrar est caractérisée par :

- Superficie : 443782 km².
- Population : 432.193 habitants (2010).
- La densité de population est de 0,77/ km².
- Code de wilaya : 01.
- Le nombre de daïras : 11.

- Le nombre de municipalités : 28.
- Le nombre de ksour s'élève à 294. [1]

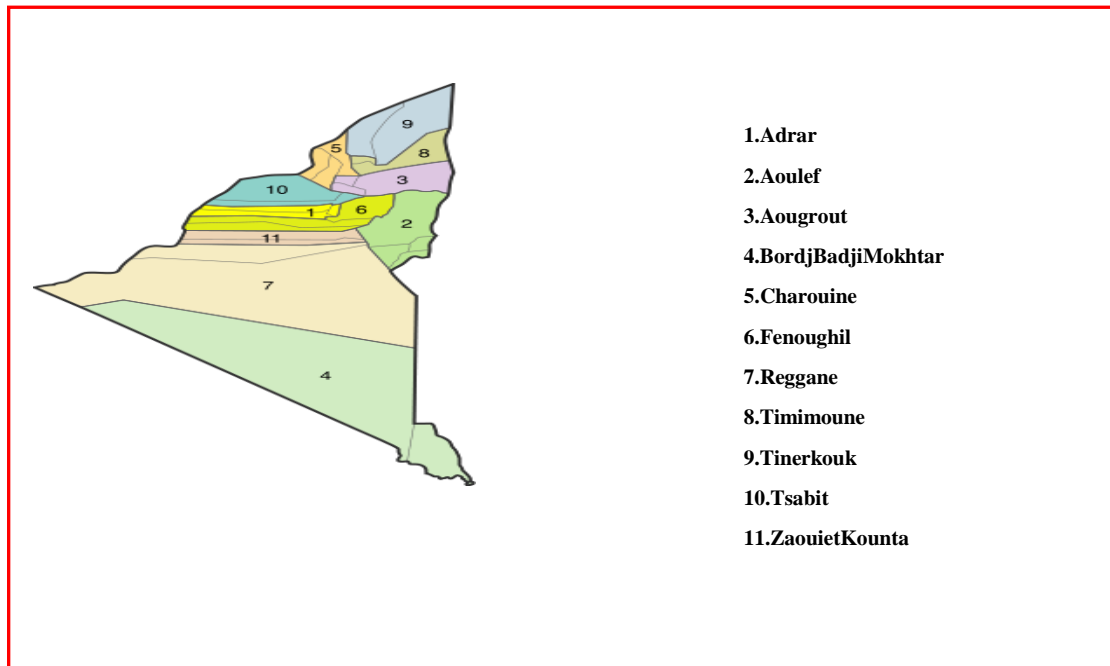


Figure I.3 : La carte qui représente les 11daïras de wilaya d'Adrar et leurs limites

I.4.2 Activités de la population :

a) Agriculture :

L'activité principale des habitants est l'agriculture, basée essentiellement sur la culture des palmiers dattiers qui occupe une superficie globale de 23532 Hectare. Elle est le soucie de la plupart des résidents de wilaya d'Adrar, sur tout elle répond aux besoins du degré premier de la population, en raison de la disponibilité de l'eau souterraine, ce qui facilite le processus de récupération des terres désertiques. [3]

Tableau I.1: Répartition des surfaces agricoles dans la wilaya d'Adrar.

Désignation	Surface en hectar
Superficie agricole totale	337 650
Superficie utilisée	32 272
Superficie irriguée	23 814
Par gravite	18 814
Par aspiration	2 742
Par goutte a goutte	2 258

Les ressources en eau utilisées dans le domaine agricole sont :

- Les foggaras au nombre de 855 avec un débit total de 3680 l/s.
- Les forages au nombre de 964 avec un débit total de 9120 l/s.
- Les puits au nombre de 4898 avec un débit total de 9820 l/s.

b) Commerce et tourisme :

Le commerce de transit (troc) avec les pays d'Afrique sub-saharienne, est le plus importantes exporte plusieurs produits agricoles comme les dattes, le tabac, etc., et l'importation de nombreux produits tels que les bovines tels chameaux. En voie de la construction de ce secteur en raison de programmes de relance économique adopté par le Président de la République. Ces derniers temps le secteur des hydrocarbures sa enrichi après les découvertes de gaz naturel importante d'huile dans la région. Le tourisme est une attraction

Touristique en raison de la présence de plusieurs régions touristiques les plus importants celle de Timimoun, Tamentit. Mais l'investissement touristique reste toujours faible.

I.5 CLIMATOLOGIE :

I.5.1 Introduction :

Le climat de la région d'Adrar est désertique continental caractérisé par une forte variation de température entre les mois les plus chauds (Juillet, Août) où elle dépasse 48 °C et les mois les plus froids (décembre, Janvier) ou elle atteint 12°C. Les précipitations sont très réduites en fréquence et en volume avec un indice d'aridité de 4.6 à 5 qui correspond à un type de climat aride.

I.5.2 Température :

Tableau I.2 : Les moyennes mensuelles des températures de la période °C (1990-2008)

<i>Mois</i>	<i>Septe</i>	<i>Octo</i>	<i>Nove</i>	<i>Décem</i>	<i>Janv</i>	<i>Févr</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>
<i>Min</i> °c	23.2	16.4	9.5	5.6	4.5	7.2	10.8	15.6	19.3	24.8	26.8	26.7
<i>Max</i> °c	39.8	32.8	25.4	21.6	20.3	23.8	27.8	32.2	36.2	42.5	44.9	44.3
<i>Moy</i> °c	31.8	24.5	17.2	13.2	12.1	15.4	19.6	24.3	28.4	34.4	36.5	36

On enregistre des températures minimales absolues comprises entre 4.5°C durant la période allant de novembre à février, le reste de l'année, elles sont supérieures à 4.5°C et ne dépassent pas 28°C. Alors que le maximum absolu observé est supérieur à 30°C durant toute l'année.

La moyenne des maxima mensuels est comprise entre 25°C – 44,9°C.

Durant la période allant de juin à septembre, on observe des températures élevées supérieures à 42.5°C. Ces dernières ont une influence sur le choix des cultures et provoquent des accidents de végétation.

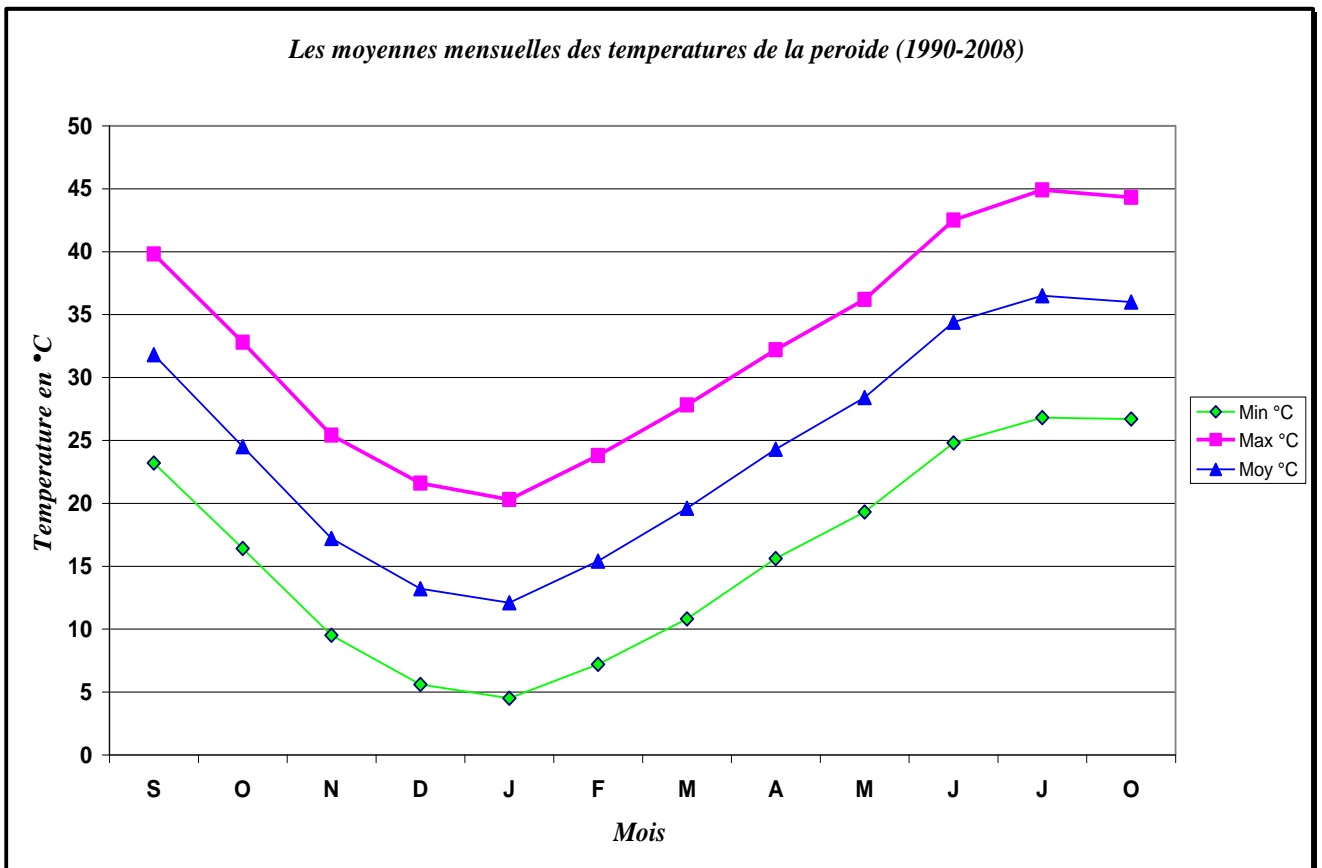


Figure I.4 : Les moyennes mensuelles de températures de la période en °C (1990-2008)

Dans La région d'étude les fortes températures supérieures à 30°C, de mars à novembre, provoquent des accidents de végétation chez de nombreuses plantes limitant le choix des cultures envisageable dans la région.

On distingue deux saisons :

Une saison chaude qui s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. Nous devons signaler qu'en août les températures deviennent insupportables.

Une saison froide caractérisée par des nuits hivernales très froides. C'est la saison de germination des plantes, elle s'étend du mois d'Octobre ou mois d'avril. [1]

I.5.3 Le vent :

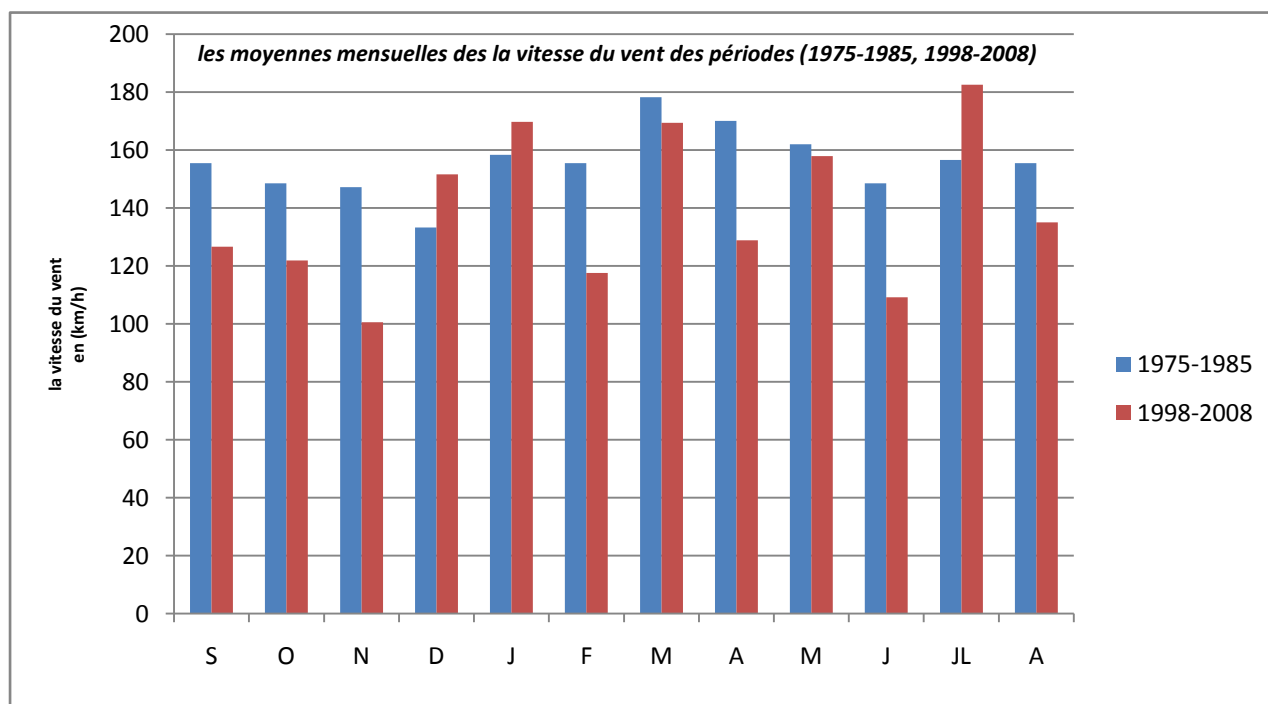
Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. On relève que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les valeurs des vitesses supérieures à 5m/s représentent une fréquence de 20 à 40%. Les vents dont la vitesse est supérieure à 20-47 m/s

(72-170km/h) sont observés dans la région. La direction des vents dominants est de secteur Nord - Est et Nord, sauf en juillet et Août où elle est de secteur Est et Nord -Est avec une fréquence de 25% pour le Nord- Est et 16% pour le secteur Nord. En été, les vents sont chauds et secs, de direction Sud-Est et Sud-Oest et sont accompagnés de sables.

Le tableau suivant présente les moyennes mensuelles des la vitesse du vent des périodes (1975-1985, 1998-2008) en m/s [1]

**Tableau I.3 : Les moyennes mensuelles des la vitesse du vent en m/s des périodes
(1975-1985, 1998-2008)**

Mois	Septe	Octo	Nove	Décem	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1975-1985 (m/s)	155,5	148,5	147,2	133,3	158,3	155,5	178,2	170,1	162	148,5	156,6	155,5
1998-2008 (m/s)	126,6	121,9	100,5	151,6	169,7	117,6	169,4	128,8	157,9	109,2	182,5	135



**Figure I.5 : Les moyennes mensuelles des la vitesse du vent en m/s des périodes
(1975-1985, 1998-2008)**

I.5.4 Précipitation :

**Tableau I.4 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes
en (mm): (1980-2008)**

Mois	Sept	Octo	Nov	Décem	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	<u>Septe</u>
1980-2008 (mm)	0.4	2	0.6	0.8	4	1.55	1.85	4.2	0.4	0.1	0.5	0.12	<u>16.52</u>

D'après la (figure. I.6) on remarque que la période la plus pluvieuse est celle de L'hiver (4.2mm en février), alors que l'été est le plus sec. Les précipitations sont presque nulles en Juin.

On remarque aussi, le pic du mois d'Avril où les précipitations atteignent leurs maximums pour la deuxième période. Ce sont les crues du printemps, caractéristiques du climat saharien, ces dernières sont responsables de la recharge de la nappe.

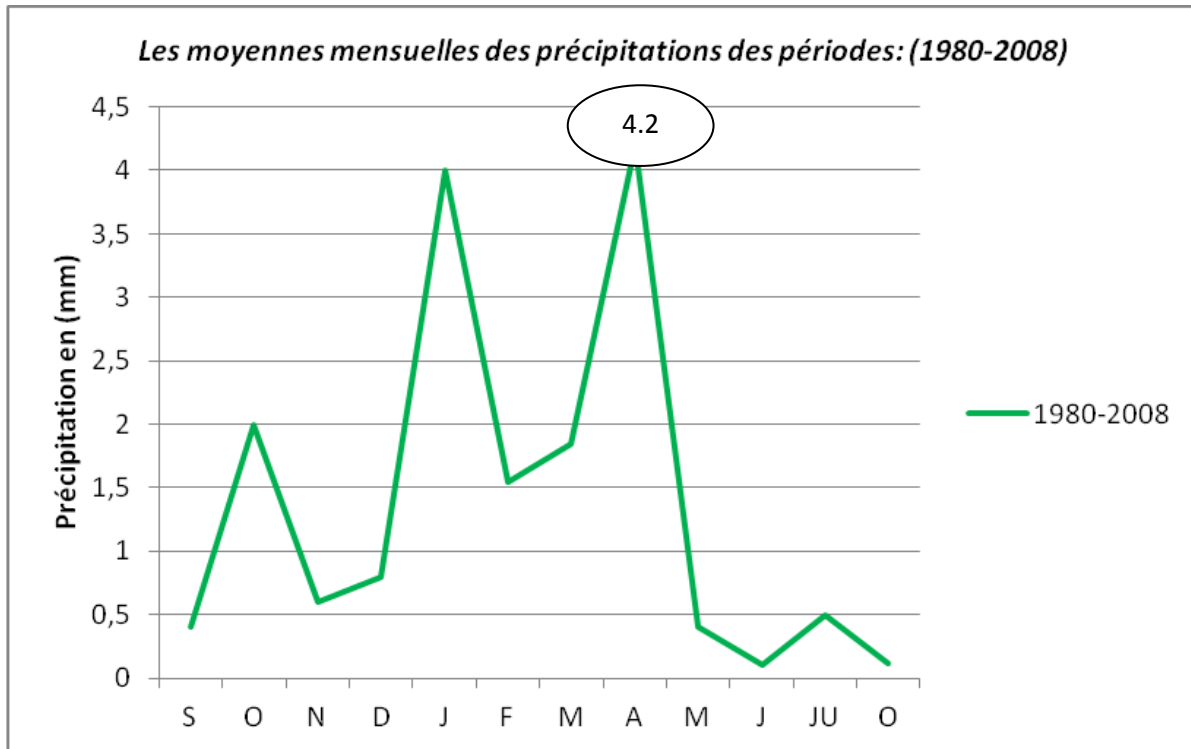


Figure I.6 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes en mm: (1980-2008)

Les précipitations sont très irrégulières d'une année à l'autre. Cette situation s'explique par l'éloignement de la région de la mer et par une masse d'air tropicale se caractérise par la haute température qui emmène le plus souvent des vents violents, du sirocco avec quelques précipitations enregistrées au début d'Automne et en été. La faible quantité des précipitations dans la région d'Adrar est du probablement à la forte température qui caractérise la région durant toute l'année et par conséquence les basses couches de l'atmosphère se réchauffe et les gouttes des pluies s'évaporent avant d'atteindre le sol.

I.5.5 L'évaporation :

C'est un phénomène naturel dans lequel l'eau passe à l'état gazeux sous l'effet de la température. Elle est purement physique et dépend des autres facteurs climatiques. Elle touche aussi bien les surfaces d'eau libres que les quantités d'eau retenues dans les couches peu profondes du sol. [1]

Tableau I.5 : représente les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	somme
1946-1970 (mm)	573	369	245	104	200	248	354	408	555	530	724	665	5003
1998-2008 (mm)	504	354	248	194	206	241	339	425	560	570	638	616	4895

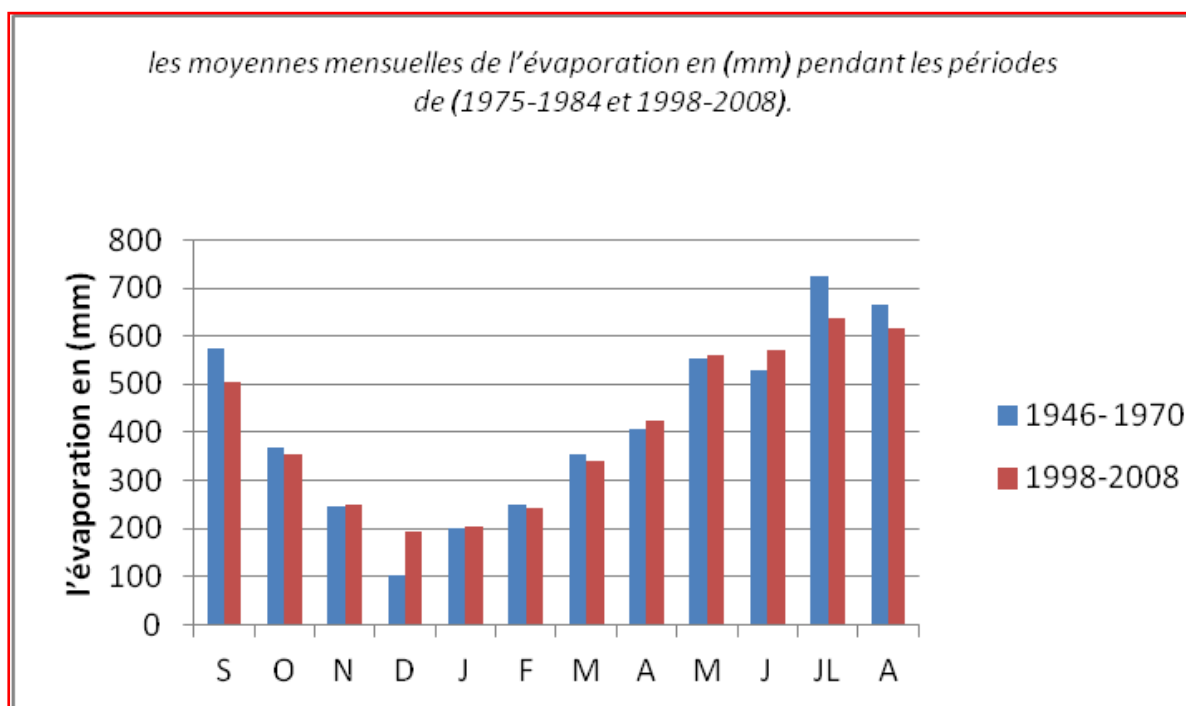


Figure I.7 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).

L'évaporation est très élevée avec un total de 5000 mm/an. Les valeurs mensuelles se trouvent supérieures à 200 mm, alors que le maximum est obtenu au cours de la période (Juillet – Août) avec une valeur de 724 mm.

Les données sur l'évaporation sont relatives aux observations faites par l'ENEMA [1].

I.6 GEOLOGIE :

I.6.1 Introduction :

L'histoire géologique de l'Algérie s'inscrit dans une longue évolution géodynamique. Dans son état actuel, l'Afrique du Nord correspond à une zone ayant subi plusieurs phases de déformation et de sédimentation depuis le Précambrien. La géologie de la partie septentrionale de l'Algérie est marquée par l'empreinte de l'orogénèse alpine (domaines telliens et atlasique). Le linéament majeur du pays correspond à la flexure sud-atlasique qui sépare l'Algérie alpine au Nord de la plate-forme saharienne au Sud, constituée pour l'essentiel de terrains du Précambrien et du Paléozoïque. Cette plate-forme a peu évolué depuis la fin du Paléozoïque et correspond à un domaine catonique relativement stable. [4]

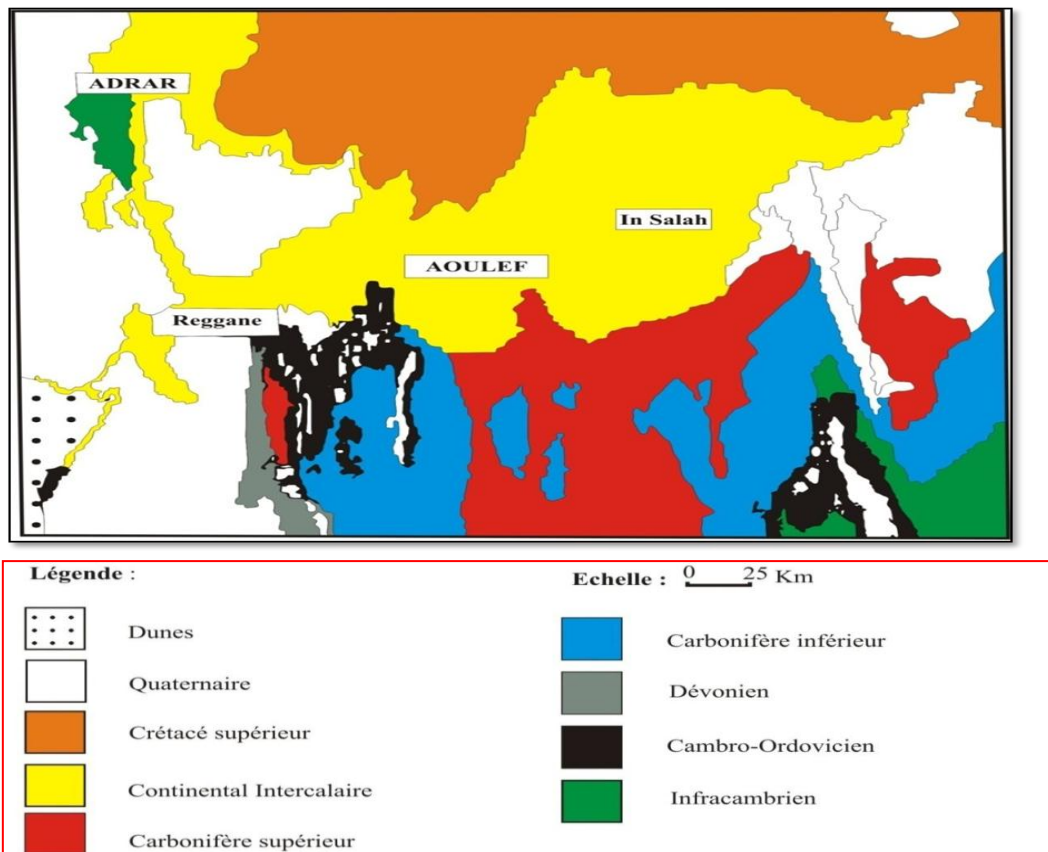


Figure I.8 : Carte géologique de la région d'étude [5]

I.6.2 Cadre géologique de la région:

La région d'Adrar est située sur le rebord Nord occidental ; elle est caractérisé par un socle précambrien dérobé la couverture des dépôts sédimentaires d'âge phanérozoïques transgressifs. La dépression de Touat est remplie par des dépôts paléozoïques (cambrien à namurien) d'un vaste bassin sédimentaire d'âge secondaire qui s'étend de l'atlas saharien au Nord à la hamada de Tinhirt et le plateau du Tademaït au sud et le Touât- Gourara à l'Ouest jusqu'au golf de Gabes au Nord- Est. Du Tidikelt au Gourara l'ensemble structural est le continental intercalaire (CI) qui vient se terminer en biseau sur le substratum primaire, ce dernier affleure en surface à la faveur de la disparition des formations du continental intercalaire dans la dépression de la vallée de la Saoura qui forme la limite occidentale.

Dans la région de Reggan l'auréole du primaire s'interrompt et les formations du (CI) se prolongent vers le plateau du Tanezrouft au sud-ouest. [6]

I.6.3 La litho stratigraphie:

D'après Sonatrach et Schlumberger la coupe suivante représente la Litho stratigraphie de bassin occidental (figure. I.9).

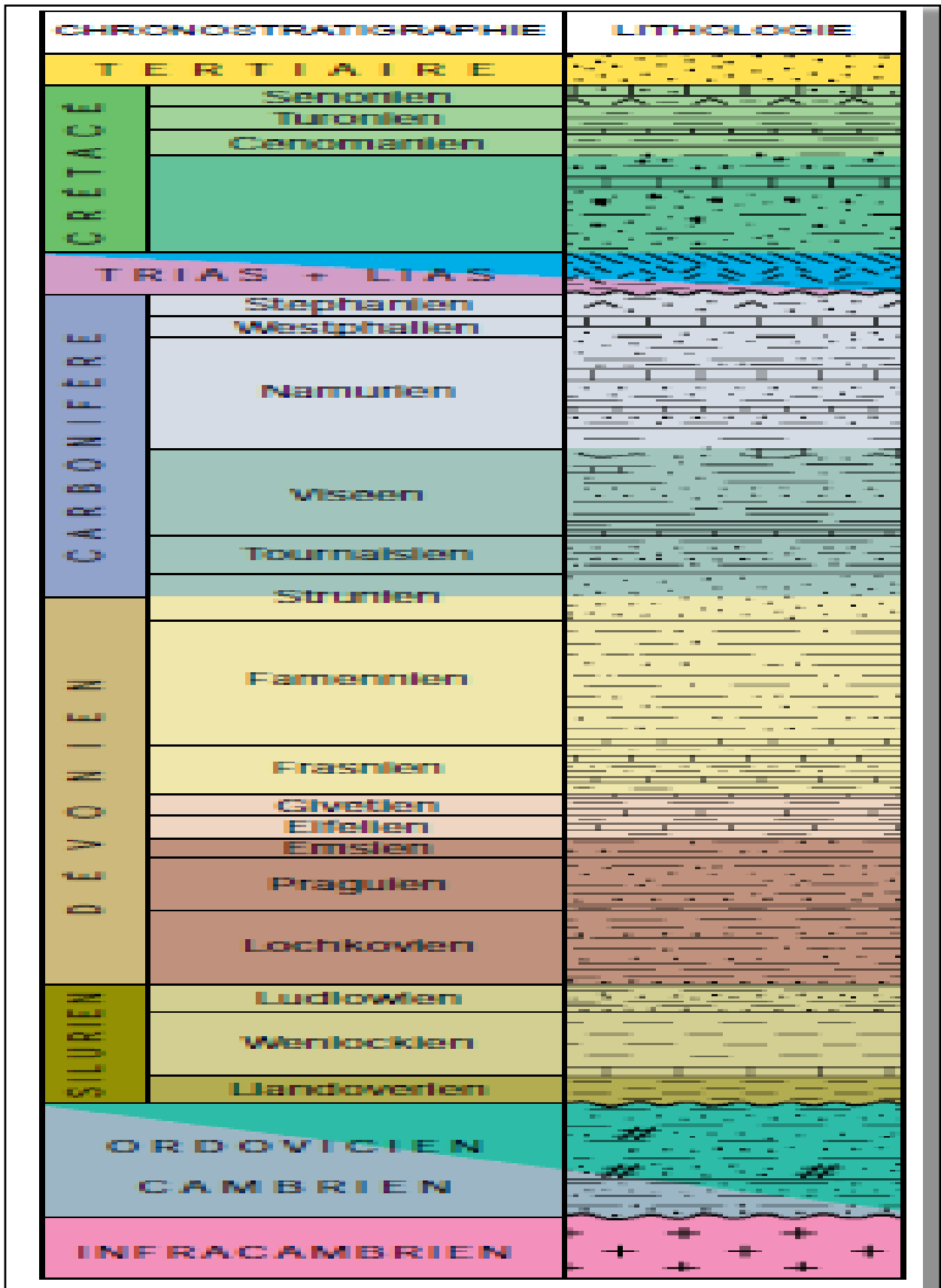


Figure I.9 : Litho stratigraphie de bassin occidental [6]

I.6.3.1 Précambrien:

Il est caractérisé par un socle O cristallophyllien qui est représenté par un dépôt volcano-sédimentaire (détritique) épais plissé attribué et métamorphisé, constitué généralement par des conglomérats à galets de différentes tailles, d'argiles, grès Quartzite d'arkoses micacées, de schistes feldspathique, de microgranites, de granite (ces roches se trouvent dans la région de Blade El-mass à l'Est de Reggane).

I.6.3.2 Paléozoïque :

Formé principalement de dépôts d'âge cambrien à carbonifère à dominance de grès et d'argile. Il est développé principalement à l'Ouest de la plate-forme saharienne et affleure sur le pourtour de la cuvette de Tindouf, au Nord du Hoggar, au Sud – Ouest, sur les bordures orientales du bassin de Taoudenni, et au Nord–Ouest, dans les bassins de la Saoura et de Bechar.

I.6.3.2.1 Cambrien :

Les dépôts cambriens sont reposés en discordance sur le socle précambrien et la majorité de ces éléments sont grossiers, moyens à fins ; quartzites, grès et parfois des conglomérats, son épaisseur varie d'une région à l'autre.

I.6.3.2.2 Ordovicien :

Les formations ordoviciennes constituent un objectif pétrolier de choix en raison de l'importance du développement des réservoirs gréseux. C'est pour cette raison qu'elles ont été traversées par de nombreux forages dans l'ensemble des bassins sédimentaires du Sud- Ouest algérien. Leur épaisseur peut atteindre 1900 m. donc c'est surface transgressive.

I.6.3.2.3 Silurien :

Il repose en concordance sur les dépôts précédents. Il est constitué par des dépôts terrigènes qui sont représentés par des Argiles noir à Graptolites, Argiles à passes gréseux et carbonates, on note que cette période est relativement courte.

I.6.3.2.4 Dévonien :

- **Dévonien inférieur** : il est caractérisé généralement par des faciès très variés, ensemble argilo-gréseux, grés-argileuse, grés quartzitique, grés, avec série des argiles noirs avec des passées de grés et de calcaires.
- **Dévonien moyen** : il est marqué par des faciès suivants : des argiles noires ou limite de dévonien inf., des grés, silico-argileux et de calcaires bioclastiques.
- **Dévonien supérieur** : commencé avec série argileux silteux, des calcaires argileuse, des argiles gris et complexe argilo - gréseux.

I.6.3.2.5 Carbonifère :

Le carbonifère correspond au cycle sédimentaire paléozoïque, les sédiments sont divers de marin profond jusqu'au continental.

- **Carbonifère inférieur**: il est subdivisé en un ensemble argilo-gréseux tournaisien surmonté d'une formation argileuse puis argilo-carbonatée datée du Viséen se déposant est marin avec la présence des évaporites.
- **Carbonifère moyen** : d'après [5] correspond à la "formation de azzelmatti" qui est caractérisée par des dépôts lacustres renfermant exclusivement des ostracodes ; au Bashkierien).

"Formation rouge de Ain echbibbi constituée par des grés fluviatiles grossiers à laminations obliques avec quelques passés marins au (Moscovien).

I.6.3.3 Mésozoïque :

Il couvre la grande partie de la région d'étude Touat (sert ou les terrains d'âge crétacé inférieur), Les terrains mésozoïques reposent en discordance angulaire sur les terrains primaires (paléozoïque). Au Nord de la région de Reggane. Il est recoupé parfois par des dykes et silts de dolérites attribuées. [7]

I.6.3.3.1 Crétacé inférieur Continental intercalaire :

Dans le Gourara, le Touat et le Tidikelt, le Continental intercalaire est daté du Crétacé inférieur, grâce à des découvertes paléontologiques assez nombreuses. Il existe une lacune très importante, allant du Permien au Jurassique supérieur, entre le Continental post-tassili en, plissé, d'âge Stéphanie, les assises continentaux, fossilifères, qui forment le plateau du Tidikelt. Pendant cette période se réalise la pénéplanation de toute la série précambrienne et paléozoïque et des phénomènes d'altération remarquables précèdent le dépôt du Continental intercalaire (Figure. I.10).

Le Continental intercalaire de cette région est divisé en quatre horizons constants, d'âge Crétacé Inférieur. Ces horizons sont sans doute les équivalents latéraux de la « série du Djoua »

- A la base, une unité A, formée de 25 à 300 m d'argiles rouges, de Grès roses et blancs, de Grès rouges à stratification entrecroisée et à lentilles de graviers et dragées de quartz. C'est dans les lits de graviers que l'on rencontre les restes de Poissons et de Reptiles.

- Au-dessus, l'ensemble B, formé par une dalle de Grès-quartzite, de 1 à 2 m d'épaisseur, très constante, surmontant un conglomérat à bois silicifiés, parfois à troncs d'arbres silicifiés et à ossements de Reptiles. Ce niveau forme la surface des plateaux qui se suivent de Timimoun à In-Salah en passant par Adrar, Reggane et Aoulef.

- Au-dessus, l'ensemble C est formé par une deuxième série argileuse, de 40 à 100 m de puissance, qui admet des intercalations de Grès à dragées « kerboub ».

- Enfin, l'ensemble D comprend 60 à 125 m d'argiles rouges à bancs Gréseux. Cette assise est remarquable à El-Goléa où les « argiles d'El-Goléa » alternent avec quelques bancs calcaires. [5]

Prof. (M)	La lithologie	La description lithologique	La géologie	
0		Grès dur gris à rose	Unité D	Continental Intercalaire
10		Gravier et sable et peu d'argile		
20		Argile à passage des grès		
30		Grès argileux	Unité C	
40		Sable fin argileux et peu marneux		
50		Grès argileux à passage de marne blanc		
60		Grès dur rouge et blanc très quartzeux		
70		Argile gréseux rougeâtre et marne à passage de grès	Unité B	
80		Grès blanc à ciment d'argile rouge		
90		Alternance grès argileux et argile rouge et vert.		
100		Argile rouge brique à passage d'argile vert.		
140		Argile marron plastique.		
200		Argile marron brique à passage d'argile blanc et vert		
220		Argile marron avec des gypse à passage d'argile rouge et rarement d'éléments de grès blanc, argile marron plastique à passage de gypse	Unité A	
240				
270				

Figure I.10 : Coupe lithologique d'unité de CI [6]

I.6.3.3.2 Le Crétacé supérieur (Crétacé marin) :

Il représente les dernières grandes transgressions marines. Il est présenté par le plateau de Tademaït, constitué généralement par une double dalle calcaire dure surmontant des argiles et des Grès rouge, de calcaires plus ou moins dolomitiques parfois pétris de coquilles marines.

I.6.3.4 Le Cénozoïque :

I.6.3.4.1 Néogène :

Il est représenté dans la bordure orientale de l'Erg, la Hamada de Tiouririne, emboîtée dans le Continental Intercalaire, a une dalle semblable à celle de la Hamada Chammar, avec à la base une torbacalcaréo - dolomitique, argileuse, Gréseuse, coiffée par une dalle calcaire dolomitique massive et fortement silicifiés.

I.6.3.4.2 Le Plio-Villafranchien:

En suivant la piste Meya Tindouf, on atteint le pointement paléozoïque d'El-Ahmar, au Sud-Ouest duquel on retrouve le faciès également lacustre matérialisé par des argilites vertes, à Poissons (C'est entre Kalouche et Sali) et forme la base du Plio-Villafranchien. Des filonnets de gypse, vraisemblablement d'origine secondaire se trouvent dans ces argilites. Ces dernières sont très nettement emboîtées par rapport au Néogène, puisqu'elles sont à moins de 175 m d'altitude et cela témoigne de l'importance des recensements qui se sont produits dans cette région, après la sédimentation hamadienne.

I.6.3.5 Le Quaternaire :

I.6.3.5.1 Villafranchien Supérieur (Quaternaire ancien):

C'est au Villafranchien supérieur que s'organise dans son ensemble le grand réseau hydrographique du Sahara algérien. C'est à cette époque que les écoulements canalisés présentent leur intensité maximale, et que les réseaux fluviatiles endoréiques qui s'étaient individualisés au Plio-Villafranchien, ont la plus grande extension géographique.

Une petite hamada se développe aux environs de Baamer, au milieu de la dépression du Touat. Les dépôts sont très réduits, conglomératiques ; ce dernier caractère est dû à la proximité des affleurements précambriens de Baamer et de la Zaouïa-Sidi-Abdel- Kader. La petite hamada est constituée de 2 m de conglomérat à éléments de Grès arkosiques, mal roulés, pris dans un ciment argilo-Gréseux, surmontés par une dalle également

conglomératique, à ciment calcaire, d'environ 2 m de puissance. Le Continental Intercalaire remonte en gradins, sur lesquels sont implantées les palmeraies, et ferme la dépression du Touat à l'Est. [1]

I.6.3.5.2 Le Pléistocène moyen (Quaternaire moyen) :

Le retour à des conditions climatiques subarides, pendant une longue période, a permis la réorganisation du réseau hydrographique ancien et le dépôt de sédiments fluviatiles et lacustres, qui sont dans l'ensemble modestes et plus étroitement localisés dans les vallées que par le passé.

Pendant cette période, s'est élaboré un glacis emboîté dans le glacis villafranchien ; des encroûtements calcaires ou des cuirassements ferrugineux, se sont formés sans atteindre l'ampleur de ceux du Villafranchien supérieur.

I.6.3.5.3 L'Holocène (Quaternaire récent):

La mise en évidence de cette période humide date des premières explorations sahariennes. L'abondance de l'outillage néolithique, celle des gravures rupestres, et les témoins d'anciens sols marécageux ont depuis longtemps attiré l'attention des voyageurs sur cette époque, géologiquement très proche.

I.6.4 Tectonique :

Dans le Sahara occidental, les mouvements de l'orogénèse hercynienne sont les principaux responsables de la déformation et de la structuration.

Le bassin de Reggane est une vaste dépression du domaine cationique, (stable). Cette synclise de la plate forme saharienne est fortement dissymétrique, orientée sensiblement Nord-Ouest et Sud-Est.

Ce bassin est caractérisé par des événements tectoniques qui se sont produits au Cambrien-Viséen et au Carbonifère terminal. Sur le socle Précambrien repose en discordance une puissante couverture sédimentaire de l'ordre de 6500 m. Les formations du Carbonifère affleurent au Nord de Reggane et Ain-Chebbi.

Dans la région de Touat et à l'Est de la palmeraie de Bouali, un ensemble de tufs et de sols marécageux, datés de l'époque holocène indique le niveau d'émergence naturelle de la nappe du Continental intercalaire, pendant l'humide néolithique.[1]

I.7 HYDROGEOLOGIE :

I.7.1 Introduction

Le Sahara algérien est subdivisée en quatre ensembles hydrogéologiques (Figure. I.11) qui sont :

- L'ensemble de Saoura-Tindouf.
- L'ensemble du Chott Melhir.
- L'ensemble du Sahara septentrional.
- L'ensemble du Hoggar-Tassili.

Notons a ce niveau que la région d'étude fait partie des deux ensemble suscites.



Figure I.11 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien (ABHS)

Système aquifère du Sahara septentrional :

Les besoins en eau sont en continuel augmentation afin d'assurer la survie et le développement des peuples ; par conséquent, l'eau devient avec le temps de plus en plus précieuse.

La prospection pétrolière au XX^{ème} siècle est à l'origine de la découverte d'un gigantesque appareil hydraulique au Sahara qui est le système aquifère du Sahara septentrionale (SASS).

Ce système aquifère formé par les nappes aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal s'étend dans sa plus grande partie dans le territoire saharien algérien.

Le système aquifère du Sahara septentrional est partagé entre l'Algérie la Tunisie et la Libye.

Sa superficie telle qu'elle est déterminée par l'agence de bassin hydrographique Sahara ABHS, est de l'ordre de 1 million de Km², répartie entre les trois pays comme suit :

- 650.000 km² en Algérie.

- 250.000 km² en Tunisie

- 100.000 km² en Libye

Le volume total de ce système aquifère est évalué à 60.000 milliards de m³, Il correspond à un débit fictif de 100 m³/s pendant 2000 ans.

Cependant son exploitation pose un certain nombre de problèmes comme :

- Difficultés d'exploitation dans les milieux désertiques (Ergs, plateaux chotts et sebkhas, représentent plus de 300 000 km².
- Profondeur élevée induit un coût élevé du forage.
- Une forte température de l'eau nécessite un équipement pour refroidir.
- Problèmes de la Corrosion et de l'entartrage du tubage. [8]

I.7.2 Les deux systèmes aquifère du Sahara :

I.7.2.1 L'aquifère du Complexe Terminal (CT) :

La nappe du Complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km² avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, qui sont appelés nappes des sables et nappes des calcaires.

Le Complexe Terminal est constitué, par des formations d'âge et de lithologie différents : à la base il y a le Sénono-Eocène carbonaté et au sommet on trouve le Mio-Pliocène sablo argileux. La nappe du Complexe Terminal est en charge sous les formations argileuses du Mio -Pliocène dans la partie Nord et libre dans la partie sud. Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio - Pliocène.

L'écoulement général se fait vers les Chotts et vers le golfe de Gabès (Tunisie). Les eaux de cet aquifère se caractérisent par une température peu élevée ; l'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus chargée au centre (plus de 5g/l)

La réalité d'une alimentation du réservoir a été établie :

- sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires ou au travers des écoulements d'inféro-flux des Oueds .
- sur le Grand Erg occidental et le Grand Erg oriental, par infiltration des pluies exceptionnelles ;
- enfin d'une manière indirecte par drainage de l'aquifère des dolomies turoniennes, et des fuites du C.I par l'intermédiaire des failles d'Amguid EL Biod.

Au total, ces apports représentent une alimentation équivalente à 750 millions de m³/an. À l'est de la dorsale du M'Zab, autant que dans le Sud tunisien et en Libye, l'essentiel de l'écoulement converge vers la zone des Chotts.

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental Intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles. [8]

I.7.2.2 Le Continental Intercalaire (CI):

Le Continental Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'albien. Ce réservoir a un volume considérable du à la fois à son extension sur tout le Sahara Septentrional (600.000 Km²) et à son épaisseur, qui peut atteindre 1000 mètres au Nord Ouest du Sahara.

La nappe du Continental Intercalaire est un réservoir à eau douce ; la plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du quaternaire. Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par :

- Une température qui dépasse les 60°C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol.

- Une charge en H₂S et CO₂ qui lui donne un caractère corrosif.

- La minéralisation de l'eau oscille entre 1 et 2 g/l de résidu sec et peut atteindre les 5 g/l (GassiTouil).

- L'alimentation de la nappe, relativement faible, se fait par ruissellement à la périphérie du réservoir, tout au long et à l'extrémité des Oueds, qui descendent des monts de

L'Atlas saharien, du Dahar tunisien, du plateau de Tademaït et Tinhert et par les pluies exceptionnelles sur les grands ergs.

- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie) et du Sud vers le Nord

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 Km² (figure. I.12). Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m³ environ.

Située à plus de 1400 m de profondeur dans la zone de Touggourt, cette nappe est plus connue sous la dénomination d' « Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du « Continental Intercalaire », qui est la plus exploitée. Le terme de Continental Intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marin. [9]

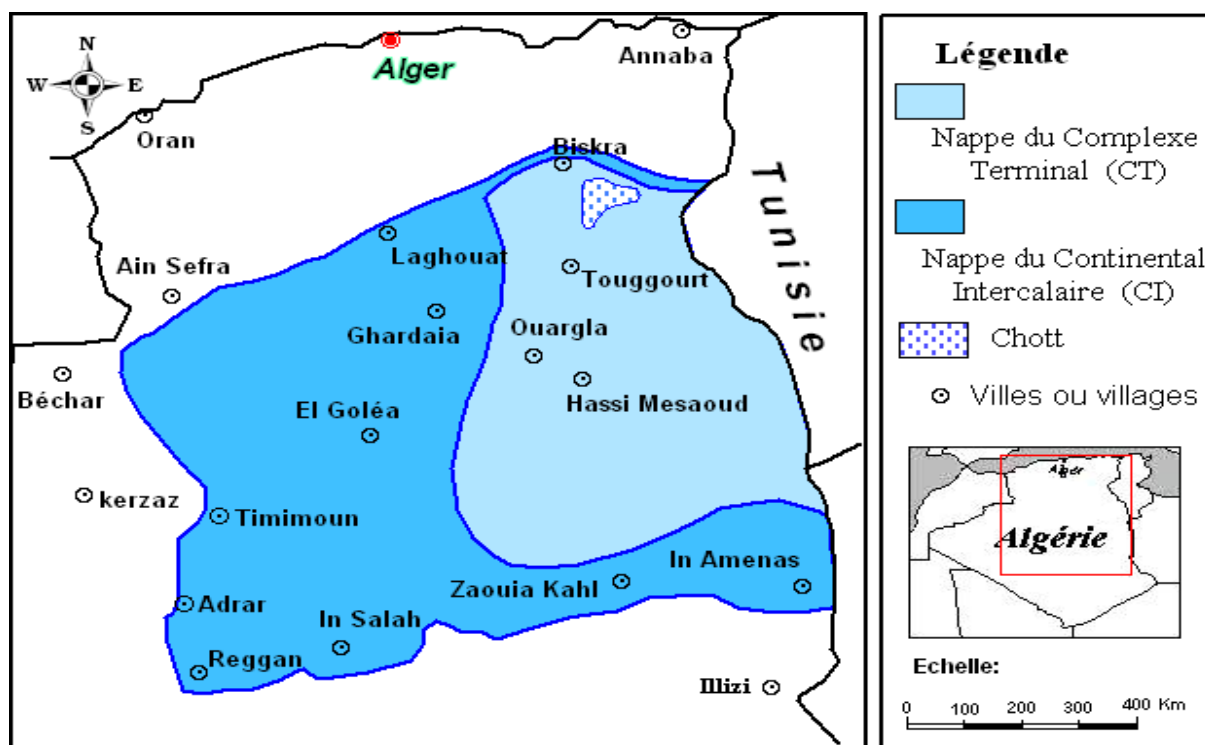


Figure I.12 : Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe terminal)

I.7.2.3 Limites et morphologie du Continental Intercalaire :

Le continental intercalaire est limité au nord par l'Atlas saharien, à l'ouest par l'axe Béchar-Reggane et au sud par l'axe Reggane Ain Amenas ((figure. I.13) et (figure. I.14).

A l'est, il se prolonge au-delà des frontières Alger-Libyenne et Alger-Tunisienne.

Il est partagé par la dorsale M'zab en deux bassins:

- le bassin occidental oriental,
- le bassin oriental qui englobe le bas Sahara.

La transgression cénomaniennne, très générale au Sahara, donne au Continental Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure. Ainsi, sur la plus grande partie du Sahara algérien, les grés du Continental Intercalaire sont recouverts par une série argilo-gypseuse lagunaire d'âge probablement Cénomanienn inférieur, tandis qu'une transgression du cénomanienn supérieur est très générale. [10]

A la périphérie du Sahara, le Continental Intercalaire se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Au sens large, le Continental Intercalaire (CI) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. La définition donnée par l'UNESCO dans "l'étude sur les ressources en eaux du Sahara Septentrional" la limite aux formations clastiques (argilo gréseuses) véritablement continentales et susceptibles de constituer un ensemble aquifère homogène sur le plan lithologique [11].

Le (CI) ainsi défini peut occuper une position variable dans l'échelle stratigraphique: si le toit est défini comme la base du cénomanien argileux (sauf dans le nord-ouest), il n'en est pas de même pour le mur qui est situé, suivant les régions, entre la discordance hercynienne et le Barrémien.

Le (CI) n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile. Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalaire, on distingue:

- Les grés, quand les couches renferment moins de 10 % d'argiles,
- des grés argileux, s'il y a de 10 à 50% d'argiles,
- des argiles, quand il y a plus de 50% d'argiles.

De haut en bas, le (CI) débute presque toujours au toit de l'Albien (figure. I.14). Le mur du (CI) coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux de Tademaït et du Tinhert.

La porosité moyenne de cette nappe se situe entre 22 et 29%.

Tableau I.6 : Données générales sur la nappe du continental intercalaire (albien).

Etendue	600 000km ²
Epaisseur totale (m)	50 à 1 000
Profondeur (m)	60 à 2 400
Profondeur au toit (m)	20 à 2 000
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par rapport au sol (m)	Artésien (25 bars)
Rabatement par rapport au N.S (m)	artésien
Transmissivité (10 ⁻³ m ² /s)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10 ⁻⁴)	6 à 1200
Alimentation moyenne (Hm ³ /an)	270
Réserve théorique calculée (m ³)	50 000x 10 ⁹
Température (°C)	25 à 70
Salinité des eaux	0.5 à 6 g/l

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'ouest (Gourara, Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. à l'est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de l'oued Righ. Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas saharien. [11]

I.7.2.4 Alimentation du Continental Intercalaire (CI) :

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas saharien : la quantité d'eau tombent annuellement sur les affleurements du crétacé inférieur continental

est estimée à 2,5 milliards m³/an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont peut-être expérimentés. Le volume

d'eau emmagasiné dans le (CI), évalué à 50 000 milliard m³ correspondant, en théorie, à un débit fictif continu de 1000 m³/s pendant 2000 ans. [11]

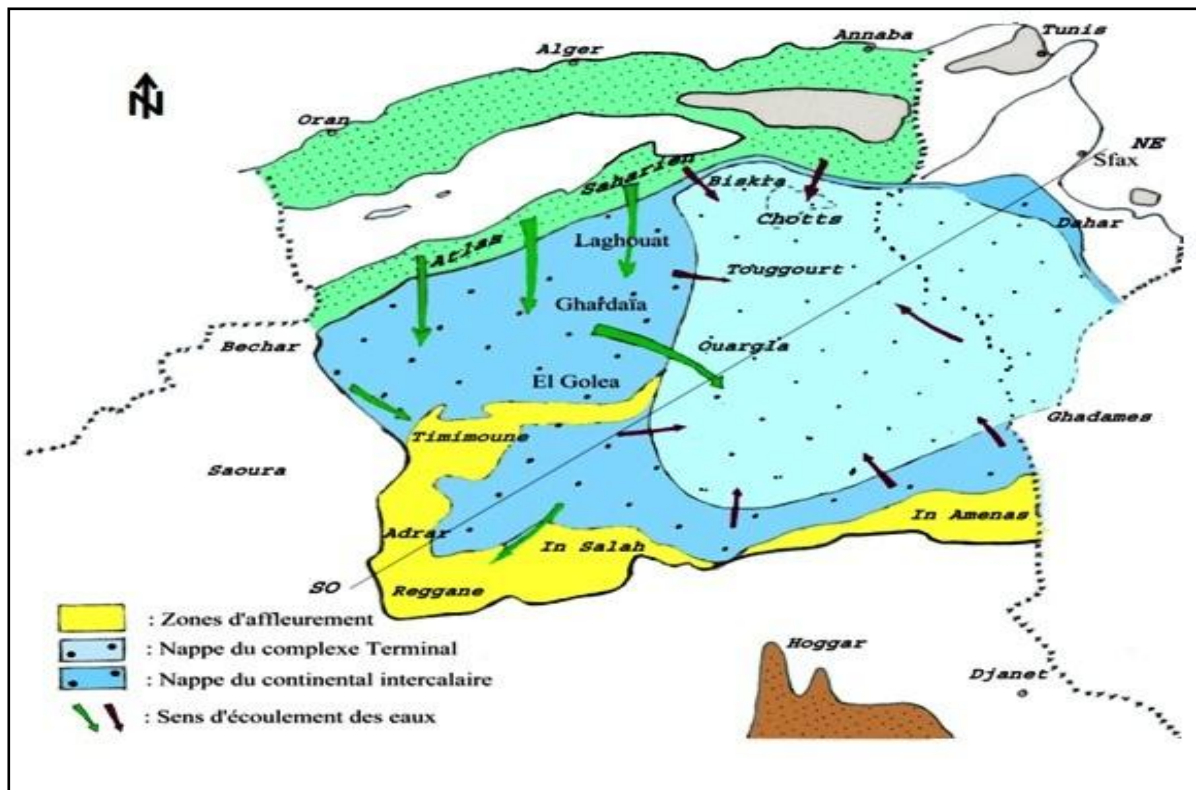


Figure I.13 : Les sens d'écoulement des eaux de deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le (CT) et le(CI)

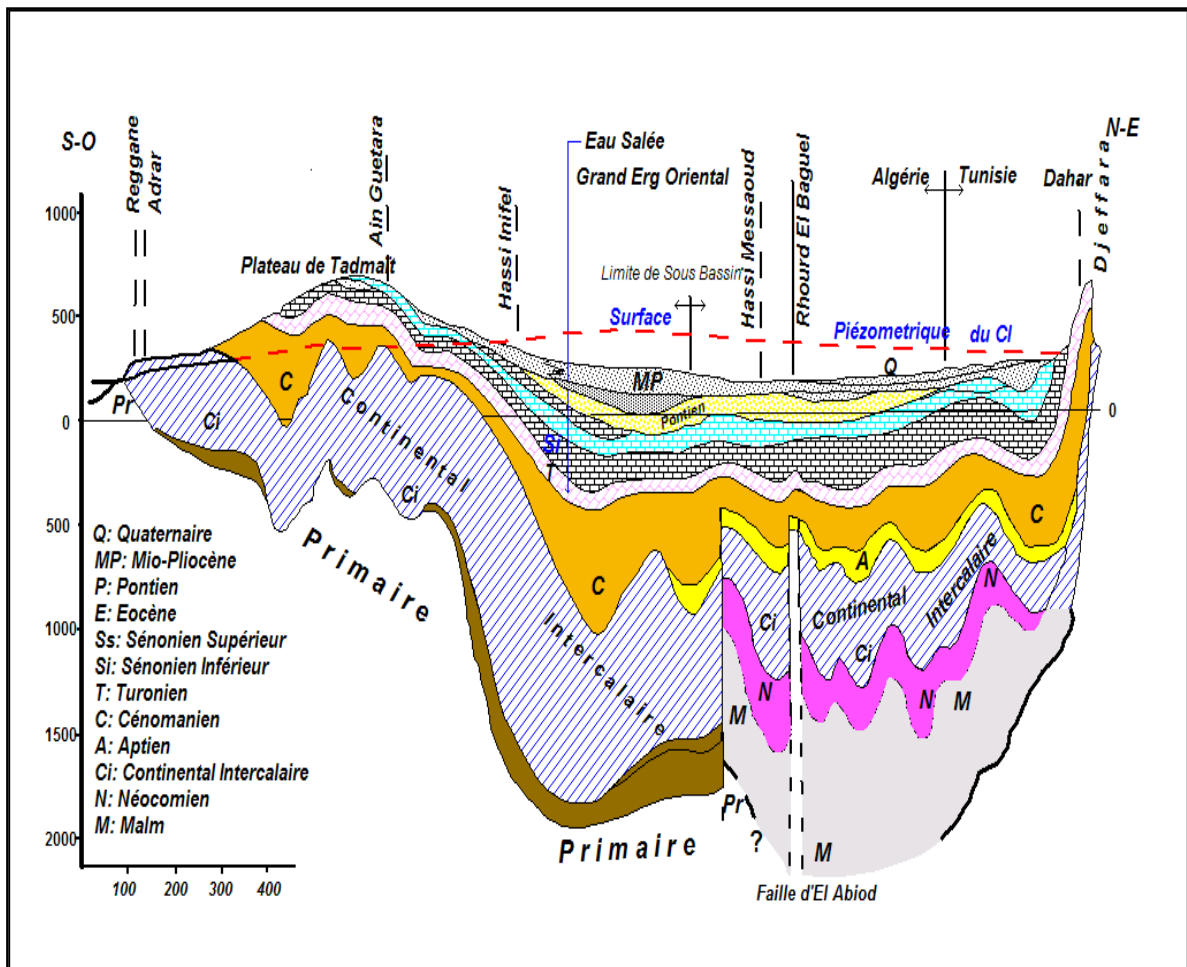


Figure I.14 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional [11]

I.7.2.6 Qualité des eaux en générale:

Les eaux souterraines sont, en général, peu minéralisées sous le Grand Erg Occidental, et dans la zone d'alimentation du système aquifère, elles sont à prédominance chlorurées ; elles se chargent rapidement en sulfates sur les limites de la zone à surface libre, puis se concentrant à nouveau en chlore, aux exutoires et dans les zones à faible vitesse d'écoulement du Grand Erg Oriental. La minéralisation augmente en général, avec la profondeur et en relation avec la présence des niveaux argileux. Une large tendance de croissance du le temps de minéralisation et du rapport SO_4/Cl en fonction de l'exploitation, a été observée aux certains forages de la région. [12]

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The background of the scroll is white, and the unrolled portion is shaded light gray.

CHAPITRE II

ETUDE GÉNÉRALE

SUR LES NITRATES

II.1 INTRODUCTION :

Bien que les eaux souterraines soient généralement moins facilement mobilisables que les eaux de surface, les aquifères représentent 100% des sources d'approvisionnement en eau potable dans la région d'Adrar. L'avantage des aquifères comme sources d'approvisionnement en eau potable réside surtout dans leur capacité à réduire l'impact des contaminants sur la qualité de leur eau.

Cette atténuation s'exprime en particulier dans les sols qui procèdent à la filtration et à la dégradation des contaminants par voies chimiques et biologiques. Elle est aussi liée au temps de séjour des eaux souterraines qui leurs confèrent une certaine inertie face aux contaminations du bassin versant. Ce dernier point a pour avantage de retarder l'arrivée d'une contamination chimique dans un captage d'eau potable et d'augmenter d'autant le temps disponible pour son élimination ou sa dégradation naturelle. Néanmoins, cette inertie a aussi son revers, en particulier lorsque des contaminants persistants sont à l'origine de la pollution.

La qualité de l'eau souterraine s'en trouve alors durablement détériorée, ce qui se répercute tout aussi durablement sur la qualité de l'eau exploitée.

Certaines pratiques agricoles intensives peuvent contaminer les aquifères par lessivage de substances indésirables (par ex. nitrates et produits phytosanitaires). Afin de lutter contre la dégradation de la qualité des eaux souterraines, l'Etat a mis en place des périmètres de protection des ouvrages pour diminuer les flux de contaminants entrant dans les aires d'alimentation des captages d'eau souterraine.

Dans ce même contexte, le réseau d'observation des eaux souterraines permet d'identifier les grandes tendances de l'évolution de la qualité des eaux souterraines et d'évaluer ainsi le succès des politiques utilisées dans le domaine.

Dans le cadre de la gestion du réseau de qualité des eaux souterraines de la région d'Adrar de nombreuses études ont été effectuées par la direction de l'ANRH Adrar ainsi que plusieurs prélèvements des échantillons dans tout le territoire de la wilaya d'Adrar ont été effectués. Ces campagnes ont mis en évidence une contamination plus ou moins importante des aquifères par les nitrates

On a constaté que les teneurs en nitrates dans certaines régions peuvent dépasser les 100 mg/l telles que Reggane, Charouine et Zaouit Kounta. Pour cet objectif, on s'intéresse à l'étude de la pollution des eaux par les composés azotés et particulièrement les nitrates. [12].

II.2 GENERALITES SUR L'AZOTE :

L'azote est un élément chimique très répandu dans la nature. L'ensemble des réactions biologiques de croissance requiert la présence de cet élément. La forme azotée la plus abondante et la plus stable (N_2), représentant d'environ 78 % de l'atmosphère terrestre [13]. En effet, il constitue entre 16 et 23 % de protéines cellulaires et environ 12 % des acides nucléiques [14]. Dans l'eau, l'azote se trouve en solution sous forme combinée : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), azote ammoniacal (NH_3 , NH_4^+), azote organique

II.3 CYCLE DE L'AZOTE:

On appelle cycle de l'azote les diverses transformations que subit l'azote dans la biosphère (figure II.1). La plupart entre elles sont d'origine microbienne et leur importance agronomique est considérable, car elles régissent le bilan de l'azote du sol et la mise en disposition de la plante des formes minérales [15]. Seules utilisables pour une circulation effective des nutriments dans le cycle de l'azote, chaque composant du cycle doit servir comme récepteur et comme source [16].

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

Tableau II. 1:les différents composés de l'azote distingués pour leurs degrés d'oxydation.

Composés	Degrés d'oxydation	Nom systématique
NO_3	+5	Nitrate
NO_2^-	+3	Nitrite
NO	+2	Oxyde nitrique
N_2O	+1	Oxyde nitreux
N_2	0	Diazote
$\text{NH}_3 (\text{NH}_4^+)$	-3	Ammoniac/ammonium

L'azote est soumis à des cycles d'assimilation, minéralisation, oxydation, réduction qui sont le fait d'organisme animaux et végétaux, ainsi que des microorganismes. Les principales étapes du cycle de l'azote sont la fixation, l'assimilation, l'ammonification, la nitrification et la dénitrification (figure II.1) [17].

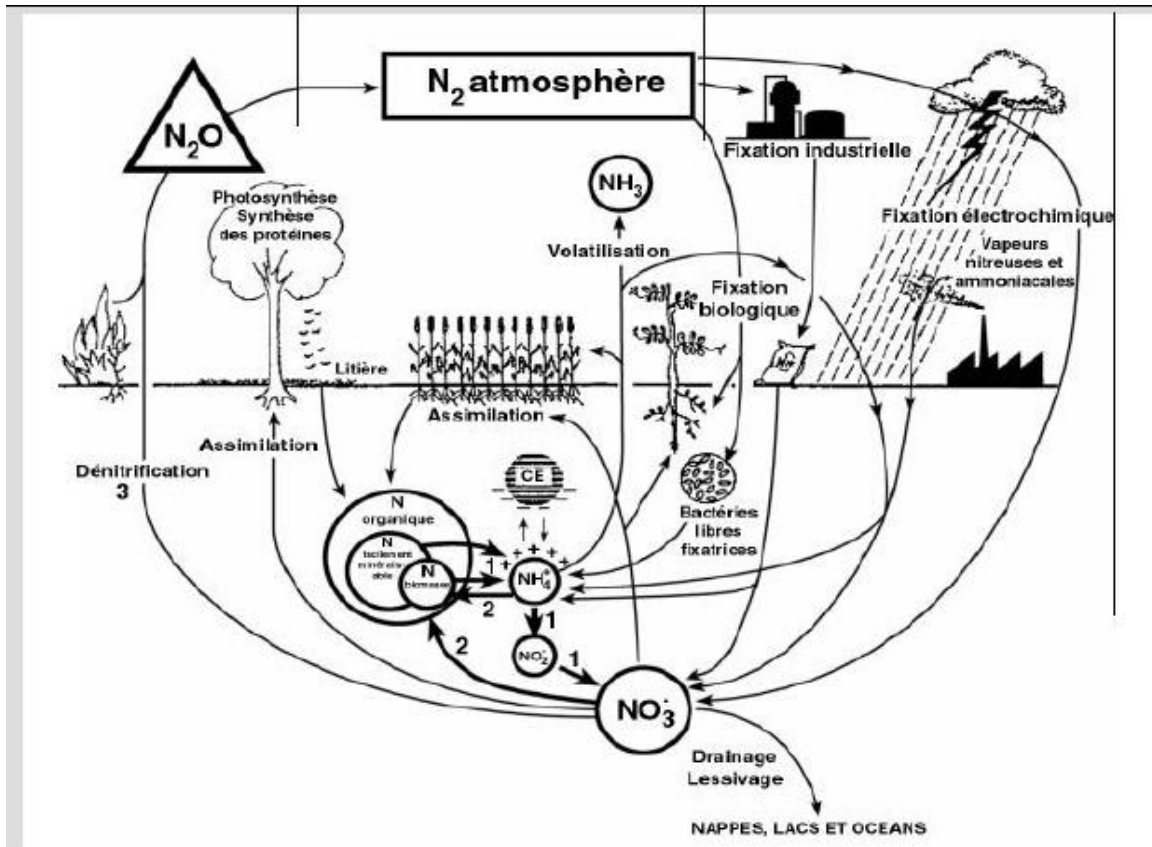
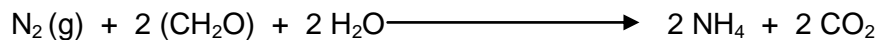


Figure 1. Le cycle de l'azote, d'après Mariotti. 1.Minéralisation. 2.Réorganisation. 3.Dénitrification. CE : Colloïdes électro-négatifs..

Figure II.1 : le cycle de l'azote

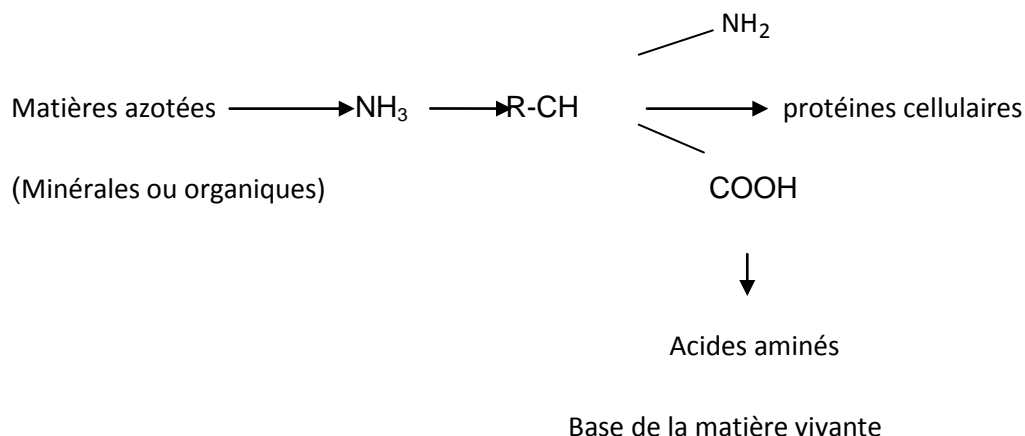
La fixation : correspond au passage de l'azote atmosphérique (N_2) en azote combiné sous l'action de certains organismes qui consomment cet élément (N_2) par la réaction de réduction :



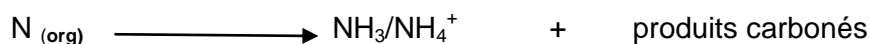
De plus, si le sol est basique, il y aura formation d'ammoniac :



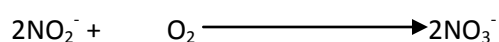
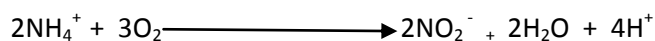
L'assimilation : est la transformation de la forme assimilable de l'azote ammoniacal (NH_3) ou organique inerte en matière vivante. Elle est simultanée à celle du carbone et conduit à la synthèse de protéines et d'acide nucléiques [13]



L'ammonification : est la libération d'ammoniac à partir de matières azoté organiques par des réactions enzymatiques [18].

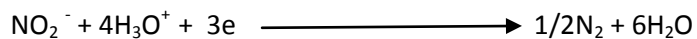
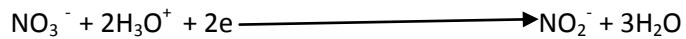


La nitrification : La nitrification est définie comme étant la conversion de composés azotés (organiques ou inorganiques) réduits en éléments dont l'azote est dans un état plus oxydé.[19]. La nitrification est généralement réalisée par des micro- organismes autotrophes qui utilisent l'azote ammoniacal ou le nitrite comme source d'énergie (donneurs d'électrons) et comme source d'azote, le dioxyde de carbone comme source de carbone et l'oxygène comme accepteur final d'électrons. Elle s'opère en deux étapes : la nitratation qui est l'oxydation de l'ammoniac en nitrite, et la nitration correspondant à l'oxydation du nitrite en nitrate [20].



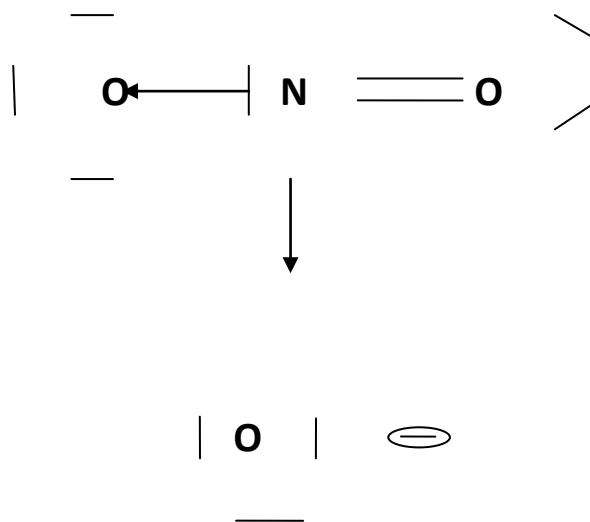
La réduction assimilatrice : (ou dessimilatrice) qui est la réduction de l'azote nitrique (NO_3^-) en ammoniac (NH_4^+).

La dénitrification : permet à l'azote de retourner à l'atmosphère sous sa forme peu réactive : (N₂). Il s'agit ici d'une réaction de réduction des nitrates grâce à l'action des bactéries dénitrifiantes qui peuvent transformer la matière organique [21]



II.4 FORME GEOMETRIQUE DES NITRATES :

La forme géométrique la plus stable de l'ion nitrate est représentée par le schéma de Lewis comme suit



C'est une molécule de type [AX₃E] avec géométrie pyramidale d'hybridation [SP³] avec angle de liaison valant d'environ **107°**.

II.5 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES NITRATES:

L'ion nitrate (NO_3^-) est un ion naturel présent de façon naturelle dans l'environnement. Il se forme naturellement au cours du cycle de l'azote, notamment lorsque des matières organiques se décomposent, par l'action des bactéries du sol. L'azote organique se transforme par oxydation en composés ammoniacaux puis en nitrates. [22].

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

Les nitrates sont très utilisés comme engrais minéraux. Ils sont également utilisés dans les explosifs, comme agents oxydants dans l'industrie chimique et comme agents de conservation. Les nitrites sont surtout utilisés comme agents de conservation, notamment dans les salaisons. Dans des conditions anaérobies, les nitrates peuvent se dénitrifier [23].

Les concentrations de nitrates et de nitrites dans l'eau peuvent être exprimées sous forme de nitrates (ou nitrites) ou sous forme d'azote ; un milligramme de nitrates par litre (mg/l de NO_3^-) équivaut à 0,226 mg de nitrates, sous forme d'azote, par litre (mg-N/l). Dans le cas des nitrites, un mg/l équivaut à 0,304 mg-N/l [24].

II.6 SOURCE DE CONTAMINATION:

En raison de la stabilité de l'ion nitrate, la plupart des substances azotées de l'environnement ont tendance à se transformer en nitrates, donc elles sont des sources potentielles de ce dernier. Dans l'eau, ces substances peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles et des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles [23].

II.7 ORIGINE DES NITRATES DANS LES EAUX:

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

La majorité de la pollution azotée de l'eau provient de l'agriculture. En agriculture, l'azote a un rôle bénéfique et il est utilisé volontairement. Mais dans le milieu aquatique c'est un résidu ou un excédent. L'agriculture serait donc responsable de 2/3 de la pollution azotée de l'eau, les usages domestiques 2/9 et l'industrie 1/9. Les apports d'azote dus à l'eau des rejets domestiques et

industriels sont estimés à 340 000 Tonnes/an à 10 % près, tandis que les diverses activités agricoles en apportent 720 000 t/an, à 15 % près. En France par exemple, chaque année, 2 500 000 tonnes d'engrais azotés sont ré pondues sur les cultures. Cet apport en masse ne peut être absorbé en totalité par les plantes. Le surplus reste sur les sols et il sera lessivé par les pluies. On fini par retrouver ces engrais dans les eaux superficielles ou dans les eaux souterraines.

A ces engrais azotés, il convient d'ajouter les nitrates d'origine animale. Un porc de moins de six mois et qui pèse 100 Kg évacue une quantité de lisier (mélange d'urine et de matière fécales) correspondant à 1 m³/an, (soit 5,5 Kg d'azote. S'il est mal stocké, il pollue en priorité les eaux de surfaces.

La troisième source de pollution par les nitrates est industrielle et domestique. L'azote des eaux d'égouts est rejeté dans le milieu naturel et s'oxyde en nitrates. Les rejets industriels et urbains ne sont qu'en partie épurée, avant d'être évacués dans le réseau hydrologique de surface.

Les teneurs en nitrates sont en augmentation ces dernières années. La progression dans les eaux souterraines est couramment de 0,5 à 1 mg/l/an et peut atteindre 2 mg. Une situation voisine se rencontre dans les eaux superficielles **[24]**.

L'augmentation des teneurs des composés azotés traduit une pollution de la ressource liée aux activités humaines (tableau II.1) et en particulier aux activités de surfaces (tableau II. 2).

Tableau II. 2 : Principales origines des NO₃, NO₂, NH₄ dans l'environnement.

Eaux	Composés azotés concernés	Type de pollution	Source de pollution
Eaux superficielles Des rivières, canaux lacs, étangs	Ammonium Ammoniaque dissoute Azote organique	Ponctuelle	Rejets industriels et domestiques Rejets d'effluent et d'élevage
	Nitrates, Nitrites	Ponctuelle et diffuse	Alimentation des eaux superficielles par des nappes polluées
Eaux souterraines		Diffuse	Fuites des zones industrielles et habitées, activités agricoles et intensives
	NO ₃ ⁻ presque uniquement	Macroponctuelle ou Macrodiffuse	Même source que ci-dessus, rejet industriel, domestique, agricole ou de l'élevage

- D'origine diffuse : entraînement des nitrates provenant des engrais minéraux ou organiques non utilisé par les plantes.
- D'origine ponctuelle : rejets d'eaux usées domestiques, agricoles ou industrielles.

Tableau II. 3 : Teneurs en nitrates et activités ou occupation du sol [25]

Teneurs	Activités ou occupation de sol
Très élevées et croissantes	Occupation urbaine et industrielle dense et/ou agriculture intensive
Moyennes	Agriculture traditionnelle moyennement intensive, habitat rurale dispersé
Faibles	Foret et zones d'élevage intensif avec des prairies permanentes peut fertilisée

II.8 LES EFFETS DES NITRATES:

La présence d'ion nitrate dans les eaux engendre trois principaux impacts [26] :

- 1- Sanitaire en étant cause potentielle de méthémoglobinémie et source de nitrosamines.
- 2- Ecologie en contribuant aux phénomènes d'eutrophisation.
- 3- économique en augmentant le coût de production d'eau potable.

II.8.1 Nitrates et risques sanitaires :

II.8.1.1 La méthémoglobinémie :

Les nitrites résultant de la réduction des nitrates oxydent les ions ferreux (Fe^{2+}) de l'hémoglobine en ions ferriques (Fe^{3+}). L'hémoglobine se transforme alors en méthémoglobine, incapable de céder l'oxygène aux tissus. Au-delà d'un certain taux de méthémoglobine, différents symptômes apparaissent d'une cyanose légère à des troubles de conscience pouvant évoluer vers la mort par anoxie cellulaire. Le nitrite est alors absorbé dans le sang et l'hémoglobine est convertie en méthémoglobine qui ne peut pas transporter l'oxygène [27].

Cette pathologie est surtout observée chez les sujets déficients en "G6PD" (glucose-6-phosphate-déshydrogénase ou méthémoglobine-réductase) qui ont une impossibilité de régénérer de l'hémoglobine à partir de la méthémoglobine. Les nourrissons moins de six mois contrairement aux adultes boivent plus d'eaux relativement à leurs poids, ainsi que leurs estomacs est faiblement

acide et contient une flore bactérienne capable de transformer les nitrates en nitrite, en conséquence l'hémoglobine fœtale se transforme assez facilement en méthémoglobine. Aussi des conditions de prédisposition à la méthémoglobinémie ou cyanose du nourrisson semble exister pour les nourrissons dont la mère a consommé régulièrement des eaux à fortes teneurs en nitrates, c'est pour quoi la norme des nitrates (< 50 mg/l) a été établie en fonction de cette population.

Il semble que, dans leur majorité, des cas de méthémoglobinémie surviennent quand les taux de nitrates dans l'eau de consommation dépassent 100 mg/l [28].

II.8.1.2 Pouvoir cancérigène :

Le principal problème associé à l'exposition prolongée au nitrate et au nitrite est la formation de composés *N*-nitroso (CNN), dont bon nombre sont cancérogènes. de nombreuses études épidémiologiques ont été effectuées sur la relation entre le nitrate et nitrite ingérés et le cancer chez les humains.

Pour tout siège de cancer, le nombre d'études épidémiologiques bien conçues comportant des données sur l'exposition individuelle et de l'information sur les inhibiteurs et les précurseurs de la nitrosation est limité, ce qui empêche de tirer des conclusions quant au risque de cancer [29].

Chez l'homme, de nombreuses études ont recherché d'éventuelles corrélations entre le taux de nitrates dans l'eau de boisson et la survenue de cancer, digestifs essentiellement. Leurs résultats ne permettent pas de conclusions définitives [30].

Le Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France précise en 1985 et en 1995 que, pour les teneurs rencontrées actuellement en France, le risque de cancer pour l'homme n'a pas été démontré, malgré la mobilisation d'efforts de recherche [31]. Les relations entre ces divers composés azotés et les risques qui résultent de leur présence sont présentées dans la (figure II.2) suivant :

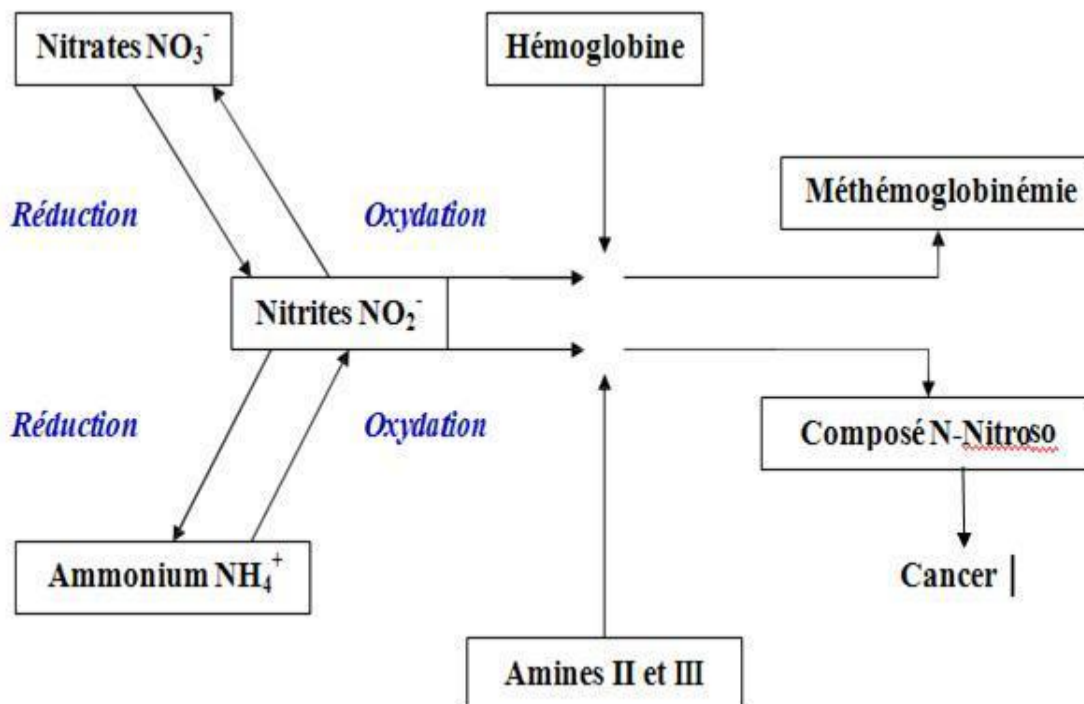


Figure II.2: Schéma représentant la relation entre les divers composés Azotés et les risques qui résultent de leur présence [32]

II.8.2 Effet sur l'environnement :

En ce qui concerne l'environnement, dans les eaux de surface, les nitrates ne sont pas décomposés, car l'eau est en général aérée, sauf dans des circonstances de condition extrême. L'effet majeur des nitrates sur les eaux de surface est de le conduire à l'eutrophisation. Ce processus se déclenche quand les eaux sont trop chargées en nitrates et en phosphates, ces deux nutriments qui permettent la croissance des algues. Quand ils sont tous les deux en grande quantité dans l'eau, les algues microscopiques (phytoplancton) et les végétaux fixés (macrophytes) se développent de façon excessive.

La matière organique présente dans le fleuve augmente démesurément (la rivière devient parfois verte tellement les algues y pullulent), et quand les algues meurent, cette matière organique se décompose en consommant tout l'oxygène de la colonne d'eau, induisant

Ainsi l'anoxie, c'est-à-dire l'absence d'oxygène dans l'eau, et donc la mort de tous les poissons et invertébrés du milieu. Cette anoxie ne se produit pas en général dans le réseau fluvial mais dans les estuaires turbides où le transit de l'eau est fortement ralenti et où la décomposition l'emporte sur la production algale. Le phénomène d'eutrophisation fluvial se produit principalement au printemps et en été, quand l'ensoleillement est fort, permettant la photosynthèse par les algues, et la température élevée.

II.9 LES PROCÉDES D'ÉLIMINATION DES NITRATES:

L'élimination des nitrates peut être réalisée soit par traitements biologiques : dénitrification soit par traitements physico-chimiques : échanges d'ions, procédés membranaires.

L'enlèvement des nitrates dans les eaux usées est principalement effectué ou par dénitrification ; processus biologique qui s'avère habituellement plus économiques que les traitements physico-chimiques [33].

II.9.1 Les procédés physico-chimiques :

On utilise le terme de dénitratisation par opposition à la dénitrification qui correspond à une transformation biologique, trois types de traitements physico-chimiques peuvent être mis en œuvre.

II.9.1.1 Echange d'ions :

Le traitement des eaux par échange d'ions est un procédé ancien largement répandu. . Ce procédé consiste à transférer des ions indésirables de l'eau brute sur un support insoluble, appelé échangeur d'ions, qui les capte et libère en contre partie une quantité équivalente d'ions dont la présence n'est pas gênante. Cette technique est très utilisée mais le seul inconvénient est élevé surtout pour la régénération d'échangeur d'ion [34]. L'échangeur d'ions possède une

capacité limite de stockage sur son support (capacité d'échange) et doit être régulièrement régénéré, par une solution fortement concentré d'ions choisis.

Dans le cas de l'élimination des nitrates, on utilise des résines de type anionique (échangeur d'anions). Comme la plupart des échangeurs, ces résines se présente sous forme de billes de diamètre compris entre (0,4) et (0,8) mm, ce sont des polymères de composés aromatiques comprenant des groupes ionisés de type basique. Un autre inconvénient de pose pour cette technique c'est que les anions nitrates ne sont pas les seuls retenus. Il existe même une sélectivité différente suivant l'espèce anionique. Des plus retenus aux moins retenus, l'ordre généralement cité est :

Ainsi, une eau riche en sulfates pourra être gênante dans l'élimination des nitrates, la résine fixant préférentiellement les sulfates. Donc l'échange d'ions anionique doit être considéré comme une technique de traitement peu appropriée pour une eau qui contient trop de sulfate [35].

II.9.1.2 Procédés membranaires :

Ces procédés s'étant avérés trop coûteux par rapport aux techniques de dénitratisation par échange d'ions. Dans les procédés membranaires, on utilise les propriétés des membranes spécifiques afin de séparer une solution et un solvant sous l'effet d'une force extérieure.

a. Osmose inverse :

L'osmose inverse est l'application d'une pression supérieure à la pression osmotique de l'eau à traiter riche en nitrates qui permet d'obtenir une eau déminéralisée après avoir traversée d'une membrane semi perméable. Semi perméable signifie dans ce cas que l'eau peut se diffuser à travers la membrane, tandis que, les minéraux ne peuvent pas la traverser.

Le rendement dépend de la pression appliquée, de la concentration du soluté, et du flux demandé en eau traitée. Il peut varier de 85 à 95 % (pression 30 à 60 bars).

Les avantages du procédé sont liés à l'absence de régénération. Par ailleurs, ce procédé pourra être se développer avec l'introduction de nouvelles membranes plus spécifiques. Cette technique, bien développée pour le dessalement des eaux de mer ou saumâtre, reste limitée pour la dénitratisation [32].

b. L'électrodialyse :

C'est un procédé qui consiste à éliminer les sels dissous d'une eau, par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique [36].

Le principe de l'électrodialyse est l'application d'un courant continu entre les électrodes d'une cellule, constituée par un empilage de membranes semi-perméables et alimentées en eau riche en nitrates. On obtient dans certains compartiments un rejet concentré en nitrates et dans d'autre de l'eau déminéralisée. La mise en œuvre nécessite l'utilisation de membranes sélectives (à base de benzyl- 4-pyridinium) qui permettent de retenir les nitrates. Les rendements obtenus pour l'élimination des nitrates peuvent atteindre 40 à 60 %. Ils dépendent de la teneur en sulfate [32].

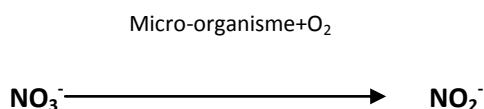
II.9.2 Les procédés biologiques :

Les traitements biologiques occupent une place importante parmi les procédés mis en place pour éliminer les nitrates.

La dénitrification biologique permet l'élimination des nitrates par leur réduction en azote gazeux. Lors de la dénitrification au sens strict (respiration des nitrates, ou réduction véritable) le nitrate joue le rôle d'accepteur d'électrons dans l'oxydation de composés oxydables sous des conditions anaérobies. Le produit ultime de la réduction est l'azote gazeux. Les bactéries hétérotrophes utilisent comme source de carbone et d'énergie un substrat carboné organique, Les bactéries autotrophes utilisent une source de carbone minérale et tirent leur énergie de l'oxydation d'un substrat inorganique, hydrogène ou soufre [27].

La plupart des microorganismes dénitrifiant sont facultatifs et utilisent donc préférentiellement l'oxygène comme accepteur final d'électrons dans la chaîne respiratoire. C'est pourquoi la dénitrification requiert des conditions anaérobies, ou plus exactement anoxie.

La réduction des nitrates se fait en deux étapes. La première étape est la conversion des nitrates en nitrites.



Les nitrites sont ensuite réduits en azote gazeux avec pour intermédiaire le monoxyde d'azote et l'oxyde nitreux .



II.9.2.1 Microorganismes dénitrifiant :

Les micro-organismes dénitrifiant sont des bactéries aérobies ayant la capacité de réduire le nitrate quand l'oxygène fait défaut. Elles sont donc anaérobies facultatives. Contrairement à la nitrification, l'aptitude à dénitrifier est largement répandue dans le monde bactérien. [37].

Il est à noter que certains micro-organismes ne peuvent réduire que le nitrite ou s'arrêtent au protoxyde d'azote [38].

II.9.2.2 Facteurs influençant la dénitrification :

Parmi les facteurs influençant la dénitrification, on trouve notamment la température, le pH, la concentration en oxygène dissous, les concentrations en substrats et celles des produits de la réaction ainsi que quelques substances.

Les conditions optimales de température sont très variables en générale la gamme de tolérance étendues de 5°C à plus de 75°C [13]. De 35 à 60°C la dénitrification augmente avec la température, alors qu'à des températures supérieures à 60°C, elle décroît [39]. Aux basses températures, les vitesses de dénitrification sont faibles mais mesurables jusqu'à 3°C [40]. La température agit aussi sur la dénitrification à travers son rôle dans la solubilité et la diffusion de l'oxygène.

Quad au pH la valeur optimale se situe entre 7 et 8,5. Il varie toutefois selon les microorganismes et la concentration en nitrate et ces variations peuvent affecter les produits de la réaction. A pH acide (pH<5), la réduction de l'azote est incomplète et il y a accumulation d'oxyde nitreux (N₂O) et l'oxyde nitrique (NO) [39]. La réaction de dénitrification provoque une élévation du pH qui peut devenir inhibitrice aux alentours de pH 9. Il est donc nécessaire d'ajuster le pH par un acide au cours de tout procédé de dénitrification biologique.

On ce qui concerne l'oxygène dissous les étapes de la dénitrification sont graduellement inhibées lorsque la concentration en oxygène dissous augmente et c'est d'abord la réduction de l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) qui est affectée puis celle du nitrite et enfin celle du

nitrate [41]. Cependant, il existe quelques micro-organismes qui sont capables se dénitrifier en aérobiose.

II.9.3.1 Dénitrification hétérotrophe :

La dénitrification hétérotrophe est la réaction la plus utilisée dans les procédés biologiques mis en œuvre à l'échelle industrielle. La réaction peut se schématiser ainsi :



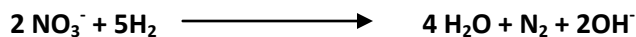
Il existe une vingtaine d'espèces de bactéries strictement dénitrifiantes. Généralement non sporulées, à Gram négatif et anaérobies facultatives, elles appartiennent notamment aux genres *Bacillus*, *Paracoccus* et *Pseudomonas* (*P. denitrificans*, *P. Stutzeri*, *B. Licheniformis*).

Ces bactéries peuvent oxyder un grand nombre de substrats carbonés. Le substrat carboné fournit à la fois l'énergie et le carbone nécessaire au métabolisme et aux synthèses cellulaires. En dénitrification des eaux potables, le substrat doit bien sûr ne présenter aucune toxicité.

II.9.3.2 Dénitrification autotrophe :

Ces procédés mettent en œuvre la réaction de dénitrification autotrophe avec oxydation d'un substrat inorganique, hydrogène ou soufre ou fer métallique.

Les bactéries réalisent la réaction suivante :



L'oxydation de l'hydrogène fournit aux bactéries l'énergie suffisante à la réduction des nitrates en azote gazeux. Le pH de l'eau augmente au cours de la réaction. En pratique, 9 g d'H₂ sont nécessaires pour éliminer 100 g de nitrate. Comme tout procédé cette technique présente des avantages et des inconvénients. L'avantage est comme tous les procédés hétérotrophes, les nitrates sont complètement éliminés avec rejet d'azote gazeux, ainsi que le substrat utilisé étant l'hydrogène gazeux, il n'y a pas à éliminer le substrat en excès dans les post-traitements.

Les inconvénients sont liés à l'utilisation de l'hydrogène (stockage et risque d'explosion) et à la nécessité d'un temps de contact élevé. Pour des temps de contact faibles, la décomposition des nitrates est incomplète et s'accompagne à mesure de l'augmentation du pH d'une formation de nitrites.

La dénitrification sur support soufré, utilise des bactéries de genre *Thiobacillus denitrificans*. Elles sont Gram -, sporulées de forme bacillaire. Elles oxydent en sulfate diverses formes de soufre. Les inconvénients du procédé sont liés aux faibles vitesses nécessaires à un bon rendement et à une production de sulfate non négligeable.

La dénitrification par le fer métallique a comme principe basé sur la dénitrification autotrophe, avec accepteur d'électrons le fer métallique en faisant passer l'eau dans un réacteur contenant du fer métallique, puis sur un filtre à sable pour éliminer les nitrites, ammoniacque et fer générés lors de la dénitrification. L'inconvénient est que les coûts ne permettent pas une exploitation industrielle [27].

II.9.4 Aspect réglementaire :

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux. L'accroissement, particulièrement significatif dans certaines nappes, varie en raison inverse de la profondeur [42].

L'apport alimentaire chez l'homme varie suivant les régions et les habitudes des consommateurs. Les estimations vont de 100 à 300 mg/j, 70 % étant apportés par les légumes, les 30 % restants se répartissant de façon sensiblement équivalente entre l'eau et les salaisons. Selon le rapport de la (FAO/OMS-1974), la dose journalière admissible pour un homme de 70

kg serait de 350 mg de nitrate de sodium, et de 14 mg de nitrite de sodium. En raison des inconvénients qui résulteraient d'un arrêt de la distribution d'eau, la consommation d'une

eau contenant entre 50 et 100 mg/L de nitrates peut être tolérée, sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons de moins de six mois. Au-delà de 100 mg/L, la consommation doit être interdite.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande pour les eaux destinées à la consommation humaine une valeur limite de 50 mg/L (NO_3^-) et précise qu'il doit être tenu compte aussi de la concentration en nitrites de telle façon que la somme des rapports des concentrations (en nitrates et nitrites) par rapport à leurs valeurs guides respectives doit être inférieure à 1 [43].

Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent comme niveau guide 25 mg/L et comme concentration maximale admissible 50 mg/L (NO_3^-).

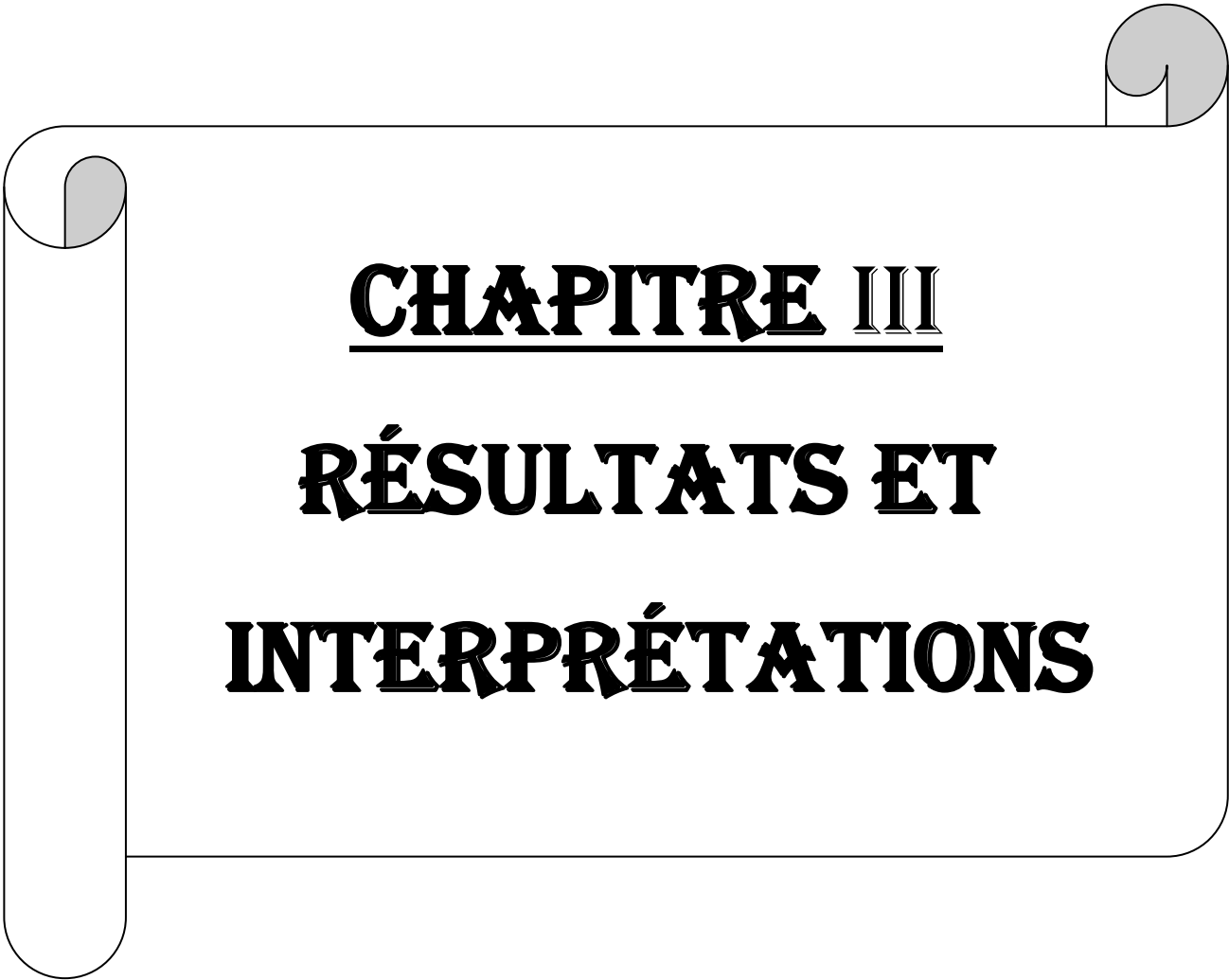
La réglementation française a retenu cette même valeur limite de 50 mg/L. De plus, la somme des concentrations en nitrates divisée par 50 et de celle en nitrites, divisée par 3, doit rester inférieure à 1.

Le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine retient comme valeur maximale 50 mg/l de nitrates et 0.2 mg/l de nitrites pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Le règlement sur la qualité des eaux au Québec prévoit une norme de 45 mg/l de NO_3^- . La recommandation canadienne a aussi fixé à 10 mg-N/l (équivalent à 45 mg/l de NO_2^-) la concentration maximale acceptable (CMA) de nitrates dans l'eau potable [44]. Pour ce qui est des nitrites, la concentration ne doit pas dépasser 1 mg-N/l (équivalent à 3,2 mg/l de NO_3^-) lorsque ces derniers sont dosés séparément des nitrates [45].

L'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis a fixé à 10 mg-N/l (45 mg/l de NO_3^-) la quantité de nitrates à ne pas dépasser dans l'eau de consommation. Pour ce qui est des nitrites, la norme est de 1 mg-N/l (NO_2^-). de plus, on a jugé nécessaire d'établir une norme combinée de nitrates/nitrites de 10 mg-N/l [46].

Partie Pratique

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black and has a light gray shadow effect on its top and left edges.

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET

INTERPRÉTATIONS

III.1 INTRODUCTION:

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socio-économique réel et durable d'un pays, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eau existantes surtout les informations concernant sa qualité.

Trois campagnes de prélèvement des eaux souterraines ont été effectuées durant les périodes (2003, 2006 et 2009/2010) par la direction régionale de l'ANRH au niveau des points d'eau situés dans la région d' Adrar, ces prélèvements ont fait l'objet des analyses selon les techniques d'évaluation de qualité de l'eau. Les trois campagnes d'analyses ont mis en évidence une contamination plus ou moins importante des aquifères par les nitrates, on a constaté lors de ces campagnes que la teneur en nitrates peut atteindre 180 mg/l dans certaines zones telle que Charouine et Reggane tandis que la norme algérienne est de 50mg/l.

Ceci nous a poussés, à choisir effectuer notre travail sur l'évaluation de la pollution des eaux de la région d'adjar par les composés azotés. dans ce chapitre on s'intéresse particulièrement aux zones qui présentent des teneurs élevées en nitrates telles que les zones suscitées.

III.2 BUT DE L'ETUDE:

Cette étude a pour but dévalue la pollution des eaux de la région d'adjar par les composés azotés et plus particulièrement les nitrates ainsi que la détermination de la source de contamination et la proposition des remèdes à ce problème.

III.3 PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS:

La prise des échantillons a été faite directement sur des points en activité dans les zones, dont l'objectif principal de l'échantillonnage est d'obtenir des prélèvements d'étude représentatifs de l'élément à analyser. L'eau doit être prélevée dans des bouteilles particulièrement propres et du travail pré rincées plusieurs fois avec de l'eau à analyser. Le mode de prélèvement le plus fréquemment utilisé est de remplir les flacons sans agiter l'eau en évitant le plus possible le contact de l'échantillon avec l'air.

Suite à la charge au niveau du laboratoire de l'ANRH on n'arrive pas à effectuer l'échantillonnage de tous les points qui présentent un dépassement des normes en nitrates et on a effectué seulement deux échantillons de la zone de Charouine et six échantillons de la zone Reggane.

III.4 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES :

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées sur les huit échantillons (la zone de Reggane (06) Inzeglouf. Tinoulef el kdim. Ksar Enfis. Ait Massoud. Timadanine.Taarabt.) et (la zone de Charouine foggaras Tinakram. Forage 2.) au niveau du laboratoire de l'ANRH d'Adrar. Ces analyses ont été réalisées sur trois catégories: paramètres physico-chimiques qui regroupent (pH, Conductivité, et Résidu sec), la minéralisation globale regroupe (Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Chlorures, Sulfates, Carbonates et Bicarbonates) et les paramètres de pollution qui regroupent (Ammonium, Nitrates, Nitrites, Phosphates et Matière organique oxydable en milieu acide). [42]

III.5 METHODES D'ANALYSES:

Le dosage des ions (Ca^{++}) et (Mg^{++}) se fait par complexométrie à l'aide de l'EDTA la mesure du (TH) correspond à l'analyse des ions (Ca^{++}) et (Mg^{++}). Le dosage des Carbonates et Bicarbonates : se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution de H_2SO_4 (0,02N). Le Sodium et le Potassium : sont déterminés par la spectrophotométrie de flamme. Les Chlorures, les Sulfates, les Nitrates, les Nitrites, l'ammonium, les phosphates et la Silice sont dosés par spectrocolorimétrie. La Matière Organique est déterminée par dosage oxydometrique en milieu acide. [42]

III.6 RESULTATS D'ANALYSE:

III.6.1 pH:

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau, c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle de pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Il est préférable de mesurer le pH des échantillons sur site, mais dans notre cas, nous avons mesuré les PH des eaux analysés après son transport au laboratoire.

Les eaux analysées dans la région d'Adrar (Données ANRH 2009/2010) ont montré que le pH varie entre 6.44 et 9.22. Les eaux prélevées et analysées donnent un pH qui varie entre 7.33 et 8.0 dans les zones de Charouine et entre 7.27 et 7.94 dans les zones de Reggane. Ces résultats ne posent aucun danger et sont conformes à la norme Algérienne 6.5 à 8.5 fixée par le Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.[12]



Figure III. 1: La mesure de PH

III. 6.2 La conductivité électrique (CE) :

La conductivité qui est l'inverse de la résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, la mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement, mais

approximativement la minéralisation totale de l'eau in-situ par une approximation égale au produit de la conductivité électrique à 25°C par un coefficient compris entre 0.55 et 0.95.

L'analyse des données de la conductivité montre que les eaux de la région d'adrar ont une conductivité très élevée qui dépasse parfois largement les normes de potabilité, elles sont entre 660 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et qu'elles atteignent les 8030 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

L'analyse spatiale montre que la conductivité varie selon les régions, elle vaut entre 660 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au Nord de la ville d'adrar, alors qu'elle dépasse les 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans l'extrême Sud dans la région de Reggane et Aoulef, cette augmentation est due à la présence des horizons évaporitiques dans ces régions.

Les eaux analysées dans la zones de Charouine montrent que la conductivité électrique varie entre 3.22 ms/cm et 4.00 ms/cm ces résultats dépassent la norme algérienne 2.8 ms/cm , ce dépassement s'explique par le fait du lessivage des terrains ainsi que cette zone constitue l'exutoire de la nappe. Quand à la zone de Reggane la conductivité varie entre 2.61 ms/cm et 4.30 ms/cm c'est un excédent de 33% par rapport a la norme Algérienne.

III. 6.3 Résidu sec :

Le résidu sec est le total des sels dissous et la Matière Organique contenue dans l'eau obtenue par dessiccation de l'eau à 180°C. En général les eaux de la wilaya d'adrar ont un résidu sec qui varie entre 400 mg/l et 5200 mg/l , les valeurs les plus élevées ont été rencontrées vers le Sud de la wilaya tel que Reggane et Aoulef et au Nord ouest telque Charouine. Le résidu sec des eaux analysées dans la zone de Charouine atteint 2500 mg/l et celui de Reggane est de l'ordre de 2750 mg/l . La carte du résidu sec de la wilaya d'adrar montre que 15% des eaux dépassent les normes algériennes la (figure III.2) suivante représente la La carte du résidu sec de la wilaya d'Adrar [12].

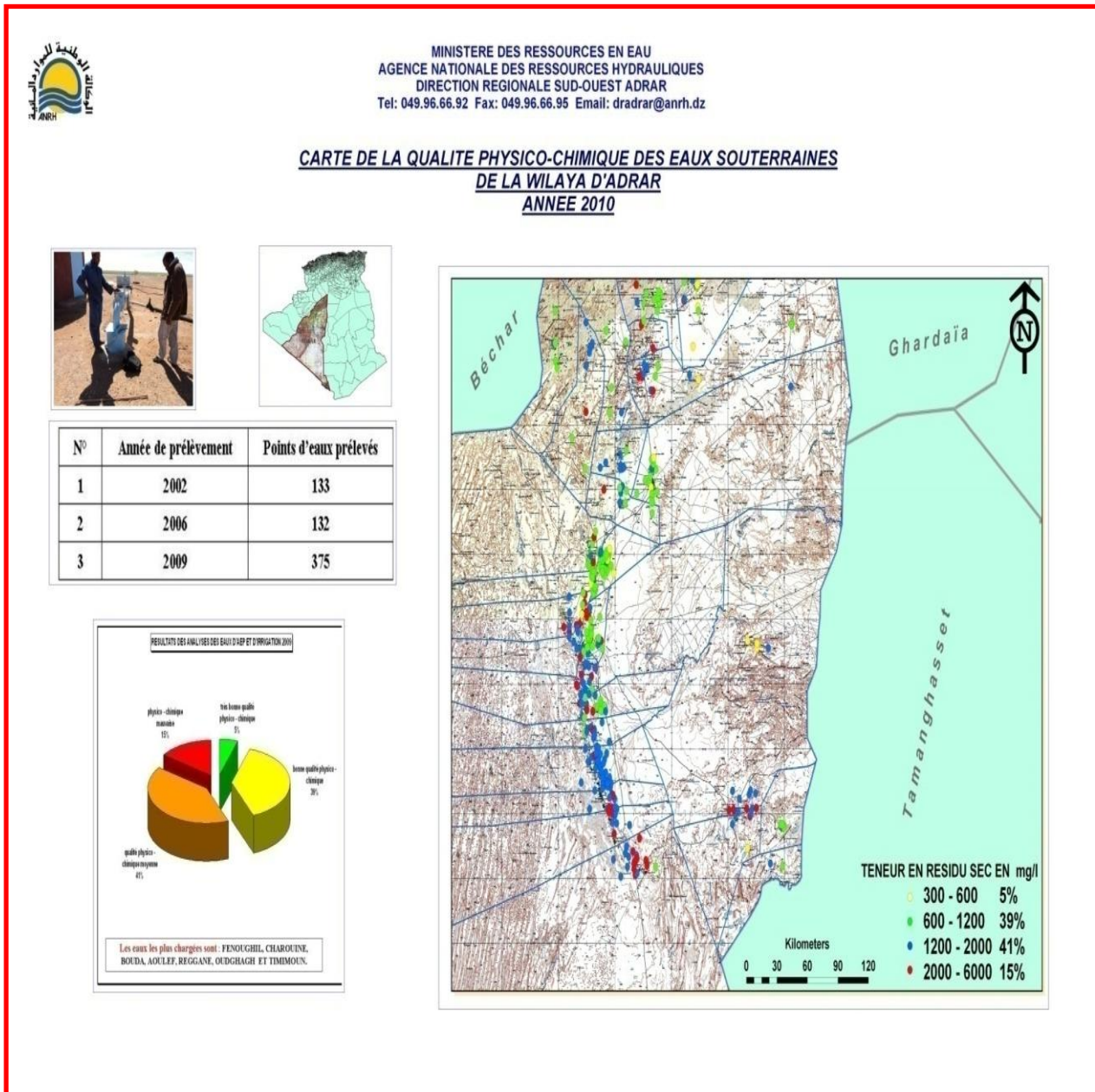


Figure III. 2 : carte de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la wilaya d'Adrar année 2010 [12]

III .6.4 Dureté totale:

Elle traduit la somme des teneurs en Calcium et Magnésium exprimée en degré Français (°F), la dureté des eaux de la région d'étude situe entre 4 et 236 °F, ces teneurs traduisent des eaux très dures qui sont supérieures à 30°. Les échantillons analysés dans la zones de Reggane donnent dureté qui peut atteindre 107 °F et celles de la zones de Charouine donnent une dureté de l'ordre de 84 °F, ces eaux sont considérées comme très dure. La répartition dans la wilaya d'adrar est donnée par la carte suivante (figure III.3) Les eaux les plus durés sont accentuées au Sud de la région.

- 5% des eaux sont douces.
- 12% des eaux sont faiblement dures.
- 35% des eaux sont dures.
- 48% des eaux sont très dures

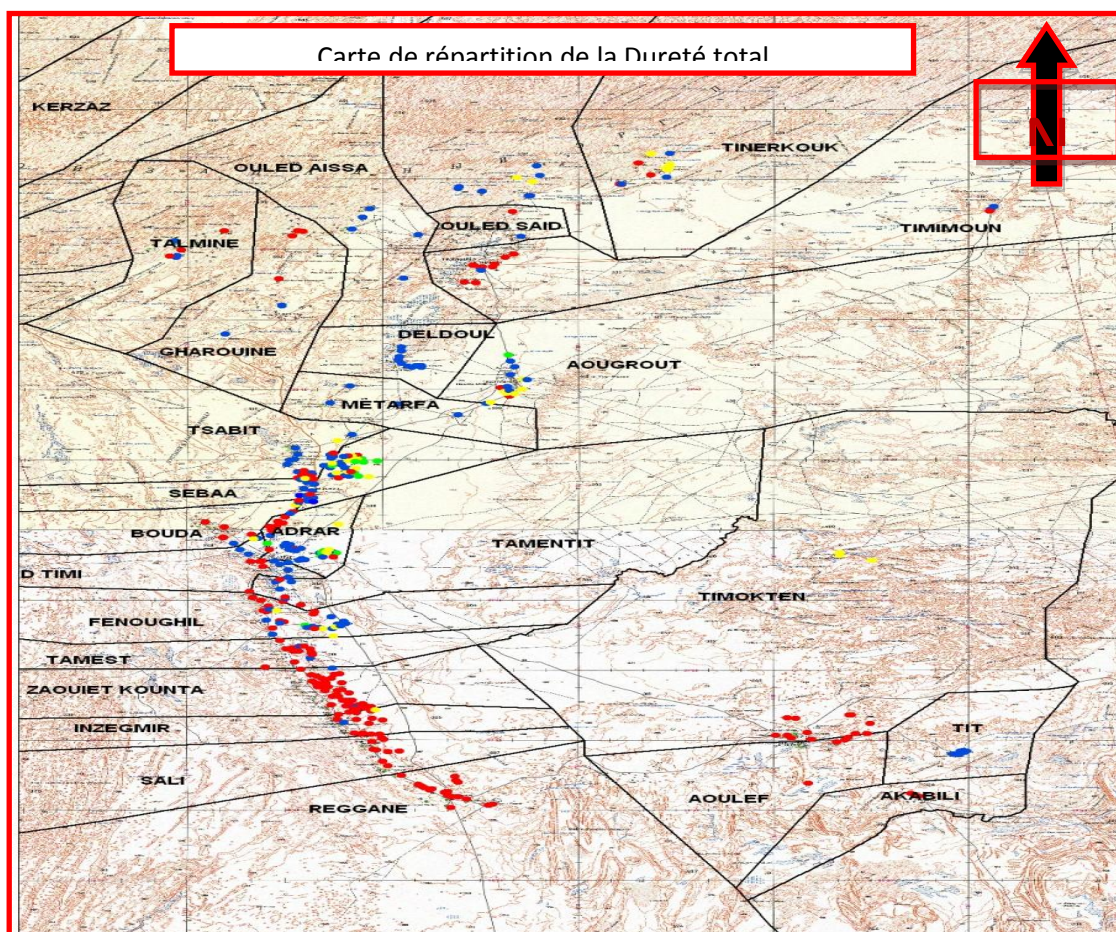


Figure III. 3 : Carte de répartition de la Dureté total des eaux de la wilaya d'Adrar [12]

III.7 ELEMENTS MAJEURS :

III.7.1 Le Calcium (Ca^{++}) :

La présence des ions (Ca^{++}) dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées calcite (CaCO_3), dolomie $[(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3]$ ou bien la dissolution des formations évaporitiques gypse $[\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})]$ et anhydrite (CaSO_4). Les résultats d'analyses montrent que 90 % des échantillons ont des teneurs inférieures à 200 mg/l, les 10% qui dépassent cette valeur sont localisés dans la région au Sud de la wilaya. Dans la zones de Charouine, on peut trouver des valeurs allant jusqu'à 139 mg/l et la zones de Reggane les valeurs allant jusqu'à 245 mg/l.

III.7.2 Le Magnésium (Mg^{++}) :

Le Magnésium est un élément très abondant, Il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$), la kiesérite ($\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$), et carbonatés, la dolomie $[(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3]$, les valeurs de Magnésium dans la région varient de 3

mg/l au Nord de la wilaya d'adarr à 239 mg/l au Sud. Dans la zones de Reggane la teneur en (Mg) varie entre 84 et 120 mg/l, En ce qui concerne la zone de Charouine de valeur du (Mg) est de l'ordre de 135 mg/l les vantés sont incluses dans la norme algériennes.

III.7.3 Le Sodium (Na^+) :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles tel que l'halite (Na Cl), les teneurs dans la région sont peut varies et indiquent que les eaux des forages sont contenues dans des formations salifères qui dépassent parfois les 200 mg/l, dans 50% des eaux analysées, les valeurs les plus élevées supérieures à 500 mg/l sont localisées dans la région Sud, et Elgasba et Eloudjeda au Nord alors que les valeurs inférieures à 200 mg/l sont localisées au Nord-est dans la région du chef lieu de d'adarr.

III. 7.4 Le Potassium (K^+) :

Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations Argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en Sylvie (KCl), et carnallite, les valeurs enregistrées sont entre 11 et 55 mg/l, dans la région de Reggane et entre 6 et 15 dans la région de Charouine.

III. 7.5 Les Chlorures (Cl^-) :

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels tels que le (KCl) et de l'halite (NaCl).

Les teneurs en chlorures sont peut élevées et oscillent entre 360 et 480 mg/l dans la zones de Reggane et dépassent la norme 500 mg/l Dans la zones de Charouine elles varient entre 505 et 640 mg/l [12] .

III. 7.6 Les Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les ions Bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son l'infiltration dans le sous sol.

Les teneurs en Bicarbonates dans les eaux des zones d'études varient de 110 à 168 mg/l, dans la zones de Charouine et 128 à 168 mg/l dans celle de Reggane.

III. 7.7 Les Sulfates (SO_4):

La présence des Sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ($CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$) et l'anhydrite ($CaSO_4$), ils peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite (FeS_2).

Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région varient de 450 mg/l à 740 mg/l, dans la zones de Reggane les teneurs les plus élevées sont observées dans la région de Charouine et varient dans la gamme 710 à 860 mg/l.

III .8 LES ELEMENTS DE POLLUTION:

III.8.1 Les Phosphates (PO_4^{-3}) :

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante. lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, industrie chimique...) .Le contenu en phosphore total comprend non seulement les ortho phosphates mais également les phosphates organiques.

L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques, les teneurs en phosphates des eaux sont inférieures à 0.5mg/l en général. Les eaux analysées dans les zones d'étude ne donnent aucune valeur décelable, ni à Reggane ni à Charouine [12].

III.8.2 L'Ammonium (NH_4^+) :

L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle, les teneurs en ammonium dans les eaux des zones d'étude sont dans la totalité indécélables.

III.8.3 Les Nitrites (NO_2^-) :

Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique, dans l'ensemble, les teneurs en nitrites sont indécélable dans tous les échantillons analyses la (figure. III. 4) [42].



Figure III. 4: les solutions en dosage de nitrite.

III.8.4 Les Nitrates (NO_3^-) :

Leur mesure fait l'objet principal de notre travail. Les concentrations naturelles de nitrates dans les eaux souterraines est généralement inférieures à 1 mg/L d'eau mais de nombreuses activités humaines ont pour effet d'augmenter leur concentration dans l'eau et le sol [42]. La pollution azotée retrouvée à de plus grandes profondeurs peut être la conséquence d'actions datant de cinq, dix ou vingt ans.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le lessivage des nitrates dans l'eau souterraine, soit entre autres le type de sol, le type de culture et la fertilisation dans le cas où la cause est l'agriculture. Les sables et les sols légers vont généralement lessiver plus de nitrates que les sols de matériel argileux. Les sols sous cultures horticoles (comme par exemple la pomme de terre) sont

plus susceptibles de lessiver des nitrates en raison entre autres de la perméabilité du sol, de leur plus grande période sans couvert végétal, du travail du sol généralement fréquent et intensif (qui favorise la minéralisation) et des grandes quantités de résidus contenant beaucoup d'azote. [8], les concentrations de nitrates mesurées dans le sol et dans l'eau diminuaient avec la profondeur où l'on situait dans le sol et que les sites argileux étaient moins perméables que les sites sablonneux.

Les analyses effectuées en (2009 – 2010) sur les eaux des forages de la région présentent des concentrations en nitrates qui varient entre 2 mg/l et 214 mg/l la teneur la plus élevée à été trouvé à Ouled elhadj Tabreken le forage était en cours de réalisation Cette teneur est peut être du aux matériels et produits utilisés lors du fonçage, et la répartition était comme suite:

- 62% des eaux analysées leurs teneurs sont inférieures aux normes (50 mg/l).
- 32% de ces eaux donnent une valeur supérieure à cette norme mais sont inférieures à la concentration tolérable (100 mg/l).
- 06% donnent une concentration qui dépasse même la concentration tolérable.

La deuxième campagne d'échantillonnage qui a été effectuée en 2014 sur les 08 échantillons faisant l'objet du présent mesure ont aboiteaux les résultats suivant :

Les échantillons de la zones de Charouine ont données une variation entre 65 et 73mg /l et la zones de Reggane les vantent entre 60 et 80 mg/l.

Des échantillons ont été prises à partir des puits d'irrigation dans les lieux les plus proches des puits d'AEP en (2011) ont donné des résultats qui valent de 77 mg/l et 210 mg/l, cent les points les plus chargés par apport aux puits d'AEP. Ces résultats montrent que tous les points dans les deux zones dépassent largement la norme relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine ceux de la carte suivante montre la réputation des ions mats dans région d'adrar dans l'espace la (figure. III. 6) [47].



Figure III. 5: les solutions en dosage de nitrate

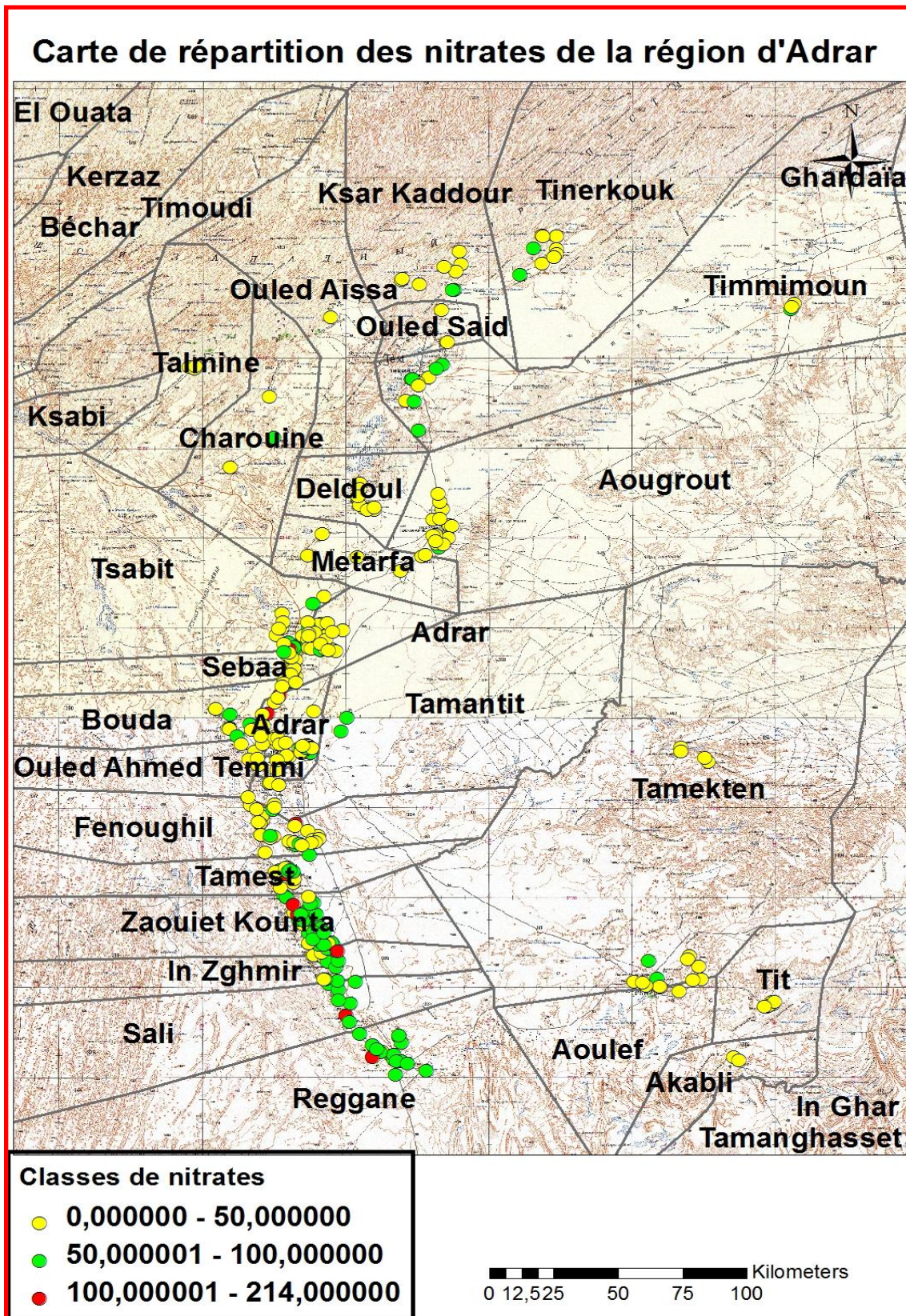


Figure III. 6 : carte de répartition des nitrates de la région d'Adrar [12]

Nous constatons sur cela que , dans toute la wilaya d’Adrar la distribution des teneurs en nitrates dans l’espace montre que au nord de la wilaya les teneurs varie entre 0 et 50 mg/l, mais les valeurs les plus élevées sont aux sud de Sali à Reggane .

III.9 EVOLUTIONS DES NITRATES DANS LA REGION D’ETUDE:

L’évolution de la concentration en nitrates des eaux souterraines de la wilaya d’Adrar peut être déterminée par une surveillance périodique qui se base sur deux paramètres: l’historique et la distribution spatiale du contaminant dans le bassin. Les données du suivi de contaminant sont insuffisantes pour donner une meilleure interprétation. Il est très important d’effectuer un suivi périodique tous les trois mois pour voir l’évolution en fonction du temps et du climat.

Tableau III. 1 :L’évolution de la concentration en nitrates des eaux souterraines de la wilaya d’adrar

Points d'eau	Année d'échantillonnage	2009	2011	2014
CHAROUINE 2BIS2		95,00	92	
CHAROUINE 2BIS		68,00	70	
CHAROUINE3BIS2		68,00	95,00	65
INZEGLOUF01		60,00	70,00	79
REGGANE F04		68,00	71	
TAOURIRT03		82,50	110,00	
TIMADANINE02		82,50	82,00	65
TINOULEF		75,50	82,00	80
ZET REGGANI		60,00	60,00	

Ces résultats montrent qu’il existe une stabilité de la teneur en nitrates en fonction de temps, malgré qu’il existe une diminution dans certains points mais les concentrations restent toujours supérieure à la valeur limite 50 mg/l [12]

III.10 SOURCES DE CONTAMINATION PAR LES NITRATES :

Pour la détermination de la source de contamination des eaux par les nitrates une carte piézométrique a été réalisée dont le but est de connaître le sens d'écoulement des eaux dans ces zones. Huit échantillons dans la zones de Charouine, et de Reggane ces points sont les plus proches des points de direction d'eau potable (AEP) , les données sont intégrées dans un système d'information géographique pour établir la cartes représentative de l'élément nitrates, ces points sont implantés par la suite sur la carte géologique de la région.

La carte piézométrique (Figure III.7) a mis en évidence trois grands axes de drainage dans la région d'adrar.

Le premier axe draine dans le sens Nord-Est et Sud-Est à partir de plateau de Tademaït vers le centre de la zone d'étude du niveau piézométrique 340 à 240 m.

Le deuxième axe draine dans le sens Nord-Est et Sud à partir de plateau de Tademaït vers dépression de Touat et erg Chèche du niveau piézométrique 340 à 220 m

Le troisième axe draine dans le sens Nord-Est - Nord-Ouest à partir de plateau de Tademaït vers la région de ville d'Adrar du niveau piézométrique 280 à 160 m.

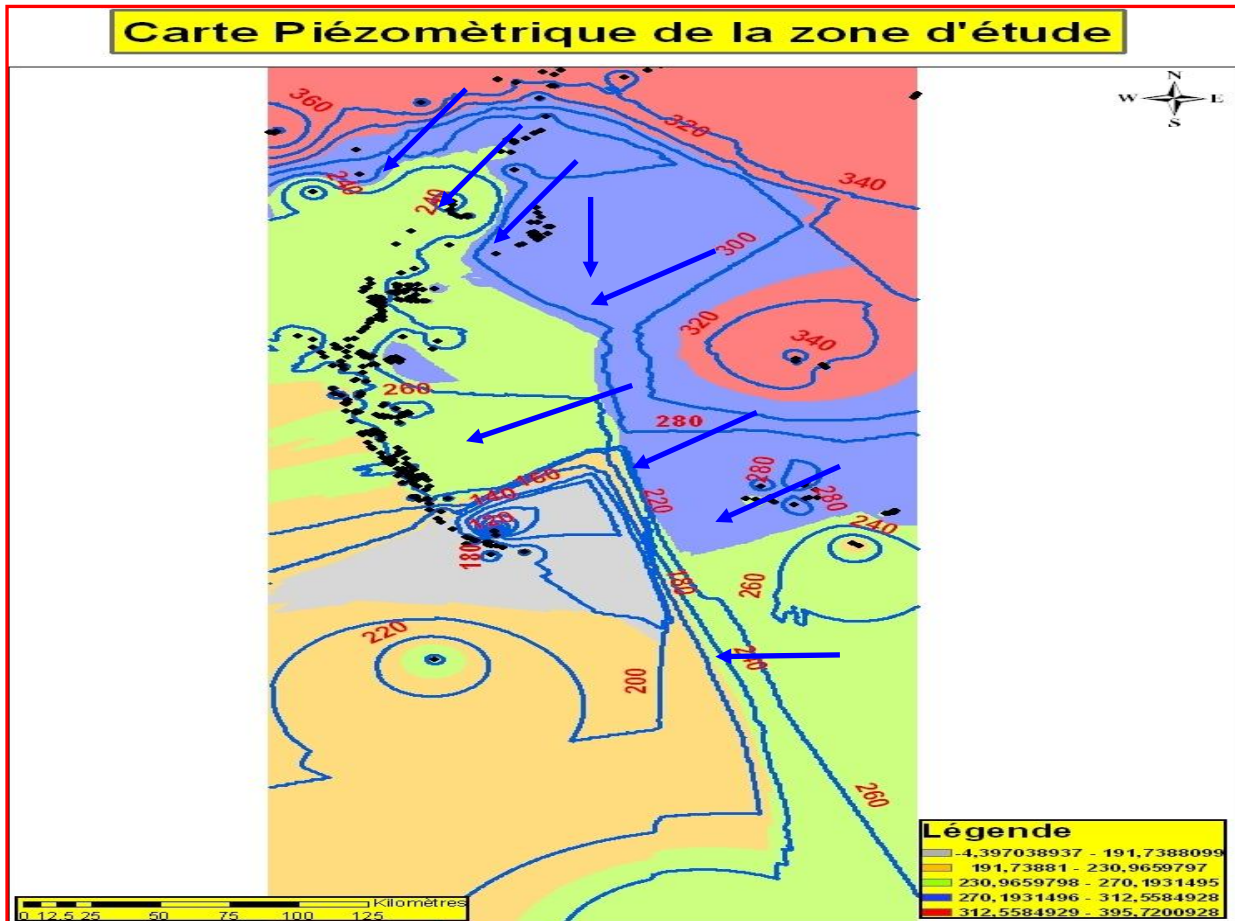


Figure III. 7 : carte piézométrique de région d'Adrar

Dans les zones de Charouine, les nitrates sont retrouvés quasiment dans tous les puits avec des teneurs qui varient entre 68 et 210 mg/l, les teneurs les plus importantes sont observées dans les puits d'irrigation, ce qui confirme l'origine agricole de la pollution.

L'examen de la carte de positionnement (Figure. III. 8) montre que les zones à concentration dépassant les 50 mg/l sont assez étendues et localisées au Nord - Est et en l'amont du puits d'AEP et sont majoritairement dans le sens d'écoulement. La carte géologique a montré que le sol de la zone de Charouine est sableux ce qui favorise le lessivage des nitrates dans les eaux.

Il est bien clair que les nitrates dans la zone de Charouine et après l'examen de toutes les informations nous arrivent à identifier le problème, la seule source de contamination des eaux par les nitrates c'est l'agriculture et surtout les agriculteurs de ces zones utilisent les fumiers des animaux et les engrais pour la fertilisation des sols [12].

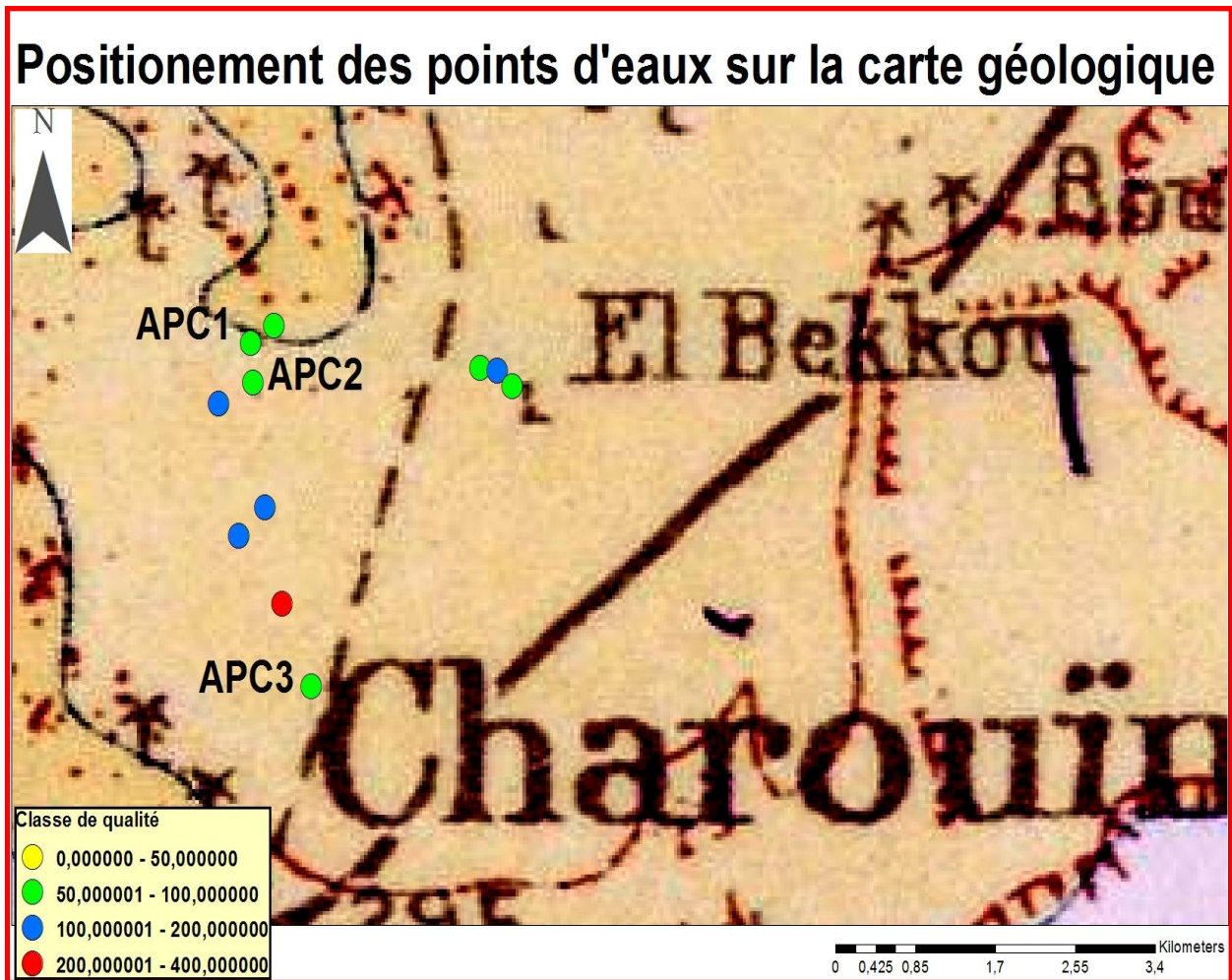


Figure III. 8 : positionnement des points d'eaux sur la carte géologique

L'examen de la carte des points d'eaux (figure III.9) dans la zones de Reggane montre aussi que la source de contamination des eaux par les nitrates est probablement la même que celle de Charouine car les zones d'extension agricole du périmètre de Sali et Inzegmir se trouvent au Nord du champ de captage.

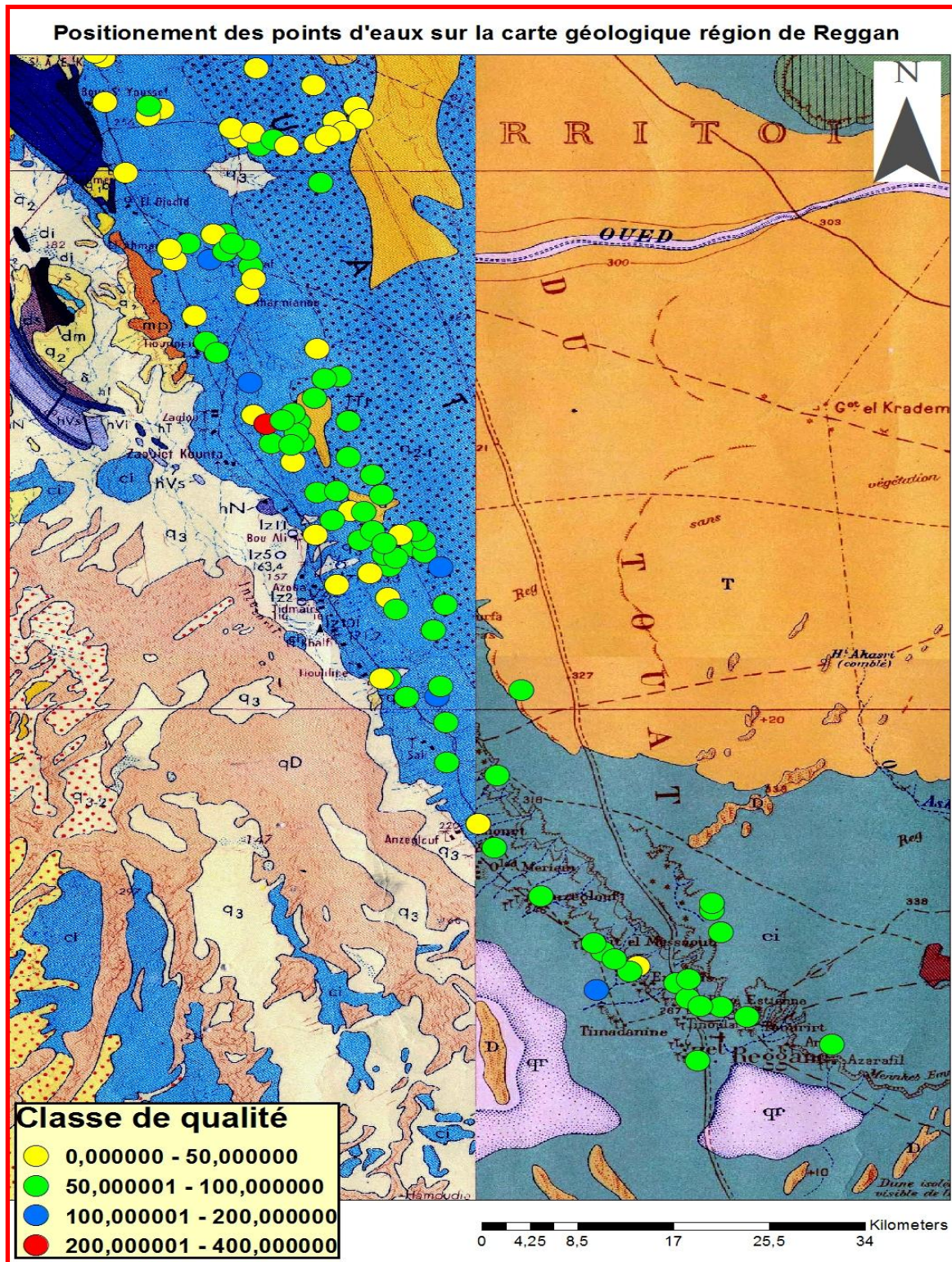


Figure III.9 : positionnement des points d'eaux sur la carta Géologique région de Regagne

III.11 PROPOSITION DE SOLUTION D'ELIMINATION DE NITRATES:

Pour limiter les apports des nitrates dans les eaux, il paraît intéressant de faire une rapide synthèse des connaissances actuelles en ce qui concerne les principaux procédés d'élimination des nitrates dans les eaux. Plusieurs méthodes d'éliminations des nitrates sont

Utilisés, actuellement les procédés sont divisées en deux catégories Les procédés physico-chimiques et biologiques [12].

III.11.1 Echangeur d'ions:

Le traitement des eaux par échange d'ions est un procédé ancien largement répandu. Cette technique consiste à échanger l'ion nitrates par une résine avec un autre ion dont la présence dans l'eau n'est pas gênante. L'inconvénient de cette méthode réside dans la capacité limitée de stockage de la résine échangeuse et doit être régulièrement régénéré, par une solution fortement concentrée d'ions choisis.

Un autre inconvénient se pose avec cette technique est que non seulement les ions nitrates seront échangés les anions (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^-) seront également au lieu du nitrates.

III. 11.2 L'osmose inverse:

L'osmose inverse est l'application d'une pression supérieure à la pression osmotique de l'eau à traiter le riche en nitrates qui permet d'obtenir une eau déminéralisée après avoir traversée d'une membrane semi perméable.

Les avantages du procédé sont liés à l'absence de régénération, Par ailleurs, ce procédé pourra peut être utilisé pour le traitement des eaux de mer ou saumâtre et nécessite un grand débit.

III. 11.3 L'électrodialyse:

C'est un procédé qui consiste à éliminer les sels dissous d'une eau, par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. La mise en œuvre nécessite l'utilisation de membranes sélectives (à base de benzyl-4-pyridinium) qui permettent de retenir les nitrates, la teneur en sulfates peut gêner l'opération. Ces deux techniques sont coûteuses et nécessitent la collecte d'un volume d'eau à traiter très important.

III. 11.4 La dénitrification biologique:

Le traitement biologique occupe une place très importante dans l'élimination des nitrates des eaux résiduaires. La dénitrification est un processus biologique anoxique par lesquels certains microorganismes convertissent le nitrate NO_3^- en azote gazeux N_2 pour produire l'énergie nécessaire à la croissance cellulaire [45].

La plupart des microorganismes dénitrifiant sont facultatifs et utilisent donc préférentiellement l'oxygène comme accepteur final d'électrons dans la chaîne respiratoire. C'est pourquoi la dénitrification requiert des conditions anaérobies, ou plus exactement

Anoxie [47].

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail nous a permis d'examiner la qualité de huit nouveaux échantillons d'eau de consommation de la région d'Adrar. Plusieurs paramètres ont été testés à ce stade à savoir les paramètres physico-chimiques, la minéralisation globale ainsi que les paramètres de pollution.

Nous avons opté à baser sur ce dernier type des paramètres qui faisait l'objet principal de notre travail vu le caractère polluant majeur des ions nitrates ainsi que leur source d'existence inconnue.

Lorsque les taux de nitrates d'une ressource dépassent le seuil de 50 mg/l, plusieurs remèdes peuvent être envisagés, afin de fournir au consommateur un produit conforme aux exigences de la réglementation :

- * la dilution avec des eaux moins chargées,
- * l'approfondissement du captage, en puisant dans des aquifères plus protégés,
- * l'abandon du captage avec recherche d'une nouvelle ressource ou le branchement à un réseau voisin,
- * ou encore le traitement des eaux polluées par un procédé de traitement par voie biologique ou par résines échangeuses d'ions, qui ont reçu l'approbation du Ministère chargé de la Santé. Notre étude a montré que ces techniques de dépollution sont très efficaces à court terme, mais onéreuses en investissements et en exploitation. Le choix d'une solution préventive est moins coûteux, mais moins efficace dans des délais courts. Il semble que ces deux solutions se complètent et soient valorisées aujourd'hui sur le terrain. La prise de conscience collective du problème, la volonté de tous et de chacun de s'y attaquer, accompagnant le savoir-faire technique, sont un des plus sûrs garants d'une action efficace et d'un développement durable.

RECOMONDATIONS

RECOMONDATIONS

Compte tenu des connaissances établies sur les effets à court terme de nitrates sur santé humaine :

- possibilité de survenue d'effets toxiques aigus (méthémoglobinémie aiguë du nourrisson). Pour des concentrations de nitrates supérieures à 50 mg/l d'eau destinée à la consommation humaine.

- difficulté de repérer et contrôler les contaminations bactériologiques présentes dans l'eau, les aliments et le tube digestif, responsables de la transformation de nitrates en nitrites et principal facteur de risque associé à la présence de nitrates dans l'eau, les aliments et le tube digestif.

- existence de groupes sensibles dans la population générale (nourrissons, femmes enceintes) le Comité de la Prévention et de la Précaution recommande, en matière de gestion du risque présenté par les nitrates.

- d'assurer dans l'immédiat le respect de la valeur réglementaire de 50mg/l de nitrates dans l'eau destinée à la consommation humaine, ce non seulement dans le cadre d'une action Préventive des risques aigus (méthémoglobinémie), mais également au titre du principe de Précaution, dans la mesure où le risque d'effets délétères à long terme des nitrates, les nitrites et surtout des nitrosamines (potentiellement cancérigènes) ne saurait être écarté.

- d'accroître, dès à présent, les connaissances sur les effets à long terme des nitrates sur la santé humaine.

Conséquence sanitaires dans la population générale d'une éventuelle méthémoglobinémie Chronique ainsi que sur les effets cancérigènes.

- en mesurant l'exposition des populations aux nitrates apportés par l'eau de boisson mais également par certains aliments d'origine végétale ou carnée.

Etant donné que les mesures visant à réduire la teneur en nitrates dans les milieux ont le plus souvent des effets retardés, le Comité d'algérien de sante recommande d'intensifier les actions propres à inverser les tendances à l'accroissement des contaminations ainsi que les recherches correspondantes.

Enfin le même Comité rappelle que la teneur en nitrates dans les eaux de surface et les eaux Souterraines est aussi un indicateur de qualité du milieu, dont il convient de relâcher ni la surveillance ni les recherches concernant les pollutions associées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **HADJ FATEH Lakhdar et ROUAS Djemoui. (2011)**, Etude hydrogéologique et Hydro chimique de la nappe du Continental Intercalaire de la région de Touat Université Kasdi Merbah – Ouargla
- [2] **DUBIEF J. (1953)**, Essai Sur L'hydrologie Superficielle Au Saharien, direction du service de la colonisation et de l'hydraulique service des études scientifiques Clairbois Bir Mouradraïs Algérie. *pp* : 163-168
- [3] **RAISSI O. (2004)**, Etude Agro-Pédologique Des Périmètres De la Wilaya D'Adrar Pour La Création D'oasis, rapport technique d'ANRH d'Adrar.
- [4] **FABRE J. (2005)**, Géologie Du Sahara Occidental Et central, vol 8 édition Terouren Africain Géosciences collection Belgique.
- [5] **CONRAD G. (1969)**, L'évolution Continentale Du Sahara Algérien (Saura, Erg Chach, Tanezrouft, Ahnet Moydir), édition du centre national de la recherche scientifique Paris. *pp.* : 49-65.
- [6] **H. ASKRI, et All. (2001)**, Géologie De L'Algérie vol 1 édition Schlumberger et sonatrach
- [7] **BESBES M, LARBES A, BABASY M, MERZOUGUI B. (2005)**, Modélisation Du Système Aquifère Du Bassin Occidental Du Sahara Septentrional, Première Phase : Hydrogéologie Et Modèle Conceptuel .rapport final d'OSS
- [8] **KHADRAOUI. A. (2006)**, Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien. www.abhs.dz
- [9] **KHADRAOUI A. (2007)**, Eau Et Impact Environnemental Dans Le Sahara Algérien Définition Et Perspectives De Développement. WWW.ABHS.DZ
- [10] **OSS (2008)**, Le Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport final, www.oss-online.org
- [11] **UNESCO (1972)**, Etude des ressources en eau du Sahara Septentrionale, [tr/Unesco/undp / sf / reg100](http://tr/Unesco/undp/sf/reg100). Paris

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [12] **ANRH D'ADRAR (2004)**, Exploitation des eaux dans les zones arides L'évolution. L'exploitation Des Eaux Souterraines Dans La Daïra D'Adrar, Fenoughil Et Zaouit Kounta. Rapport Interne
- [13] **MARTIN G. (1979)** Le problème de l'azote dans les eaux. Technique et documentation.
- [14] **PATUREAU D. (1995)**. Etude cinétique et physiologique d'une bactérie dénitrifiante en conditions anaérobies. Thèse de doctorat, université. Toulous
- [15] **HENIN, S. (1981)** Le cycle d'azote, les problèmes de fertilisation et de pollution. C.R. des séances de l'Acad. D'Agr. de France
- [16] **VAN DIEST. (1994)** Agricultural Sustainability and Soil Nutrient Cycling, With Emphasis on Tropical Soils. International Society of Soil Science, 4b: 48-61.
- [17] **HEATHWAITE A. L. (1993)**. Nitrogen cycling in surface waters and lakes. Processes, patterns and management, pp 99-140
- [18] **MARIOTTI. A. (1982)** Apport de la géochimie isotopique à la connaissance du cycle de l'azote. Thèse, Paris, Univ. P. et M. Curie, 510 P0
- [19] **ALEXENDER, M., Marshall, K. C. et Hirsch, P. (1960)** Autotroph yandh et erothrophy in nitrification. In Trans. Int. Congr. Soil. Sci., 7th, (pp. 586-591). Madison, Wisconsin.
- [20] **DAIZY BOUGARD. (2004)**. Traitement biologique des effluents azotées avec arrêt de la nitrification au stade nitrite. Thèse de doctorat. Ecole doctorale : science et procédé biologiques et industriels.
- [21] **SHOUN, H, KIM D.H, UCHIYAMA H AND SUGIYAMA J (1992)** Denitrification by fungi. FEMS Microbiology letters, 94,277-282.
- [22] **SANTE CANADA ; (1992)**. Le nitrate et le nitrite. Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada. Documentation à l'appui, Accessible «www.hesc.gc.ca/catalogue/dpcpubs/repcoc» appui Nitrate .pdf.
- [23] **ADAM, J. W. H. (1980)** et Egboka, B. C. E. (1984) Nitrate contamination of shallow ground waters in Ontario, Canada. Sci. Total Environ, 35: 53

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [24] **NATIONALRESEARCH COUNCIL, (1995)**. Nitrate and nitrite in drinking water, National Academy of Science, p63
- [25] **RATEL M-O. (1992)**. Elimination des nitrates des eaux potables. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Direction de l'espace rural et de la forêt, doc. Technique fndaehors sérien°4 fonds national pour le développement des adductions d'eau. Office international de l'eau snide. p71
- [26] **CASELLAS, M., DAGOT, C.ETBAUDI, M. (2002)** Stratégie d'élimination de l'azote d'un effluent urbain dans un réacteur discontinu séquentiel (SBR). Revue des sciences de l'eau, 749-765.
- [27] **MARIE-ODILE RATEL, (1999)**. Elimination des nitrates des eaux potables. Fonds national pour le développement des adductions d'eau.
- [28] **TRANCART. J.L (1997)** Teneur en nitrates des eaux destinées à la consommation humaine en 1985-1986-1987. Paris, Ministre. Santé. P150
- [29] **SANTE CANADA ; (2013)**. Le nitrate et le nitrite dans les eaux potables. Documents pour consultation publique
- [30] **SCHOLTES, J. C. (1991)**. Recurrent Kohonen self-organization in natural language processing. In Proceedings the International Conference on Artificial Networks (Espoo, Finland), 1751-1754. Amsterdam; New York: North. Holland.
- [31] **MARIE ODILE RATEL (2002)**. Elimination des nitrates des eaux potables
- [32] **BOUGHERARA Hassina, (2012)**. La biodégradation par culture mixte en réacteur batch.
- [33] **METCALF ET Eddy. INC. (2003)**. Wastewater engineering: treatment and reuse 4e ed, révisé par G. Tchobanoglous, F.L. Burton et H.D. Stensel, McGraw-Hill INC, New-York, pp. 62, 569, 928, 969.
- [34] **SIMON, H.A. (1985)**. Maintaining the peace .In M.D. Ward (Ed.), Theories, models, and simulations in international relations (pp. 535-548).[Essays in honor of Harold Guetzkow.] Boulder, CO: West view Press,
- [35] **GEMONPRE .R (1983)**. Etude de diverses possibilités de délimitation des nitrates dans les - 14.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [36] **ECKENFELDER, W.W (1982)**. Chemical and physical measures. In Bennett, G.F., Feaste and Wilder (1982)
- [37] **GAMBLE TN, BELTACH R, TIEDJE JM (1977)**. Numerically dominant denitrifying bacteria
- [38] **KUENEN JG, ROBERTSON LA. (1987)**. Ecology of nitrification and denitrification. In: Ferguson Jacas, ed. *The Nitrogen and Sulphur Cycles*. Cambridge: Cambridge University Press:161-218
- [39] **KNOWLES, R. (1982)**. Denitrification. Microbiological reviews, 46(1), 43-70.
- [40] **SUTTON, P.M, MURPHY, K.L. ETDAWSON, R.N. (1975)**. Low-temperature biological nitrification of waste water. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 47 (1), 122-134.
- [41] **RITTMANN ET LANGELAND W.E. (1985)**. Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditches. *J water pollut control fed*, 57, 300.
- [42] **RODIER, J. (1978)**. L'analyse de l'eau, sixième édition, bordas, Paris.
- [43] **ORGANISATION MONDIAL DE LA SANTE (1992)**. Analytical and water treatment methods for health-based guideline values. Report on a who consultation, Medmenham, u.k, 27-29 January. Who Regional Office for Europe, Copenhagen
- [44] **SANTE NATIONAL ET BIEN ETRE SOCIAL(2002)**. de K. Kjartanson, Environmental Management, Manitoba Environnement and Works place Safety And Health
- [45] **KARRINE CHAUSSE, DENISE PHANEUF, PATRICK LEVALLOIS. (2003)**. Nitrates / nitrites.
- [46] **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1991)**, National primary drinking water regulations; Final rule, In *Federal Register Part II (40 cfr Parts 141, 142 and 143, January 1991)*,
- [47] **U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1985)**. Nitrate and nitrite. Proposed rules. *Fed. Regist.*, 50(219): 48972