



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Hydraulique SPECIALITE : Ouvrage Hydraulique

THEME

**L'évolution de la qualité et pollution des
nitrates dans les eaux souterraines au sud
chott El-Hodna.**

Présenté par : Bitar Dalal
Seraiche Nour Elhoda

Dirigé par : Mr. Dougha Mostefa

Promotion : 2019/2020.

Remerciement

Tout d'abord, permettez-nous de remercier Dieu et d'exprimer notre gratitude pour nous avoir donné courage et patience tout au long de ces années scolaires.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre modérateur Mr. DOUGHA Mostefa d'avoir accepté de nous encadrés. Nous tenons aussi de lui remercier pour ses orientations, ses observations et sa patience, ainsi que son suivi tout le long de notre travail.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury et je leurs exprimer toute ma gratitude.

Je remercie pareillement l'ensemble des membres du laboratoire de L'Algérienne des eaux.

DEDICACE

Je suis très heureuse de pouvoir dédier cet humble travail aux êtres les plus chers à mon cœur :

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; mon père et ma mère que j'adore,

« Saâd et Noura ».

A mes sœurs : Souhila, Siham, Radia, Sabrina, Meriem et feriel.

A mon cher frère HAMADA et sa petite famille.

À toute la famille Bitar et Merniz

Surtout mes chères filles cousines Hanan et Zeyneb.

À mes chères amies : Houda, Bouchra , khadidja , fatima , Amal et Khalissa .

A mes collègues

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mes affections et mes pensées, vous êtes pour moi des

frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

DEDICACE

Je suis très heureuse de pouvoir dédier cet humble travail à ceux qui sont les plus chers à mon cœur :

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de
Mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore. À mon père,
« Ibrahim et Malika ».*

À ma sœur Asma et sa fille Insaf

À mes chers frères: Oussama et Nasrallah.

À mon mari : Oussama, et à ses chers parents : Bachir et Saliha.

À mes chers amis : Dalal, Hmila, Mariem, Ftima, Donia.

À mes collègues

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous
exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des
frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.*

*Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine
de santé et de bonheur.*

Sommaire

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 1 |
| CHAPITRE I : cadre géomorphologique de la région d'étude | |
| I-1 Situation géographique de la région du Hodna..... | 3 |
| I-2 Situation géographique de la zone d'étude | 3 |
| I.2.1 Relief et topographie..... | 6 |
| I.3.Aperçu climatologique..... | 7 |
| I.3.1 Climat | 8 |
| I.3.2 Précipitation..... | 8 |
| I.3.3. Températures..... | 10 |
| I.3.4 Le vent..... | 11 |
| I.3.5 L'évapotranspiration..... | 12 |
| I.4 Réseau hydrographique..... | 15 |
| I.5 Activité de la population..... | 17 |
| I.6 Inventaire du forage de la région étudiée..... | 19 |
| I.7 Conclusion..... | 27 |
| Chapitre II: L'étude géologique et Hydrogéologique | |
| II.1 Introduction..... | 28 |
| II.2 Géomorphologie du bassin El Hodna..... | 28 |
| II.2.1 Stratigraphie du bassin..... | 29 |
| II.3 Géologie de la région d'étude..... | 31 |
| II.4 La lithologie..... | 34 |
| II.4.1 Identification des formations hydrogéologiques..... | 34 |
| II.5. Hydrogéologie de la région..... | 38 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| II.5.1 Les eaux souterraines..... | 40 |
| II.6 Conclusion..... | 43 |

Chapitre III: Qualité des eaux et pollution des nitrates

| | |
|---|----|
| III.1 Introduction..... | 44 |
| III.2 Paramètres de qualité..... | 45 |
| III.2.1 Définitions..... | 45 |
| III.3. Principaux paramètres de potabilité | 45 |
| III.3.1 Les paramètres organoleptiques (physique)..... | 45 |
| III.3.2 Les paramètres physico-chimiques..... | 46 |
| III.3.2.1 Les paramètres chimiques..... | 47 |
| III.3.2.1.1 Ions majeurs | 47 |
| III.3.3 Les paramètres bactériologiques..... | 49 |
| III.3.4 Les paramètres lié aux substances indésirables..... | 51 |
| III.3.5 Les paramètres liés aux substances toxiques..... | 51 |
| III.4. Pollution des eaux..... | 51 |
| III.4.1. Sources de pollution..... | 51 |
| III.4.1.1 La pollution ponctuelle..... | 51 |
| III.4.1.2 Pollution diffuse..... | 53 |
| III.4.2 Les principaux polluants des eaux..... | 54 |
| III.4.2.1 Sels minéraux..... | 54 |
| III.4.2.2. Matières fertilisantes..... | 54 |
| III.4.2.3 Métaux lourds..... | 54 |
| III.4.2.4 Polluants microbiologiques de l'eau..... | 55 |
| III.4.2.5 Matières en suspension..... | 55 |
| III.4.2.6 Matières organiques..... | 55 |
| III.4.3 Différentes formes de l'azote..... | 55 |
| III.5 Origine des nitrates..... | 56 |

| | |
|---|----|
| III.5.1 Nitrates provenant des sols forestiers ou sols cultivés anciens..... | 57 |
| III.5.2 Nitrates provenant de l'agriculture moderne..... | 57 |
| III.5.3 Nitrates d'origine domestique..... | 58 |
| III.5.4 Nitrates d'origine animale..... | 58 |
| III.5.5 Nitrates d'origine industrielle..... | 59 |
| III.5.6 Effet cumulé de différentes sources de nitrates..... | 59 |
| III.6 Effet de nitrate..... | 60 |
| III.6.2 Sur les plantes..... | 60 |
| III.6.3 Sur les animaux..... | 60 |
| III.6.4 Sur les eaux naturelles..... | 60 |
| III.7 Contamination des eaux par les nitrates en Algérie..... | 61 |
| III.8 Contamination des eaux par les nitrates dans la zone d'étude..... | 61 |
| III.9 Présentation qualitative des eaux souterraines de quelques points d'eau de la zone d'étude..... | 62 |
| III.10 Conclusion..... | 70 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| | |
|--|----|
| IV. Introduction..... | 71 |
| IV.1. Matériel et méthode | 71 |
| IV.2. Description des données de qualité..... | 71 |
| IV.2.1 Balance ionique..... | 72 |
| IV.2.2 Traitement statistique des données de qualité..... | 74 |
| IV.3 Détermination des faciès hydro chimiques..... | 78 |
| IV.4. Analyses statistiques multi variées des variables physico-chimiques..... | 81 |
| IV.4.2 Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude..... | 81 |
| IV.4.2.1 Matrice de corrélation des valeurs..... | 81 |
| IV.4.2.2 Etude des variables et des individus de l'année 2019..... | 82 |
| IV.4.2.3 Etude des individus..... | 84 |

| | |
|---|----|
| IV.5 Résultat et discussion..... | 86 |
| IV.5.1 Interaction/sédiment..... | 86 |
| IV.5.2 Origine de la qualité..... | 87 |
| IV.5.2.1 Origine des éléments Ca^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^- | 87 |
| IV.5.2.2 Origine des éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} | 88 |
| IV.5.3 Pollution des nitrates..... | 89 |
| IV.5.3.1 Analyse des données de nitrate..... | 92 |
| IV.6. Conclusion..... | 95 |

LISTE DES TABLEAUX

| <i>N° de Tableau</i> | <i>Intitulé</i> | <i>N° de Page</i> |
|--------------------------|--|-----------------------|
| Tableau I-1 | Précipitation moyenne mensuelle de la région de Bousaâda durant la période (1994- 2016). | 09 |
| Tableau I-2 | Répartition de température en fonction des mois, période (1994-2016) | 10 |
| Tableau I-3 | Nombre d'heures ensoleillées à Bousaâda (2000-2012) | 11 |
| Tableau I-4 | L'intensité du vent km/h à Bousaâda (2000-2012) | 12 |
| Tableau I-5 | Evapotranspiration en (mm) de la région de Bousaâda, période 2004-2016 | 13 |
| Tableau I-6 | Humidité relative (%) à Bousaâda(2000-2012) | 15 |
| Tableau I-7 | Inventaire des forages de la zone étude en 2019 | 19 |
| Tableau I-8 | Inventaire des forages en 2018 | 21 |
| Tableau I-9 | Inventaire des forages en 2008 | 22 |
| Tableau I-10 | Inventaire des forages en 1996 | 23 |
| Tableau I-11 | Inventaire des forages en 1967 | 24 |
| Tableau III-1 | Normes Algériennes de qualité des eaux potables | 50 |
| Tableau III-2 | Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2019 | 63 |
| Tableau III-3 | Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2018 | 65 |
| Tableau III-4 | Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2008 | 66 |
| Tableau III-5 | Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 1996 | 67 |
| Tableau III-6 | Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 1967 | 68 |
| Tableau IV-1 | Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2018 | 72 |
| Tableau IV-2 | Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2019 | 73 |
| Tableau IV-3 | Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2018, avec les normes algériennes | 74 |
| Tableau IV-4 | Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2019 et avec les normes Algériennes | 75 |
| Tableau IV-5 | Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 1996 | 75 |
| Tableau IV-6 | Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 1967 | 76 |
| Tableau IV-7 | Matrice de corrélation des principaux paramètres physico-chimiques, année 2019 | 82 |

| | | |
|---------------|--|----|
| Tableau IV-08 | Présentation des valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux, année 2019 | 83 |
| Tableau IV-09 | Corrélation entre les variables et les facteurs | 83 |
| Tableau IV-10 | Coordonnées des observations | 84 |
| Tableau IV-11 | Coordonnées des observations | 85 |
| Tableau IV-12 | Données statistiques de nitrates de la zone d'étude (Zone de captage), années 1967 au 2019 | 95 |
| Tableau IV-13 | Répartition des échantillons en pourcentages de nitrates, années 1967 au 2019 | 94 |

LISTE DES FIGURES

| N° de Figures | <i>Intitulé</i> | N° de page |
|----------------------|---|-------------------|
| Figure I-1 | Situation de la zone d'étude, au sud de Chott El Hodna | 04 |
| Figure I-2 | Photo spatiale du sud de Chott El Hodna | 05 |
| Figure I-3 | spatiale du relief du sud de Chott El Hodna | 05 |
| Figure I-4 | La région sud Chott dans son contexte naturel environnant | 07 |
| Figure I-5 | La pluviométrie moyenne mensuelle en (mm) de la région de Bousaâda (1994-2016). | 09 |
| Figure I-6 | Précipitation moyenne mensuelle de Bousaâda (2016). | 09 |
| Figure I-7 | Température moyenne mensuelle de la région de Bousaâda, période (1994-2016) | 10 |
| Figure I-8 | Température moyenne mensuelle de Bousaâda (2016). | 11 |
| Figure I-9 | Vitesse du vent mensuelle de Bousaâda (2016). | 12 |
| Figure I-10 | Evaporation mensuelle de la station de Bousaâda (2004-2016) | 13 |
| Figure I-11 | Situation de la région de Bousaâda dans le climagramme d'EMBERGER | 14 |
| Figure I-12 | L'humidité moyenne mensuelle de Bousaâda (2016) | 14 |
| Figure I-13 | sous bassins hydrographiques principaux avec la carte de réseau hydrographique de la région | 15 |
| Figure I-14 | Carte hydrographique du Hodna | 16 |
| Figure I-15 | Crue d'oued Bou Saada | 17 |
| Figure II-1 | Carte géologique du bassin El Hodna, 1951. | 28 |
| Figure II-2 | Carte géologique de la région de Bousaâda | 31 |
| Figure II-3 | Coupe géologique de la région de Bousaâda suivant la coupe B (Fig. II.2) | 33 |
| Figure II-4 | Carte pédologique de la plaine El Hodna (FAO 1975) | 34 |
| Figure II-5 | Coupe hydrogéologique dans la région de Bousaâda suivant la coupe A, R. Guiraud 1973 | 35 |
| Figure II-6 | Coupe hydrogéologique dans le bassin El Hodna suivant la coupe A, R. Guiraud 1973 | 36 |
| Figure II-7 | Log stratigraphique du forage Maadher 233/255 | 37 |
| Figure II-8 | Log stratigraphique du forage Maîter 235 bis/255 | 38 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Figure II-9 | Positionnements des forages et point d'eau dans la région d'étude | 41 |
| Figure II-10 | Piézométrie de la plaine d'El Maadher – Mars-Avril 1989 (extrait de la carte hydrogéologique, ANRH) | 42 |
| Figure III-1 | Les pollutions des eaux usées. | 52 |
| Figure III-2 | Les pollutions des eaux produites par l'industrie | 53 |
| Figure III-3 | Cycle de l'azote dans l'air et le sol | 56 |
| Figure III-4 | Utilisation des engrais animaux en agriculture | 58 |
| Figure III-5 | Utilisation des engrais animaux en agriculture | 59 |
| Figure IV-1 | Evolution temporelle des valeurs moyennes de Ca^{2+} , Mg^{2+} et NO_3^- | 77 |
| Figure IV-2 | Evolution temporelle les valeurs moyennes de CE et SO_4^{2-} | 77 |
| Figure IV-3 | Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude, année 2018. | 79 |
| Figure IV-4 | Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude ; année 2019 | 80 |
| Figure IV-5 | Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude. | 80 |
| Figure IV-6 | Projection des variables sur le plan factoriel | 84 |
| Figure IV-7 | Projection des observations sur le plan factoriel | 85 |
| Figure IV-8 | Variation de la conductivité en fonction du rapport $\text{So}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (meq/l) | 86 |
| Figure IV-9 | Relation entre Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- et la conductivité | 88 |
| Figure IV-10 | Evolution de la conductivité électrique en fonction des anions. | 89 |
| Figure VI-11 | Schémas explicatifs de la situation des nitrates dans la zone d'étude | 91 |
| Figure VI-12 | Evolution temporelle des nitrates au cours des cinq périodes d'observation | 93 |

Introduction Générale

Introduction

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et elle est donc vitale pour le développement de ces pays.

La qualité de l'eau s'exprime classiquement par référence à sa potabilité, en termes de goût, de pureté et d'odeur : l'eau est un liquide inodore, incolore et sans saveur. Pour tout type d'usage de l'eau, certaines propriétés sont requises : ainsi, pour l'alimentation humaine, l'eau doit contenir un certain nombre de sels minéraux, mais pas en trop grande quantité.

Il en est de même pour l'irrigation des cultures, avec des tolérances plus importantes. Dans l'industrie, l'eau ne doit pas être corrosive, ni former de dépôts (entartrage) à la surface des machines ou des conduites. La nature géologique de terrain, a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue.

Le présent travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique et l'origine des eaux souterraines destinées à la consommation en eau potable dans la région du Sud chott ElHodna.[1]

Nos travaux visent à déterminer et traiter une base hiérarchique des différents mécanismes responsables de la variation spatiale de la qualité de l'eau dans une plaine aride de la région.

Dans le sud du Hodna, une région aride d'Algérie, l'aquifère de Maadher est la principale source d'eau potable de la ville de Bousaâda. Cependant, cette eau souterraine est menacée par plusieurs facteurs anthropiques. L'objectif de ce travail est d'étudier la géochimie des eaux souterraines de la plaine de Maadher afin de mettre en évidence les processus qui affectent la qualité de l'eau et enfin de les organiser en couplant les approches géochimique et statistique.

Le niveau élevé des nitrates presque touche la totalité des points d'eau (forages et puits) situés dans cette région du Sud de chott El Hodna (Maadher)et qui dépasse largement la limite admissible (50 mg/l). La grande question qui se pose est de savoir comment gérer et protéger ces ressources en eau.

Pour cela, des mesures de prévention et de protection se posent. Cette protection peut être assurée par la délimitation des zones dites vulnérables ou à haut risque.

Introduction générales

Dans le but de préserver les ressources en eau souterraine de la nappe exploitée du Sud de chott El Hodna d'améliorer sa gestion, ce travail a été réalisé pour étudier l'évolution et connaître l'origine des nitrates de la nappe.

Enfin, notre travail sera terminé par une synthèse des différents résultats obtenus sous forme de conclusion générale

CHAPITRE I :

Cadre Géomorphologique

de la région d'étude

I.1 Situation géographique de la région du Hodna :

Le chott Hodna avec sa sebkha fait partie d'une série de chotts qui se sont développés à la convergence des eaux provenant de l'atlas saharien au Sud, et de l'atlas tellien au Nord.

Les principales montagnes qui enserrant le bassin El Hodna sont les monts du Hodna et du Bélezma au Nord ; la chaîne des Aurès à l'Est ; les monts du Ziban au Sud-Est, les monts de Ouled-Naïl au Sud-Ouest. Les points culminants de ces différents reliefs présentent une altitude moyenne de 1500 m au nord, les monts du Hodna : 1400 m à 1800 m, au sud, les monts de Bousaâda, 1300 m à 1600 m, à l'ouest, le Djebel Selat, 1256 m et à l'est le massif occidental au résien : 1200 m.

Selon J. Despois (1963), les géographes s'accordent pour subdiviser le bassin du Hodna en quatre zones distinctes : la montagne, la plaine, le chott et le R'mel. Les monts du Hodna fournissent les principaux cours d'eau qui alimentent la dépression (Chott).[2]

I.2 Situation géographique de la zone d'étude :

La région d'étude est située au sud du chott El Hodna, appelée aussi région de R'mel (sable). Elle est constituée de dunes de sable, de dépôts alluviaux récents et de collines rocheuses isolées (Djebel Meharga, Djebel Kardada ...). Au sud, le paysage est constitué de collines rocheuses et de grands glacis (ou frontons) (Grandin et Joly, 2008) constitués de sable, de graviers, de cailloux cimentés localement. Cette région est soumise en permanence à l'érosion éolienne due à la texture sableuse favorisée par l'absence de la couverture végétale naturelle. Elle est drainée par de nombreux oueds qui lessivent les sels en profondeur et amènent les limons aux sols.

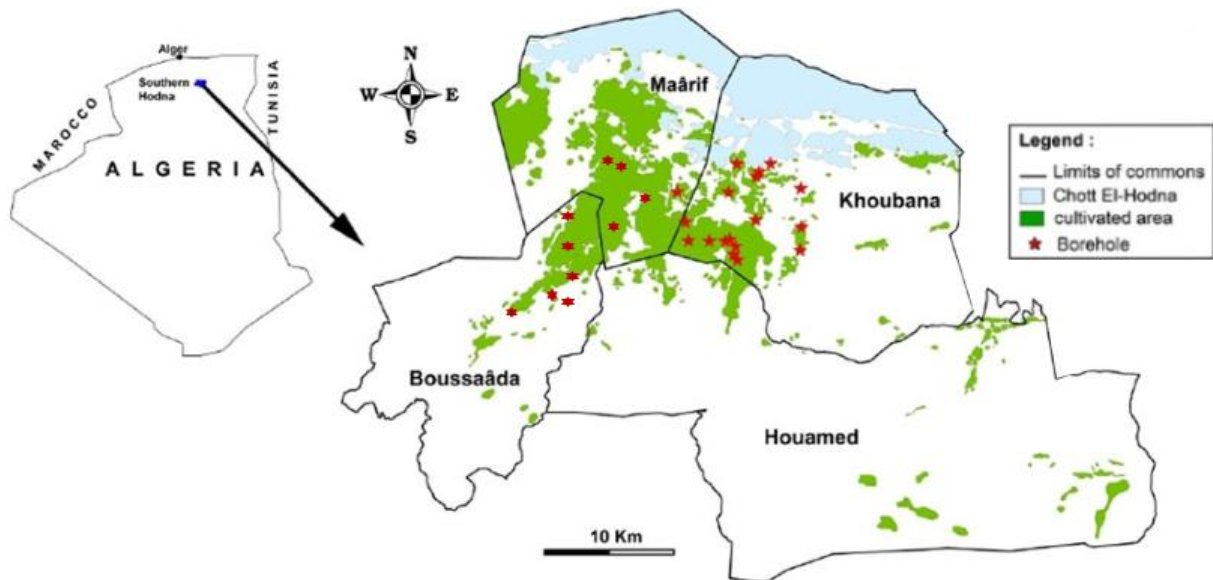
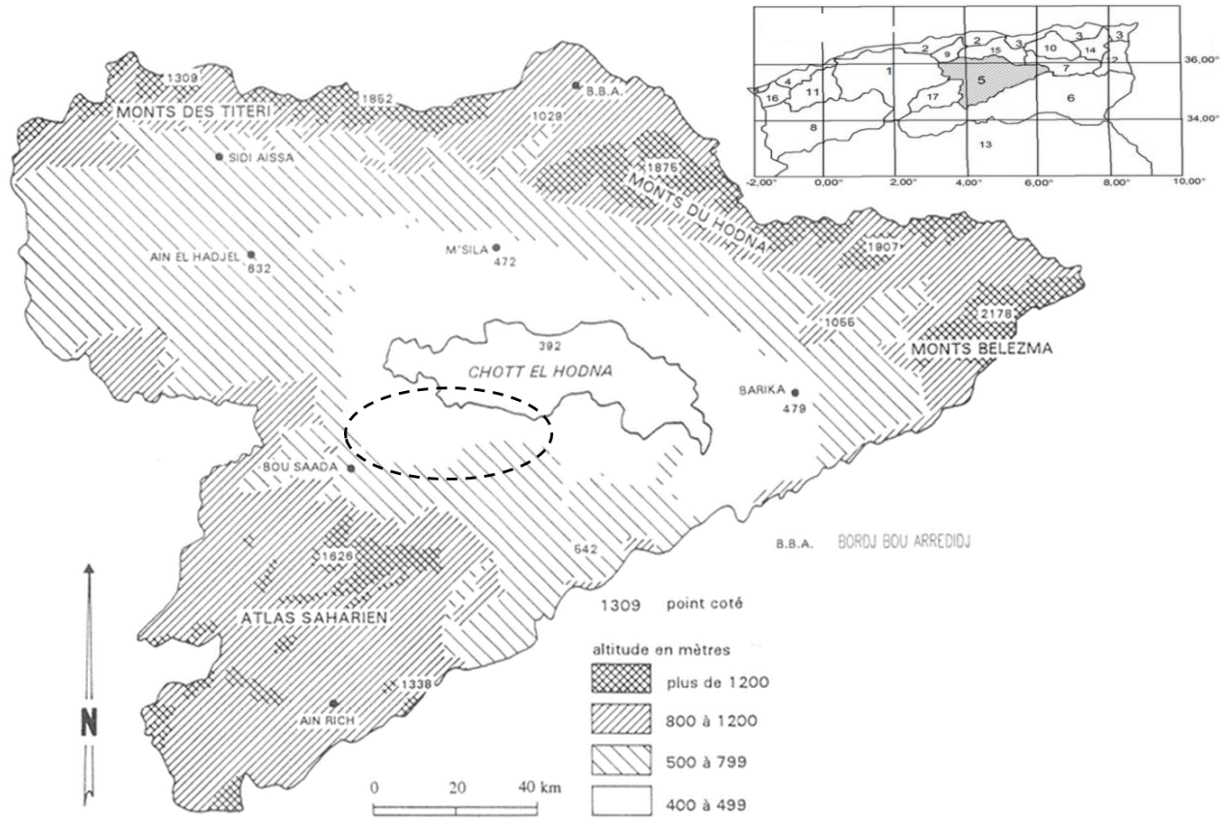


Figure I.01: Situation de la zone d'étude, au sud de Chott El Hodna.

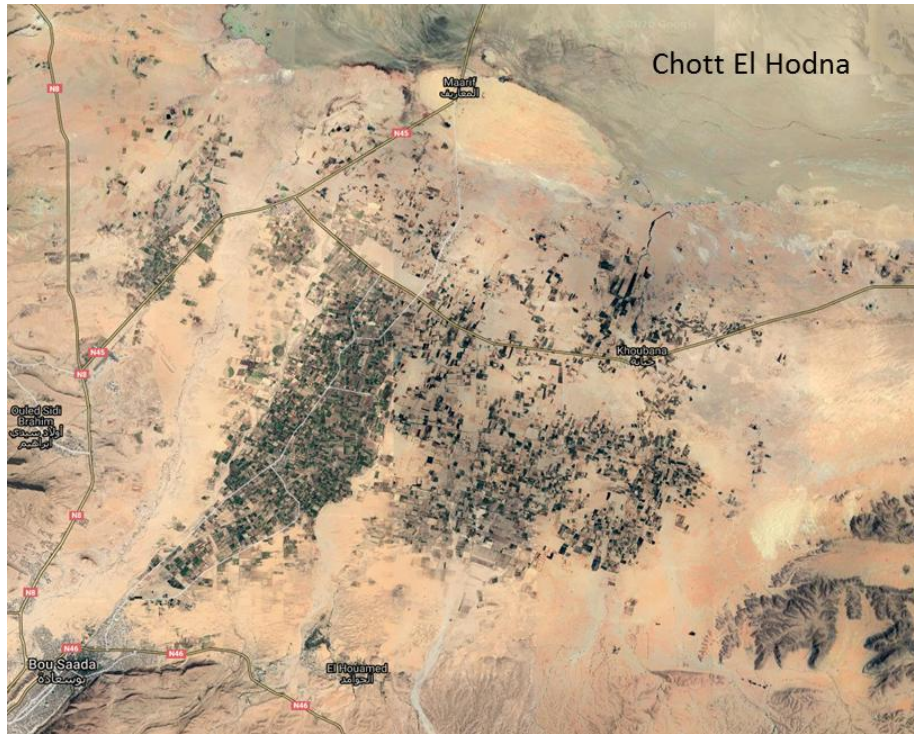


Figure I.02 : Photo spatiale du sud de Chott El Hodna.

La région d'étude fait partie du sud du Chott El Hodna, les communes qui touchent cette région sont : Bousaâda, El Maarif, Khobana.

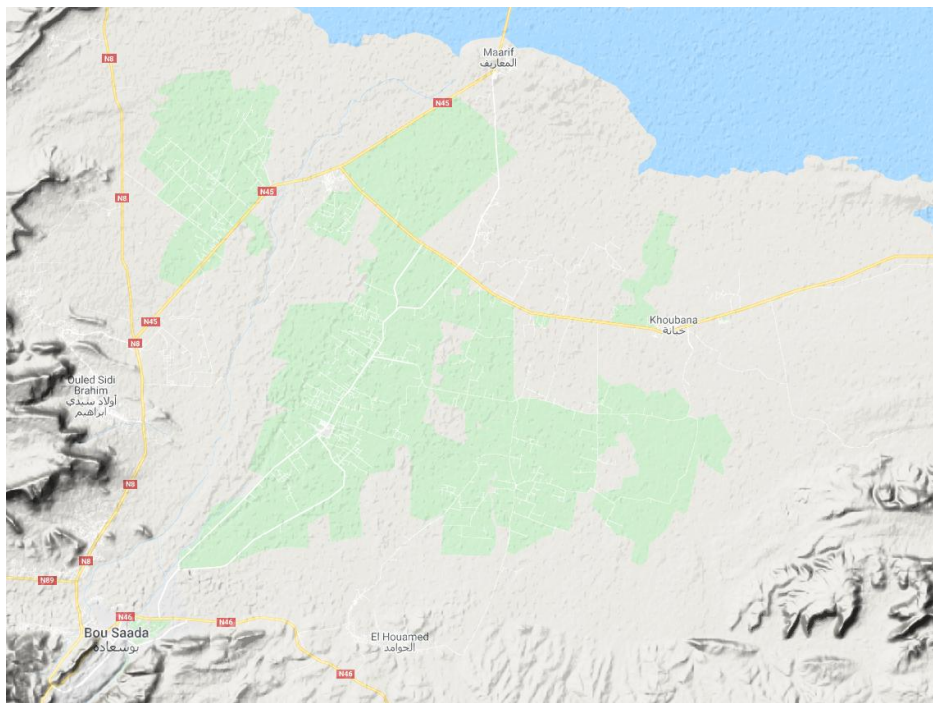


Figure I.03 : Photo spatiale du relief du sud de Chott El Hodna.

I.2.1 Relief et topographie :

La région d'étude ayant les topographies des glacis, caractérisées par de grandes surfaces planes descendantes en pente douce vers une dépression marquante de la fin du tertiaire ou du quaternaire. Les hautes plaines sont encadrées par des chaînes montagneuses dont « la structure a été acquise au cours de diverses phases tectoniques du système alpin de plissement » (PNUD, 1975).

Les monts de Bousaâda constituent un ensemble de relief très important et qui comporte :

- Djebel Moubkheira à l'ouest de la ville.
- Djebel d'Ouled Nail au sud-ouest de la ville.
- Djebel Kardada au sud de la ville, qui dresse ses pentes abruptes au-dessus de la vallée.

Les pentes ou rebords montagneux sont très abrupts, ils ont entre 25 et 40% de pente.

Selon l'étude des sols du bassin El Hodna (Boyadgiev 1975) et de WRB (2006), les principaux types de sols présents dans la région d'étude sont les suivants :

- Arénosols hapliques (arides) ;
- Fluvisols hapliques (arides, gypsiques) ;
- Gypsisols hapliques (arides) ;
- Glycols gypsiques (arides) ;
- Solonchaks gypsiques (arides) ;
- - Solonchaks hapliques (arides).

Le chott est une dépression dont le fond ne dépasse pas 391 m d'altitude.

Il borde la sebkha et comporte une végétation « héliophile » et des touffes plutôt rares d'Halfa. Quant au R'mel (sable), il est constitué de la zone sableuse comprise entre le chott et la limite méridionale de la plaine de Bousaâda.

La texture du sol est dominée par le sable. Outre le quartz, les composants du sol sont dominés par les carbonates (calcite), le gypse et les sels. En raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière organique, la fertilité du sol est faible avec une faible capacité de rétention d'eau; des apports d'engrais et d'amendements organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements corrects, mais la fertilisation est empirique.

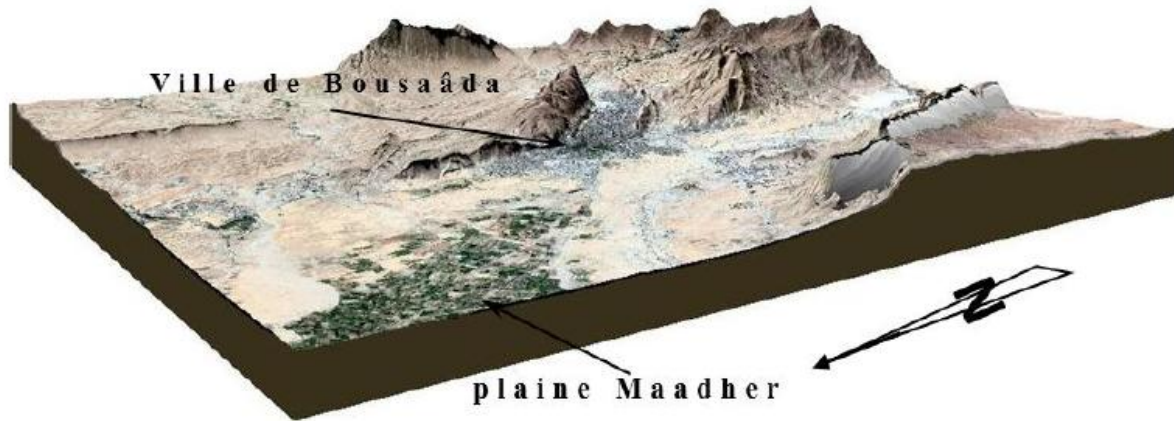


Figure I.04 : La région sud Chott dans son contexte naturel environnant

La région s'étire un cordon de dunes vives, long de 200 km, puis se développe une plaine qui a été mise en valeur dans les années soixante-dix au moyen de pompages des eaux souterraines, zone humide protégée par la convention [3].

La végétation

La palmeraie était historiquement la raison d'être de la ville, parce que « celle-ci était nourrie par celle-là. D'où leur interpénétration » (Nacib, 1986). Une palmeraie irriguée des seguias de l'oued de Bousaâda constituant une partie importante du tissu urbain de la ville, la plaine El-Maadher irriguée de la nappe phréatique présentant un potentiel agro économique pour toute la région, en plus d'une flore montagnaise aux amonts de Djebel Messaad avec une altitude de plus de 1000 m, toutes trois composent, entre autres plusieurs autres constituants, une végétation forestière non négligeable dans une région montagnaise: le cèdre (*ce drus Atlantica*) y côtoie le chêne vert (*quercus ilex*), le pin d'Alep (*pinus halepensis*) et le genévrier de Phénicie.

I.3.Aperçu climatologique :

L'étude de la climatologie est très importante, car la connaissance de la pluviométrie, les températures, l'humidité de l'air et les vents, nous permet de bien connaître la zone d'étude.

I.3.1 Climat :

Le Hodna dans son ensemble appartient à la zone méditerranéenne, comprise entre les climats tempérés et tropicaux, le climat est caractérisé par des précipitations hivernales, printanières et automnales, rares et irrégulières. Ainsi, la région de Bousaâda apparaît comme un couloir orienté ouest-nord-ouest à l'est-sud-est. De ce fait, seules les perturbations pluvieuses arrivant par l'ouest ou le nord-ouest sont susceptibles de l'atteindre pleinement. Les perturbations de nord à nord-est, du reste essorées par la chaîne des Bibans, sont moins fréquentes.

Le climat aride est localisé dans la zone de la plaine jusqu'aux altitudes de 600 à 700 m, tandis que le climat semi-aride est localisé dans la zone montagneuse à une altitude supérieure à 700 m.

Le climat de la région est de type aride à semi-aride, avec un été sec et très chaud et un hiver froid. Les aléas du climat sont, la pluviométrie faible irrégulière et ainsi la désertification.

I.3.2 Précipitation :

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

La région montagneuse reçoit entre 250 et 400 mm au sud de Bousaâda sur les monts des Ouled-Naïl ; la plaine du Hodna enregistre de 200 à 250 mm de pluie par an ; le chott en reçoit moins de 200 mm et la zone sableuse du R'mel, aux portes de l'oasis, n'est arrosée annuellement qu'avec moins de 200 mm, tandis que la ville même de Bousaâda reçoit en moyenne moins de 180 mm par an.

La représentation graphique des variations des moyennes mensuelles interannuelles des précipitations, sur une période de 23 ans (1994-2016), montre une variation irrégulière ; les fortes valeurs sont enregistrées au niveau des mois de septembre, décembre et mai (les mois les plus pluvieux), alors que les faibles valeurs caractérisent les mois de juillet, octobre et janvier. Les précipitations moyennes annuelles sont de 158 mm.

| Mois | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Févr. | Mars | Av. | Mai | Jui. | Jt. | Août |
|-------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|
| Précip (mm) | 20,03 | 8,8 | 14,45 | 24,9 | 8,9 | 9,1 | 11,53 | 16,28 | 12,38 | 11,6 | 9,7 | 10 |

Source : Station météo de Bousaâda

Tableau. I.01 : Précipitation moyenne mensuelle de la région de Bousaâda durant la période (1994- 2016). [4]

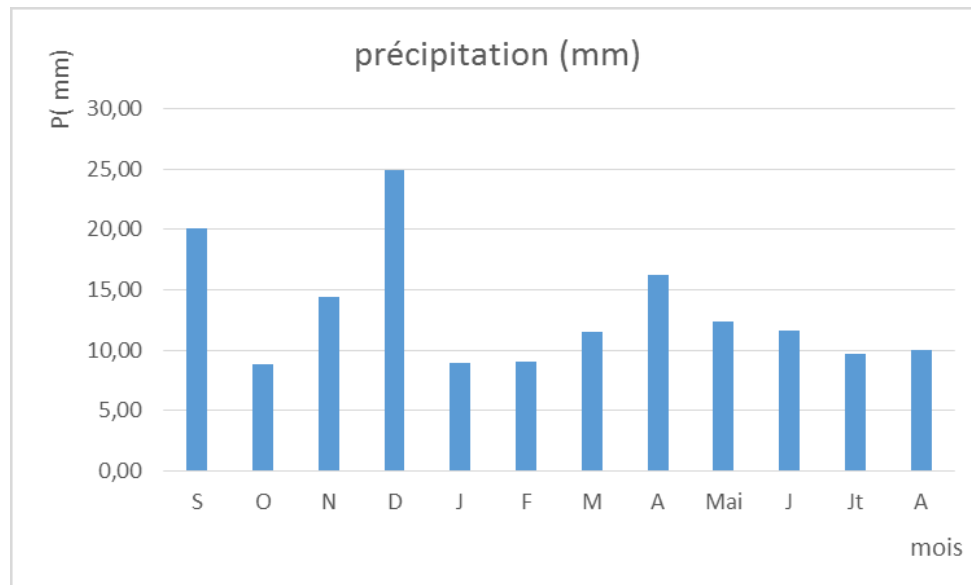


Figure I.05 : La pluviométrie moyenne mensuelle en (mm) de la région de Bousaâda (1994-2016).

Les précipitations sont faibles et irrégulières d'un mois à un autre. Le total en précipitations reçues dans la région de Bousaâda est de 158 mm, elle présente un minimum de 5,7 mm pour le mois de juillet et un maximum de 9,59 mm dans le mois de décembre. (Fig.2.3)

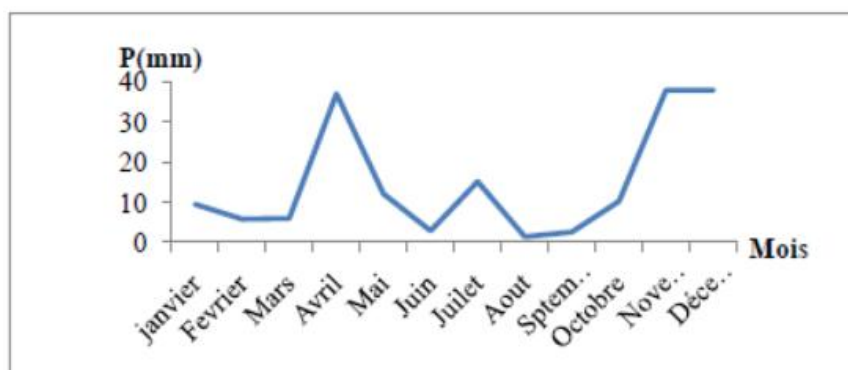


Figure I.06 : Précipitation moyenne mensuelle de Bousaâda (2016).

Notre zone d'étude subit une période sèche de 8 mois qui s'étale de début avril à novembre.

I.3.3. Températures :

La température moyenne mensuelle de la région varie entre 9,8 °C et 30.25 °C, pendant que la température maximale augmente à plus 40°C à l'ombre. Le degré élevé d'insolation (9-10 heures ensoleillée à partir de mai jusqu'au août).

| Mois | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Fé. | Mar. | Av. | Mai | Jui. | Jt. | Août |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| T.moy(°C) | 25,2 | 19,89 | 12,51 | 9,80 | 10,06 | 11,1 | 13,9 | 19,2 | 24,3 | 28,74 | 31,6 | 30,25 |

Source : Station météo de Bousaâda

Tableau I.02 : Répartition de température en fonction des mois, période (1994-2016)

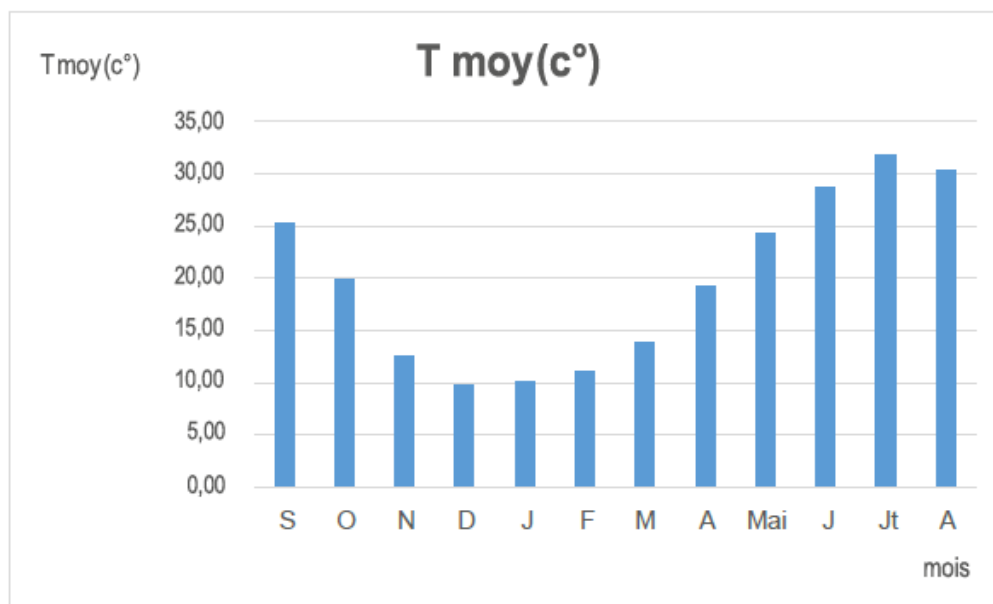


Figure I.07 : Température moyenne mensuelle de la région de Bousaâda, période (1994-2016)

Les résultats enregistrés au niveau de la station météorologique montrent que la région se caractérise par une température élevée (moyenne annuelle de 20°C), avec de fortes variations saisonnières (31,6°C en juillet et 9,8°C en décembre). (Fig. I.07) .

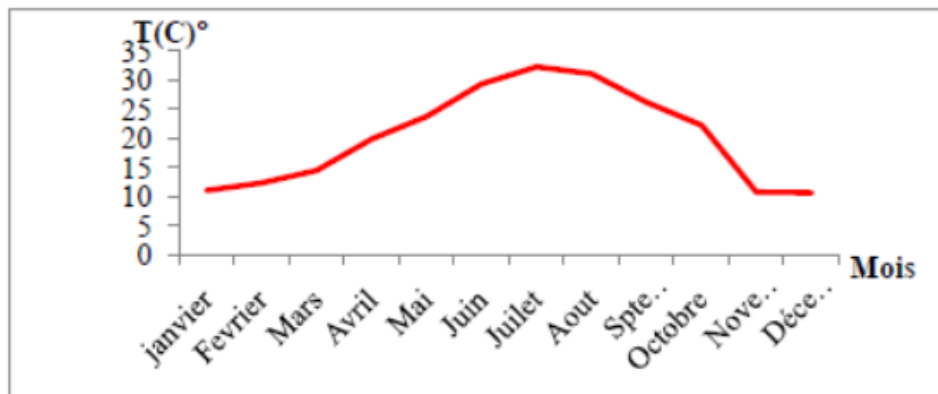


Figure I.08 : Température moyenne mensuelle de Bousaâda (2016).

Le champ de température connaît en effet un promontoire de hautes températures axé sud-est vers nord-ouest. Les fortes chaleurs dans la cuvette créent des dépressions thermiques fréquentes qui en se conjuguant aux courants sahariens de sud-ouest donnent des siroccos très forts et desséchants. En hiver, c'est le resserrement entre les monts du Hodna et les monts d'Ouled-Naïl des courants perturbés d'ouest à nord-ouest qui crée ces vents forts pourvoyeurs de pluies et d'humidité.

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Ann. | Hiver | Print. | Eté | Autom |
|---|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|------|-------|--------|-----|-------|
| 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 10 | 9 | 8 | 8 | 7 | 6 | 97 | 20 | 26 | 28 | 23 |

Tableau I.03 : Nombre d'heures ensoleillées à Bousaâda (2000-2012)

I.3.4 Le vent :

La situation de cuvette ouverte facilite la pénétration des vents venant de tous horizons par les couloirs inter montagnard, cette cuvette connaît aussi des vents forts du bassin. La région de Bousaâda reçoit, pendant l'hiver, les vents du Nord-est froids et secs, et en été, du Sud-ouest, un vent chaud et étouffant, qui souffle parfois pendant des semaines entières, avec une extrême violence, pendant les mois d'hiver et de printemps.

Direction, fréquence et intensité du vent sont influencées par les mouvements généraux des masses d'air de l'Ouest et se reflètent dans la direction et l'orientation des dunes (Benazzouz M. T. 1994),

Le plus grand pourcentage est détenu par vents du Nord-Ouest (25%), suivis par les vents

du Nord (23%) (fig. 3). Les accumulations de sable de la partie du sud de la dépression de Hodna (au Nord et Nord-Ouest de la ville), et l'orientation des dunes de Nord-Ouest vers le Sud-Est sont dues au vent de ces directions. Les masses d'air de côté de l'Ouest (20%), sont canalisées sur le couloir de l'Oued Maîter entre Djebel Gorehor et Djebel Moubakhera,

Le vent est un des traits essentiels du climat steppique. La situation de cuvette ouverte que présente le Hodna facilite la pénétration des vents venant de tous horizons par les couloirs inter-montagnards.

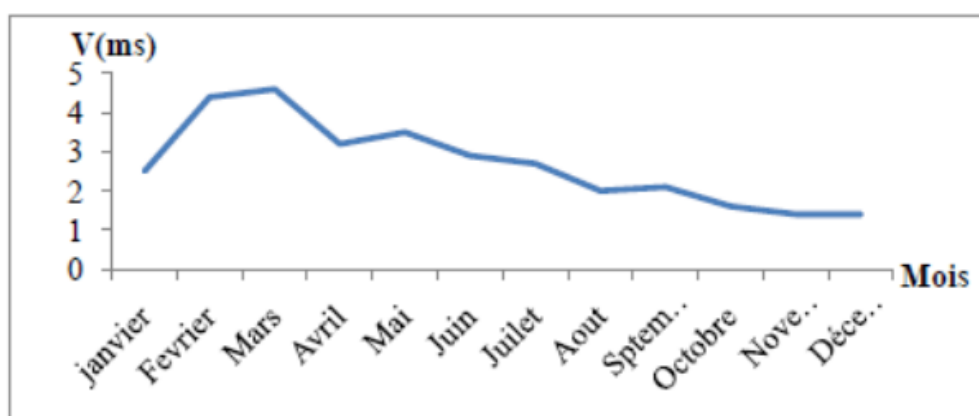


Figure I.09 : Vitesse du vent mensuelle de Bousaâda (2016).

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Ann. | Hiver | Print. | Eté | Autom |
|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|-------|--------|------|-------|
| 10,5 | 11,4 | 14,1 | 16,6 | 13,5 | 11,6 | 9,8 | 8,9 | 8,8 | 7,2 | 9,8 | 10,6 | 11,1 | 10,8 | 14,7 | 10,1 | 8,6 |

Tableau I.04 : L'intensité du vent km/h à Bousaâda (2000-2012)

I.3.5 L'évapotranspiration :

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes. Elle est donc un élément important pour l'établissement du bilan hydrique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal...etc.

| Mois | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Fé. | Mar. | Av. | Mai | Jui. | Jt. | Août |
|---------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ET (mm) | 172,3 | 130,7 | 55,8 | 166,9 | 67,6 | 85,9 | 128,7 | 165,2 | 218,2 | 260,3 | 307,7 | 264,2 |

Source : station météo de Bousaâda

Tableau I.05 : Evapotranspiration en (mm) de la région de Bousaâda, période 2004-2016

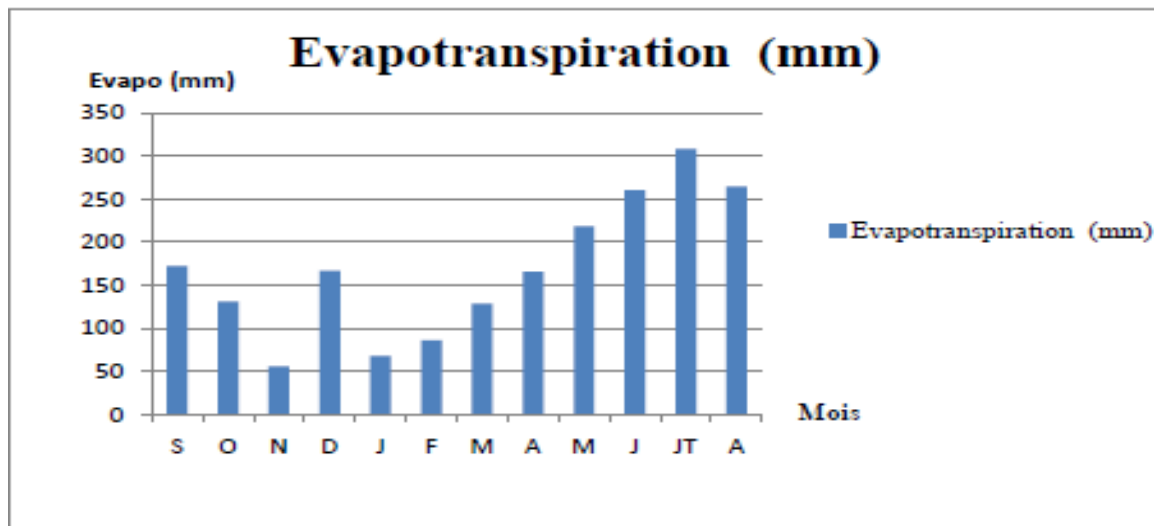


Figure I.10 : Evaporation mensuelle de la station de Bousaâda (2004-2016)

Les données de la figure indiquent que la région d'étude est caractérisée par une faible évapotranspiration qui varie entre 55,8 et 308,5 (mm/mois).

Le climagramme pluviométrique d'EMBERGER, que la région de Bousaâda est située dans l'étage bioclimatique aride à hiver doux. (Fig. I.10).

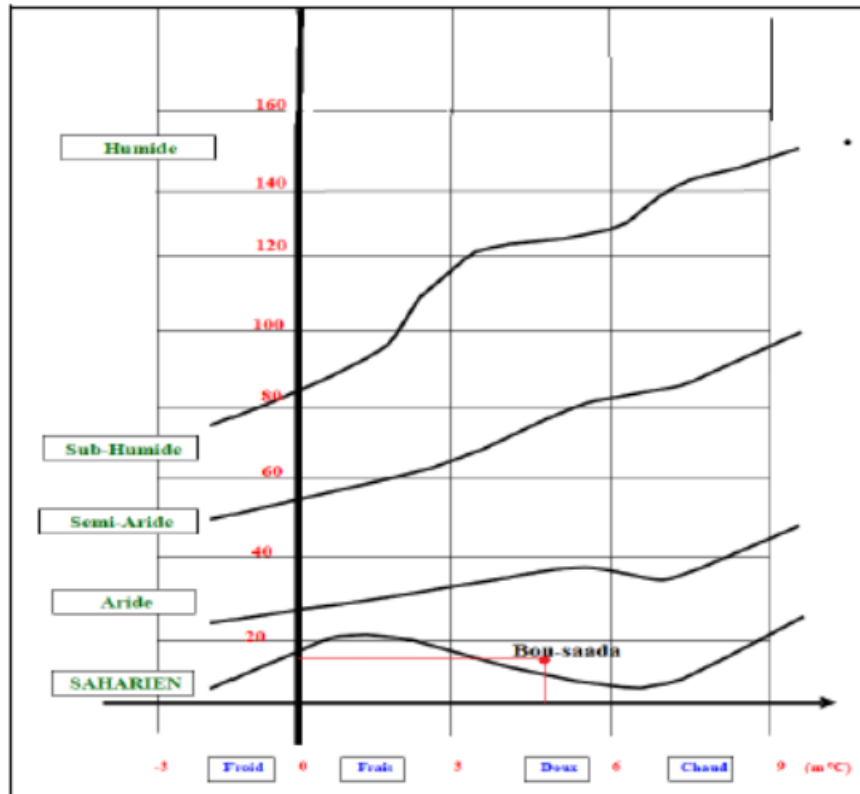


Figure I.11 : Situation de la région de Bousaâda dans le climagramme d'EMBERGER.

L'humidité relative de l'air varie sensiblement en fonction des saisons. Durant l'été, elle chute jusqu'à 29% au mois de juillet sous l'effet d'une forte évaporation. Par contre en hiver, elle s'élève jusqu'à 78% (valeur maximale) en novembre. (Fig. I.11) .

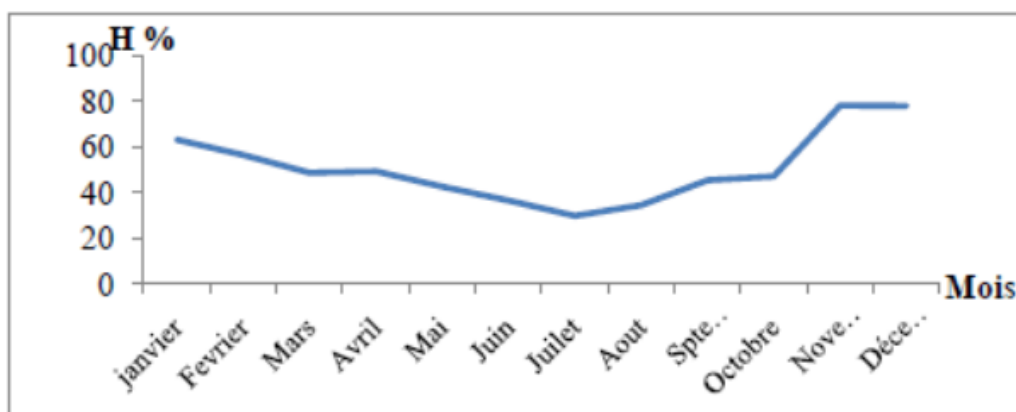


Figure I.12 : L'humidité moyenne mensuelle de Bousaâda (2016)

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Ann. | Hiver | Print. | Été | Auto. |
|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|------|-------|--------|-----|-------|
| 68 | 52 | 42 | 38 | 38 | 30 | 26 | 31 | 43 | 50 | 58 | 67 | 45 | 62 | 39 | 29 | 50 |

Tableau I.06 : Humidité relative (%) à Bousaâda(2000-2012)

I.4 Réseau hydrographique :

Selon l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), le grand bassin du Hodna est divisé en 24 sous bassins ou en 08 bassins hydrographiques principaux. Le Chott El Hodna appartient aux grands bassins versants (n° 5), de l'Algérie.[5]

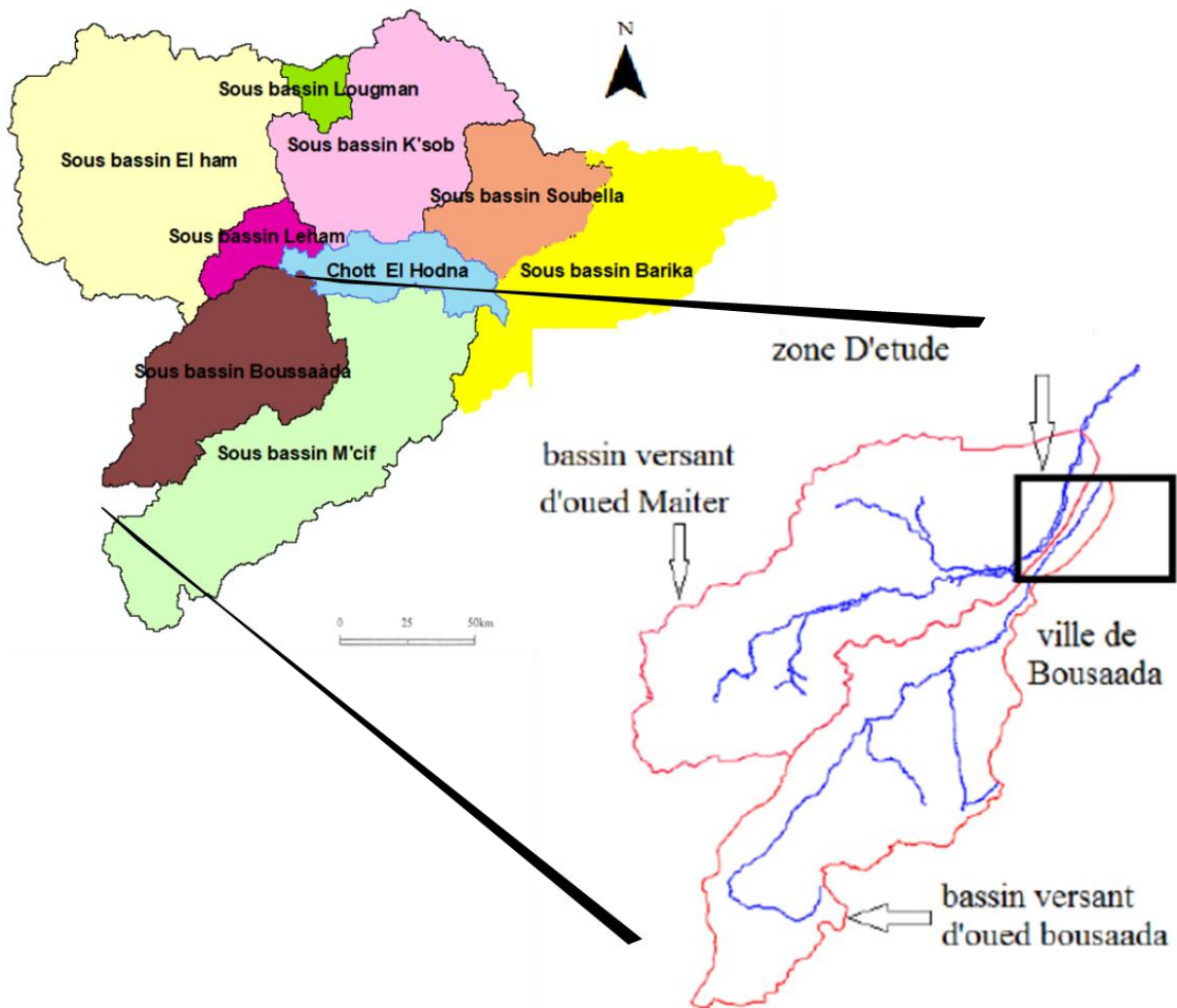


Figure I.13 : sous bassins hydrographiques principaux avec la carte de réseau hydrographique de la région

Par contre, oued Bou Saada prend naissance dans les monts d'Ain Ghorab dont la côte se trouve à 1500m NGA.

Les précipitations importantes sur les hauteurs multiplient les possibilités des crues qui passent à l'aval par la plaine d'EL MAADHER provoquant ainsi une importante érosion des berges d'oued

L'oued de Bousaâda coule au pied de Djebel Kardada et traverse la grande palmeraie avant de pénétrer dans une vaste plaine désertique qui ouvre sur la dépression Hodnéenne dont le centre comporte le chott El Hodna, sorte de lac auréolé par une Sebkhah, zone salée d'épandage des eaux.

La périphérie nord et nord-est, apparaît comme un croisement de dunes sableuses ceinturant Bousaâda.

Au sud-ouest de la ville, la vallée à un relief confus, elle est entaillée par plusieurs oueds; la ville elle-même est traversée par des oueds ou ruissellements.



Figure I.15 : Crue d'oued Bou Saada

I.5 Activité de la population :

La ville de Bousaâda a par ailleurs connu cette dernière période une phase de croissance particulièrement soutenue. Le nombre des habitants a augmenté d'environ quatre fois en 50 années (26 300 habitants en 1966 et 106100 habitants en 2009 et actuellement en 2020 dépasse 180000 ha).

L'agriculture

La région à vocation agricole caractérisée par les oasis palmeraies et son système d'irrigation traditionnelle, et avec un périmètre important d'agriculture moderne. Ce système de culture oasien est tourné autour des plantations de palmiers, associé ou non à d'autres cultures.

Selon la subdivision des services agricoles de Bousaâda, les exploitations agricoles se localisent au niveau de la zone Nord-est (périmètre eEl-Maadher) qui est en fait, une vaste plaine irrigable située au nord de la ville de Bousaâda. L'agriculture à Bousaâda est réputée par la production des légumes ainsi que l'arboriculture qui, à son tour représente une part assez importante de l'activité agricole de cette région. Ainsi, la production animale représente une richesse importante qui vient renforcer l'économie de la région avec un effectif de 34490 réparti comme suit :

- Ovin : 29900 têtes
- Bovin : 3540 têtes dont 1820 vaches laitières produisent : (6126000 litres /an)
- Caprin : 1050 têtes.

La végétation qui recouvre Bousaâda est très variable tel que la forêt de 35,556 ha, qui couvre le Djebel Messad ainsi que la palmeraie, en jardins étagés au bord de l'oued, qui donne le caractère oasien à la ville avec ses quelques milliers dattiers considérés comme le plus proche dattier de la Méditerranée.

Cette région est soumise à de fortes contraintes naturelles comme l'aridité du climat, l'érosion éolienne et anthropiques comme le surpâturage, la surexploitation des ressources en eau et l'agriculture intensive (Abdesslam et al. 2007). Depuis plusieurs décennies, l'utilisation des sols et l'exploitation des ressources en eau ont considérablement évolué, sous l'impulsion des politiques agricoles successives en Algérie, de la révolution agricole et du programme national de développement agricole.

Depuis 1976 et dans le cadre de la révolution agricole (1976), les surfaces irriguées continuent d'augmenter en exploitant les eaux souterraines au sud du Chott El Hodna. Au cours des 30 dernières années, les terres agricoles se sont étendues au détriment des terres utilisées pour le pastoralisme. Les formations sableuses se sont également étendues (Abdesslam et al. 2009). La réduction des zones dévouées pastorales est principalement due à l'extension des zones cultivées. De plus, le travail du sol a entraîné une érosion éolienne croissante (Mimoune, 1995) et la formation de dunes de sable. La dégradation des zones

pastorales n'est pas seulement due aux conditions climatiques, mais principalement au surpâturage.

L'agriculture s'est développée là où les ressources en eau sont accessibles, c'est-à-dire dans la zone sablonneuse. D'après la direction des services agricoles (DSA), la superficie des terres arables (ALA) est d'environ 42 000 ha, dont 50% sont irrigués.

Selon la subdivision des services agricoles de Bousaâda, les exploitations agricoles se localisent au niveau de la zone d'El-Maadher qui est en fait, une vaste plaine irrigable située au nord de la ville de Bousaâda. La surface agricole utile de cette commune est évaluée à 2900 hectares, dont 2260 ha irrigués soit 77,93% de la SAU. L'agriculture dans la région est réputée par la production des légumes ainsi que l'arboriculture qui, à son tour représente une part assez importante de l'activité agricole.

Les dysfonctionnements majeurs du secteur agricole sont :

- la sécheresse
- L'environnementale l'élevage animal évoque aussi une plus forte contrainte sur les territoires.

I.6 Inventaire du forage de la région étudiée :

La zone contient un nombre important de forages et puits, Les tableaux suivants proposent l'inventaire des forages exploités. La totalité de ces forages sont alimentés par la nappe mixte du Hodna. Le tableau suivant représente l'inventaire du forage de la région étudiée.[2]

Tableau I.07: Inventaire des forages de la zone étude en 2019[6]

| N° | Nom du Forage | Les coordonnées | | |
|----|--------------------------------|-----------------|---------|--------|
| | | X | Y | Z |
| 1 | Maadher I (285/255) | 642,900 | 220,700 | 476 |
| 2 | Maadher II (261/255) | 639,440 | 216,727 | |
| 3 | Maadher I (236 Bis/255) | 642,853 | 219,554 | 479,98 |
| 4 | Maadher I (260/255) | 640,286 | 217,706 | |
| 5 | Romana Dahraouia (9/255) | 642,000 | 213,350 | 540 |
| 6 | Forage M'hasseb | 649,300 | 216,200 | 515 |
| 7 | Maadher | 640,327 | 217,595 | 498 |

| | | | | |
|----|----------------------------------|---------|---------|-------|
| | (233/255) sidi cheikh | | | |
| 8 | Maitar II (235/255) | 628,400 | 214,300 | 620 |
| 9 | Maiter I (257bis/255) | | | |
| 10 | Forage Lakfa // Diss | 633,077 | 223,661 | |
| 11 | Forage 50 Logts // Diss | 633,390 | 222,668 | |
| 12 | Maadher I (248/bis255) | 642,095 | 219,143 | 488 |
| 13 | Maadher I (285/255) | 643,369 | 220,599 | |
| 14 | Maadher (232/255) sidi cheikh | 639,800 | 216,800 | 505 |
| 15 | Maadher (234/255) sidi cheikh | 641,800 | 217,000 | 490,5 |
| 16 | Route d'Alger (256/255) | 635,554 | 220,626 | |
| 17 | Maadher III (262/255) Karia | 642,553 | 222,373 | |
| 18 | 284/255 | | | |
| 19 | Maadher III (262bis/255) Karia | 642,934 | 222,073 | |
| 20 | Forage Maadher Nouveau | 642,300 | 216,040 | |
| 21 | Maitar III (254/255) | 634,257 | 214,484 | 620 |
| 22 | Maadher (234bis/255) sidi cheikh | 641,800 | 217,000 | 490,5 |
| 23 | Forage Bir Seddik Ben Yahia | 631,314 | 225,277 | |
| 24 | Maadher (234/255) sidi cheikh | 641,800 | 217,000 | 495 |
| 25 | Baten II (Route d'Alger) | 632,200 | 218,720 | 630 |
| 26 | Maadher (252/255) sidi cheikh | 639,659 | 216,697 | |
| 27 | Forage Dhahra | 634,992 | 225,355 | |

| | | | | |
|----|--------------------------------------|---------|---------|--|
| | // Diss | | | |
| 28 | Forage El Aouichat // Diss | 635,472 | 222,410 | |
| 29 | Forage Ain El Hennache // Diss | 631,687 | 236,697 | |
| 30 | Forage Lakfa 01 // Diss | 633,239 | 222,470 | |
| 31 | Forage Lakfa // Diss | 633,077 | 223,661 | |
| 32 | Forage Lakfa 02 // Diss | 632,924 | 222,713 | |

Tableau I.08: Inventaire des forages d en 2018

| N° | Nom du Forage | Les coordonnées | | |
|----|------------------------------------|-----------------|---------|-----|
| | | X | Y | Z |
| 1 | Maadher I 285/255 | 643,369 | 220,599 | 471 |
| 2 | Maadher II 261/255 | 639,44 | 216,727 | 512 |
| 3 | Maadher S,cheikh 236 BIS/255 | 641,160 | 218,900 | 508 |
| 4 | Maadher I 260/255 | 640,286 | 217,706 | |
| 5 | Romana Dhahraouia (9/255) | 642,107 | 213,35 | 540 |
| 6 | F. M'hasseb | 694,3 | 216,22 | 531 |
| 7 | Maadher S,cheikh 233/255 | 640,327 | 217,595 | 498 |
| 8 | Maiter II (229/255) | 628,4 | 214,3 | 620 |
| 9 | Maiter I (257bis/255) | 631,956 | 215,164 | |
| 10 | LAKFA; O Sidi Brahim | 632,925 | 222,716 | |
| 11 | 50 Logs O Sidi Brahim | 633,39 | 222,668 | |
| 12 | Maadher I 248bis/255 | 641,3 | 217,5 | 488 |
| 13 | eau source Takouka El | 643,02 | 200,512 | |

| | elik | | | |
|----|-------------------------------------|---------|---------|-----|
| 14 | Maadher II 246/255 | 639,2 | 218 | 480 |
| 15 | Route Biskra 247/255 | 638,1 | 214,9 | 521 |
| 16 | Hotel Kerdada | 635,038 | 214,579 | |
| 17 | eau source Aoun Allah El Elik | 643,02 | 200,512 | |
| 18 | Maadher II 214/255 | 639,25 | 218,35 | 480 |
| 19 | Maadher II 214 bis/255 | 638,695 | 217,703 | 480 |

Tableau I.09: Inventaire des forages en 2008

| N° | Nom du Forage | Les coordonnées | |
|----|---------------|-----------------|------------|
| | | X | Y |
| 1 | | 35,2767397 | 4,40726588 |
| 2 | | 35,280789 | 4,40396621 |
| 3 | | 35,2864728 | 4,40571583 |
| 4 | | 35,2910223 | 4,40069882 |
| 5 | | 35,2899391 | 4,39704912 |
| 6 | | 35,2898721 | 4,38334863 |
| 7 | | 35,290222 | 4,36568128 |
| 8 | | 35,3046886 | 4,42263323 |
| 9 | | 35,3240041 | 4,39969901 |
| 10 | | 35,3266883 | 4,46113484 |
| 11 | | 35,2995854 | 4,46166173 |
| 12 | | 35,2836231 | 4,46058514 |
| 13 | | 35,3347712 | 4,42329924 |
| 14 | | 35,3377871 | 4,42566597 |
| 15 | | 35,3439204 | 4,43551696 |
| 16 | | 35,3032884 | 4,36324747 |
| 17 | | 35,324204 | 4,35621427 |
| 18 | | 35,3437701 | 4,40661576 |

Tableau I.10: Inventaire des forages en 1996

| N° | Nom du Forage | Les coordonnées | |
|----|---------------|-----------------|------------|
| | | X | Y |
| 1 | 907 | 35,274596 | 4,25659786 |
| 2 | 916 | 35,2970503 | 4,26335964 |
| 3 | 947 | 35,3782778 | 4,29192525 |
| 4 | 942 | 35,3729497 | 4,28576383 |
| 5 | 943 | 35,3819279 | 4,28869485 |
| 6 | 949 | 35,3737261 | 4,29513734 |
| 7 | 956 | 35,3644489 | 4,29770405 |
| 8 | 957 | 35,3651288 | 4,29744244 |
| 9 | 959 | 35,3668708 | 4,31866885 |
| 10 | 972 | 35,3701689 | 4,32479071 |
| 11 | 974 | 35,3683052 | 4,31264309 |
| 12 | 982 | 35,3711304 | 4,3204066 |
| 13 | 991 | 35,3852603 | 4,30913175 |
| 14 | 1000 | 35,3807677 | 4,30794013 |
| 15 | 1005 | 35,3833753 | 4,31514973 |
| 16 | 1009 | 35,3854455 | 4,29537155 |
| 17 | 1019 | 35,3873074 | 4,29100421 |
| 18 | 1031 | 35,401705 | 4,31001401 |
| 19 | 1035 | 35,3502835 | 4,32823832 |
| 20 | 1042 | 35,3519657 | 4,3370779 |
| 21 | 1046 | 35,3601169 | 4,33449309 |
| 22 | 1051 | 35,3408781 | 4,32364454 |
| 23 | 1054 | 35,3391127 | 4,32085745 |
| 24 | 1058 | 35,3373621 | 4,31697033 |
| 25 | 1066 | 35,3248383 | 4,30956498 |
| 26 | 1070 | 35,3307945 | 4,30253266 |
| 27 | 1081 | 35,3370158 | 4,30926018 |
| 28 | 1091 | 35,348262 | 4,31113772 |
| 29 | 1094 | 35,3456357 | 4,30530675 |
| 30 | 1104 | 35,339063 | 4,29114359 |

| | | | |
|----|------|------------|------------|
| 31 | 1109 | 35,3077522 | 4,27236936 |
| 32 | 1118 | 35,3610563 | 4,26461292 |
| 33 | 1125 | 35,3412599 | 4,27853158 |
| 34 | 1127 | 35,8788047 | 4,62495051 |
| 35 | 1134 | 35,372566 | 4,24639794 |
| 36 | 1145 | 35,3718035 | 4,23564924 |
| 37 | 1159 | 35,3701279 | 4,225709 |
| 38 | 1168 | 35,382277 | 4,2275928 |
| 39 | 1171 | 35,369388 | 4,21303476 |
| 40 | 1183 | 35,3692255 | 4,20807774 |
| 41 | 1190 | 35,3770648 | 4,21207928 |
| 42 | 1191 | 35,3806428 | 4,21434912 |
| 43 | 1205 | 35,4366268 | 4,20825022 |
| 44 | 1254 | 35,347399 | 4,24013255 |
| 45 | 1257 | 35,3442758 | 4,23759611 |
| 46 | 1267 | 35,3445126 | 4,21916667 |
| 47 | 1276 | 35,3387789 | 4,20915351 |
| 48 | 1279 | 35,3514765 | 4,20334002 |
| 49 | 1291 | 35,3491112 | 4,21210027 |
| 50 | 1304 | 35,3639708 | 4,17770651 |

Tableau I.11: Inventaire des forages en 1967

| N° | Nom du Forage | Les coordonnées | |
|----|---------------|-----------------|---------|
| | | X | Y |
| 1 | 1 | 640 625 | 217 150 |
| 2 | 3 | 640 625 | 215 600 |
| 3 | 19 | 631 650 | 217 440 |
| 4 | 22 | 647 225 | 218 200 |
| 5 | 29 | 638 700 | 228 450 |
| 6 | 30 | 639 575 | 233 025 |
| 7 | 121 | 641 200 | 231 500 |

| | | | |
|----|-----|---------|---------|
| 8 | 122 | 647 750 | 223 450 |
| 9 | 123 | 647 400 | 223 750 |
| 10 | 124 | 645 750 | 224 050 |
| 11 | 126 | 649 175 | 222 660 |
| 12 | 127 | 650 800 | 221 825 |
| 13 | 128 | 631 575 | 223 325 |
| 14 | 129 | 652 075 | 225 980 |
| 15 | 130 | 652 050 | 225 675 |
| 16 | 131 | 651 650 | 225 460 |
| 17 | 132 | 652 950 | 220 550 |
| 18 | 133 | 653 100 | 220 600 |
| 19 | 134 | 654 200 | 222 025 |
| 20 | 135 | 654 100 | 221 760 |
| 21 | 136 | 655 040 | 222 360 |
| 22 | 137 | 655 350 | 221 960 |
| 23 | 138 | 655 200 | 222 500 |
| 24 | 139 | 657 960 | 222 560 |
| 25 | 140 | 657 160 | 223 750 |
| 26 | 141 | 658 040 | 224 625 |
| 27 | 142 | 642 875 | 231 125 |
| 28 | 143 | 643 025 | 230 625 |
| 29 | 144 | 643 350 | 228 825 |
| 30 | 146 | 644775 | 227750 |
| 31 | 147 | 644600 | 226175 |
| 32 | 148 | 642800 | 222150 |
| 33 | 149 | 647175 | 226275 |
| 34 | 150 | 648800 | 229850 |
| 35 | 151 | 649060 | 230300 |
| 36 | 152 | 649525 | 231070 |
| 37 | 153 | 648000 | 232000 |
| 38 | 154 | 646625 | 230450 |
| 39 | 155 | 645675 | 230925 |
| 40 | 156 | 645975 | 231775 |

| | | | |
|----|-----|--------|--------|
| 41 | 157 | 651800 | 226850 |
| 42 | 158 | 651950 | 227325 |
| 43 | 159 | 649850 | 227600 |
| 44 | 160 | 661800 | 229075 |
| 45 | 161 | 640625 | 228550 |
| 46 | 162 | 654875 | 227400 |
| 47 | 163 | 657500 | 227200 |
| 48 | 164 | 657325 | 228100 |
| 49 | 165 | 654600 | 225925 |
| 50 | 166 | 655550 | 223150 |
| 51 | 167 | 655500 | 223425 |
| 52 | 168 | 657650 | 221700 |
| 53 | 169 | 657725 | 220500 |
| 54 | 170 | 639300 | 228500 |
| 55 | 172 | 642625 | 228550 |
| 56 | 173 | 643000 | 228750 |
| 57 | 174 | 639550 | 232750 |
| 58 | 175 | 637750 | 233950 |
| 59 | 179 | 640100 | 237700 |
| 60 | 185 | 638250 | 230500 |
| 61 | 186 | 646350 | 230400 |
| 62 | 161 | 650600 | 230250 |

I.7 Conclusion :

Le présent chapitre offre une brève description générale sur la zone d'étude chott El Hodna.

Le chapitre résume quelques informations concernant la situation géographique et la topographique et la climatologie et l'inventaire de quelques forages, nous pensons que ces informations sont primordiales dans notre étude

CHAPITRE II :

L'étude géologique et

Hydrogéologique

II.1 Introduction :

La géologie nous permet d'identifier la structure et la potentialité des aquifères exploités. Les formations perméables détritiques et les formations résistantes fissurées ou karstiques susceptibles d'être aquifères, ainsi que les formations imperméables qui constituent soit le toit, soit le substratum. L'étude tectonique nous renseigne sur la géométrie des différents aquifères de la région. Les familles de failles entraînant la formation de fossés d'effondrement ou de soulèvement modifient ainsi la géométrie des couches qui caractériseront chaque type de nappe et permettront la communication probable entre les aquifères.[7]

II.2 Géomorphologie du bassin El Hodna :

Le relief du bassin Hodna est constitué des piémonts, des plaines, de chott et de R'mel. La position du bassin entre deux formations tellienne et saharienne résulte une grande complexité tectonique, cinq phases tectoniques ont en effet affecté le bassin la marine, l'atlantique, le miocène, le pliocène et le quaternaire.[8]

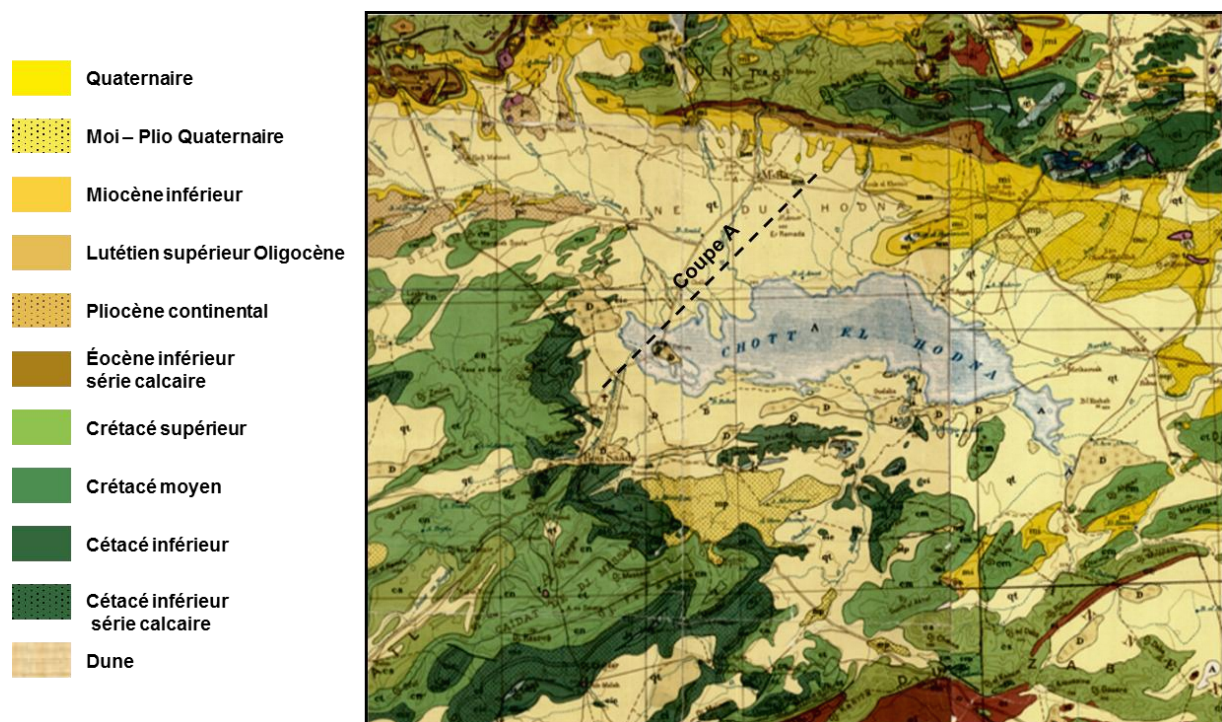


Figure II.01 : Carte géologique du bassin El Hodna, 1951.

L'étude de Capolini et Sary qui a permis de distinguer quatre (4) grandes unités géomorphologiques :

- **Unité 1 : Cône et glacis d'accumulation à matériau grossier**

Elle correspond aux quaternaires ancien et moyen, et se rencontre essentiellement au piedmont méridional des monts du Hodna ; ainsi qu'à l'Est au piedmont des djebel Belezma et djebel Metlili. Cette unité est caractérisée par la présence de croûtes et de gros galets calcaires ainsi que des croûtes gypseuses.

- **Unité 2 : Glacis d'accumulation et d'épandage fin**

Renferme les glacis du quaternaire récent qui sont caractérisées par des enrichissements calcaires en calcaro-gypseux ou uniquement gypseux.

Le matériau du quaternaire récent étant plus fin que ceux du moyen et ancien, du fait que les accumulations se superposent au lieu de s'emboîter (cas des matériaux grossiers ; croûtes, blocs, ...).

- **Unité 3 : Les formes à matériaux éoliens**

Cette unité se localise surtout au sud, sud-est et à l'ouest du chott, le matériau est essentiellement du sable de toutes catégories ainsi que du limon.

- **Unité 4 : Les étendues chott eusses**

Composé des argiles gypso-salines ; l'unité est présentée par la sebkha (zone d'eau libre Sallé).

La région est un milieu transitoire accumulateur de dépôts argileux récents qui bordent la sebkha, il réforme des dépôts alluvionnaires du quaternaire, la plaine se caractérise par des glacis d'accumulation et débandage à matériau fin qui correspondent aux glacis du quaternaire récent qui présentent des accumulations riches sous forme diffusée ainsi que des accumulations calcaro-gypseuses aux gypseuses.[9]

II.2.1 Stratigraphie du bassin :

La lithologie joue un rôle important dans le ruissellement, l'infiltration vers les aquifères, l'érosion et le transport solide dans les oueds.

- **Le Trias :** dans les régions qui entourent la dépression de la zone où les affleurements Triasiques sont assez nombreux, mais n'apparaît qu'en certains points du bassin ; ils sont présentés principalement par des argiles, marnes et minéraux de néoformation, des lambeaux calcaro-dolomique, ainsi que des roches volcaniques.
- **Le Jurassique et le carbonate :** occupants des surfaces réduites du bassin.

L'ossature des monts constitue des Jurassiques inférieur et moyen (notamment calcaro-dolomique) tandis que le Jurassique supérieur et le Berriasien est rencontré au Djebel Soubella et les massifs de Boutaleb, ainsi qu'aux Douars de Taglait et Ouled Tebbana.

- **La Crétacé** : le crétacé inférieur présente une alternance de faciès marno-gréseux et argilo gréseux de fortes épaisseurs.

Le crétacé supérieur est essentiellement marneux et calcaro-dolomique, ainsi que des dépôts détritiques grossiers.

- **Le Paléogène** : il est présent en deux types de formation :
 - **Formations autochtones** : représentées par l'éocène de faciès marnes et gypses à passer jaunâtre dus à l'alternance de la pyrite.
 - **Formations allochtones** : sont les terrains argilo-marne-gypseux d'âge éocène et oligocène emballé de façon anarchique au Miocène.
- **Le Néogène** : il occupe une grande superficie de la région d'âge miocène inférieur et moyen (marnes gris).
- **Le Quaternaire** : c'est l'âge pendant lequel ont été formés les chotts salés des hauts plateaux et du Sahara.
 - **Le quaternaire ancien** : est présenté par des dalles calcaires conglomératiques surmontant localement des argiles sableuses roses.
 - **Le quaternaire moyen** : comporte trois glacis de piémont (Saletien, Amirien, Tensifien) généralement étagés.
 - **Le quaternaire récent** : montre des faciès lacustres (sable) du Soltanien, puis de vastescônes de déjection grossière du Capsien se déposent.

II.3 Géologie de la région d'étude :

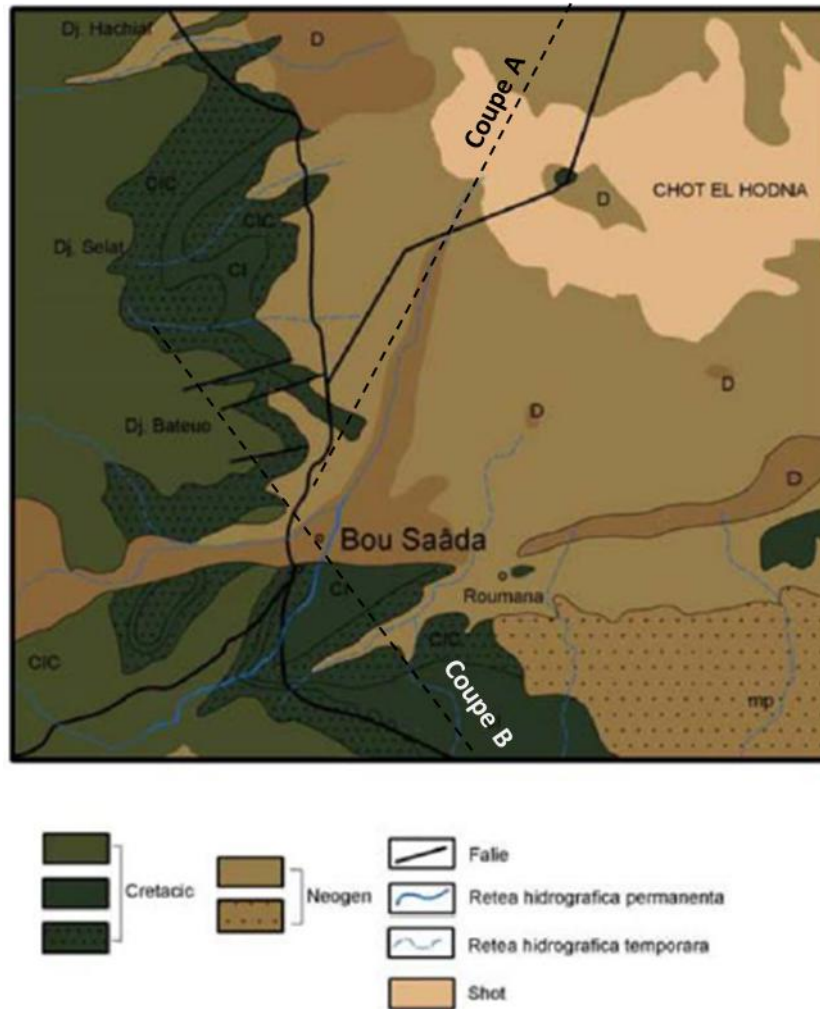


Figure II.02 : Carte géologique de la région de Bousaâda

Les formations, post-triasiques, du bassin sont décrites dans l'ordre stratigraphique :

- **Alluvions anciennes et récentes :** Des limons souvent très riches en matière sableuse, atteignant parfois une épaisseur supérieure à 10 cm.
- **Dunes :** Localisées dans la cuvette des oueds Tamsa et Maîter, des sables souvent chargés en matière argileuse, ils proviennent de l'érosion de grès.
- **Tertiaire continental :** Ces formations sont localisées au sud de Bousaâda, elles sont constituées par des dépôts d'argile rouge et de sables. L'épaisseur de ces formations est très variable de 50 à 250 m.

Le Miocène affleure largement dans les parties Est de la région de Bousaâda, il est largement transgressif sur le Crétacé. Le Miocène est divisé en trois cycles. Les deux premiers sont marins et marneux. Le 3^{ème} cycle est formé de : a) marnes, b) conglomérats et grès, c) «

Miocène continental » ou « Pontien » constitué de conglomérats gréseux peu consolidés, qui atteint jusqu'à 250 m d'épaisseur.

Le Pliocène peut se confondre avec cette formation, mais il est souvent formé par des séries brun rougeâtres qui surmontent les précédentes dans les forages : marnes et grès sableux ou marneux à lentilles de galets.

- **Aptien supérieur** : À une épaisseur de 200 m environ, Turonien : caractérisé par des calcaires et des marnes à intercalations calcaires.
- **Cénomaniens** : Ces formations situées au sud de Bousaâda, elles sont à prédominance carbonatée, dans lesquelles les horizons gypseux sont réduits.
- **Barrémo-Bédoulien** : Dans la région de Bousaâda, le Barrémien est représenté par une épaisse série de grès tendres continentaux à stratification entrecroisée et d'argiles vertes ou lie de vin silteuses, avec des intercalations de bancs calcaires et dolomitiques rattachées à l'Aptien inférieur ou Bédoulien. C'est l'ensemble Barrémo-Bédoulien. Au NE du bassin, le Barrémien et l'Aptien inf. forment une épaisse série de calcaires, dolomies, marnes et grès.
- **Albien** : Dans la région de Bousaâda : série de grès tendres à stratification entrecroisée, sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, avec intercalations d'argiles vertes silteuses et sableuses, faciès annonçant le « Continental Intercalaire » saharien, parfois surmonté par une série carbonatée alternant avec des formations détritiques. Dans les monts du Hodna, l'Albien est très réduit (calcaires et marnes) ou absent.
- **Cénomaniens** : Sur environ 500 m, on trouve : une série argileuse, puis une série de gypses et de calcaires. Au sommet, la puissante formation calcaro-dolomitique aquifère est parfois attribuée au Turonien.
- **Turonien** : Dans la région de Bousaâda, ce sont des Calcaires bitumineux en plaquettes, marnes, et dolomies sur environ 100m. Au forage de M'doukal, les dolomies sont aquifères. Au Dj Metlili la série fait 400m d'épaisseur.
- **Sénonien Inférieur** : Série argileuse et marneuse de 100m, surmontée dans la région de Bousaâda par d'épais calcaires et marnes. Les marnes ont 600m d'épaisseur au Dj Metlili.
- **Tertiaire indéterminé** : Dans la région de Bousaâda, le Tertiaire est formé uniquement de dépôts continentaux : argiles rouges et conglomérats d'âge indéterminé.
- **Quaternaire** : Le quaternaire est formé par des alluvions récents et des formations dunaires localisées dans la cuvette des oueds Tamsa et Maîter, des sables souvent chargés en

matière argileuse, ils proviennent de l'érosion des grés, limons sableux et niveaux grossiers à galets en périphérie des formations pontiennes.

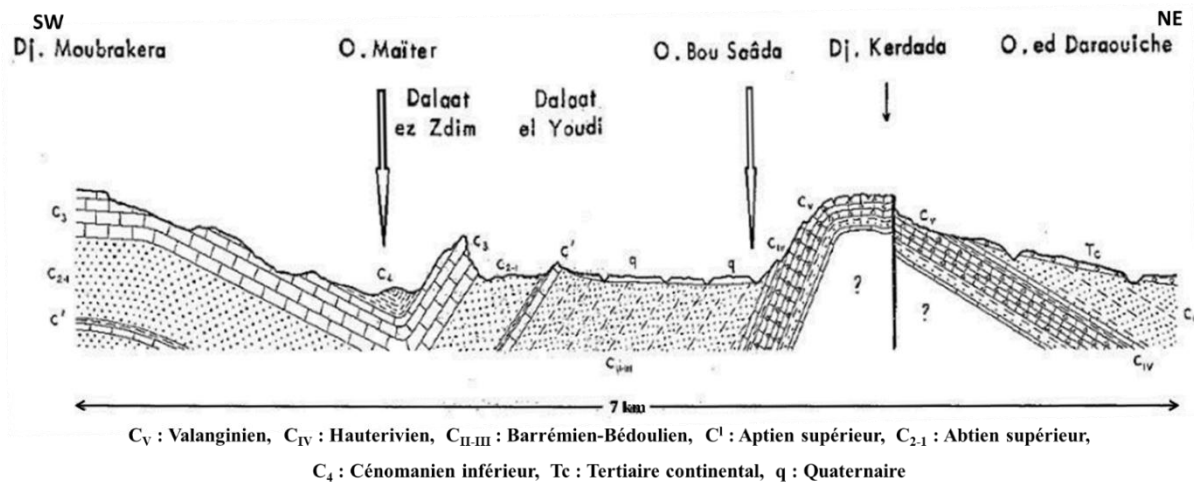


Figure II.03 : Coupe géologique de la région de Bousaâda suivant la coupe B (Fig. II.2)

La figure suivante indique la carte de la pédologie de la région qui est intéressante pour prendre une idée sur la qualité des eaux de surface en interaction avec le réseau hydrographique.

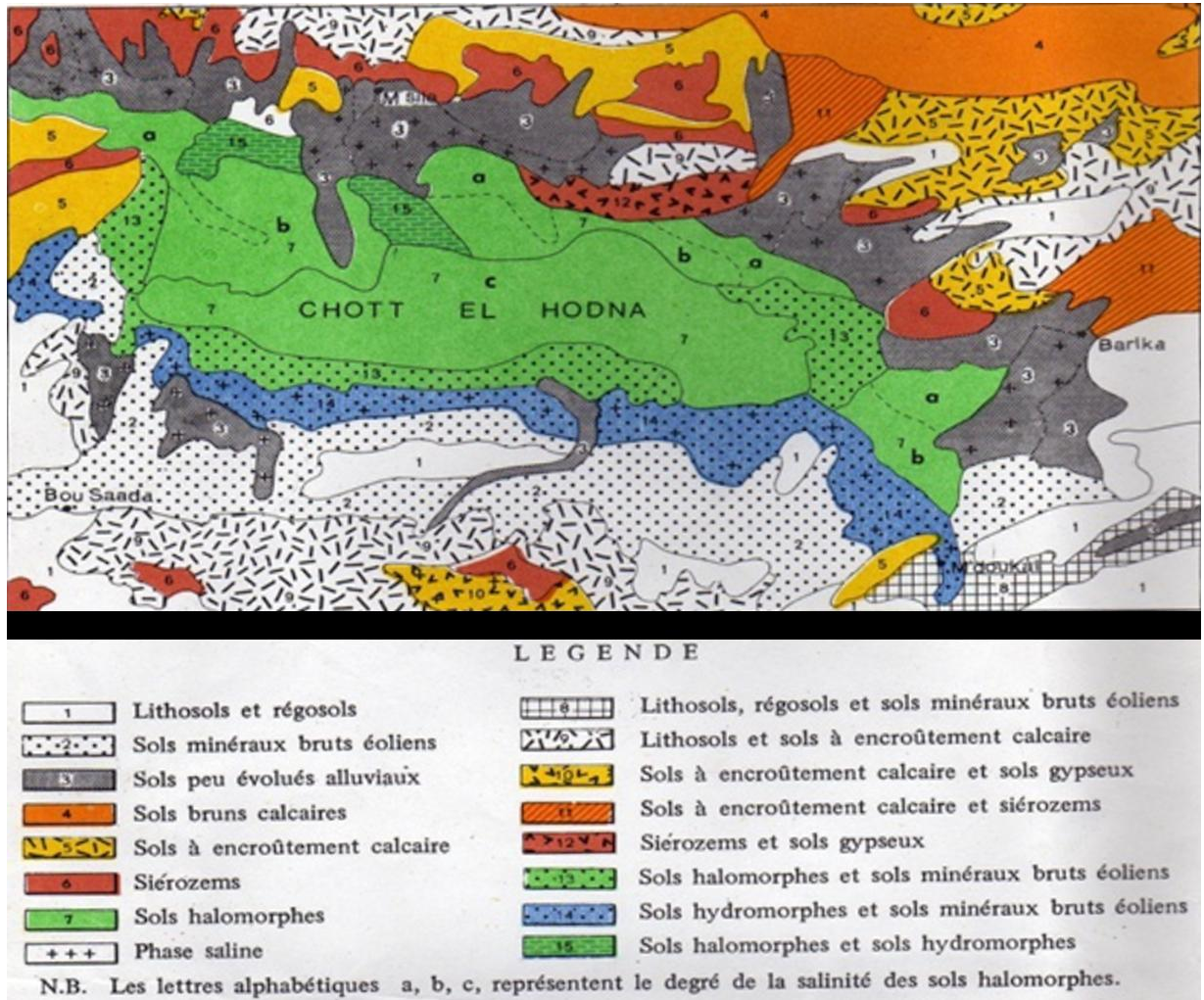


Figure II.04. Carte pédologique de la plaine El Hodna (FAO 1975)

II.4 La lithologie :

II.4.1 Identification des formations hydrogéologiques

Le principal aquifère de ce secteur est composé de formations conglomératiques et sableuses du Mio-Pliocène continental d'une épaisseur qui peut atteindre par endroit les 250 mètres (Fig. II.5 et 6).

Nous reprenons ici le seul log stratigraphique de forage disponible au niveau de la sous-direction de l'hydraulique de Bousaâda (Fig. II.7 et II.8), pour constater que nous sommes en présence de deux niveaux aquifères, tout au moins dans les environs de ce forage, la première nappe est de 0 m à 80 m et la seconde de 120 m à 160 m. Les deux nappes sont séparées par une formation argileuse et marneuse de 40 m.

A l'affleurement ou en sondages, les différentes descriptions géologiques montrent plusieurs alternances, souvent désordonnées, d'argiles, d'argiles sableuses, de grès ou sables parfois argileux et des conglomérats au sommet.

En réalité, cette superposition correspond au schéma très simplifié des grands ensembles qui présentent sur le terrain d'importantes variations latérales et verticales de faciès. Cette variation de faciès donne aux couches argileuses et gréseuses du Mio-Pliocène des formes dites « lenticulaires » de telle sorte que les couches perméables (nappe 1 et nappe 2) peuvent être dans certains endroits en contact direct.

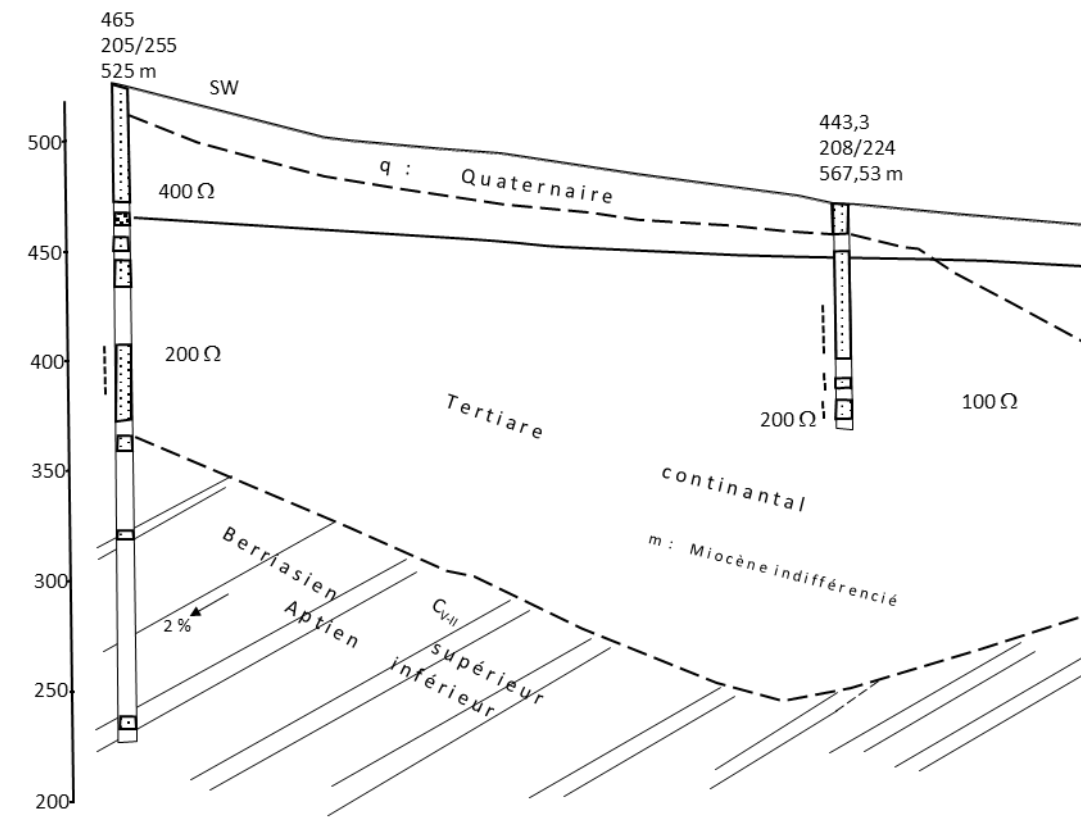


Figure II.05 : Coupe hydrogéologique dans la région de Bousaâda suivant la coupe A, R. Guiraud

1973

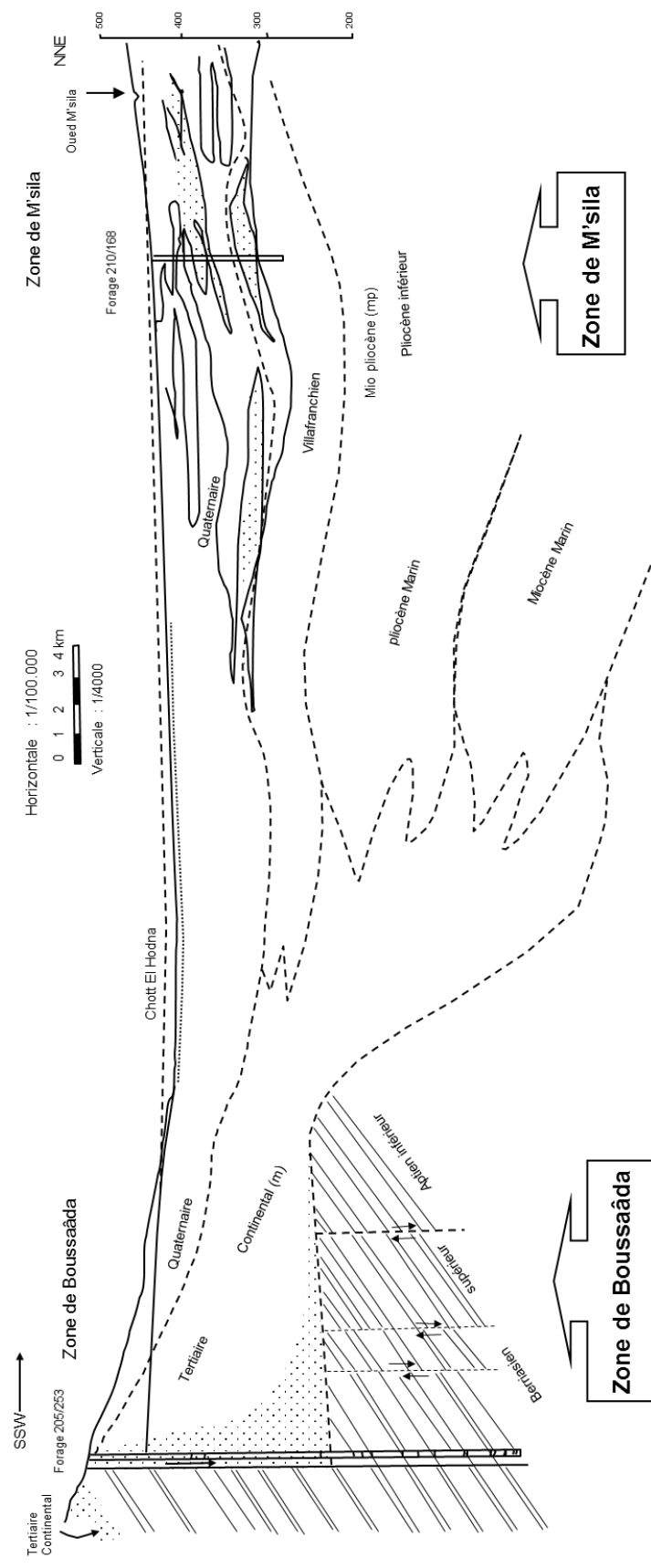


Figure II.06 : Coupe hydrogéologique dans le bassin El Hodna suivant la coupe A, R.

Guiraud 1973

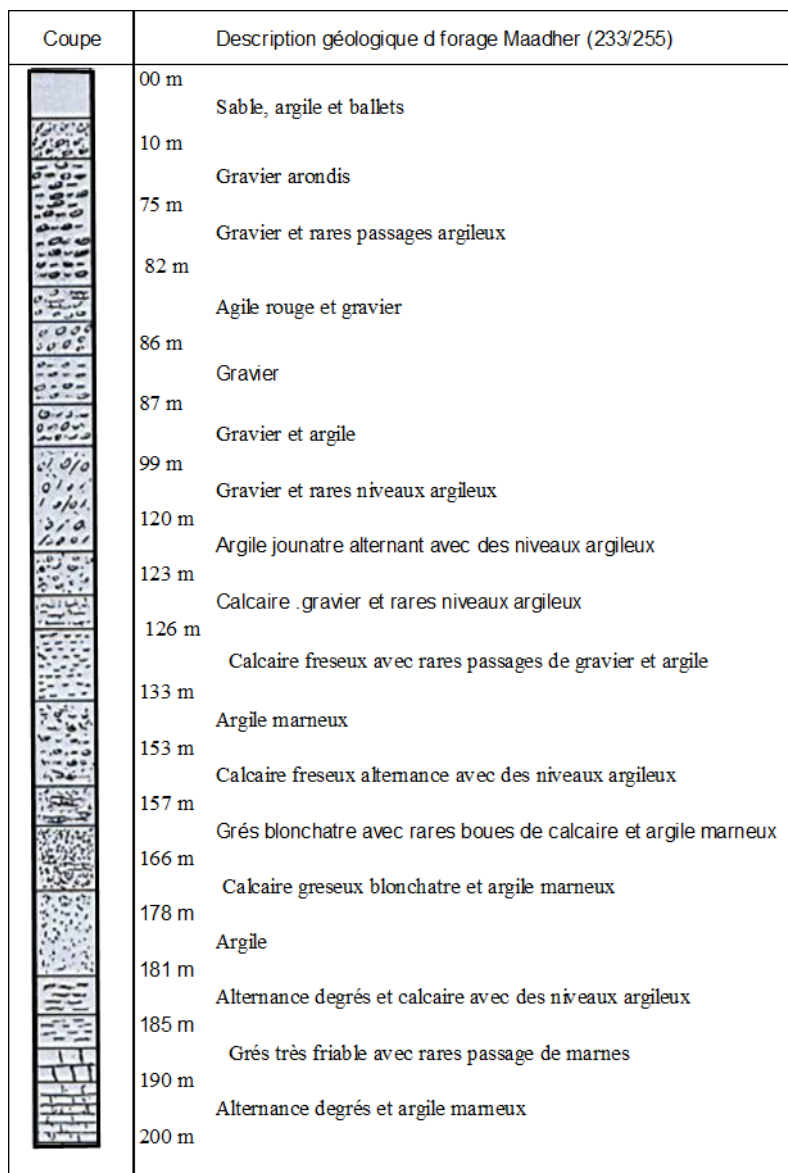


Figure II.07 : Log stratigraphique du forage Maadher 233/255

| Coupe | Description géologique d forage Maïter (235bis/255) |
|-------|--|
| 0 m | Sable grossier |
| 3 m | Gravier |
| 29 m | Gravier, sable et argile |
| 30 m | Gravier et rares passages argileux |
| 33 m | Gallet et gravier |
| 42 m | Gravier rougeatre |
| 45 m | Alternance de gravier et argile jaunatre |
| 53 m | Gallet et gravier |
| 62 m | Calcaire grisatre |
| 67 m | Calcaire jaunatre peu fissure atterance avec des niveaux argileux |
| 74 m | Gravier et rares niveaux argileux |
| 80 m | Argile jounatre alternant avec des niveaux argileux |
| 83 m | calcaire fissuré |
| 87 m | Alternance de calcaire et argile |
| 90 m | Calcaire dolometique noirâtre a blanchâtre avec quelque passage argileux |
| 120 m | Calcaire dolometique très fissure avec rares niveaux marneux |
| 150 m | Calcaire dolometique noirâtre avec marne et argile |
| 179 m | Calcaire dolometique noirâtre et grisâtre |
| 181 m | Calcaire dolometique grisâtre a blanchâtre très friable |
| 200 m | Calcaire dolometique fissure avec rares bancs d'argile mameux |
| 220 m | |

Figure II.08 : Log stratigraphique du forage Maïter 235 bis/255

II.5. Hydrogéologie de la région

La première évaluation des ressources en eau (FAO 1972, 1973) visait à servir de base au développement agricole de la région.

Dans le sud El Hodna, l'aquifère est constitué de sables du Quaternaire et d'argiles sableuses de faible épaisseur. Les eaux souterraines de la nappe phréatique sont très peu profondes et présentent une salinité élevée. L'aquifère profond est constitué de marnes et de conglomérats intercalés (Tertiaire continental).

Cette formation de 100 à 400 m d'épaisseur repose sur presque toutes les formations plus anciennes. Il collecte leur eau et constitue le principal aquifère. L'eau était en charge entre les reliefs du sud et le Chott El Hodna (FAO 1968).

C'est un aquifère renouvelable (FAO 1972 ; ANRH 2006). Sa recharge implique trois contributions :

- Infiltration directe des précipitations.
- infiltration d'eau d'oueds.
- recharge profonde par les formations environnantes.

L'exploitation des eaux souterraines a conduit à l'extension des zones irriguées et à un changement d'utilisation des terres aux dépens du pastoralisme. Les lignes iso piézométriques des deux eaux souterraines convergent dans le Chott (FAO 1973). Le Chott est la sortie naturelle de l'évaporation de l'eau pour les eaux souterraines phréatiques et les eaux souterraines profondes. À l'heure actuelle, un abaissement du niveau des eaux souterraines supérieur à 15 m depuis les années 1970 a été enregistré (ANRH 2006).

En effet, les limites entre aquifère phréatique et aquifère profond sont toujours floues (FAO 1970), car elles ne sont pas séparées par une formation continue de faible perméabilité, mais par des lentilles discontinues de perméabilité variable.

Par conséquent, les deux eaux souterraines peuvent communiquer et la contamination de l'aquifère profond à partir de la surface est possible.

Les principaux aquifères de ce secteur sont les formations conglomératiques et sableuses du Mio-pliocène continental, qui communiquent avec et drainent l'ensemble des formations perméables crétacées encaissantes, dont la plus importante est l'Albien. Ce dernier possède un vaste impluvium qui s'étend à l'ouest, où il affleure à des altitudes plus élevées où s'effectue la recharge de l'aquifère. L'Albien renferme une nappe qui s'écoule dans les formations tertiaires, mais également en profondeur vers le Chott, pour alimenter des sources artésiennes, dont l'Ain Zira (20 L/s) au NE de Banio, située dans un îlot de grès albien. Les eaux de l'Albien s'écoulent aussi au pied de falaises par des sources de débordement, Tell l'Ain Koucha et l'Ain Diss.

II.5.1 Les eaux souterraines

Les formations aquifères existantes affleurent plus ou moins largement sur les reliefs entourant la région étudiée, elles se localisent autour du Chott. Ce sont des aquifères repartis en plusieurs niveaux, depuis le Jurassique jusqu'au Quaternaire, elles s'étendent sur toute la surface de la plaine à des profondeurs variables.

Les terrains en bordure du Chott sont salés par conséquent ceci affecte les eaux de ce aquifères limitant ainsi leurs utilisations, mais malgré cela, ils sont surexploités, de nombreux puits sont creusés.

- **Nappe phréatique** : Son aquifère est constitué par des alluvions quaternaires. Elle est formée d'une seule nappe : nappe de Bousaâda. Cette nappe phréatique se localise dans les accumulations alluvionnaires des oueds tels qu'Oued Bousaâda (Fig. II.9). La nappe est essentiellement alimentée par les précipitations et l'infiltration des eaux d'irrigation.
- **Nappe profonde**: Son aquifère est constitué par des conglomérats du Mio-Pliocène situé au sud du Chott, ses eaux sont moins salées mis à part ces deux nappes, il existe d'autres aquifères du Crétacé et du Jurassique moins bien connus que les premiers, exploités à partir des forages.

Sources : Les sources sont issues d'un aquifère Cenomano-Turonien, on peut citer :

Source d'Ain Se fine, source El Djob, source d'Ain Takouka, source d'Ain N'guaous, source d'Ain Tinibaouine.

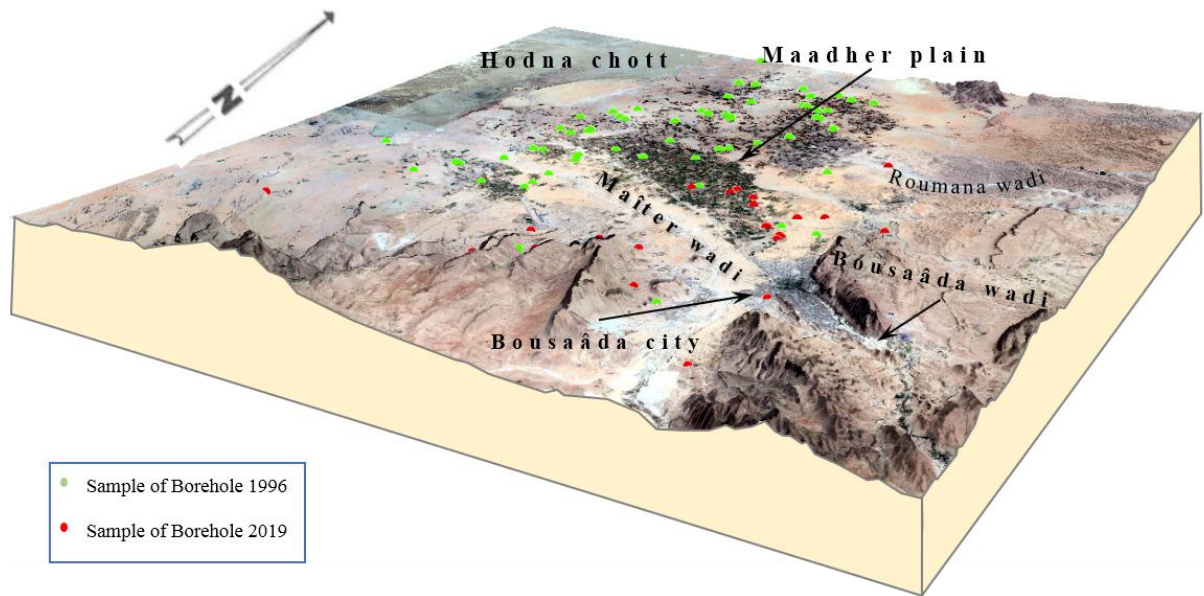


Figure II.09 : Positionnements des forages et point d'eau dans la région d'étude[10]

D'après la Figure II.9, nous pouvons constater que la nappe phréatique de Bousaâda (El Maadher) possède deux sens d'écoulement ; le premier sud-ouest vers le nord-est dans la partie Ouest et le second du sud vers le nord dans la partie centrale. Les deux sens d'écoulement convergent vers le Chott.

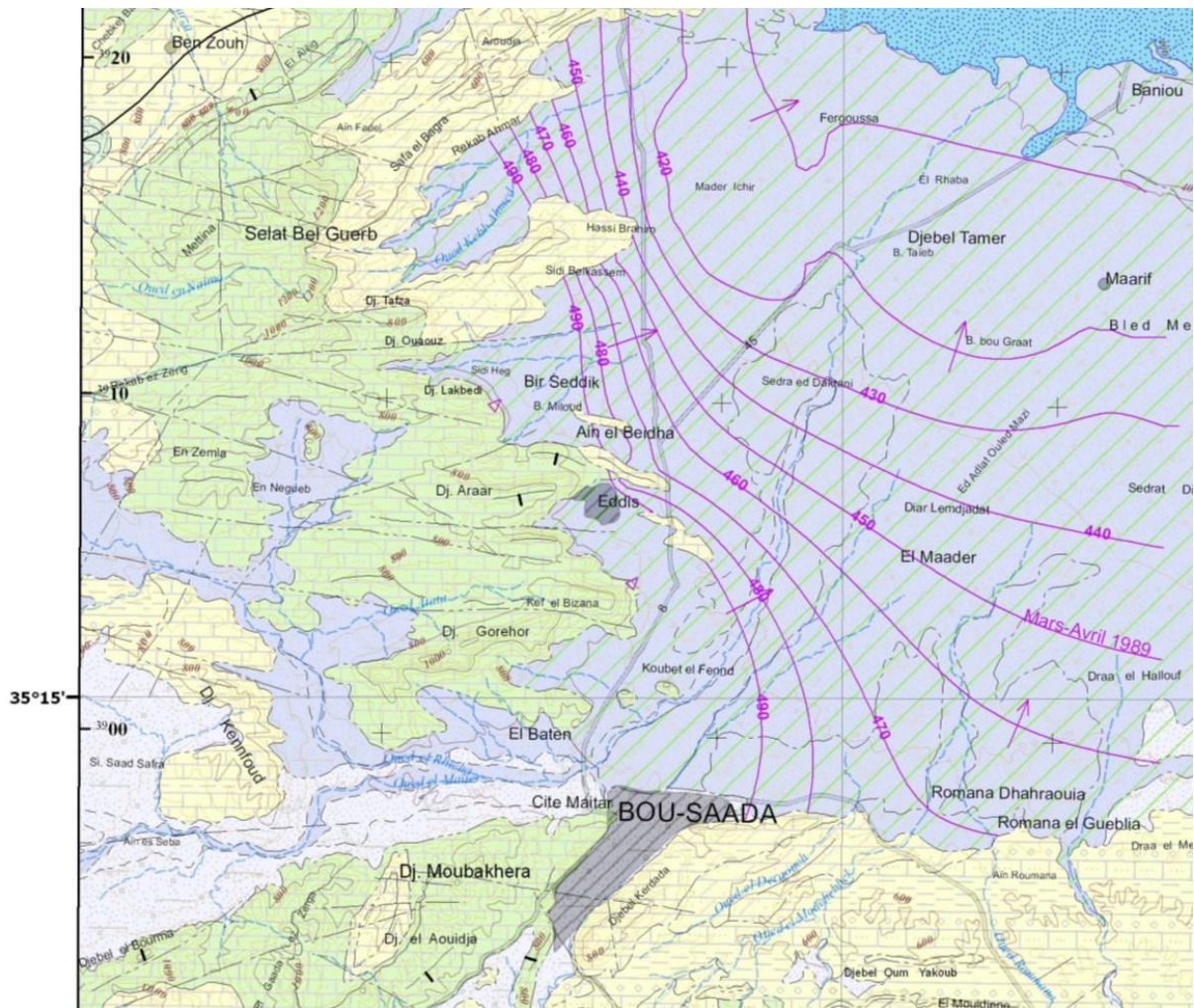


Figure II.10 : Piézométrie de la plaine d’El Maader – Mars-Avril 1989 (extrait de la carte hydrogéologique, ANRH)

II.6 Conclusion :

Ce chapitre a montré que Bousaâda a une géologie riche et diverse ce qui va influencer sur les eaux souterraines et sur leurs compositions.

L'étude hydrogéologique a montré que la région d'étude contient tant des nappes qui sont alimentées par plusieurs voies (appelé aussi la nappe mixte).

Ces études permettront de comprendre l'origine de la qualité des eaux souterraines et de faciliter de savoir les raisons pour lesquelles la composition de l'eau des forages se varie d'un endroit à un autre.

CHAPITRE III :

Qualité des eaux et pollution des nitrates

III.I Introduction :

L'eau de pluie, au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent la nature géologique des aquifères. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction :

- De la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration.
- Du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol.
- Du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.
- On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau.
- Dans l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches: l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydro chimique.
- Dans les réservoirs calcaires, les eaux sont dures minéralisées en sels de calcium et magnésium; elles entartrent les conduites. C'est le cas des eaux de la nappe de la craie. Dans les réseaux karstiques, l'eau peut se charger de particules argileuses en suspension au cours des fortes pluies. [11]

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l). La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation. [12]

III.2 Paramètres de qualité :

III.2.1 Définitions :

L'eau est un corps, incolore, inodore, et insipide de formule H_2O . C'est la seule molécule présente sur terre sous trois états : solide, liquide et gazeux.

L'eau potable est une eau que l'on peut boire ou utiliser à des fins domestiques et industrielles sans risque pour la santé. [13]

A ce jour, il existe **63 critères de potabilité de l'eau**, que l'on peut regrouper en 3 grands paramètres :

- Les paramètres **physiques ou organoleptiques**.
- Les paramètres **chimiques et physico-chimiques**.
- Les paramètres **bactériologiques**.
- Les paramètres liés aux substances indésirables.
- Les paramètres liés aux substances toxiques. [14]

III.3. Principaux paramètres de potabilité :

III.3.1 Les paramètres organoleptiques (physique) :

Ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.

❖ Odeur et saveur

Une eau potable de bonne qualité a un goût et ne présente pas d'odeur. La saveur dépend essentiellement de la qualité et la nature des éléments dissous. A l'état naturel, les minéraux introduisent un goût plus ou moins accentué dans l'eau.

- Si l'eau contient une quantité importante de chlorure, l'eau aura une saveur saumâtre.
- Si l'eau contient une grande quantité de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer.

❖ Couleur

La couleur de l'eau est due aux éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal, une coloration inférieure à 15 **UCV** est généralement acceptable, mais l'acceptabilité peut varier selon les circonstances locales.

III.3.2 Les paramètres physico-chimiques

Ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.

❖ Température

Elle a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux, qu'elles soient souterraines ou superficielles. Les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs saisonniers et autres :

- Une température élevée peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur.
- La variation thermique des eaux souterraines est fonction de la profondeur de l'aquifère.

❖ pH

Le potentiel hydrogène mesure la concentration en Ions H^+ de l'eau, il est inférieur ou supérieur à sept suivant que l'eau est acide ou basique. Le pH n'a pas de significations hygiéniques, mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau pour les eaux naturelles. Il est compris entre 6,5 et 8,5.

❖ Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence, donne une idée de la teneur en matières en suspension (MES). Les eaux troubles chargées de substances finement divisées (grains de silice, matières organiques, argiles...).

❖ Conductivité

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, celle-ci augmente avec la température et concentration en sels dissous, s'exprime en ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

❖ Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension sont des particules solides très fines visibles à l'œil, on trouve :

- Matières décantables sont séparées naturellement sans apport de réactif quand l'eau au repos.
- Matières colloïdales trop fines pour se déposer par gravité, mais sont éliminables par coagulation.

❖ Résidu sec

- La détermination des résidus secs permet d'estimer la teneur en matière dissoute et en suspension d'une eau.

III.3.2.1 Les paramètres chimiques :

III.3.2.1.1 Ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes.

Les cations :

❖ Calcium Ca^{++}

C'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates.

Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme de sulfate, chlorure...etc.

❖ Magnésium Mg^{++}

Il consiste un élément signification de la dureté de l'eau à partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des rejets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau.

❖ Sodium Na⁺

Le sodium est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre, le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux.

Les eaux chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable. Le seuil de détection gustative de sodium dans l'eau dépend de l'anion associé et la température de la solution. A la température ambiante, il est en moyenne d'environ 200 mg/l.

❖ Potassium K⁺

Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l, à telles valeurs le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus, certains rejets industriels peuvent augmenter la teneur en potassium dans les eaux.

Les anions :**❖ Chlorure Cl⁻**

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation à travers des terrains salés.
- Infiltration d'eau marine dans la nappe phréatique.
- Activités humaines et industrielles.

Les consommateurs peuvent s'habituer à des concentrations dépassent 250 mg/l.

L'inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'il confère à l'eau, en particulier en ce qui concerne le chlorure de sodium.

❖ Sulfate SO₄⁻²

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est variable ; leur présence résulte de la légère dissolution des sulfates de calcium dans les roches gypseuses de l'oxydation des sulfures dans les roches (pyrites), des matières organiques d'origine animale.

La présence de sulfates dans l'eau peut lui communiquer un goût notable qui varie selon la nature des cations associés. Le seuil de détection gustative varie de 250mg/l pour le sulfate de sodium à 1000 mg/l pour les sulfates de calcium.

❖ Nitrate NO_3^-

Les nitrates sont des composés naturels présents dans tous écosystèmes. Ils sont essentiels aux végétaux, mais peuvent devenir néfastes pour les plantes et les animaux s'ils sont trop abondants. Ils entrent aussi dans la composition des engrais chimiques et naturels (fumiers). Les cours d'eau, les lacs et les étangs peuvent renfermer des nitrates provenant des diverses sources : zones agricoles dans lesquelles on utilise une forte dose d'engrais, parcs d'engraissement de bétail et pâturages, et zones de traitement des eaux usées, donc ont une origine essentiellement agricole (engrais, élevage ...) et urbaine (égouts). Les nitrates dans l'eau potable sont mesurés à la fois en termes de quantité d'azote présent ou en quantité d'oxygène et d'azote. La norme pour les nitrates dans l'eau potable est de 50 mg/l, l'excès de nitrates et le dépassement de la norme portent un potentiellement dangereux à la santé humaine, notamment pour les bébés.

❖ Bicarbonates HCO_3^-

Les bicarbonates résultent de l'équilibre de la roche, l'eau et le gaz carbonique, leur origine est principalement due à la dissolution des roches carbonatées, la concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- La tension de CO_2 dissous
- La température de l'eau
- Le pH de l'eau
- La concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

III.3.3 Les paramètres bactériologiques :

Ce sont les germes indicateurs d'une pollution fécale (coliformes, streptocoques), certains germes pathogènes (salmonelles, staphylocoques, bactériophages fécaux, entérovirus).[16]

Le tableau (III.1) suivant résume les paramètres les plus importants et les normes correspondantes :

Tableau III.1 : Normes Algériennes de qualité des eaux potables.[17]

| Paramètre | Valeur limite |
|--|---------------------------------------|
| A. Paramètres organoleptiques | / |
| - Couleur | 15 à 20 mg Co-Pt |
| - Turbidité | 5 NTU ou 15 gouttes de mastic |
| - Odeur et Saveur | Absence |
| B. Paramètres physico-chimiques | / |
| - Température | 15 °C |
| - pH | 6.5 à 8.5 |
| - Conductivité | 2800 µS/cm à 20 °C |
| - Chlorures Cl ⁻ | 200 - 500 mg /L |
| - Sulfates SO ₄ ²⁻ | 200 - 400 mg /L |
| - Magnésium Mg ⁺⁺ | 150 mg/L |
| - Sodium Na ⁺⁺ | 200 mg/L |
| - Potassium K ⁺ | 20 mg/L |
| - Calcium Ca ⁺⁺ | 75 - 200 mg/L |
| - Aluminium Al ³⁺ | 0.2 mg/L |
| - Dureté totale TH | 500 mg/L en CaCO ₃ = 50 °F |
| - Résidu sec à 105 °C | 2 g/L |
| - Minéralisation | 2 g/L |
| Paramètres concernant les substances indésirables | / |
| - Nitrates NO ₃ ⁻ | 50 mg/L |
| - Nitrites NO ₂ ⁻ | 0.1 mg/L |
| - Ammonium NH ₄ ⁺ | 0.05 - 0.5 mg/L |
| - NTK (Kjeldahl) | 2 mg/L |
| - Matières organiques M.O. | 5 mg/L |
| - Hydrogène Sulfuré H ₂ S | 0.02 µg/L (absence d'odeur) |
| - Hydrocarbures | 10 µg/L |
| - Phénols | 2 µg/L (absence) |
| - Fer Fe ⁺⁺ | 0.3 mg/L |
| - Manganèse Mn ⁺⁺ | 0.5 mg/L |
| - Cuivre Cu ⁺⁺ | 0.05 - 1,5 mg/L |
| - Phosphor PO ₄ ³⁻ | 5 mg/L |
| - Zinc Zn ⁺⁺ | 5 µg/L |
| - Fluor F ⁻ | 0.05 mg/L |
| - Argent Ag ⁺ | / |
| Paramètres concernant les substances toxiques | 0.01 mg/L |
| - Arsenic As | 0.61 µg/L |
| - Cadmium Cd ⁺⁺ | 50 µg/L = 0.05 mg/L |
| - Sélénium Se | 0.05 mg/L |
| - Cobalt Co | 1 µg/L |
| - Chrome hexa valent Cr ⁺⁶ | 50 µg/L |
| - Mercure Hg ⁺⁺ | / |
| - Nickel Ni ⁺⁺ | - absence dans 100 ml (eau traitée) |
| C. Paramètres bactériologiques | - absence dans 100 ml (eau traitée) |

| | |
|--|-------------------------------------|
| - Escherichia Coli | - absence dans 100 ml (eau traitée) |
| - Streptocoques fécaux | |
| - Clostridium Sulfito-réducteurs | |

III.3.4 Les paramètres lié aux substances indésirables :

Ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides.

- La teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l
- La teneur en fluor doit être inférieure à 1.5 mg/l

III.3.5 Les paramètres liés aux substances toxiques :

Les micropolluants (l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium) ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité. La teneur tolérée est de l'ordre du millionième du gramme.

III.4. Pollution des eaux :

Le terme pollution peut être défini comme suit : c'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives des milieux ou encore en enlaidissant la nature.

III.4.1. Sources de pollution :

On distingue deux sources de pollutions à savoir :

III.4.1.1 La pollution ponctuelle :

Elle est formée de rejets localisés plus ou moins abondants relativement faciles à identifier. Chronique ou accidentelle, cette pollution est provoquée par des déversements domestiques, urbains, ou industriels peu ou non traités.

❖ La pollution urbaine

La pollution urbaine, telle que les eaux usées urbaines, entraîne des substances en suspension et dissoutes telles que des produits ménagers. Les usines de traitement des eaux usées ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution. Certains composés organiques, en particulier les phosphates, sont à l'origine des déséquilibres des écosystèmes en favorisant trop le développement de certains légumes indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui y sont présents.[18]

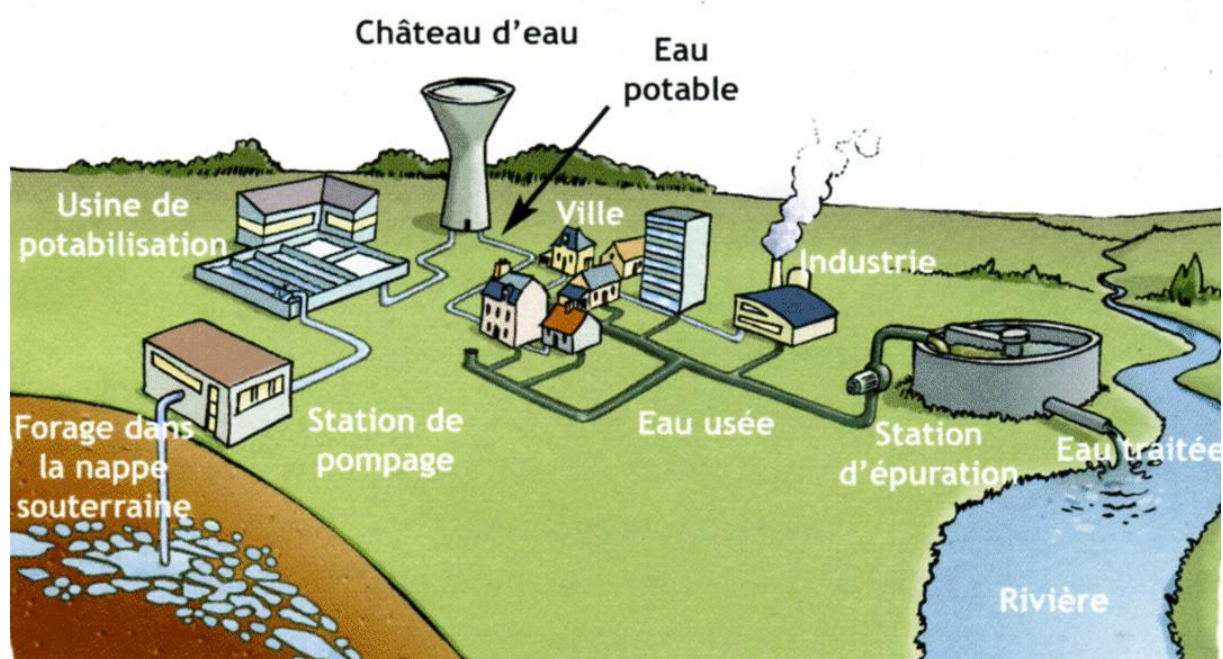


Figure III.01 : Les pollutions des eaux usées.

❖ Pollution industrielle

La pollution industrielle désigne la part de la pollution de l'environnement directement induite par l'industrie quand elle introduit des altéragènes biologiques, physiques, chimiques ou organiques, affectant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème. Chaque usine produisant des rejets liquides doit être équipée d'une station d'épuration des eaux usées. Le traitement primaire élimine les matières en suspension (par exemple, les lavages, les graisses, les huiles) et le traitement secondaire élimine les matières dissoutes (par exemple, les métaux lourds).



Figure III.02. Les pollutions des eaux produites par l'industrie.

III.4.1.2 Pollution diffuse :

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée de sols.

Différentes substances sont transportées dans les eaux souterraines telles que les hydrocarbures, les métaux lourds et les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces. Il est difficile à identifier et donc difficile à contrôler. [15]

❖ Pollution agricole

Les engrais apportent aux végétaux cultivés les éléments nécessaires à leur croissance notamment l'azote, le potassium, et le phosphore.

Les dérivés azotés (spécialement les nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration issues de l'agriculture ; ces dérivés favorisent le développement des algues qui prennent place à toute autre forme de vie.

Les pesticides sont des produits chimiques destinés à détruire les champignons (fongicides), les mauvaises herbes (herbicides), les vers de terre (nématocides) et les insectes

(insecticides) qui parasitent les agricultures. Ces produits sont élaborés pour être rapidement neutralisés avec une durée de vie courte une fois dissous dans le sol, mais l'utilisation de mauvaise préparation peut avoir des effets d'intoxication significatifs.

L'accumulation de ces produits dans les cours d'eau peut avoir un impact important sur le milieu marin, à l'endroit même où se déversent des fleuves, ou bien par le retour des nappes souterraines qui forment des sources sous-marines ou proches du bord de la .

❖ **Pollution atmosphérique**

L'atmosphère terrestre, si elle contient des polluants, peut être une source importante de pollution. En cas de tempête, les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration de polluants menacent les eaux de surface et les eaux souterraines. Cette contamination, qui est susceptible d'être durable, pose de grandes difficultés de traitement.

III.4.2 Les principaux polluants des eaux :

III.4.2.1 Sels minéraux :

Naturellement présents dans les eaux souterraines en quantités variables, les concentrations de sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, magnésium, sodium ou potassium) peuvent augmenter du fait de la composition minéralogique de l'aquifère ou des rejets industriels. Cela peut nuire à la santé humaine.

III.4.2.2. Matières fertilisantes :

La présence excessive d'azote et de phosphore dans le cours d'eau provoque la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et consomment en particulier l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est générée par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels et les eaux de ruissellement chargées d'engrais qui apportent une quantité excédentaire aux cultures.

III.4.2.3 Métaux lourds :

Certains polluants chimiques sont particulièrement persistants, ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds ils forment une famille de polluants très dangereux qui sont absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme.

III.4.2.4 Polluants microbiologiques de l'eau :

Peut contenir des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine et limitent donc les utilisations possibles de l'eau (baignade, élevage de coquillages).

III.4.2.5 Matières en suspension :

Les matières en suspension sont de fines particules. Présentes naturellement dans les eaux des oueds pour certains (plancton, débris végétaux fins, minéraux), elles sont également des polluants d'origine humaine pour d'autres (matières organiques et minérales). Elles peuvent réduire la transparence de l'eau (turbidité), ce qui nuit à la biologie des oueds.

III.4.2.6 Matières organiques :

Certains rejets contiennent des matières organiques. Ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ par des micro-organismes (bactéries, algues), mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés ...). C'est pourquoi la pollution organique est souvent mesurée par la quantité d'oxygène que les micro-organismes consommeront pour sa biodégradation « Demande biologique en oxygène » (DBO) pure. La demande chimique en oxygène (DCO), est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut être chimiquement.[18]

III.4.3 Différentes formes de l'azote :

L'azote peut exister sous trois formes principales :

❖ Minérale

Il peut être en liaison avec l'hydrogène pour former l'ammoniac, ou avec l'oxygène et donner les nitrites et les nitrates (il s'agit respectivement d'azote ammoniacal, nitreux ou nitrique).

❖ Organique

Il entre dans la constitution des protéines dans tous les tissus vivants. L'azote est surtout employé dans la synthèse des produits de base (ammoniac, acide nitrique, etc.) dans l'industrie d'engrais, des explosifs et des colorants.

❖ Gazeuse

Il constitue 78% de l'atmosphère.

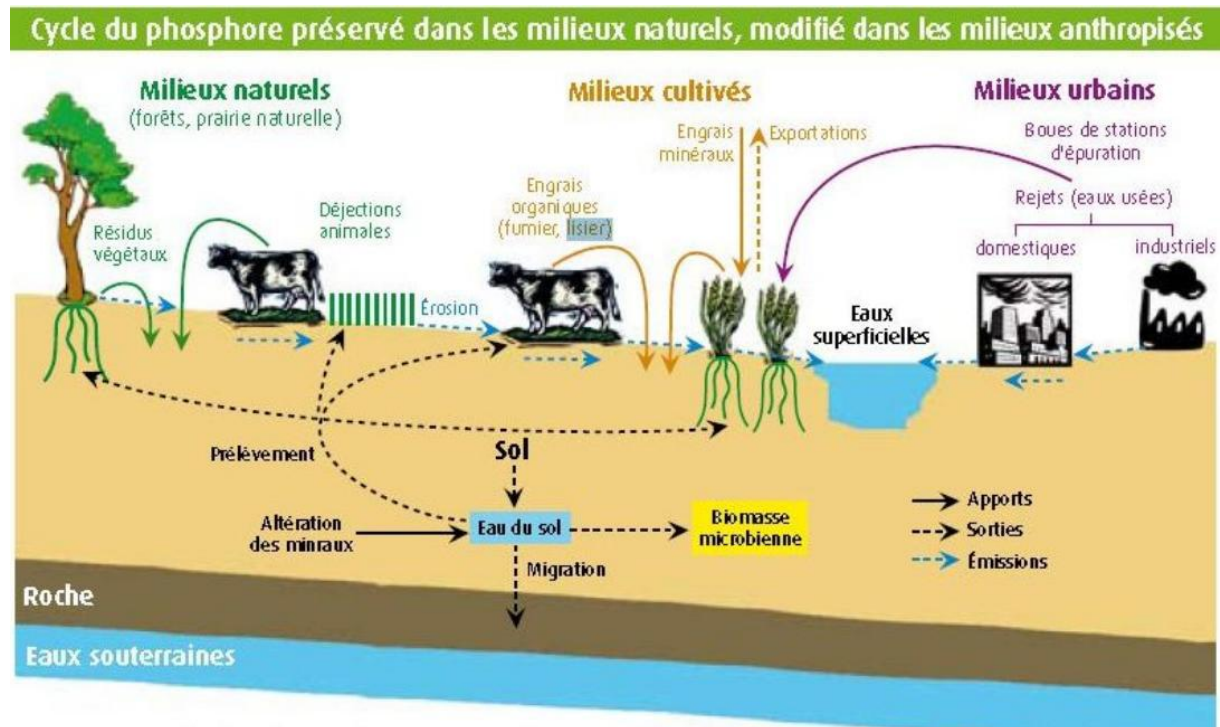


Figure III.03 : Cycle de l'azote dans l'air et le sol.

III.5 Origine des nitrates :

D'une façon générale, les études ont démontré que les nitrates pouvaient avoir des origines diverses :

- Nitrates provenant d'ancien sol-forestiers.
- Nitrates dus à l'intensification des cultures (défrichage, suppression des pâtures).
- Nitrates provenant des engrais de synthèse.
- Nitrates apportés par les matières organiques humaines et animales ainsi que par les matières organiques végétales (amendements organiques).
- Nitrates liés aux activités humaines inhérentes à l'urbanisation, l'industrialisation et la pratique de l'élevage intensif.

Mais il ressort de toutes ces causes que l'utilisation des engrais en agriculture est essentiellement responsable de la contamination des nappes souterraines par les nitrates.

III.5.1 Nitrates provenant des sols forestiers ou sols cultivés anciens :

On les trouve généralement dans des eaux souterraines de plus de trente ans d'âge dans des nappes profondes bien protégées.

III.5.2 Nitrates provenant de l'agriculture moderne :

L'agriculture intensive est responsable de haut niveau de nitrates et de phosphates. Cette pollution provient d'une part des engrais minéraux apportés aux plantes (ils facilitent leur croissance) et d'autre part des effluents d'élevage (déjections animales au sein des fumiers et lisiers). Comme pour les pesticides, les nitrates et les phosphates pénètrent dans la terre puis contaminent les eaux par ruissellement et infiltration. La conséquence la plus visible de cette pollution de l'eau est probablement le phénomène d'eutrophisation. Dû à la surabondance de substances nutritives (nitrates et phosphates), il se manifeste par la prolifération de plantes aquatiques, et notamment des algues vertes. Or, cette masse végétale crée un écran qui empêche la lumière de passer.

Ils sont identifiés dans les eaux souterraines de moins de trente ans d'âge, quelles que soient la profondeur de la nappe (profonde ou sub-affleurante) et la vitesse d'alimentation (lente ou rapide). Leur proportion est d'autant plus grande que l'âge de la nappe est récent.

Dans les plaines où l'infiltration est assez rapide, l'étude isotopique a révélé l'origine multiple des nitrates dans les eaux souterraines, leur prédominance étant d'origine agricole, liée à la fois à l'épandage d'engrais artificiels et d'engrais naturels.

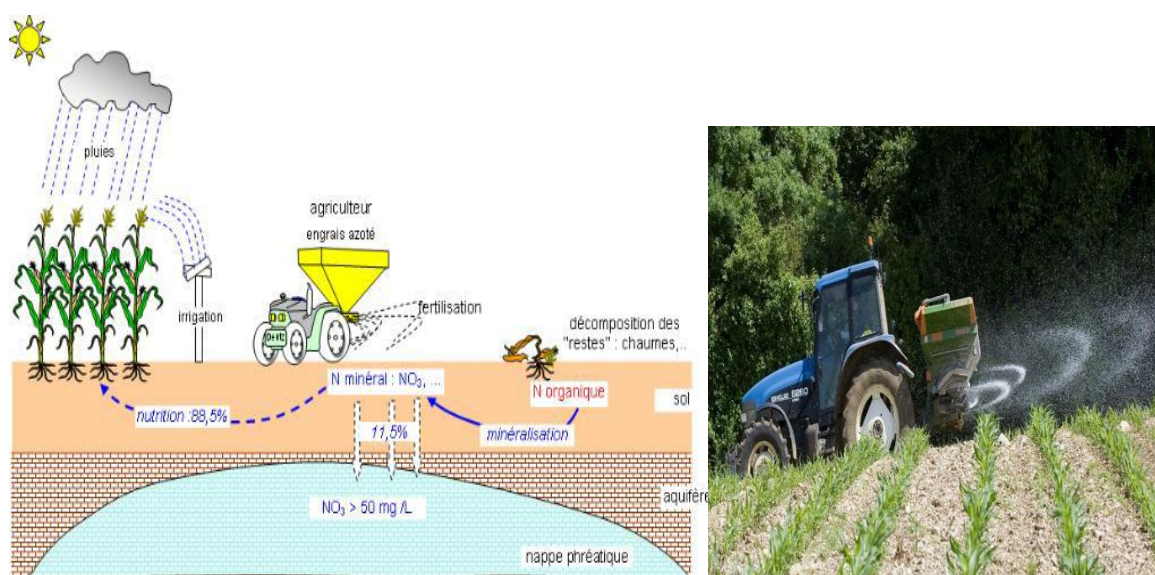


Figure III.04 : Utilisation des engrais animaux en agriculture

III.5.3 Nitrates d'origine domestique :

L'excès de nitrates semble souvent provenir de pollution d'origine domestique. Les causes peuvent être des défauts d'étanchéité des collecteurs, mais surtout l'absence d'assainissement dans les zones rurales.

Les pollutions par les nitrates d'origine domestique peuvent avoir des conséquences fâcheuses pour les captages implantés en zone urbaine ou en périphérie de celle-ci.

Les excès de nitrates résultent souvent de la pollution domestique. Les causes peuvent être des collecteurs qui fuient, mais surtout le manque du réseau d'assainissement dans les zones rurales et l'utilisation de fosses septiques.

La pollution domestique par les nitrates peut avoir des conséquences néfastes en milieu urbain (contamination de l'eau potable) et en milieu rural (contamination des puits).

III.5.4 Nitrates d'origine animale :

L'activité agricole est orientée vers l'élevage intensif qui produit des quantités importantes de fumiers et de lisiers qui sont utilisés en agriculture, et vers la production légumineuse, qui nécessite une utilisation importante d'engrais chimique.

Il y avait une relation très significative entre la teneur en nitrate des captages, la production d'azote d'origine bovine par hectare (ha), la production d'azote d'origine volaille par ha et le rapport de la surface en culture fourragère. La teneur en nitrates des eaux souterraines

augmente avec la charge de volailles et de bovins par hectare, dont les contributions respectives sont pratiquement identiques.

L'activité agricole est orientée vers l'élevage intensif qui produit de grandes quantités de fumier et de lisier utilisés en agriculture, ainsi que vers la production de légumineuses, qui nécessite une utilisation importante d'engrais chimiques.

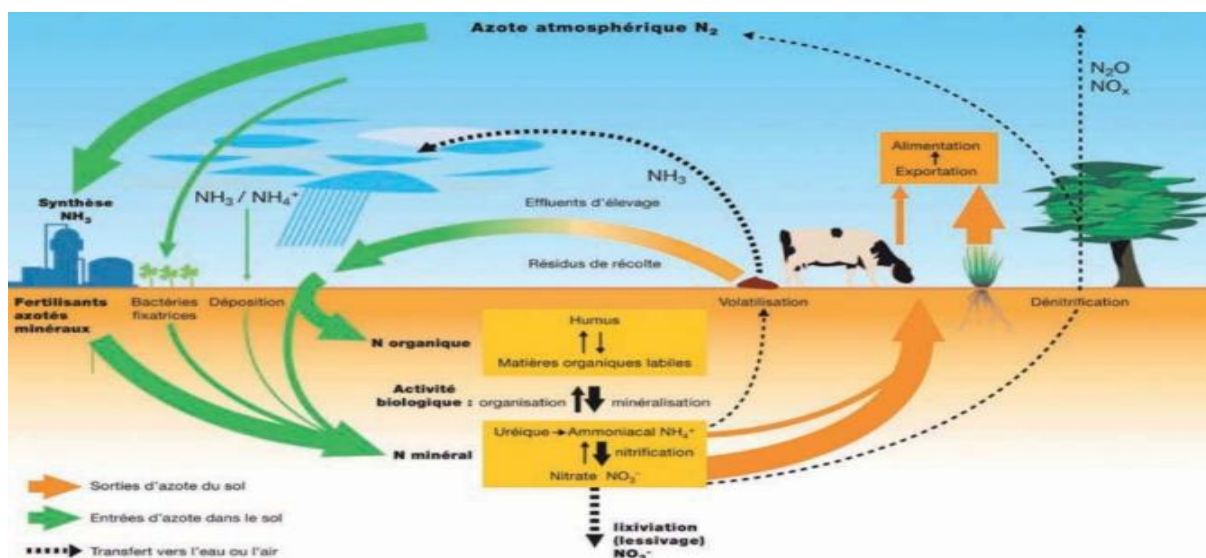


Figure III.05 : Utilisation des engrais animaux en agriculture

III.5.5 Nitrates d'origine industrielle :

La contamination des nappes a été supérieure dans les zones industrielles, généralement les plus anciens, ces zones comprennent plusieurs industries chimiques, dont une usine d'engrais et anciennes carrières remblayées par des déchets industriels, dont des résidus de la fabrication des produits chimiques.

III.5.6 Effet cumule de différentes sources de nitrates :

Dans les zones périurbaines, la contamination des nappes par les nitrates a souvent plusieurs origines qui se cumulent. Globalement, l'azote extrait des captages proviendrait à 50 % de l'agriculture et à 50 % de l'urbanisation et de l'industrialisation.

La grande culture engendre un flux de 20 kg/ha soit une concentration théorique dans la nappe de 50 mg/l, les cultures maraîchères et les prairies retournées un flux de 70 kg/ha et une concentration théorique dans la nappe de 100 mg/l.

Les pollutions en zones urbanisées et industrielles engendrent un flux de 90 kg/ha/an et une concentration théorique de 200 mg/l dans la nappe ; les quartiers anciens, non raccordés, apporteraient 100-150 kg/ha et une concentration théorique de 300 mg/l.

III.6 Effet de nitrate :

III.6.1 Effets connus sur la santé humaine :

Le principal risque pour la santé humaine associé à l'ingestion de nitrates est lié à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. Cette réduction de NO_3^- en NO_2^- est le fait de bactéries ayant une activité nitrate réductase. Il ne semble pas exister des études relatant un effet toxique chronique des nitrates qui ne soient pas liés aux effets des nitrites.

III.6.2 Sur les plantes :

Les effets toxiques des polluants atmosphériques azotés sur la végétation peuvent être exercés indirectement via de réactions chimiques dans l'atmosphère ; ou directement par assimilation des dépôts sur le feuillage, le sol ou la surface de l'eau. Divers symptômes montrent la toxicité de l'azote à savoir : réduction de la capacité totale d'assimilation et chute du feuillage.[19]

III.6.3 Sur les animaux :

La toxicité de l'azote chez les animaux terrestres est associée soit à la consommation de plantes renfermant de fortes concentrations de nitrate soit à la pollution atmosphérique (dioxyde d'azote, ammoniac ou nitrate). Les nitrites et nitrates présents dans l'eau ont toutefois été incriminés dans l'induction d'une méthémoglobinémie chez les jeunes animaux.

III.6.4 Sur les eaux naturelles :

L'intensification de l'agriculture, du fait du changement dans l'occupation des sols (notamment l'accroissement de la part des terres arables), de la pratique de l'irrigation et de l'usage d'intrants chimiques a eu des effets néfastes sur les ressources naturelles. Certains nombres de diagnostics font ressortir :

- La pollution des nappes profondes par les nitrates et les pesticides qui peuvent générer un problème de potabilité.
- La pollution des eaux de surface par les nitrates, très dommageable pour la faune d'eau douce, est en termes d'eutrophisation.

- La destruction d'écosystèmes. Dans les eaux souterraines, les nitrates entraînent une modification des conditions d'oxyde- réduction du milieu ainsi qu'une modification de l'écologie de ces milieux.

III.7 Contamination des eaux par les nitrates en Algérie :

En Algérie, les pratiques intensives de fertilisation des sols dans certaines plaines agricoles et les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ont entraîné une augmentation des niveaux de nitrates dans les eaux souterraines de plusieurs régions ces dernières années.

Dans de nombreuses enquêtes, la pollution des eaux souterraines par les nitrates a atteint un stade alarmant. D'une façon générale, les études ont démontré que les nitrates pouvaient avoir des origines diverses :

- Nitrates provenant de sols forestiers anciens,
- Nitrates dus à l'intensification des cultures (défrichement, suppression des pâtures),
- Nitrates apportés par les matières organiques humaines et animales ainsi que par les matières organiques végétales (amendements organiques),
- Nitrates provenant des engrais de synthèse,
- Nitrates liés aux activités humaines inhérentes à l'urbanisation et l'industrialisation.

Mais il ressort de toutes ces causes que l'utilisation des engrais en agriculture est essentiellement responsable de la contamination des nappes souterraines par les nitrates.

Le programme de surveillance des eaux de sources et de forages effectués par le laboratoire de chimie des eaux de l'ANRH, a montré la présence depuis 1994 d'une forte teneur en nitrates dans les eaux souterraines, au centre du pays (la plaine de Mitidja, le haut Chéelif) et à l'ouest (Sidi Bel Abbes ...), avec une concentration excédant largement la norme 50 mg/l.

III.8 Contamination des eaux par les nitrates dans la zone d'étude :

Les eaux souterraines au sud de Chott ElHodna subissent une pollution multiforme qui fragilise cette région. Essentiellement elles sont alimentées par les eaux de pluie, mais également par l'infiltration des eaux des oueds traversant la région. Les ressources en eaux souterraines de cette nappe sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les besoins en eau qui ne cesse de croître dans divers domaines (alimentation, irrigation, industrie, etc.). Ces eaux souterraines sont toutefois menacées par plusieurs facteurs liés à la mauvaise gestion, la

surexploitation et l'utilisation intensive des engrais et pesticides dans l'agriculture de cette région.

Une étude physico-chimique des eaux souterraines de la région du sud de Chott est menée sur des années connues entre 1976 et 2018.

Cette étude porte sur la contamination des eaux souterraines par les nitrates et son augmentation au cours des 40 dernières années, à partir de données archivistiques et d'analyses récentes. La contamination par les nitrates des eaux souterraines profondes est évidente lorsque les données récentes sont comparées aux données historiques.

Les statistiques multi variées peuvent être utilisées pour mieux comprendre la structure de quantités de données (qui pourraient être liées au phénomène de pollution par nitrates).

Les analyses statistiques multi variées en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) seront utilisées pour faire le point sur l'origine de la qualité des eaux souterraines de la région à l'aide des logiciels **Diagramme** et **XLSTAT 2013**.

III.9 Présentation qualitative des eaux souterraines de quelques points d'eau de la zone d'étude :

Le travail qui suit a pour objet de faire le point sur l'évolution de la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation des collectivités au sud chott El-hodna.

Cinq périodes d'observation ont été choisis. Nous nous sommes basés dans cette phase de l'étude sur l'inventaire réalisé par l'ADE et ANRH de M'sila en 1996, 2008, 2018 et 2019 ainsi que sur les données archives en 1967 (FAO, 1973).

Le problème abordé dans ce mémoire et de suivre l'évolution des nitrates et de prendre une idée sur son origine.

Dix échantillons d'eau de forages prélevés (Compagne, 2019) ont fait l'objet d'une étude de qualité physico-chimique. Le résultat de l'analyse statistique est comparé à ceux des périodes d'observation de 1996, 2008, 2018 et 1967.

Les paramètres physiques de qualité des eaux souterraines mesurés sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau .III.02 : Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2019 :

| Nom du forage | Compagne 2019 | | | | |
|-------------------------------|---------------|------|------|----------------------|----------------------|
| | TDS | T(c) | PH | Cond. à 20° µs/cm | Cond. à 25° µs/cm |
| Maadher I (285/255) | 910 | 21,1 | 7,3 | 2090 | 2317,81 |
| Maadher II (261/255) | 976 | 21,4 | 7,35 | 2250 | 2495,25 |
| Maadher I (236 Bis/255) | 1060 | 21 | 7,4 | 2430 | 2694,87 |
| Maadher I (260/255) | 910 | 20,9 | 7,4 | 2080 | 2306,72 |
| Romana Dahraouia (9/255) | 804 | 18,8 | 6,6 | 1752 | 1942,968 |
| Forage M'hasseb | 414 | 24,9 | 7,58 | 1033 | 1145,597 |
| Maadher (233/255) sidi cheikh | 873 | 21,1 | 7,35 | 2000 | 2218 |
| Maitar II (235/255) | 727 | 17,7 | 7,33 | 1546 | 1714,514 |
| Maiter I (257bis/255) | 724 | 18,5 | 7 | 1569 | 1740,021 |
| Forage Lakfa // Diss | 492 | 24,3 | 7,5 | 1213 | 1345,217 |
| Forage 50 Logts // Diss | 723 | 18,2 | 7,37 | 1553 | 1722,277 |
| Maadher I (248/bis255) | 963 | 20,9 | 7,37 | 2210 | 2450,89 |
| Maadher I (285/255) | 893 | 14,3 | 7,54 | 1747 | 1937,423 |
| Maadher (232/255) sidi cheikh | 920 | 21 | 7,31 | 2110 | 2339,99 |
| Maadher (234/255) sidi cheikh | 1159 | 15,7 | 7,71 | 2350 | 2606,15 |
| Route d'Alger (256/255) | 351 | 30,5 | 7,91 | 981 | 1087,929 |
| Maadher III (262/255) Karia | 659 | 13,8 | 7,4 | 1273 | 1411,757 |

| | | | | | |
|--|------|------|------|------|----------|
| 284/255 | 962 | 18,5 | 6,65 | 2080 | 2306,72 |
| Maadher III (262bis/255) Karia | 675 | 15,9 | 7,55 | 1372 | 1521,548 |
| Forage Maadher Nouveau | 880 | 21 | 7,36 | 2020 | 2240,18 |
| Maitar III (254/255) | 746 | 23 | 7,29 | 1790 | 1985,11 |
| Maadher (234bis/255) sidi cheikh | 1274 | 25,5 | 7,3 | 3220 | 3570,98 |
| Forage Bir Seddik Ben Yahia | 709 | 28,4 | 7,7 | 1894 | 2100,446 |
| Maadher (234/255) sidi cheikh | 1201 | 28,4 | 7,2 | 3230 | 3582,07 |
| Baten II (Route d'Alger) | 347 | 30,3 | 7,64 | 966 | 1071,294 |
| Maadher (252/255) sidi cheikh | 691 | 12,5 | 7,5 | 1293 | 1433,937 |
| Forage Dhahra // Diss | 708 | 18 | 7,43 | 1517 | 1682,353 |
| Forage El Aouichat // Diss | 969 | 12,8 | 7,1 | 1824 | 2022,816 |
| Forage Ain El Hennache // Diss | 992 | 12,6 | 7,32 | 1862 | 2064,958 |
| Forage Lakfa 01 // Diss | 527 | 18,2 | 7,33 | 1131 | 1254,279 |
| Forage Lakfa // Diss | 485 | 18,2 | 7,42 | 1043 | 1156,687 |
| Forage Lakfa 02 // Diss | 487 | 18,2 | 7,34 | 1048 | 1162,232 |

Tableau.III.03 : Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2018 :

| Nom du forage | Compagne 2018 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|------|------|------|----------------------|----------------------|
| | TDS | RS | T(c) | PH | Cond. à 20° µs/cm | Cond. à 25° µs/cm |
| Maadher I 285/255 | | 1446 | 17,3 | 7,08 | 2127,42 | 2359,309 |
| Maadher II 261/255 | | 1614 | 16,2 | 7,3 | 2374,95 | 2633,820 |
| Maadher S,cheikh 236 BIS/255 | 760 | 1147 | 19,8 | 6,68 | 1688,11 | 1872,114 |
| Maadher I 260/255 | | 1505 | 17,3 | 7,19 | 1986 | 2202,474 |
| Romana Dhahraouia (9/255) | | 1165 | 13,5 | 7,5 | 1537 | 1704,533 |
| F. M'hasseb | | 641 | 12,9 | 6,8 | 846 | 938,214 |
| Maadher S,cheikh 233/255 | | 1188 | 19,2 | 7,24 | 1569 | 1740,021 |
| Maiter II (229/255) | | 1203 | 16,2 | 7,52 | 1588 | 1761,092 |
| Maiter I (257bis/255) | | 1209 | 16,3 | 7,55 | 1596 | 1769,964 |
| LAKFA; O Sidi Brahim | 600 | 702 | 20,8 | 7,23 | 1196 | 1326,364 |
| 50 Logs O Sidi Brahim | 923 | 1084 | 20,9 | 7,1 | 1847 | 2048,323 |
| Maadher I 248bis/255 | 890 | 1346 | 19,3 | 7,12 | 1980,24 | 2196,086 |
| eau source Takouka El elik | 455 | 778 | 21,3 | 6,84 | 1027 | 1138,943 |
| Maadher II 246/255 | | 988 | 18,8 | 7,04 | 1453,96 | 1612,442 |
| Route Biskra 247/255 | | 1178 | 16,5 | 7,33 | 1555 | 1724,495 |
| Hotel Kerdada | | 2872 | 22,6 | 7,06 | 3790 | 4203,110 |
| eau source Aoun Allah El Elik | 948 | 1660 | 21,3 | 7,08 | 2190 | 2428,710 |
| Maadher II 214/255 | 706 | 1169 | 18,9 | 7,5 | 1543 | 1711,187 |

| | | | | | | |
|---------------------------|-----|------|------|-----|------|----------|
| Maadher II 214 bis/255 | 909 | 1501 | 18,8 | 7,4 | 1981 | 2196,929 |
|---------------------------|-----|------|------|-----|------|----------|

Tableau .III.04 : Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2008 :

| N° de forage | Compagne 2008 | | | |
|--------------|---------------|------|------|----------------------|
| | TDS | T(c) | PH | Cond. à 25° µs/cm |
| 1 | 666 | 21 | 7.40 | 803 |
| 2 | 786 | 20.9 | 7.47 | 844 |
| 3 | 512 | 21.3 | 7.44 | 644 |
| 4 | 870 | 21.1 | 7.40 | 950 |
| 5 | 1272 | 22 | 7.31 | 1688 |
| 6 | 1358 | 21.9 | 7.28 | 1369 |
| 7 | 2510 | 21.5 | 7.17 | 2500 |
| 8 | 1510 | 21 | 7.32 | 1893 |
| 9 | 1680 | 22 | 7.21 | 2520 |
| 20 | 1208 | 21 | 7.27 | 1573 |
| 21 | 2250 | 22.1 | 7.10 | 2780 |
| 22 | 824 | 22.4 | 7.30 | 909 |
| 30 | 1196 | 20.7 | 7.37 | 1366 |
| 31 | 1242 | 21.2 | 7.33 | 1510 |
| 32 | 1196 | 22.4 | 7.26 | 1426 |
| 33 | 1746 | 21.8 | 7.20 | 2430 |
| 34 | 1492 | 22.1 | 7.20 | 2540 |
| 41 | 1326 | 24.5 | 7.22 | 1643 |

Tableau .III.05 : Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 1996 :

| N° de forage | Compagne 1996 | | |
|--------------|---------------|-----|----------------------|
| | TDS | PH | Cond. à 25° µs/cm |
| 907 | 1603 | 7,4 | 2300 |
| 916 | 1575 | 7,3 | 2000 |
| 947 | 1639 | 7,2 | 2000 |
| 942 | 1416 | 7 | 1800 |
| 943 | 1066 | 7,1 | 1500 |
| 949 | 1285 | 8 | 1600 |
| 956 | 2091 | 7 | 3200 |
| 957 | 3886 | 7,2 | 4800 |
| 959 | 1408 | 7,7 | 2100 |
| 972 | 416 | 7,3 | 4500 |
| 974 | 573 | 7,2 | 7100 |
| 982 | 1337 | 6,9 | 1900 |
| 991 | 1273 | 7 | 1800 |
| 1000 | 1284 | 7 | 1600 |
| 1005 | 1275 | 7,3 | 1700 |
| 1009 | 1075 | 6,9 | 1600 |
| 1019 | 1197 | 7,2 | 1700 |
| 1031 | 1177 | 6,9 | 1600 |
| 1035 | 271 | 7 | 3900 |
| 1042 | 1503 | 7 | 2300 |
| 1046 | 2361 | 7 | 3100 |
| 1051 | 1476 | 7 | 2300 |
| 1054 | 1269 | 7 | 1800 |
| 1058 | 508 | 7,3 | 6900 |
| 1066 | 1943 | 7,2 | 2500 |
| 1070 | 1998 | 7 | 300 |
| 1081 | 3268 | 7 | 4500 |
| 1091 | 1153 | 7,1 | 1500 |
| 1094 | 1379 | 7 | 1900 |
| 1104 | 2873 | 6,9 | 3300 |
| 1109 | 2335 | 7,1 | 2800 |
| 1118 | 1766 | 7 | 2200 |
| 1125 | 1379 | 7,6 | 2100 |
| 1127 | 1243 | 7,2 | 1800 |
| 1134 | 6131 | 7,1 | 7100 |
| 1145 | 3635 | 7 | 4600 |
| 1159 | 3295 | 7,2 | 3200 |
| 1168 | 2725 | 7,3 | 3600 |
| 1171 | 4006 | 7,3 | 3900 |
| 1183 | 2915 | 7 | 4200 |
| 1190 | 6608 | 7 | 9700 |
| 1191 | 2835 | 7 | 4100 |
| 1205 | 2161 | 7,9 | 3500 |
| 1254 | 1206 | 7 | 1800 |
| 1257 | 2099 | 6,8 | 2300 |
| 1267 | 1801 | 7,3 | 3500 |
| 1276 | 246 | 7,1 | 3400 |
| 1279 | 2715 | 7 | 3600 |
| 1291 | 2029 | 7 | 2800 |

Tableau .III.06 : Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 1967 :

| N° de forage | Compagne 1967 | | |
|--------------|---------------|------|----------------------|
| | TDS | T(c) | Cond. à 25° µs/cm |
| 1 | 1 157 | 20 | 2 180 |
| 3 | 2 040 | 20 | 2 530 |
| 19 | 5 229 | 21 | |
| 22 | 2 732 | 19 | 3 240 |
| 29 | 991 | 20 | 1,445 |
| 30 | 3 189 | 17 | 4 090 |
| 121 | 3 084 | 13,5 | 3 080 |
| 122 | 3 350 | | 3 730 |
| 123 | 5 410 | 15,5 | 5 450 |
| 124 | 4 261 | 19 | 5 050 |
| 126 | 8 246 | 18 | 7 600 |
| 127 | 4 300 | 17 | 4 920 |
| 128 | 3 924 | 18,3 | 4 490 |
| 129 | 6 824 | 18,3 | 6 570 |
| 130 | 4 226 | 18,8 | 4 340 |
| 131 | 5 614 | 16,8 | 4 990 |
| 132 | 1 337 | | 1 920 |
| 133 | 867 | 18 | 1 470 |
| 134 | 1 260 | 18,8 | 1 820 |
| 135 | 738 | 18,8 | 1 180 |
| 136 | 1 501 | 18,3 | 2 400 |
| 137 | 1 450 | 19,2 | 2 250 |
| 138 | 1 489 | 17,5 | 1 910 |
| 139 | 943 | 19,3 | 1 300 |
| 140 | 1 122 | 18,4 | 1 670 |
| 141 | 3 270 | 18,2 | 3 930 |
| 142 | 5 578 | 17,7 | 6 290 |
| 143 | 5 592 | 17,9 | 5 900 |
| 144 | 1 628 | 18,3 | 2 020 |
| 146 | 7178 | 17 | 7080 |
| 147 | 6148 | 19,6 | 6160 |
| 148 | 1861 | 20,8 | 2670 |
| 149 | 3321 | 20,8 | 3730 |
| 150 | 5067 | 16,2 | 5660 |
| 151 | 4773 | 18,5 | 5660 |
| 152 | 571 | 15 | 6160 |
| 153 | 8596 | 13,5 | 8850 |
| 154 | 13362 | 14,8 | 17260 |
| 155 | 6602 | 19,7 | 5340 |
| 156 | 5068 | 13,3 | 5660 |
| 157 | 5048 | 18,7 | 9130 |
| 158 | 8367 | 16 | 10110 |
| 159 | 9015 | 15 | 8330 |
| 160 | 7796 | 15,9 | 3960 |
| 161 | 1277 | 18,3 | 1670 |
| 162 | 9151 | 13,5 | 10110 |
| 163 | 8201 | 16,3 | 9440 |
| 164 | 9988 | 15 | 10340 |

| | | | |
|-----|------|------|-------|
| 165 | 8744 | 16 | 8250 |
| 166 | 1394 | 17,6 | 1880 |
| 167 | 1858 | 17,5 | 2400 |
| 168 | 1426 | 18,4 | 1880 |
| 169 | 1026 | 16,5 | 1410 |
| 170 | 1606 | 16 | 1970 |
| 172 | 2278 | 19,5 | 2620 |
| 173 | 3180 | 18,8 | 3630 |
| 174 | 6942 | 18,6 | 7870 |
| 175 | 6228 | 13,2 | 7410 |
| 179 | 8212 | 12,8 | 8700 |
| 185 | 2824 | | 3300 |
| 186 | 203 | | 21900 |
| 161 | 1500 | 21,8 | 1011 |

III.10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons traité un type de pollution des eaux par les nitrates qui sont des composés nocifs résultant de l'utilisation de pesticides et d'engrais naturels ou industriels. Nous constatons que ce type est répandu en Algérie qui nécessite de fournir des solutions fiables pour minimiser ces atteintes à la santé.

CHAPITRE IV :

Résultats et discussion

IV. Introduction :

Le travail qui suit a pour objet de faire le point sur l'origine de la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude. Celui-ci est basé sur les données d'analyse effectuées au sein du laboratoire d'analyse de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de M'sila sur des échantillons prélevés à partir des forages

Cinq périodes d'observation de 1967 au 2019 ont été prises en considération dans l'étude, les années concernées de 1967, 1996, 2018 et 2019 permettent de suivre l'évolution de qualité des eaux souterraines de la région sous l'influence de différents facteurs : géologique, hydrogéologique et climatiques.

IV.1 Matériel et méthode :

Les échantillons des eaux souterraines ont été rassemblés dans des bouteilles propres de polythène après pompage pendant 10 - 15 minutes. L'analyse des échantillons a pris en considération 19 paramètres physico-chimiques. Ces paramètres, tels que le pH, la température (T°) et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés in situ pour éviter les changements. Les échantillons sont analysés pour les éléments : sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), chlorure (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-), la conservation et la transformation de ces échantillons au laboratoire ont suivi des méthodes standard. La précision analytique de la mesure des ions est déterminée en calculant la balance ionique (BI) absolue.

L'analyse statistique multi variante notamment l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée en employant le logiciel d'hydrochimie XLSTAT version 2016 et pour présenter le faciès chimique de l'eau on a utilisé le logiciel « DIAGRAMMES version 5.3 ».

IV.2 Description des données de qualité :

De manière générale, tous les échantillons prélevés présentent une bonne qualité organoleptique. Cette qualité se résume en trois paramètres suivants :

- **La couleur** : elle est claire pour tous les échantillons.
- **L'odeur** : les échantillons prélevés présentent tous une bonne odeur.
- **Le goût** : généralement bon pour les échantillons prélevés.

IV.2.1 Balance ionique :

Les valeurs de la balance ionique des données de l'année 2018 sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1: Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2018

| Indication | Lieu de prélèvement | Balance (%) |
|------------|-------------------------------|-------------|
| F1 | Maadher I 285/255 | 4% |
| F2 | Maadher II 261/255 | -5% |
| F3 | Maadher S. cheikh 236 BIS/255 | 0% |
| F4 | Maadher I 260/255 | -5% |
| F5 | Romana Dhahraouia (9/255) | -3% |
| F6 | F. M'hasseb | -9% |
| F7 | Maadher S. cheikh 233/255 | -7% |
| F8 | Maïter II (229/255) | 6% |
| F9 | Maïter I (257bis/255) | 9% |
| F10 | LAKFA; O Sidi Brahim | 1% |
| F11 | 50 Logs O Sidi Brahim | -7% |
| F12 | Maadher I 248bis/255 | 0% |
| F13 | Source Takouka El elik | -3% |
| F14 | Maadher II 246/255 | -5% |
| F15 | Route Biskra 247/255 | -2% |
| F16 | Hotel Kerdada | -3% |
| F17 | Source Aoun Allah El Elik | -6% |
| F18 | Maadher II 214/255 | -7% |
| F19 | Maadher II 214 bis/255 | -8% |

Tableau IV.2: Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2019

| Indication | Lieu de prélèvement | Balance (%) |
|------------|----------------------------------|-------------|
| F1 | Maadher I (285/255) | 1% |
| F2 | Maadher II (261/255) | 1% |
| F3 | Maadher I (236 bis/255) | -1% |
| F4 | Maadher I (260/255) | 0% |
| F5 | Romana Dahraouia (9/255) | -9% |
| F6 | Forage M'hasseb | -5% |
| F7 | Maadher (233/255) sidi cheikh | 3% |
| F8 | Maïter II (235/255) | -9% |
| F9 | Maïter I (257bis/255) | 8% |
| F10 | Forage Lakfa // Diss | -4% |
| F11 | Forage 50 Logts // Diss | -4% |
| F12 | Maadher I (248/bis255) | 3% |
| F13 | Maadher I (285/255) | 7% |
| F14 | Maadher (232/255) sidi cheikh | 4% |
| F15 | Maadher (234/255) sidi cheikh | -9% |
| F16 | Route d'Alger (256/255) | -6% |
| F17 | Maadher III (262/255) Karia | 8% |
| F18 | 284/255 | -8% |
| F19 | Maadher III (262bis/255) Karia | 0% |
| F20 | Forage Maadher Nouveau | 0% |
| F21 | Maïter III (254/255) | -7% |
| F22 | Maadher (234bis/255) sidi cheikh | -9% |
| F23 | Forage Bir Seddik Ben Yahia | -8% |
| F24 | Maadher (234/255) sidi cheikh | -9% |
| F25 | Baten II (Route d'Alger) | -7% |
| F26 | Maadher (252/255) sidi cheikh | -3% |
| F27 | Forage Dhahra // Diss | 0% |
| F28 | Forage El Aouichat // Diss | -9% |
| F29 | Forage Ain El Hennache // Diss | -9% |
| F30 | Forage Lakfa 01 // Diss | 8% |
| F31 | Forage Lakfa // Diss | 7% |
| F32 | Forage Lakfa 02 // Diss | 9% |

Les valeurs de BI de l'année 2019 varient entre -9% et 9% que les ions sont prédominants dans la plupart des eaux souterraines de la région de Bousaâda. Même chose pour les valeurs de BI pour les autres années d'observation

BI. de (2018) entre -9% et +9%, les ions sont prédominants

- BI. de (1996) entre -4% et +9%, les ions sont prédominants

- BI. de (1967) entre -7% et +10%, les cations sont prédominants

Ces valeurs indiquent que les balances ioniques sont comprises entre -10% et +10%.

IV.2.2 Traitement statistique des données de qualité:

Les Données principales de qualité physico-chimiques sont rassemblées dans les tableaux ci-dessous suivant l'année d'observation :

Tableau IV.3: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2018, avec les normes algériennes:

| Variable | Compagne 2018 | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------|----------|----------|------------|
| | Norme Algérienne | Min | Max | Moy | Écart type |
| TDS (mg/l) | | | | | |
| RS | < 2000 mg/L | 641,000 | 2872,000 | 1284,000 | 477,997 |
| T (°C) | 15 °C | 12,900 | 22,600 | 18,311 | 2,632 |
| PH | 6.5 à 8.5 | 6,680 | 7,550 | 7,187 | 0,250 |
| Conductivité à 20°C | <2800 µ S/cm | 846,000 | 3790,000 | 1782,931 | 623,002 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 75 - 200 mg/L | 104,000 | 280,000 | 195,368 | 55,577 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | <150 mg/L | 24,000 | 153,000 | 96,842 | 31,475 |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | 0.05 - 0.5 | 0,010 | 0,020 | 0,019 | 0,002 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | < 350 mg/L | 195,000 | 427,000 | 339,263 | 61,622 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 200 - 500 mg/L | 24,000 | 303,000 | 109,632 | 75,392 |
| SO ₄ ⁻² (mg/l) | 200 - 400 mg/L | 400,000 | 900,000 | 661,579 | 130,043 |
| TH | 10-50 F° | 52,000 | 112,000 | 88,105 | 17,638 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | < 50 mg/L | 2,000 | 120,000 | 67,342 | 38,099 |
| Na (mg/l) | 200 | 35,000 | 250,000 | 98,158 | 53,615 |
| K(mg/l) | <20 | 4,000 | 15,000 | 8,884 | 3,391 |
| NO ₂ | <0,02 | 0,010 | 0,020 | 0,017 | 0,005 |
| PO ₄ ⁻³ | <0,01 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,000 |

Tableau IV.4:Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2019 et avec les normes Algériennes

| Variable | Compagne 2019 | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------|----------|----------|------------|
| | Norme Algérienne | Min. | Max. | Moy. | Écart type |
| TDS(mg/l) | | 347,000 | 1274,000 | 787,844 | 240,424 |
| T (°C) | 15 °C | 12,500 | 30,500 | 20,175 | 4,901 |
| PH | 6.5 à 8.5 | 6,600 | 7,910 | 7,361 | 0,261 |
| Conductivité à 20°C | | 966,000 | 3230,000 | 1764,906 | 579,154 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 75 - 200 mg/L | 88,000 | 544,000 | 275,500 | 138,363 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | <150 mg/L | 34,000 | 156,000 | 98,945 | 38,984 |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | 0.05 - 0.5 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,000 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | < 350 mg/L | 235,000 | 488,000 | 346,788 | 69,124 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 200 - 500 mg/L | 67,000 | 479,000 | 257,887 | 137,959 |
| SO ₄ ⁻² (mg/l) | 200 – 400 mg/L | 250,000 | 990,000 | 604,063 | 165,605 |
| TH | 10-50 F° | 46,000 | 192,000 | 108,594 | 46,234 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | < 50 mg/L | 7,000 | 184,000 | 74,838 | 48,872 |
| Na ⁺ (mg/l) | 200 | 27,000 | 290,000 | 89,469 | 57,409 |
| K ⁺ (mg/l) | <20 | 0,900 | 11,400 | 5,522 | 1,994 |
| NO ₂ (mg/l) | <0,02 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,000 |
| PO ₄ ⁻³ (mg/l) | <0,01 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,000 |

Tableau IV .5: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 1996 :

| Variable | Compagne 1996 | | | |
|--------------------------------------|---------------|----------|----------|------------|
| | Min. | Max. | Moy. | Écart type |
| TDS(mg/l) | 246,000 | 6608,000 | 1961,040 | 1271,542 |
| PH | 6,800 | 8,000 | 7,152 | 0,250 |
| Conductivité à 25°C | 300,000 | 9700,000 | 3022,000 | 1752,234 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 88,000 | 758,000 | 251,060 | 133,658 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 54,000 | 431,000 | 133,580 | 76,643 |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,000 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 51,000 | 426,000 | 125,720 | 68,590 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 75,000 | 1850,000 | 366,880 | 313,006 |
| SO ₄ ⁻² (mg/l) | 290,000 | 2430,000 | 911,600 | 520,381 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 11,000 | 310,000 | 58,020 | 58,437 |
| Na ⁺ (mg/l) | 33,000 | 750,000 | 182,500 | 145,700 |
| K ⁺ (mg/l) | 1,000 | 23,000 | 7,580 | 4,994 |

Tableau IV .6: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 1967 :

| Variable | Compagne 1967 | | | |
|-------------------------------|---------------|-----------|----------|------------|
| | Min. | Max. | Moy. | Écart type |
| TDS | 203,000 | 13362,000 | 4246,000 | 2992,251 |
| T(°C) | 12,800 | 21,800 | 17,495 | 2,139 |
| CE 25°C | 1,445 | 21900,000 | 5094,874 | 3856,834 |
| Ca ²⁺ | 82,000 | 898,000 | 417,295 | 206,912 |
| Mg ²⁺ | 48,000 | 1340,000 | 281,197 | 229,257 |
| NH ₄ ⁺ | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,000 |
| HCO ₃ ⁻ | 80,000 | 424,000 | 207,836 | 73,038 |
| Cl ⁻ | 57,000 | 4473,000 | 750,066 | 846,027 |
| So ₄ ²⁻ | 215,000 | 7488,000 | 1912,246 | 1389,243 |
| No ₃ | 0,000 | 177,000 | 63,731 | 48,738 |
| Na ⁺ | 24,170 | 3456,510 | 531,557 | 606,037 |
| k ⁺ | 0,000 | 98,630 | 25,787 | 29,658 |

Les résultats enregistrés dans ces tableaux montrent que les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux des points d'eau étudiés se situent dans les limites de la norme de potabilité Algérienne, à l'exception de la conductivité électrique (CE) des années 1996 et 1967, les sulfates (SO₄²⁻), le calcium (Ca²⁺) et les nitrates (NO₃⁻) des cinq années d'observation ont présentés des teneurs très élevées. Les concentrations du magnésium (Mg²⁺) sont légèrement tolérées.

En général, les valeurs moyennes de cations sont dans l'ordre d'abondance suivant Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺ tandis que les anions révèlent un ordre d'abondance comme suit SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > Cl⁻ pour les mesures des années (2018 et 2019) et un autre ordre d'abondance SO₄²⁻ > Cl⁻ > HCO₃⁻ pour les mesures des années (1967 - 1996).

Les valeurs d'écart type pour la conductivité électrique et les sulfates sont élevées par rapport aux autres paramètres mesurés, montrant une différence entre les valeurs de paramètre dans la même zone d'étude.

Les écarts types de conductivité électrique (CE) à 25°C, de TDS et de SO₄²⁻ sont les plus remarquables, et en deuxième rang se trouve les valeurs d'écart type de Ca²⁺, de Mg²⁺ et des

NO_3^- . Ces écarts types indiquent soit la présence d'échanges entre les différentes nappes de l'aquifère mixte (phréatique et profonde).

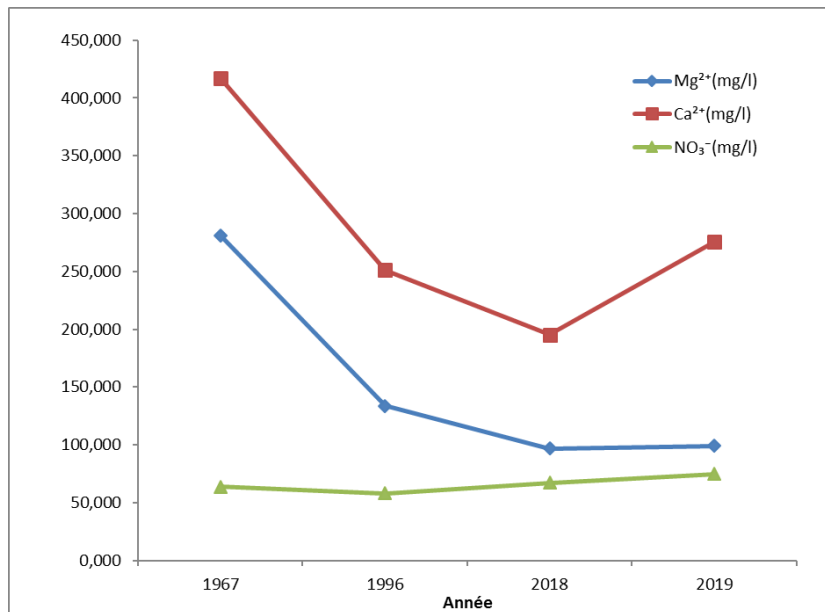


Figure. IV.1 Evolution temporelle des valeurs moyennes de Ca^{2+} , Mg^{2+} et NO_3^-

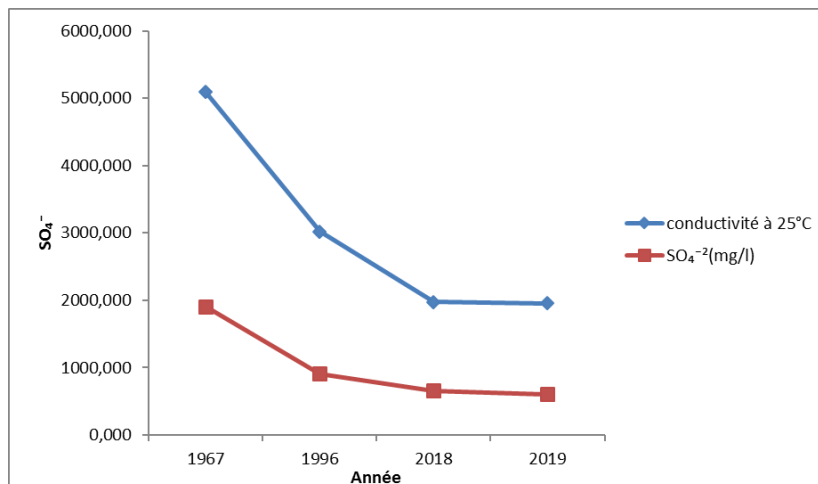


Figure. IV.2 Evolution temporelle les valeurs moyennes de CE et SO_4^{2-}

Les figures IV.1 et IV.2 montrent que les courbes d'évolution temporelle des valeurs moyennes (de l'ensemble) du calcium (Ca^{2+}) et des nitrates (NO_3^-) dépassent les normes algériennes. De même pour la courbe des sulfates (SO_4^{2-}), toutes ces valeurs dépassent la norme (200 mg/l) ainsi que les valeurs de conductivité électrique en 1967 et 1996 qui ne respectent pas la norme (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

IV.3 Détermination des faciès hydro chimiques :

L'interprétation des faciès hydro chimiques est un outil utile pour la détermination de la genèse et l'origine des paramètres chimiques des eaux souterraines et d'identifier d'éventuels problèmes d'interaction eau /sol.

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le diagramme de Piper à travers le logiciel d'hydrochimie (DIAGRAMME 2).

Les éléments considérés sont Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ pour les cations majeurs et HCO_3^- , $(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)$ et SO_4^{2-} pour les anions majeurs.

La projection dans le parallélogramme des points placés dans les triangles des anions et des cations classe la solution en faciès suivant les ions prédominants.

D'après le diagramme de Piper (**Figure. IV.3**) pour les échantillons d'eau de l'année 2018, explique clairement les variations des concentrations des cations et des anions dans la zone d'étude. Il montre que tous les échantillons ont un faciès chimique dominant de type sulfaté et chloruré calcique et magnésienne. Les eaux de la zone de Maadher ont une tendance très remarquable vers la salinisation. Les cations sulfatés et calciques, marque la totalité des forages représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi l'origine de ce seaux. La projection des résultats d'analyses chimiques montre que les eaux de la nappe du Plio-Quaternaire sont caractérisées par l'abondance des ions (SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+).

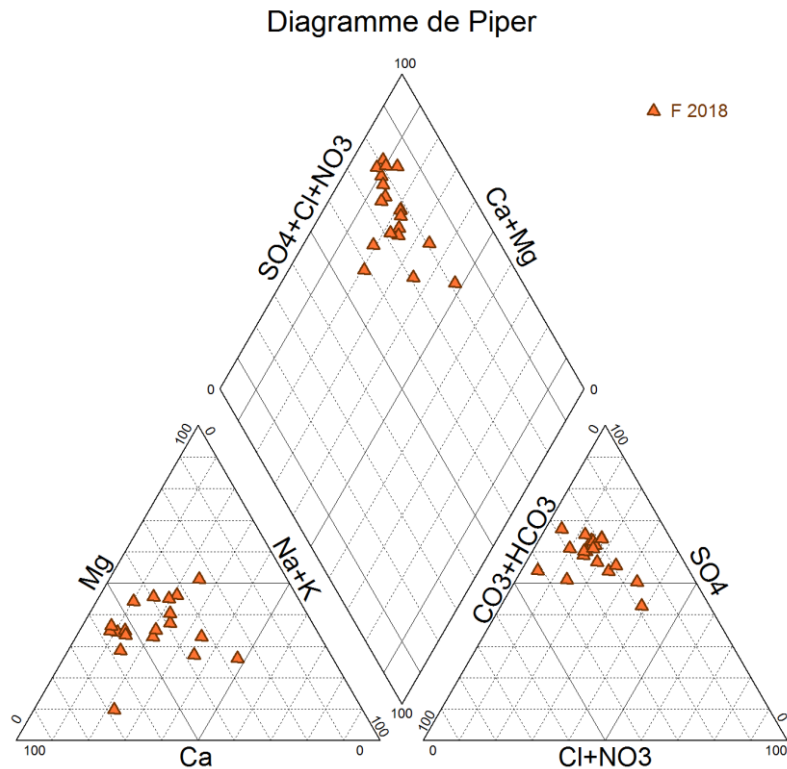


Figure. IV.3 Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude, année 2018.

Les paramètres d'analyse des eaux de l'aquifère Plio-Quaternaire sur le diagramme Piper (**Figure IV.5**) montre que les eaux des forages de la région de Maadher sont marquées généralement par les sulfates qui s'accompagnent tantôt de calcium, tantôt des chlorures et tantôt de magnésium, ceci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l'Albien.

On remarque les échantillons d'analyse des années 1967 et 1996 sont plus sulfatés et chlorés que les autres échantillons.

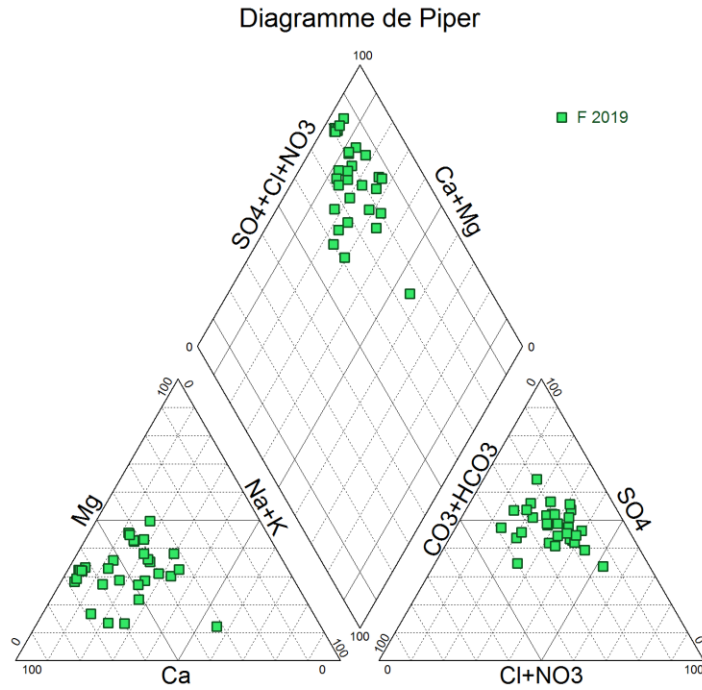


Figure. IV.4 Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude ; année 2019

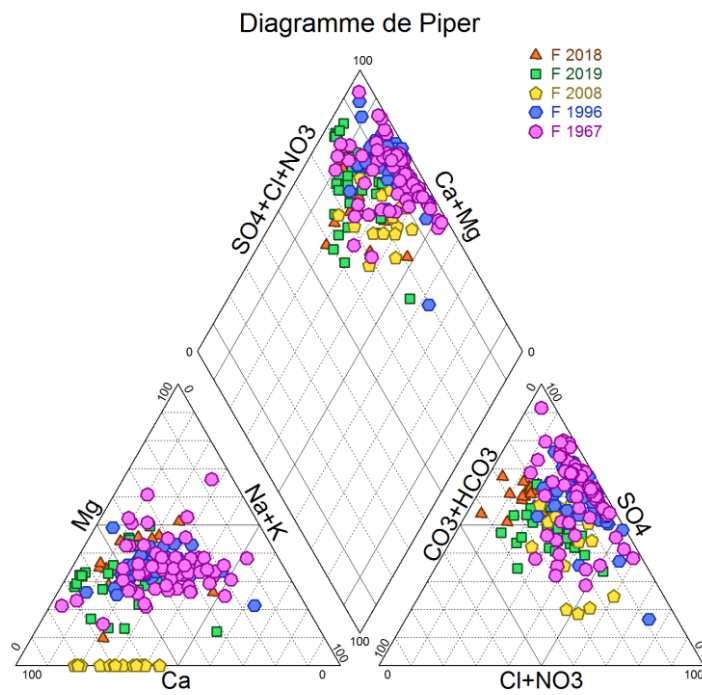


Figure. IV.5 : Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude.

IV.4. Analyses statistiques multi variées des variables physico-chimiques :

On traite les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines des forages implantés dans la région de Bousaâda par l'Analyse en Composantes Principales (ACP), dont l'objectif est d'identifier les faciès hydro chimiques et l'interaction eau-roche afin d'expliquer l'occurrence de tel élément par rapport à un autre.

(ACP) :

L'ACP consiste à déterminer la corrélation des variables et de regrouper ces Variables en ensembles dans des familles de même origine. Ces ensembles des variables nouvelles, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

IV.4.2 Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude :

IV.4.2.1 Matrice de corrélation des valeurs :

D'après la matrice de corrélation calculée des paramètres, les coefficients de corrélation varient entre 0.00 et 0.94.

Tableau IV.7: Matrice de corrélation des principaux paramètres physico-chimiques, année 2019

| Variables | T°(C) | PH | TDS | cond 20°C | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² | TH | NO ₃ ⁻ | Na + | K+ |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
| T°(C) | 1,00 | 0,28 | -0,19 | 0,14 | -0,07 | -0,25 | -0,01 | -0,17 | -0,11 | -0,12 | -0,26 | -0,19 | -0,11 |
| PH | 0,28 | 1,00 | -0,35 | -0,28 | -0,15 | -0,07 | 0,23 | -0,26 | -0,27 | -0,14 | -0,27 | -0,07 | -0,06 |
| TDS | -0,19 | -0,35 | 1,00 | 0,94 | 0,54 | 0,25 | 0,23 | 0,75 | 0,78 | 0,49 | 0,62 | 0,30 | 0,32 |
| cond 20°C | 0,14 | -0,28 | 0,94 | 1,00 | 0,52 | 0,18 | 0,21 | 0,67 | 0,76 | 0,46 | 0,54 | 0,22 | 0,26 |
| Ca ²⁺ | -0,07 | -0,15 | 0,54 | 0,52 | 1,00 | 0,55 | 0,37 | 0,78 | 0,79 | 0,95 | 0,55 | -0,47 | -0,38 |
| Mg ²⁺ | -0,25 | -0,07 | 0,25 | 0,18 | 0,55 | 1,00 | 0,32 | 0,40 | 0,45 | 0,78 | 0,41 | -0,61 | -0,46 |
| HCO ₃ ⁻ | -0,01 | 0,23 | 0,23 | 0,21 | 0,37 | 0,32 | 1,00 | 0,40 | 0,24 | 0,41 | 0,05 | -0,04 | -0,11 |
| Cl ⁻ | -0,17 | -0,26 | 0,75 | 0,67 | 0,78 | 0,40 | 0,40 | 1,00 | 0,69 | 0,72 | 0,53 | -0,04 | 0,04 |
| SO ₄ ⁻² | -0,11 | -0,27 | 0,78 | 0,76 | 0,79 | 0,45 | 0,24 | 0,69 | 1,00 | 0,75 | 0,52 | -0,09 | -0,03 |
| TH | -0,12 | -0,14 | 0,49 | 0,46 | 0,95 | 0,78 | 0,41 | 0,72 | 0,75 | 1,00 | 0,56 | -0,56 | -0,46 |
| NO ₃ ⁻ | -0,26 | -0,27 | 0,62 | 0,54 | 0,55 | 0,41 | 0,05 | 0,53 | 0,52 | 0,56 | 1,00 | -0,21 | -0,26 |
| Na ⁺ | -0,19 | -0,07 | 0,30 | 0,22 | -0,47 | -0,61 | -0,04 | -0,04 | -0,09 | -0,56 | -0,21 | 1,00 | 0,83 |
| K ⁺ | -0,11 | -0,06 | 0,32 | 0,26 | -0,38 | -0,46 | -0,11 | 0,04 | -0,03 | -0,46 | -0,26 | 0,83 | 1,00 |

La conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C et le reste des valeurs en (mg/l).

Les coefficients de corrélation négatifs indiquent que les paramètres physico-chimiques varient en sens inverse. Les coefficients proches de 1 indiquent une liaison linéaire.

L'analyse statistique en composantes principales pour les quatre périodes d'observation (1967, 1996, 2018 et 2019) a été réalisée sur 13 variables dont : la Cond, le pH, TDS, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, Na⁺ et K⁺ à l'aide du logiciel XLSTAT version 2016. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque.

Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

IV.4.2.2 Etude des variables et des individus de l'année 2019 :

Une étude statistique par l'analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée sur les données de l'année d'observation 2019 a montré que les premiers facteurs (Fac1, Fac2 et Fac3) ont accumulé un pourcentage de 74.22% de la variance et qui ont pu être exprimé.

Cette méthode consiste à réduire les paramètres physico-chimiques par corrélation, ce qui permet de présenter géométriquement les paramètres principaux et les observations. Les valeurs propres qui permettent d'apprécier la variance exprimée par chaque facteur et de

montrer l'importance du caractère représenté par l'axe factoriel par rapport aux autres sont consignées dans le tableau suivant.

Tableau IV.8: Présentation des valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux, année 2019 :

| | F1 | F2 | F3 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| Valeur propre | 4,854 | 2,659 | 1,394 |
| Variabilité (%) | 40,453 | 22,160 | 11,613 |
| % cumulé | 40,453 | 62,613 | 74,226 |

Du tableau **IV.9**, les meilleures corrélations du facteur F1 se font respectivement avec les éléments Cond, Ca²⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺, Cl⁻ et NO₃⁻ concernant le facteur F2, il est bien corrélé avec les éléments Na⁺ et K⁺. Le facteur F3 est bien corrélé avec l'élément HCO₃⁻.

Tableau IV.9:Corrélation entre les variables et les facteurs:

| | F1 | F2 | F3 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| TDS(mg/l) | 0,861 | 0,473 | 0,034 |
| T°(C) | -0,193 | -0,128 | 0,652 |
| PH | -0,339 | -0,240 | 0,662 |
| Cond à 25°C | 0,803 | 0,418 | 0,220 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 0,855 | -0,337 | 0,103 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 0,576 | -0,572 | -0,120 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 0,366 | -0,148 | 0,580 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 0,868 | 0,102 | 0,114 |
| SO ₄ ⁻² (mg/l) | 0,888 | 0,066 | 0,062 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 0,734 | -0,097 | -0,300 |
| Na ⁺ (mg/l) | -0,164 | 0,935 | 0,054 |
| K ⁺ (mg/l) | -0,110 | 0,908 | 0,101 |

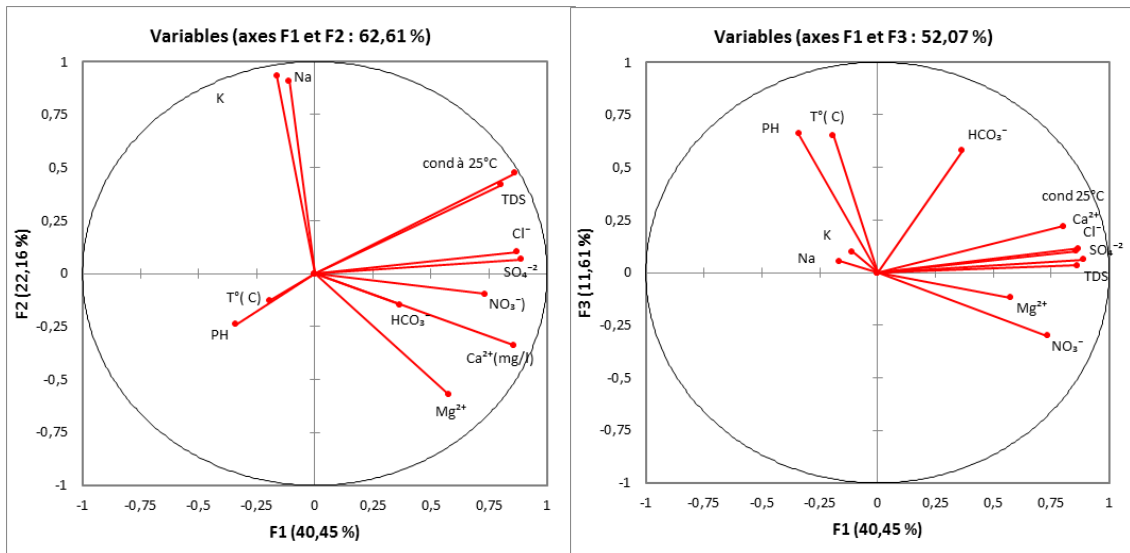


Figure. IV.6 : Projection des variables sur le plan factoriel

IV.4.2.3 Etude des individus :

Le Tableau IV.10 présente les coordonnées des observations (forages) par rapport aux principaux plans (F1-F2), (F1-F3) et (F2-F3).

Tableau IV.10 : Coordonnées des observations.

| Observation | F1 | F2 | F3 |
|-------------|--------|--------|--------|
| F1 | 3,029 | -2,150 | 0,236 |
| FF2 | 2,867 | -0,644 | 1,060 |
| FF3 | 3,841 | -1,133 | 1,418 |
| FF4 | 2,939 | -2,452 | 0,509 |
| FF5 | -0,142 | 1,503 | -2,271 |
| FF6 | -3,548 | -0,902 | 0,851 |
| FF7 | 1,891 | -1,016 | 0,302 |
| FF8 | -0,652 | 0,163 | -1,164 |
| FF9 | -0,542 | -0,639 | -2,129 |
| FF10 | -3,062 | -0,557 | 0,836 |
| FF11 | -0,228 | -0,080 | 0,369 |
| FF12 | 2,867 | -1,368 | 0,721 |
| FF13 | 0,380 | -0,357 | -1,184 |
| FF14 | 2,188 | -0,702 | 0,006 |
| FF15 | 1,804 | 2,114 | 0,775 |
| FF16 | -4,066 | -0,999 | 2,279 |
| FF17 | -1,158 | -0,475 | -1,893 |
| FF18 | 1,327 | 1,261 | -2,810 |

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| FF19 | -0,945 | -0,938 | -0,919 |
| FF20 | 2,308 | -1,389 | 0,156 |
| FF21 | -0,181 | -0,660 | 0,260 |
| FF22 | 2,908 | 3,289 | 0,906 |
| FF23 | -2,310 | 1,326 | 1,359 |
| FF24 | 0,742 | 2,844 | 1,362 |
| FF25 | -3,978 | -0,550 | 1,222 |
| FF26 | -0,929 | -0,249 | -1,032 |
| FF27 | -0,971 | 1,059 | 0,266 |
| FF28 | 0,599 | 2,192 | -0,465 |
| FF29 | -0,741 | 4,882 | 0,416 |
| FF30 | -1,995 | -1,017 | -0,254 |
| FF31 | -1,927 | -1,552 | -0,654 |
| FF32 | -2,316 | -0,806 | -0,532 |

L'application de l'ACP (Année 2019) montre les groupes suivants :

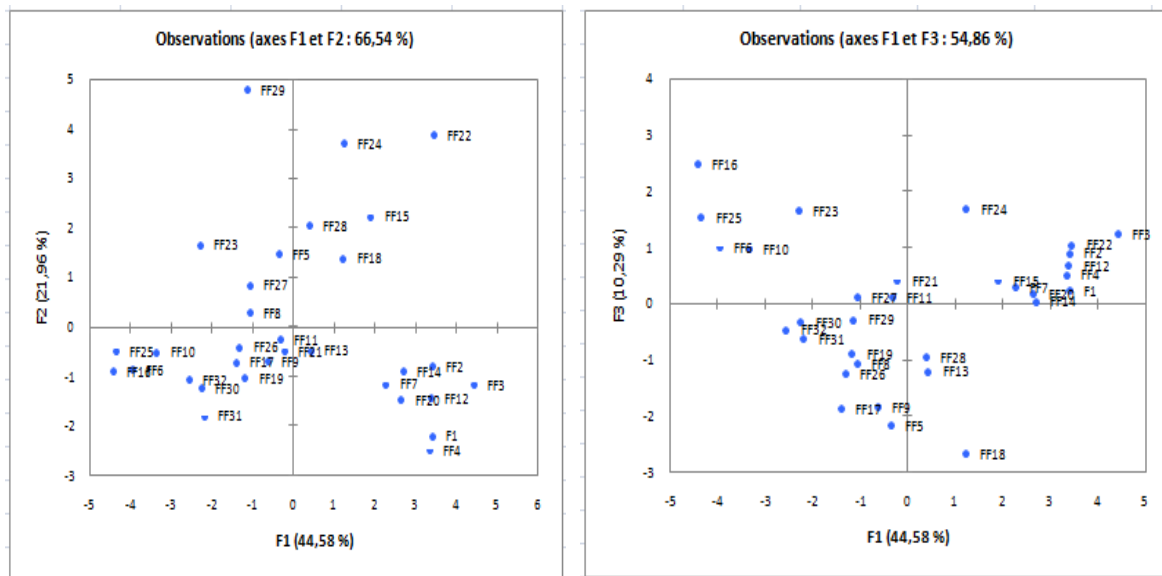


Figure. IV.7 : Projection des observations sur le plan factoriel

Le tableau suivant indique la répartition des forages en trois zones suivant la minéralisation des eaux souterraines. Le groupe 1 est le plus minéralisé par rapport au groupe 2 et groupe 1 qui est considéré le moins minéralisé.

Tableau IV.11 : Coordonnées des observations.

| Groupe 1 | Groupe 2 | Groupe 3 |
|----------|----------|----------|
| F1 | FF5 | FF6 |
| FF2 | FF8 | FF10 |
| FF3 | FF9 | FF16 |

| | | |
|------|------|------|
| FF4 | FF11 | FF25 |
| FF7 | FF13 | FF30 |
| FF12 | FF17 | FF31 |
| FF14 | FF18 | FF32 |
| FF15 | FF19 | |
| FF20 | FF21 | |
| FF22 | FF23 | |
| FF24 | FF26 | |
| | FF27 | |
| | FF28 | |
| | FF29 | |

IV.5 Résultat et discussion :

IV.5.1 Interaction eau/sédiment :

D'après la figure IV.8, l'origine de cette élévation de la conductivité est fortement influencée par les sulfates par les chlorures.

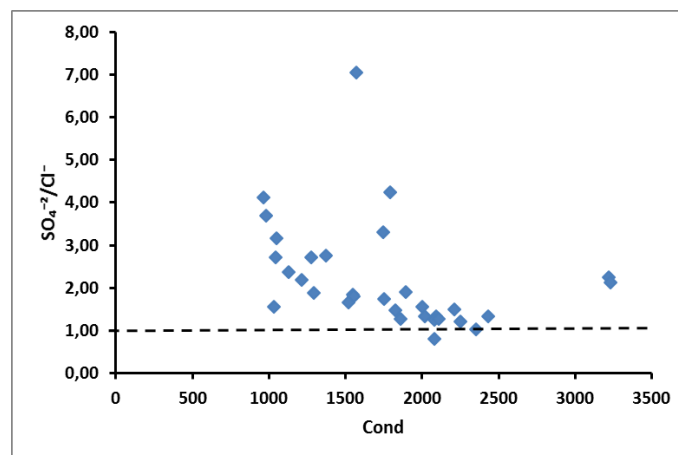


Figure. IV.8 : Variation de la conductivité en fonction du rapport $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (meq/l)

On a montré la variation de la conductivité en fonction des rapports des cations et anions, que les sulfates (SO_4^{2-}) avec les bicarbonates (HCO_3^-), le calcium (Ca^{2+}) et avec le magnésium (Mg^{2+}) sont supérieurs plus que deux fois au sodium et le potassium.

La figure 7- a montre l'importance des SO_4^{2-} par rapport aux Cl^- sur la conductivité. Même chose pour le rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en fonction de la conductivité.

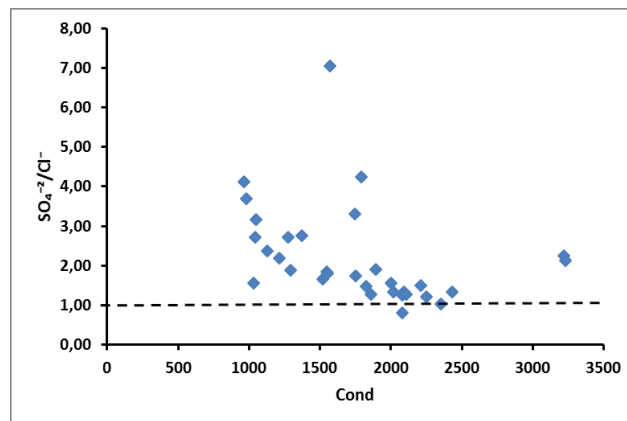
IV.5.2 Origine de la qualité :

Dans la nature, les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées. Au cours de leur trajet dans l'aquifère, les eaux dissolvent en quantités variables, en fonction de certains paramètres (PH, T°, Pression, produits de solubilité, ...). L'étude montre une croissance des paramètres de calcium, de magnésium, des sulfates, de chlorure et des bicarbonates.

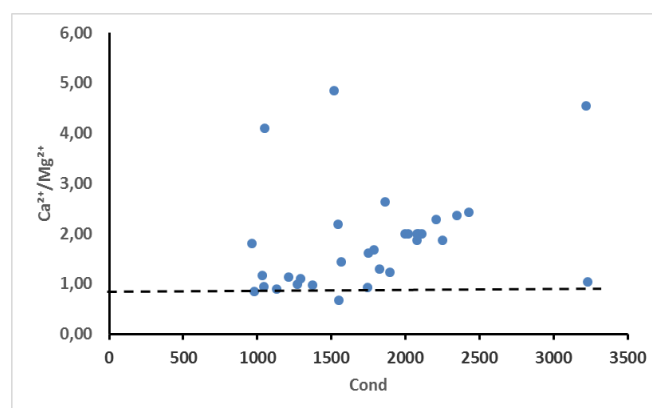
IV.5.2.1 Origine des éléments Ca^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^- :

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de l'aquifère. Les eaux souterraines qui circulent dans les nappes proviennent des formations sédimentaires Quaternaire et Mio-Pliocène et aussi des échanges par drainance.

a)



b)



c)

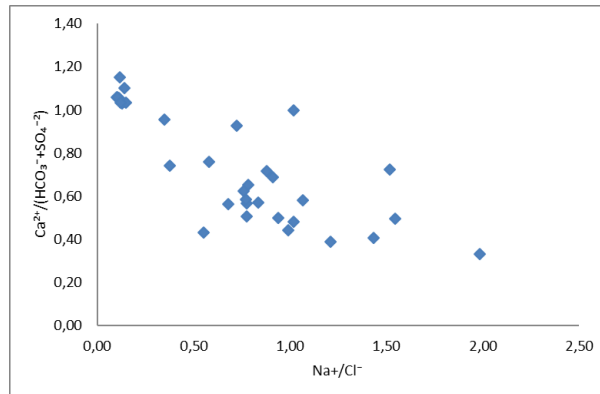
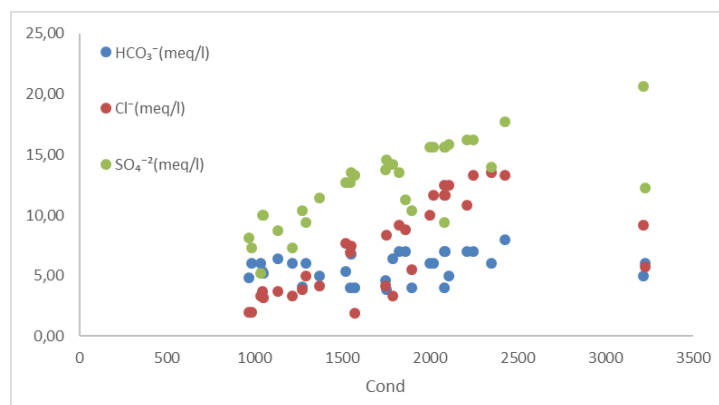


Figure. IV.9 : Relation entre Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- et la conductivité

IV.5.2.2 Origine des éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} :

Après avoir fait le point sur les origines des cations, on a essayé de représenter l'évolution des anions en fonction de la conductivité. L'interprétation de la Figure 10-a montre que la conductivité électrique n'évolue pas avec les bicarbonates, alors que les sulfates et les chlorures croissent avec la salinité. Cette dernière est donc due aux éléments salifères.

a)



b)

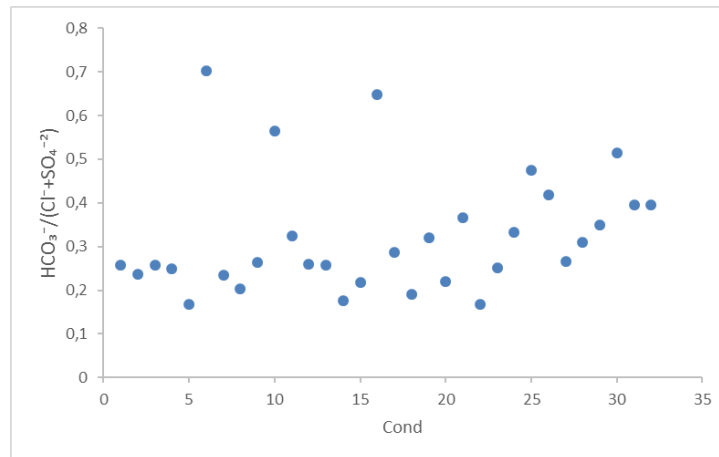


Figure. IV.10 : Evolution de la conductivité électrique en fonction des anions.

La réalisation de la courbe ($\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$) en fonction de la conductivité électrique ne montre pas la présence claire des deux pôles. Le premier est carbonaté et se caractérise par une dominance des ions HCO_3^- et le second est caractérisé par une dominance des ions Cl^- et SO_4^{2-} .

Pour mieux comprendre les changements chimiques qui peuvent se produire dans l'eau lorsqu'elle se déplace à travers l'aquifère, l'interaction de la chimie des minéraux peut être examinée ([10], [17], [18]). Un aspect de ces interactions géochimiques est la dissolution ou la précipitation des minéraux le long de trajets d'écoulement dans l'aquifère. L'indice de saturation (IS) est un paramètre très important dans l'étude des équilibres eaux- minéraux [19], [20]. Il a indiqué que l'eau souterraine est sous-saturée en gypse (valeurs négatives d'IS) et en anhydrite (IS valeurs négatives). Ce qui montre que ces minéraux se dissolvent dans l'eau souterraine le long du chemin où il y a de fortes concentrations de Ca^{2+} et SO_4^{2-} . La sous saturation vis-à-vis de l'halite (IS valeurs négatives) montre que la dissolution des sels gemmes est relativement importante dans les eaux souterraines ceci peut être expliqué par l'augmentation des ions de chlorure et de sodium, ce qui indique un long temps de séjour.

IV.5.3 Pollution des nitrates :

Dans la figure IV.1, que les courbes d'évolution temporelle des valeurs moyennes de nitrates (NO_3^-) nous ont montré un dépassement remarquable à la norme algérienne (50 mg/l). A partir de cette information qui indique la présence d'une pollution sûre et qui date depuis des dizaines d'années nous voudrions faire une étude descriptive sur la pollution des nitrates dans cette région du bassin Hodna.

Basant sur des hypothèses (facteurs explicatifs) démontrant que les nitrates pouvaient avoir des origines diverses dans notre région d'étude :

- Nitrates d'origine géologique sous forme des roches nitratées (Nitronatrite, Nitrocalcite) qui peuvent être trouvées dans des nappes profondes ; ou provenant de sols forestiers anciens dans le sous bassin (transportés par les oueds de la région par infiltration, cas oueds Boussaâda et Maîter).
- Nitrates dus à l'intensification des cultures (fertilisés par l'homme), utilisation excessive des matières organiques animales et des engrais de synthèse
- Nitrates liés aux eaux usées (absence du réseau d'assainissement depuis des années précédentes et la présence des fausses septiques (Maadher est une zone rurale)).

La figure **IV.11** permet de résumer les facteurs explicatifs influençant le problème de nitrates dans notre zone d'étude. Suite aux potentialités hydriques de la région, l'agriculture irriguée s'est développée depuis des dizaines d'années, deux aquifères sont présents : l'aquifère phréatique et l'aquifère profond (Nappe mixte). Le premier a fortement diminué en raison de l'abaissement régional par pompage.

.Le profond montre une diminution des teneurs en sels. Actuellement, c'est la seule ressource pour répondre aux besoins des agglomérations de la région. Son renouvellement est assuré grâce à la grande extension du bassin versant. Il a progressivement diminué en raison de la surexploitation en pompant de plus en plus eau de forage (ANRH). Le plus grand abaissement de l'aquifère profond est observé dans la zone cultivée El Maadher, où une agriculture intensive s'est développée avec l'augmentation de la population.

L'agriculture est actuellement à l'origine d'une pollution de l'eau préoccupante dans certaines régions d'Algérie, et dans d'autres pays méditerranéens, où la pollution des eaux souterraines est généralement liée aux nitrates et les pesticides. En régions arides et semi-arides, les surfaces à hautes potentialités agricoles où les surfaces irriguées sont en nette augmentation posent aussi le problème d'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines. Les nouvelles exploitations agricoles de la zone Maadher ont donné naissance, en une trentaine d'années, à un important bassin de production pour les cultures. Ce niveau d'intensification de l'agriculture s'est accompagné d'une application importante d'intrants agrochimiques ce qui constitue une source potentielle de contamination des eaux souterraines par les nitrates.

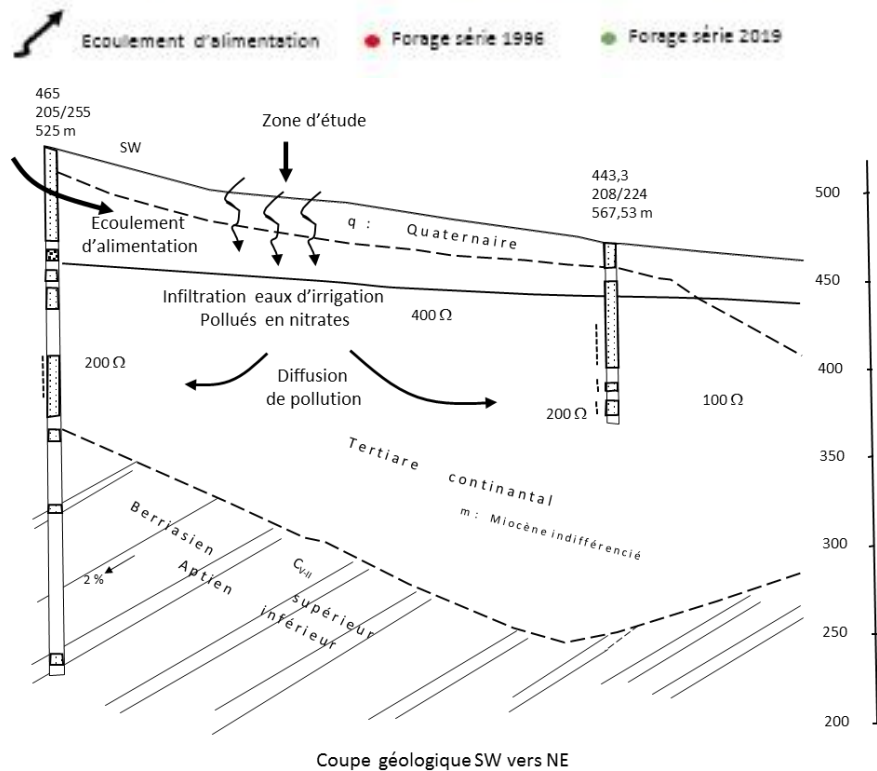
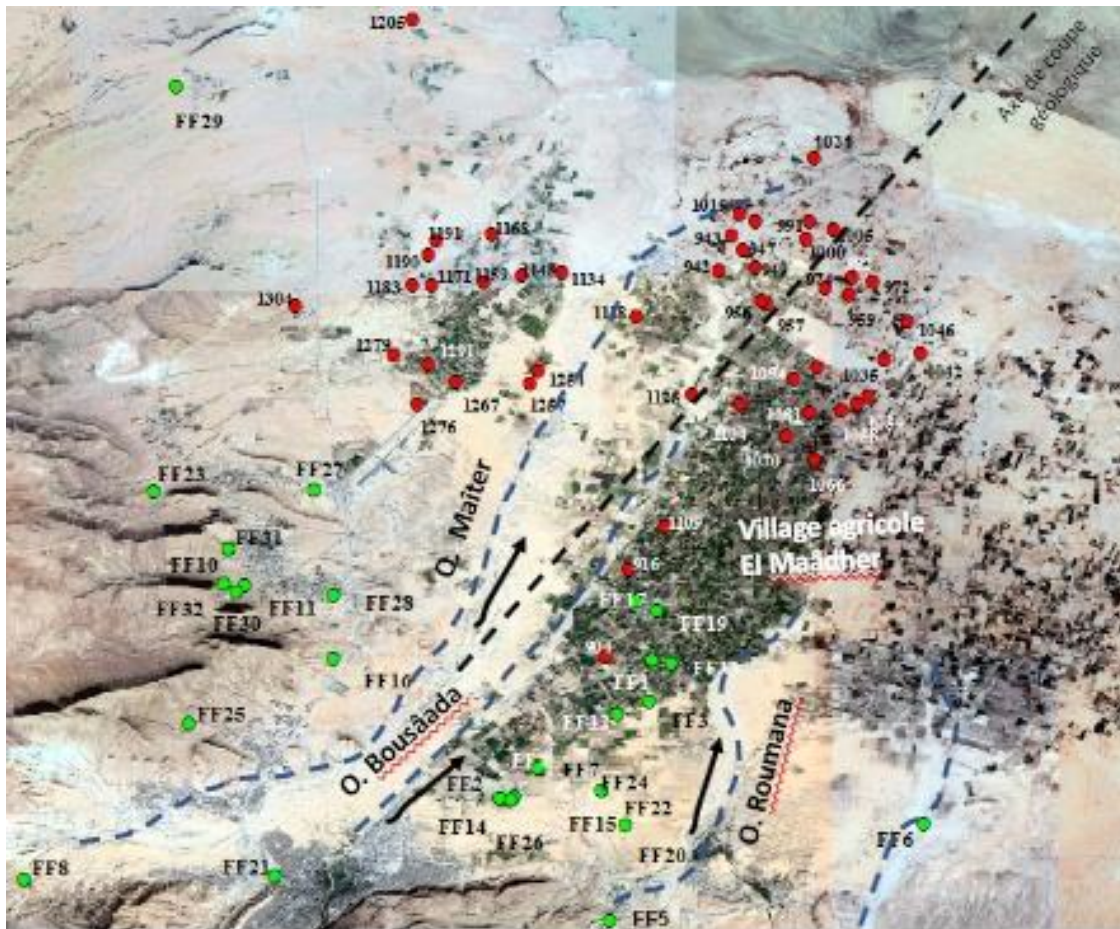


Figure IV.11 : Schémas explicatifs de la situation des nitrates dans la zone d'étude

En raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière organique en relief, la fertilité du sol est faible avec une faible capacité de rétention d'eau ; des apports d'engrais et d'amendements organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements corrects, mais la fertilisation est empirique. Néanmoins, l'excès d'azote dans les sols irrigués suite aux amendements azotés pourrait constituer un problème environnemental pour les systèmes hydrologiques.

Dans le sud de Hodna, les eaux souterraines de la nappe phréatique sont peu profondes et présentent une salinité élevée (l'aquifère est constitué de sables du Quaternaire et d'argiles sableuses de faible épaisseur). L'aquifère profond est constitué de marnes et de conglomérats intercalés (Tertiaire continental). Les composants du sol sont dominés par les carbonates (calcite), le gypse et autres sels minéraux. Cette formation de 100 et 400 m d'épaisseur repose sur presque toutes les formations plus anciennes. Il constitue le principal aquifère pour la région, c'est un aquifère renouvelable. Sa recharge implique trois contributions :

- infiltration d'eau d'oueds (Oued Bousaâda et oued Maîter) ;
- recharge profonde par les formations environnantes ;
- Infiltration directe des précipitations.

Par conséquent, les deux eaux souterraines peuvent communiquer et la contamination de l'aquifère profond à partir de la surface est possible.

IV.5.3.1 Analyse des données de nitrate :

Les données d'archives des puits et des forages ont été collectées et de nouveaux forages ont été échantillonnés. Les données d'archives concernent principalement l'aquifère phréatique (Profondeur inférieure à 100 m, années 1967 et 1996), et les forages qui son dent principalement l'aquifère profond (profondeur supérieure de 100 m, le reste des années d'observation 2018 à 2019), ces aquifères ne sont pas séparés par une formation imperméable. La contamination de l'aquifère profond par la nappe phréatique est donc possible.

Tableau IV. 12 : Données statistiques de nitrates de la zone d'étude (Zone de captage), années 1967 au2019

| Année \ No-3 | Min. | Max. | Moy. | Écart type |
|--------------|--------|---------|--------|------------|
| 1967 | 0,000 | 177,000 | 63,731 | 48,738 |
| 1996 | 11,000 | 310,000 | 58,020 | 58,437 |
| 2018 | 2,000 | 120,000 | 67,342 | 38,099 |
| 2019 | 7,000 | 184,000 | 74,838 | 48,872 |

D'après le tableau **IV.12** nous notons que les valeurs minimales de nitrate sont en augmentation, les écarts-types sont en diminution et les concentrations moyennes sont presque stables ; la pollution par les nitrates se répand de manière permanente dans l'aquifère et l'homogénéité rattrape le milieu physique année après année. Alors que les espaces à concentration inférieure se réduisent nettement au profit des espaces à concentration supérieure.

Il semble que les valeurs moyennes de NO₃ ne soient pas significativement différentes. Pour extraire des informations à partir de ces données, les distributions de résultats doivent être étudiées plus en détail.

La figure **IV.12** montre des fortes concentrations en nitrates observées même à des profondeurs supérieures à 150 m (années 2018 et 2019), ce qui montre la dégradation qualitative de l'aquifère profond.

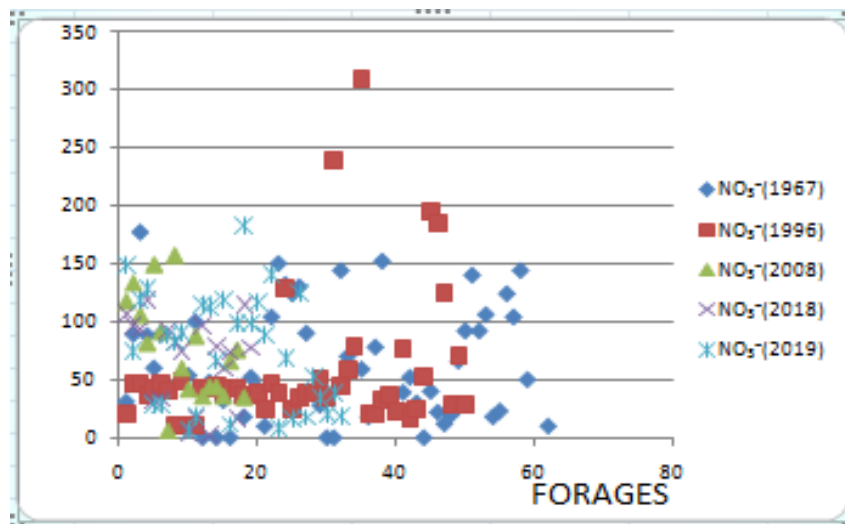


Figure IV.12 : Evolution temporelle des nitrates au cours des cinq périodes d'observation

Les données d'archives des puits année 1967 (FAO) montrent que 41 % des échantillons mesuraient déjà plus de 50 mg/l de NO₃ et 29 %, plus de 100 mg/l de NO₃ ; à l'inverse, 59 % mesuraient moins de 50 mg/l de NO₃. L'eau de pluie contient des valeurs de nitrates non nulles comprises entre 1 et 2 mg/l, en raison de l'oxydation naturelle du N. atmosphérique. Cela signifie que, dans certains cas, les cycles biogéochimiques sont suffisamment efficaces pour absorber tous les nitrates présents dans le sol.

Les données de 1996 indiquent 26.66 % des échantillons contenant plus de 100 mg/l de NO₃, 53.33 % des échantillons contenant plus de 50 mg/l de NO₃ et 46.66 % moins de 50mg/l de NO₃.

Suivant le tableau que la comparaison des fréquences cumulées des concentrations en nitrate, montre clairement une diminution des valeurs d'écart type de 1996 à 2019. Bien que les connaissances détaillées sur la nature exacte de l'aquifère exploité par chaque forage fassent défaut, des concentrations importantes en nitrates sont observées même à des profondeurs importantes (plus de 100 m de profondeur), qui montrent la dégradation qualitative de l'aquifère profond. Cela peut être attribué au développement des cultures irriguées, à l'augmentation de la population et au changement d'utilisation des terres.

Tableau IV.13 : Répartition des échantillons en pourcentages de nitrates, années 1967 au 2019

| Année \ No ₃ | % des échantillons Inf. de 50 mg/l | % des échantillons sup. de 50 mg/l | % des échantillons sup. de 100 mg/l |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1967 | 53,22 | 46,77 | 22,58 |
| 1996 | 76 | 24 | 12 |
| 2018 | 31,57 | 63,15 | 15,78 |
| 2019 | 37,5 | 62,5 | 31,25 |

La concentration en nitrates dans les aquifères est susceptible de décroître par effets physiques (diffusion, dispersion) ou dénitrification liée à des phénomènes biochimiques, mais les études de cas sont encore trop peu nombreuses afin d'en tirer des conclusions et être certain qu'il ne s'agisse pas simplement d'une pollution retardée qui se propagerait en profondeur sous l'effet de pompages prolongés.

De grandes valeurs sont observées dans le nord et l'est où les populations sont rassemblées près des zones purement agricoles. Cela peut donc être attribué à la contamination d'origine agricole.

Des recherches plus approfondies devraient être entreprises sur le cycle de l'azote et la fertilisation azotée, en tenant compte des spécificités des conditions arides, afin d'obtenir des références agronomiques locales.

En conclusion, nous souhaitons que cette contribution hydro chimique que nous avons menée au niveau de la plaine de Bousaâda se trouvant en étage bioclimatique aride, a apporté un certain nombre d'informations supplémentaires et de précisions qui pourront orienter les futurs travaux dans le domaine de la lutte contre la contamination des eaux souterraines et la gestion de ces ressources.

IV.6.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une étude hydro chimique des eaux souterraines de la région sud chott hodna.

D'après l'analyse des diagrammes de PIPER on constate que la tendance de la majorité des eaux souterraines de Maadher est sulfatée calcique et magnésienne.

Et d'après l'analyse des données statistiques des éléments physico-chimique on remarque que les teneurs de quelques éléments chimiques sont élevées et dépasse la norme de l'OMS telle que calcium, sulfate, nitrate et la conductivité électrique dans les forages étudiés. L'étude statistique par l'analyse de l'ACP a montré que les eaux souterraines de la région peuvent être répartis en trois groupes d'après la minéralisation

Cette augmentation est due à l'influence des formations géologiques et résultent de la dissolution des roches carbonatées, par contre les teneurs élevées des sulfates d'une origine des marneux et des argiles appartenant à la série des alternances calcaires et marne de la zone d'étude ainsi en présence des terrains agricoles d'où l'utilisation des engrais et les fumiers.

Les teneurs élevées des nitrates sont en liaison avec le réseau hydrographie (oued Bousaâda put ramener des nitrates à travers les eaux de surface) et aussi avec la répartition des terrains agricoles d'où l'utilisation des engrais, les fumiers et le rejet des eaux usées de l'agglomération dans des fosses septiques ce qui influence la qualité des eaux souterraines rendent les nocives.

CONCLUSION
GENERALE :

Conclusion générale

L'étude que nous avons effectuée dans la région du sud chott El-Hodna, nous a permis d'approfondir les connaissances des différents paramètres hydro chimiques concernant les eaux souterraines ainsi les principales sources de pollution naturelle dans l'aquifère complexe de la région.

La zone d'étude fait partie de climat aride froid à l'hiver et chaude à l'été.

Notre étude a permis de déterminer l'origine hydrique de ces eaux souterraines à l'aide de la technique statistique multi variée (ACP). L'interprétation de l'analyse hydro chimique révèle que les eaux souterraines de la plaine sont dures et principalement de nature alcaline.

L'interprétation du diagramme de PIPER a montré que les paramètres (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-}) sont les éléments dominants donc les eaux souterraines de cette région se caractérisent par le faciès hydro chimique dominant de type sulfate de calcium et magnésium chloré.

La ACP a fourni en fonction de la minéralisation que la zone d'étude peut être divisée en trois zones différentes.

La plupart des échantillons prélevés présentent une eau de qualité moyenne avec des concentrations de nitrate qui dépasse la norme algérienne de potabilité.

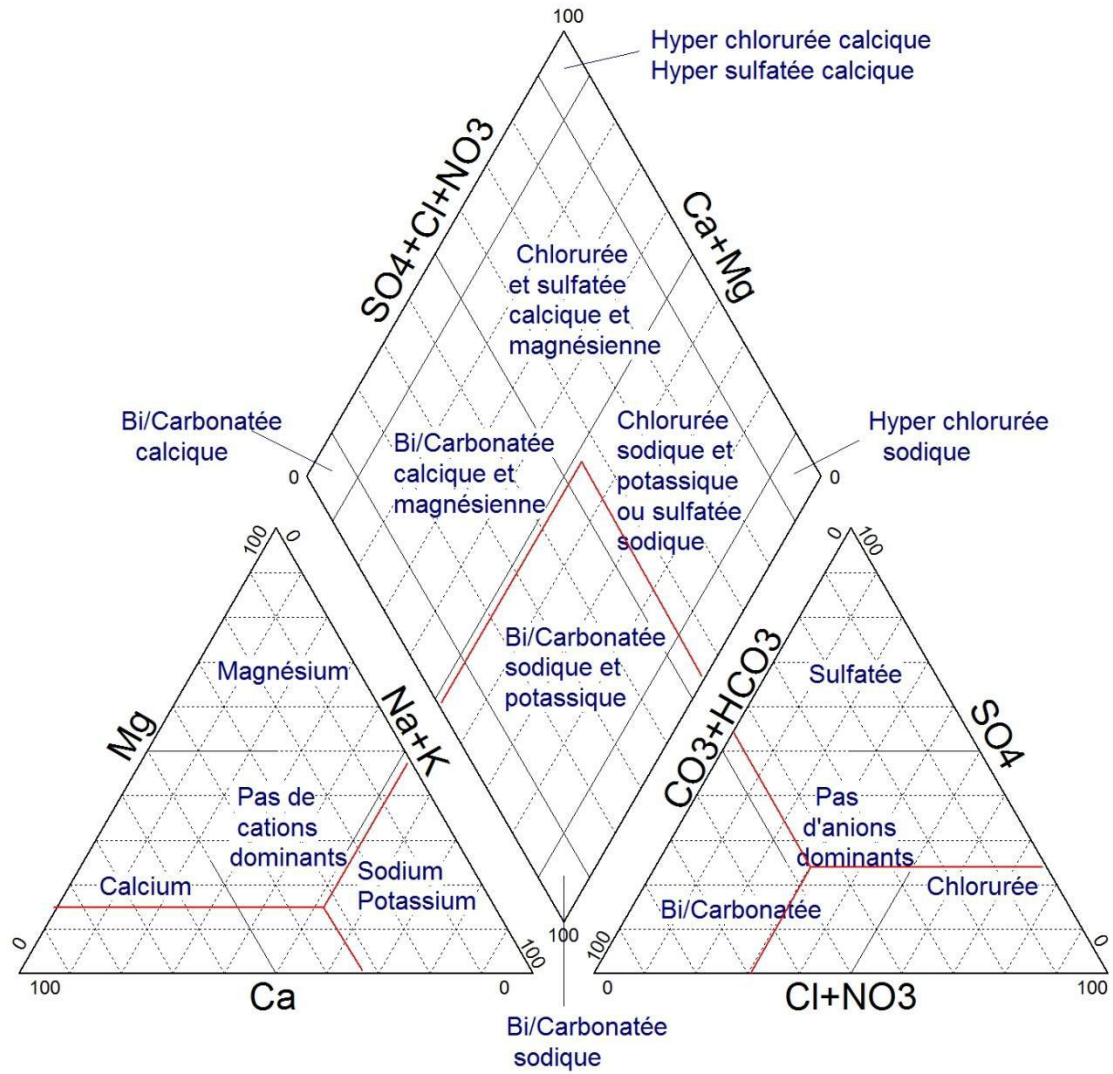
L'étude de contamination des eaux destinées à la consommation a permis de dégager les principales sources qui sont : l'absence de l'assainissement, l'utilisation des engrais organiques et inorganiques en raison d'une forte activité agricole ; ainsi que l'effet du réseau hydrographique (oueds Bousaâda et Maîter) qui peut rapporter quelque pollution des nitrates à la région.

Donc avant toute consommation d'eau, il est indispensable de procéder au contrôle de sa qualité aussi bien physico-chimique que microbiologique. La négligence de ce contrôle provoquerait l'apparition des maladies à transmission hydrique chez la population en cas de consommation d'eau polluée. Pour limiter des dépenses faramineuses en matière de santé lors d'apparition des maladies survenues suite à la consommation des eaux polluées, il est nécessaire de lancer des campagnes de sensibilisation auprès de la population vivante.

ANNEXE

Annexe 01 :

Diagramme de Piper



Annexe n° 2 :

Matrice et Coefficients de corrélation :

Le coefficient de corrélation r est un coefficient qui permet de démontrer la relation entre deux variables dont il est donné par la relation suivante :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{k \sigma_x \sigma_y}$$

r : Coefficient de corrélation.

\bar{x} : Moyenne arithmétique de la première variable.

\bar{y} : Moyenne arithmétique de la deuxième variable.

k : Nombre de séries.

$\sigma_x \sigma_y$: Le produit de la covariance des variables x et y .

1-Lorsque la valeur de ce coefficient (r_{xy}) est inférieure à 0.5 on peut dire que la corrélation linéaire entre ces deux variables (x , y) est faible.

2-Lorsque la valeur de ce coefficient est supérieure à 0.5 on peut dire que la corrélation linéaire entre ces deux variables est forte.

3-Lorsque la valeur de ce coefficient est négative, il indique que le paramètre physicochimique y varie en sens inverse du paramètre x et on parle alors de corrélation négative.

4-Si le coefficient est proche de 0, les deux paramètres sont linéairement indépendants.

Référence bibliographique

Référence bibliographique :

- [1] Etude de la qualité des eaux souterraines de consommation de la ville d'Oum El bouaghi (Saïbi Fatima Zahra 2012-2013)
- [2] Site de Wikipédia
- [3] Elias, Ralph, et al. "HIV/AIDS, the mining and minerals sector and sustainable development in southern Africa." International Institute for Environment and Development, available at: [www.iied.org/pubs/pdfs G 602](http://www.iied.org/pubs/pdfs/G602) (2001).
- [4] Station météo de Bousaâda 2018
- [5] Makhzoum Y., Mahdid B. 'Hydrologie du bassin du Hodna : Construction d'une base de données à l'aide d'un SIG', Mémoire de master en hydraulique, université de M'sil 2018 /2019.
- [6] Algérienne des eaux Antenne de M'sila
- [7] Benrabia A. 'Etude de la qualité des eaux souterraines de la région de Bousaâda Wilaya de M'Sila' Mémoire de master en hydraulique, université de M'sil, 2012-2013.
- [8] Aouina S. 'Qualité des eaux souterraines de la zone Msila' Mémoire de master en hydraulique, université de M'sil, 2012-2013.
- [9] Allal H., Tahir F. 'Qualité des eaux souterraines du bassin El Hodna zone d'étude : Bousaâda et Sidi Aïssa'. Mémoire d'ingénieur 2007-2008.
- [10] Rapport interne de l'ANRH (Agence nationale des ressources hydriques), Algérie 2006.
- [11] Ahmidet w. 'Etude de la pollution des nitrates dans les eaux souterraines -El Maadher', Mémoire de master en hydraulique, université de M'sil, 2018-2019.
- [12] RODIER J. 'l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaires ; eaux de mer', Edition Dunod, 8eme édition ; pages (945 à1075), 1976.

ملخص

الغرض من هذه الرسالة هو دراسة تطور جودة و التلوث بالنترات في المياه الجوفية في المنطقة (بوسعادة-معاريف-خبانه) و التي تستخدم بشكل رئيسي للري و الاستهلاك. لتقييم تأثير النترات على المياه الجوفية لتسهيل استخدامها ، تم اجراء تحليلات فيزيائية كيميائية ل32 عينة من هذه المياه خلال عام 2019. و الغرض من هذه العينات هو تحديد البيانات فيزيو-كيميائية و مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من نتائج الحملات 2018 و2008 و1996 و1967. تظهر الدراسة ان تلوث المياه له عدة اصول.

Résumé

Le but de cette mémoire est d'étudier l'évolution de la qualité et pollution des nitrates des eaux souterraines dans la région (Bousaâda-Maarif-Khobana) qui sont principalement utilisés pour l'irrigation et la consommation.

Pour évaluer l'effet des nitrates sur les eaux souterraines afin de faciliter leur utilisation, des analyses physico-chimiques de 32 échantillons de ces eaux ont été effectuées au cours de l'année 2019. Le but de cet échantillonnage est d'identifier les données physi-chimiques et de comparer les résultats obtenus avec ceux de la campagne 2018, 2008, 1996 et 1967. L'étude montre que la pollution de l'eau a plusieurs origines.

Mots-clés : Sud Chott Hodna, Boussaâda, Maarif, Khobana, pollution, nitrates , qualité physique-chimique, eaux souterraines.

Abstract

The purpose of this dissertation is to study the evolution of the quality and pollution of nitrates of groundwater in the region (Bousaâda-Maarif-Khobana) which are mainly used for irrigation and consumption.

To evaluate the effect of nitrates on groundwater in order to facilitate their use, physico-chemical analyzes of 32 samples of this water were carried out during the year 2019. The purpose of this sampling is to identify the data physico-chemical and compare the results obtained with those of the 2018, 2008, 1996 and 1967 campaign. The study shows that water pollution has several origins.

Keywords: South Saline Al-Hodna ‘Bousaâda ‘ Maarif ‘ Khobana ‘ pollution ‘ nitrates ‘ physical quality ‘ groundwater.