

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE : Science et Technologie**

**DEPARTEMENT : Hydraulique**

**N° : .....**



**DOMAINE : Science et technologie**

**FILIERE : HYDRAULIQUE**

**OPTION : OUVRAGE HYDRAULIQUE**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par : Ben Amar Messaoud**  
**Mahroug Abdessamed**

**Intitulé**

**L'origine des nitrates dans les eaux souterraines**  
**de l'aquifère d'El Maâdher (Bousaâda-M'sila)**

**Soutenu devant le jury composé de:**

.....	Université	M'sila	Président
Mr. Dougha Mostafa	Université	M'sila	Rapporteur
.....	Université	M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2020 /2021**

# 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 encadrer. Nous remercions vivement le doctorant **Tahir Selmane** pour ses précieux conseils pour sa gentillesse et sa spontanéité avec lesquelles il a bien voulu nous aider à terminer ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury et nous leur exprimons toute notre gratitude. Ensuite, nous tenons à remercier aussi nos Professeurs et nos enseignants, pour l'intérêt qu'ils nous ont accordé. Enfin, nos reconnaissances iront aussi à toute personne qui, de loin ou de près, a participé à l'achèvement  
De ce travail ...

# Dédicace

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

*Mes chers parents pour leurs sacrifices, leurs  
encouragements, et pour leur soutien moral et matériel tout  
au long de mes études.*

# SOMMAIRE

Introduction ..... 1

## CHAPITRE I : Cadre Géomorphologique de la région d'étude

I. Introduction .....	Erreur ! Signet non défini.
I.1. Localisation géographique de la région de Boussaâda	Erreur ! Signet non défini.
I.1.1 Relief .....	Erreur ! Signet non défini.
I.2. Situation géographique de la zone d'étude .....	Erreur ! Signet non défini.
I.2.1. Situation topographique .....	Erreur ! Signet non défini.
I.2.2. Démographie .....	Erreur ! Signet non défini.
I.3. Aperçu climatologique .....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.1. Climat .....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2 Précipitation.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3. Températures .....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4. Vents.....	8
I.3.5. L'évapotranspiration .....	9
I.4. Réseau hydrographique .....	10
I.5. Activité de la population .....	11
I.6. Inventaire du forage de la région de Maadher .....	11
I.6.1. Position des forages d'alimentation de la région d'étude	Erreur ! Signet non défini.
I.7. Conclusion .....	Erreur ! Signet non défini.

## CHAPITRE II : L'étude géologique et Hydrogéologique

II. Introduction .....	Erreur ! Signet non défini.
II.1. Zone de Boussaâda .....	Erreur ! Signet non défini.
II.1.1. Éléments de Stratigraphie .....	Erreur ! Signet non défini.
II.1.2. Géomorphologie de la région d'étude .....	Erreur ! Signet non défini.
II.1.3: La lithologie .....	20
II.2. Identification des formations hydrogéologiques .....	Erreur ! Signet non défini.
II.2.1. Hydrogéologie de la région .....	Erreur ! Signet non défini.
II.2.2. Les eaux souterraines .....	Erreur ! Signet non défini.

II-3 Conclusion .....**Erreur ! Signet non défini.**

### CHAPITRE III : Qualité des eaux et pollution des nitrates

III. Introduction .....	30
III.1. Les normes de potabilité .....	30
III.1.1 Les paramètres organoleptiques .....	30
III.1.2 Les paramètres physico-chimiques .....	30
III.1.3. Les paramètres de pollution .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.1.4. Les paramètres bactériologiques :.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.2.Pollution des eaux .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.2.1.Définition .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.2.2 Sources de pollution .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.3. Les principaux polluants des eaux .....	40
III.3.1. Les matières en suspension .....	40
III.3.2. Les matières organiques .....	40
III.3.3. Polluants métalliques et les polluants chimiques persistants	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.3.4. Les sels minéraux .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.3.5. Polluants microbiologiques de l'eau .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.4.Lutte contre la pollution (prévention à la pollution) ..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.L'azote .....	42
III.5.1.Différentes formes de l'azote .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.2. Origine des nitrates .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.2.1. Nitrates provenant de l'agriculture moderne .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.2.2. Nitrates d'origine animale .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.2.3. Nitrates d'origine industrielle .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.3. Effet de nitrate .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.3.1. Effets connus sur la santé humaine .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.3.2. Sur les plantes .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.3.3. Sur les animaux .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5.3.4. Sur les eaux naturelles .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.6. Contamination des eaux par les nitrates en Algérie ..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.7. Contamination des eaux par les nitrates dans la zone d'étude	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## SOMMAIRE

---

III.8. Présentation qualitative des eaux souterraines de quelques points d'eau de la zone d'étude .....**Erreur ! Signet non défini.**

III.9. Conclusion .....**Erreur ! Signet non défini.**

### CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV. Introduction .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.1. Matériels et méthodes .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.2. Description des données de qualité .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.2.1 Balance ionique .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.2.2. Traitement statistiques des données de qualité.....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.3. Détermination des faciès hydrochimiques .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.4. Analyses statistiques multivariées des variables physico-chimiques **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.1. Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.1.1. Matrice de corrélation des valeurs .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.1.2. Etude des variables et des individus de l'année 2020 **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.1.3. Etude des individus .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.5. Résultat et discussion .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1. Interaction eaux/sédiments .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2. Origine de la qualité .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.1. Origine des éléments  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2.2. Origine des éléments  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  .....68

IV.6. Pollution des nitrates.....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.6.1. Analyse des données de nitrate .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.7. Méthode de KRIGING .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV.8. Conclusion .....**Erreur ! Signet non défini.**



## Liste des figures

---

Figure I.01: Situation géographique de la ville de Boussaâda. .... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.02: La région sud Chott dans son contexte naturel environnant. ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.03: localisation géographique de Maâdher. ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.04: Précipitations moyennes mensuelles de la région de Boussaâda (1994-2016). ..... 7

Figure I.05: Températures moyennes mensuelles de la région de Boussaâda (1994-2016). ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.06 : Variation des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de Boussaâda (1994/2016).....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.07 : Evaporation mensuelle de la station de Bousaâda (2004-2016). ..**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.08 : Le réseau hydrographique du sous-bassin de Bou-Saada. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.09: Inventaire des forages et localisation en fonction de l'aquifère.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.01: Localisation de Boussaâda dans l'ensemble géomorphologique du Nord de l'Algérie. ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.02: Extrait de la carte géologique du Boussaâda. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.03: Coupe géologique de la zone de Boussaâda. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.04: Coupe schématique Nord-Sud à travers le Bassin El Hodna. (FAO 1973). ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.05: Coupe géologique du forage Maadher (235/255) suivant la figure II-5. (FAO 1973).....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.06: Coupe géologique du forage Maadher (233/255) suivant la figure II-6 (FAO 1973).....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.07: Coupe géologique de forage Maadher (205/255) suivant la Figure II.06 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.08: Coupe schématique du bassin de Chott El Hodna Altitude et profondeur / mètre. ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.01: Les pollutions des eaux par l'urbanisme.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.02: Les pollutions des eaux produites par l'industrie..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.03: cycle de l'azote dans le sol. ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure. IV.01: Evolution temporelle les valeurs moyennes de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $NO_3^-$ . .....**Erreur ! Signet non défini.**

## Liste des figures

---

Figure. IV.02 Evolution temporelle les valeurs moyennes de CE et  $SO_4^{2-}$ .....**Erreur !**

**Signet non défini.**

Figure IV.03: Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude, année 2020.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.04: Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude. ...**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.05: Projection des variables sur le plan factoriel..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.06: Projection des observations sur le plan factoriel. .... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.07: Variation de la conductivité en fonction du rapport  $SO_4^{2-}/Cl^-$ . (meq/l) .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.08: Relation entre  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ . ....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.09: Evolution de la conductivité électrique en fonction des anions..... 69

Figure IV.10: L'évolution temporelle des nitrates au cours des cinq périodes d'observation.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.11: Spatial distribution des concentration des nitrates dans la zone d'étude.....**Erreur ! Signet non défini.**

## Liste des tableaux

---

Tableau I.01: L'évolution de la population de Maâdher durant la période 1998-2018.....	<b>E</b>
<b>rrreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau I.02: Coordonnées de la station météorologique... <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau I.03: Précipitation moyenne mensuelle de la région de Boussaâda durant la période (1994-2016).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau I04: répartition de température en fonction des mois. ....	8
Tableau I.05: Des vitesses moyennes mensuelles de la région de Bousaada (1994/2016).....	9
Tableau I.06: Evapotranspiration en (mm) de la région de Bousaada durant la période 2004-2016 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau I.07: Inventaire des forages de la zone de Maadher.....	12
Tableau III.01: Classification des eaux selon leur PH.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau III.02: Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau III.03: Normes algériennes de qualité des eaux potables. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau III.04: Les paramètres physico-chimique des eaux de forages 2020. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau IV.01: Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2020.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.02:Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2020 avec les normes Algériennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.03: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2019 et avec les normes Algériennes. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.04: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2018 avec les normes Algériennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.05: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2014 avec les normes Algériennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.06:Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2006 avec les normes Algériennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.07: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 1996 avec les normes Algériennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.08: Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 1967 avec les normes Algériennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau IV.09: Matrice de corrélation des principaux paramètres physico-chimiques .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Liste des tableaux

---

Tableau IV.10: Présentation des valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux, année 2020 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.11: Corrélation entre les variables et les facteurs.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.12 : présente Contributions des observations (%) (Forages) par rapport aux principaux plans (F1-F2), (F1-F3) et (F1-F4).....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.13: Données statistiques de nitrates de la zone d'étude (Zone de captage), années 1967 au 2020.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.14: Répartition des échantillons en pourcentages de nitrates, années 1967 au 2020. ....**Erreur ! Signet non défini.**

# **Introduction Générale**

# Introduction

Les eaux souterraines ont un rôle très important dans les pays en voie de développement où le climat est aride. Elles assurent le développement de ces pays et constituent une source d'approvisionnement en eaux potables.

Selon les études, l'eau est un liquide inodore et incolore et sans saveur. Elle est dite potable quand elle est pure, sans odeur, sans saveur, et sans gout. L'eau destinée à l'alimentation humaine ou à l'irrigation des cultures doit contenir des sels minéraux avec une faible quantité.

Dans le domaine de l'industrie, la nature géologique de terrain influe sur la composition chimique de l'eau retenue. Ainsi, il ne faut pas que l'eau soit corrosive et ne doit pas former de dépôts d'entartrage à la surface des conduites ou des machines

Notre travail consiste à étudier d'une part l'origine des eaux destinées à la consommation en eau potable dans la région du Sud chott El-Hodna et d'autre part leur qualité physico chimique.

La ville de Bousaâda est une région aride se situant dans le sud du Hodna. Elle possède une source principale d'eau potable c'est l'aquifère de Maadher mais cette eau souterraine est menacée par des facteurs anthropiques. Ainsi le but de ce travail est l'étude de la géométrie des eaux souterraines des plaines de Maadher pour mettre en évidence les processus qui touchent la qualité de l'eau et organiser ces processus en couplant les approches géochimiques et statistiques.

Le niveau élevé des nitrates dans les points d'eau (forages et puits) situés dans cette région du Sud de chott El Hodna (Maadher) dépasse beaucoup la limite admissible (50 mg/l). Il faut donc savoir comment gérer et protéger ces ressources en eau. Pour cela, des mesures de prévention et de protection assurée par la délimitation des zones vulnérables ou à haut risque s'imposent donc.

Afin 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.

Finalement notre travail se terminera par une synthèse des différents résultats obtenus sous forme de conclusion générale.

**CHAPITRE I :**  
**Cadre**  
**Géomorphologique de**  
**la région d'étude**

**I. Introduction :**

La connaissance de la région à étudier est primordiale avant toute étude d'un projet. Dans ce chapitre, se sera une idée géographique, démographique, climatique, administratif et morphométrique.

**I.1. Localisation géographique de la région de Boussaâda :**

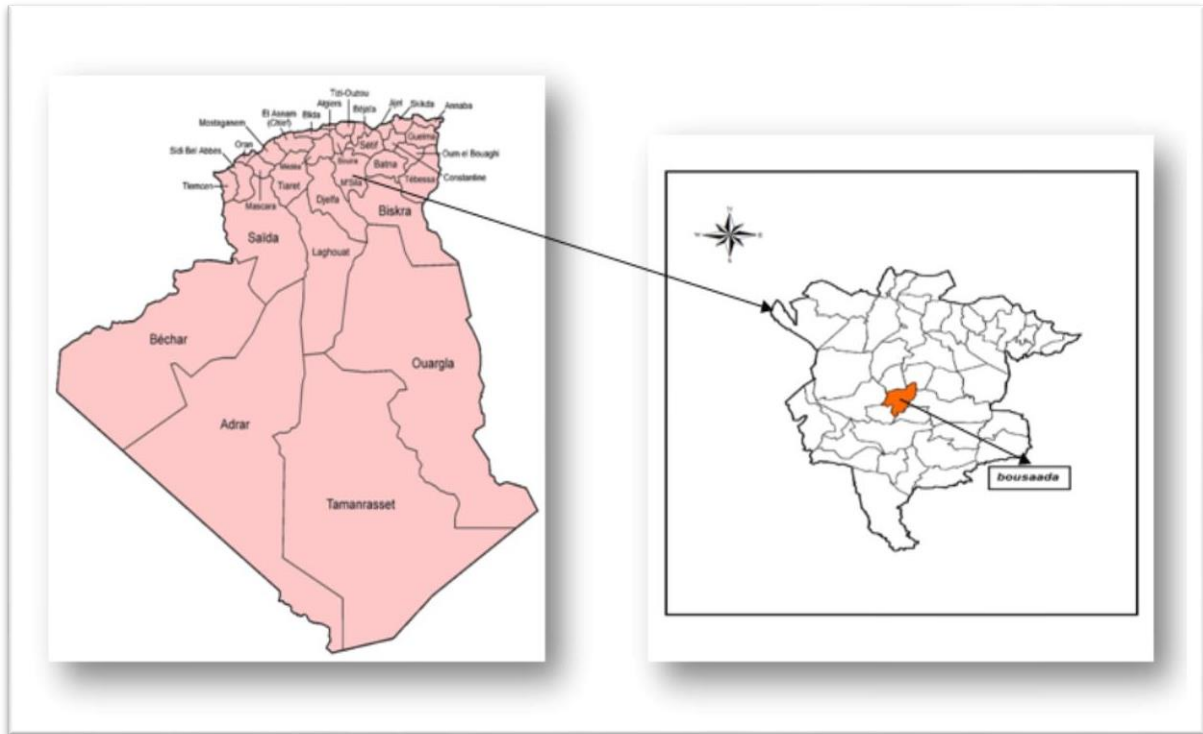
La région de Boussaâda est localisée dans la partie Sud de la Wilaya de M'sila, sud-est du nord algérien appartenant aux Hauts Plateaux.

La ville de Boussaâda se situe à 250 km sud-est de la capitale, et à 200 km à vol d'oiseau de la mer, d'altitude 560 m au-dessus du niveau de la mer, à la croisé de la route nationale n°:8 (Alger Biskra) et la route nationale n°:46 (M'sila Djelfa) elle s'offre comme un carrefour idéal entre la méditerranée et le Sahara, mais aussi entre les Ziban et le littoral algérois, et entre le M'Zab et Constantine.

La zone de Boussaâda s'étend sur une surface totale de 255 km<sup>2</sup>, elle abrite 184 694 habitants et une densité de 724 hab/Km<sup>2</sup> (PDAU -2017). Elle est limitée:

- Au nord par la commune d'Ouled Sidi Brahim.
- Au nord est par la commune de Maarif.
- A l'est par la commune d'Elhouamed.
- A l'ouest par la commune de Tamza.
- Au sud est par la commune d'Oueltem.
- Au sud ouest par la commune d'Ehamel.

Elle est placée au point de rencontre des coordonnées spatiales suivantes : 4° 11' longitude et 35° 13' latitude nord.



**Figure I.01 :** Situation géographique de la ville de Boussaâda.

### I.1.1 Relief :

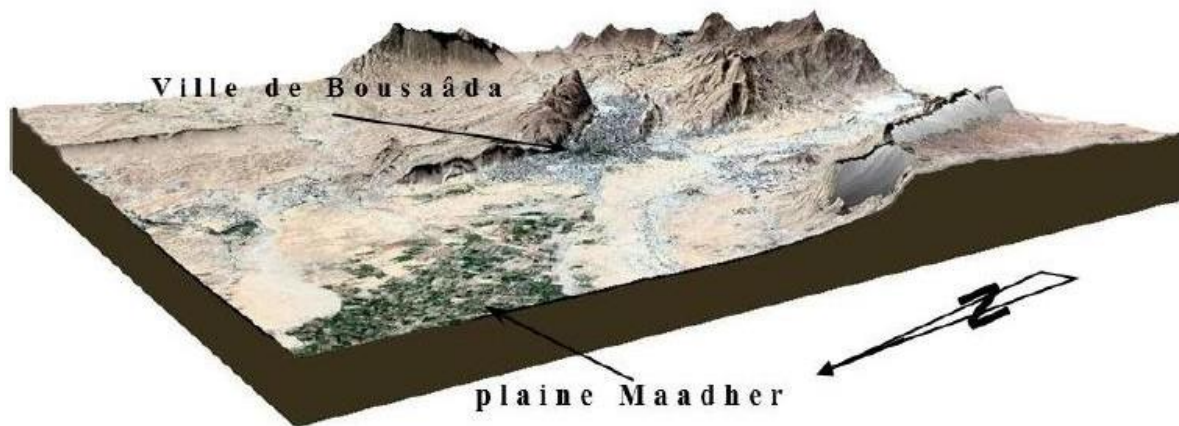
Le relief de la région de Boussaâda est caractérisé par la présence de chaînes de montagnes d'orientation variée au niveau de la partie sud et sud-ouest. On note l'existence des reliefs suivants :

- Djebel Grigour côté Nord-ouest de la ville.
- Djebel Moubkhira côté Sud-ouest du chef-lieu (772 m).
- Djebel Kerdada côté sud (947 m).
- Mont de Menkeb Sidi Brahim (718 m) côté Sud-est de la ville et djebel El MAALLEG côté Sud de la commune.
- Les terres agricoles du côté nord-est (village agricole d'El Maadher). [01]
- Les vallées traversent le périmètre de Boussaâda :
- La vallée de l'oued Boussaâda qui forme une sorte de couloir entre le Djebel mené et Djebel Kerdada et coule au pied de ce dernier en se jetant dans la plaine nord.

- La vallée d'Oued Maîter située à l'Ouest de la ville de Boussaâda avec une altitude de 587 m, formant un couloir venteux animé par les vents Ouest et Nord, engendrant des champs de dunes orientés Ouest-Sud-ouest vers Est-Nord.

Les formes récentes ne sont généralement pas stabilisées, ce sont parfois des dunes au pied des reliefs comme celui du Djebel KERDADA.

Sur la rive Est de l'Oued Maîter on trouve des champs de Sebka où les larges lits de l'Oued sont souvent à sec et sont soumis à la déflation des vents de l'Ouest.



**Figure I.02 :** La région sud Chott dans son contexte naturel environnant.

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

Le village de Maâdher est situé au Nord-est de la commune de Boussaâda, située à environ de 8 km du chef-lieu de la commune sur le chemin de wilaya N°: 04. La région d'étude est limitée au nord par la commune de Maârif, au Sud est par la commune de Boussaâda, à l'Est par la commune de Ouled Sidi Brahim et à l'Ouest par la commune de Khoubana.



Figure I.03 : localisation géographique de Maâdher.

### I.2.1. Situation topographique :

Le village Maâdher Bousaada se caractérise par une topographie plane du relief.

### I.2.2. Démographie :

Les informations recueillies par les services A.P.C nous montre que, la population de Maâdher a atteint 9000 habitants en 2018 avec une densité de 61.64 hab/km<sup>2</sup>. [2]

Tableau I.01: L'évolution de la population de Maâdher durant la période 1998-2018. [2]

Évolution démographique		
1998	2008	2020
3943	7398	9000

### I.3. Aperçu climatologique:

Il faut avoir une idée générale sur la climatologie, 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 village de Maâdher se caractérise par un climat semi-aride : froid et pluvieux en hiver, chaud et sec en été. Le mois de janvier est le plus pluvieux, par contre les mois de juillet et août sont les plus chauds.

La station d'observation de météorologie la plus proche se situe à Bousaâda de coordonnées suivantes (Tableau I.2). [3]

**Tableau I.02 :** Coordonnées de la station météorologique.

Longitude	4° 15' 0''
L'altitude	35° 16' 60''

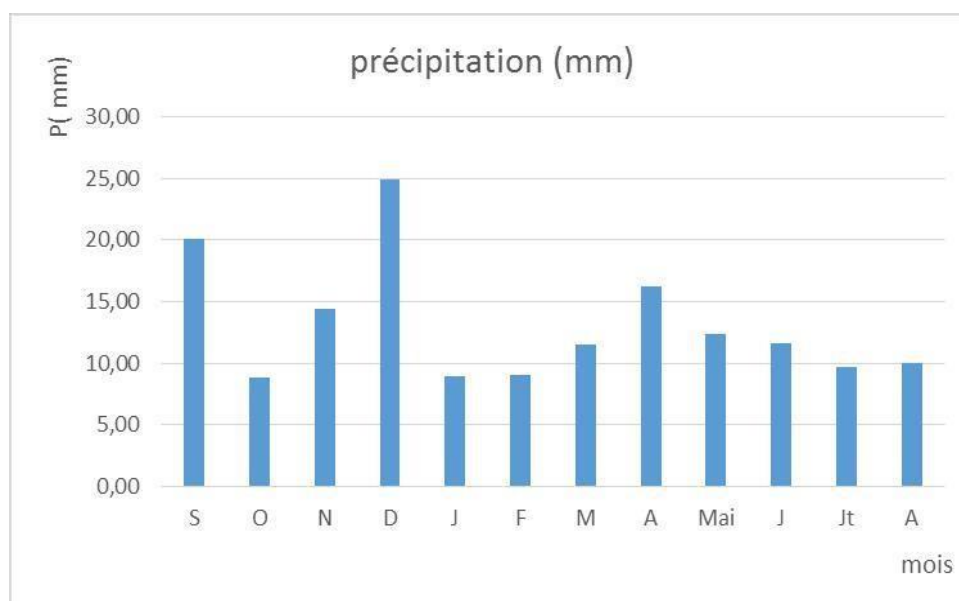
### I.3.2 Précipitation:

La situation géographique et la saison influent sur les précipitations. Celles-ci se caractérisent par des intensités, une durée et une fréquence très différentes : Les pluies peuvent être de très fortes ou de très faibles intensités et persistent plusieurs jours durant.

Dans les montagnes, les précipitations sont en moyen 200 mm/an, avec une mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace et des orages peu fréquents, réparties sur une dizaine de jours par an. [3]

**Tableau I.03:** Précipitation moyenne mensuelle de la région de Bousaâda durant la période (1994-2016). [3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
<b>Précipitations (mm)</b>	20,03	8,8	14,45	24,93	8,9	9,1	11,53	16,28	12,38	11,6	9,68	10



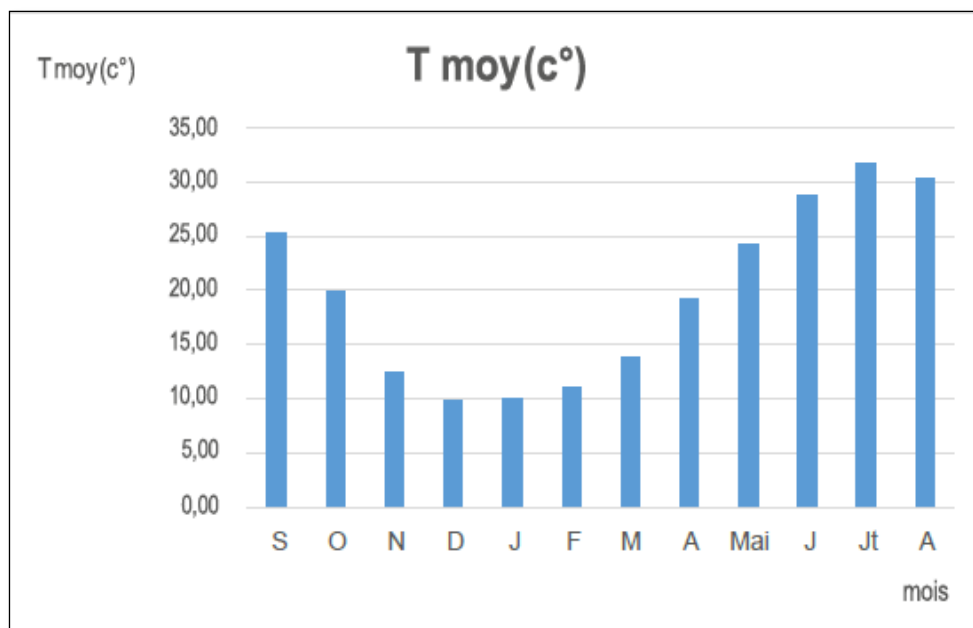
**Figure I.04 :** Précipitations moyennes mensuelles de la région de Bousaâda (1994-2016).

### I.3.3. Températures :

La température est continentale avec une amplitude moyenne de 36 degrés entre les mois de janvier et juillet. En été elle dépasse fréquemment 31.6°C au cours de mois de juillet et août. Mais en hiver la température la plus basse atteint 9.80°C (mois de décembre). Le climat est capricieux, certaines années sont marquées par un régime saharien avec de faibles chutes de pluies, de longues périodes chaudes et de fréquents siroccos qui en quelques heures dessèchent la surface du sol et toute végétation.

**Tableau I.04** : répartition de température en fonction des mois. [3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Température moyenne (°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



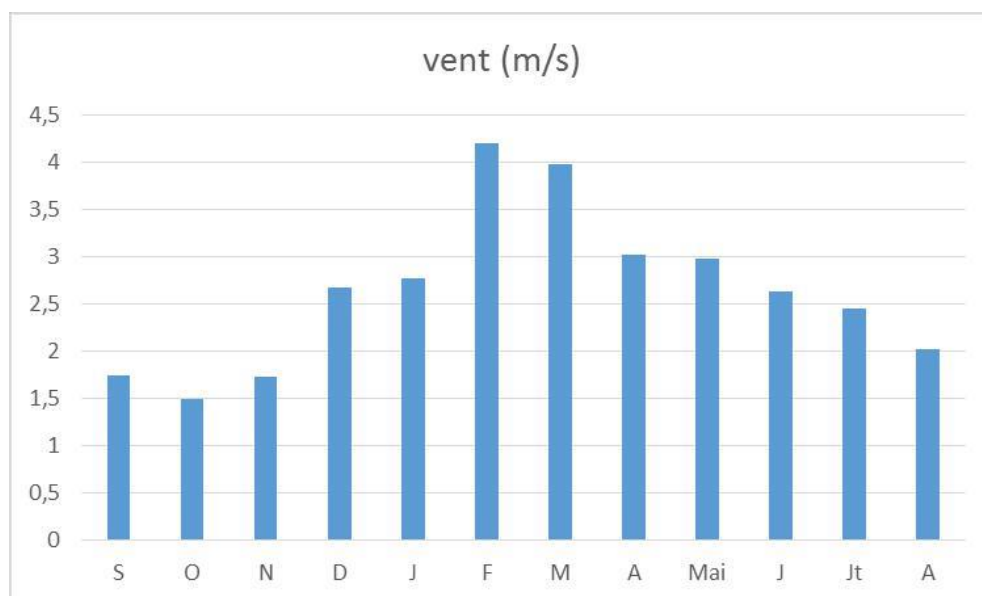
**Figure I.05** : Températures moyennes mensuelles de la région de Boussaâda (1994-2016).

### I.3.4. Vents:

Le relief oriente les vents qui participent à la fois au système tellien et saharien. En hiver les hautes pressions installées sur le tell et l'atlas Saharien, engendrent les vents du Nord-Est froids et secs. En été les vents du Sud-est, très chaud sont prédominants ; le sirocco souffle en moyenne 15 jours.

**Tableau I.05 : Des vitesses moyennes mensuelles de la région de Bousaada (1994/2016).** [3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Vent(m/s)	1,75	1,5	1,73	2,68	2,78	4,2	3,98	3,03	2,98	2,63	2,45	2,03

**Figure I.06 :** Variation des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de Boussaâda (1994/2016).

La vitesse moyenne maximale du vent est de 4.2 m/s au mois de février et la vitesse minimale est de 1.5 m/s au mois d'octobre.

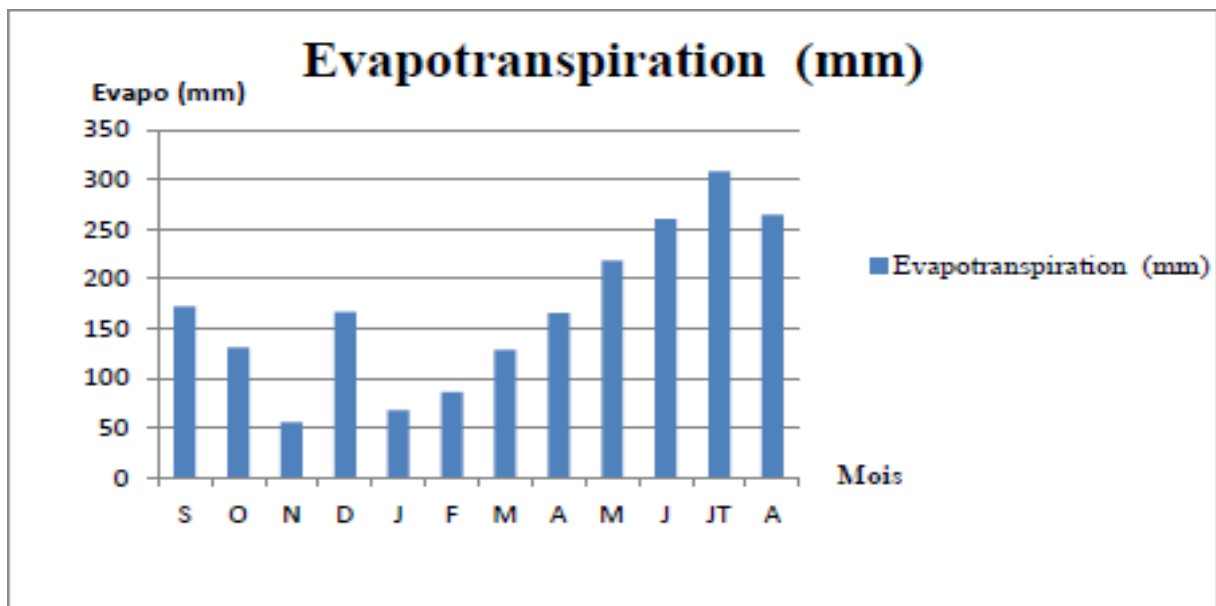
### I.3.5. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est la 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.

L'évapotranspiration est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique. Elle dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal...etc.[4]

**Tableau I.06** : Evapotranspiration en (mm) de la région de Bousaada durant la période 2004-2016. [3]

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

**Figure I.07** : 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).

#### I.4. Réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique de Bousaada est marqué par deux oueds, c'est l'oued Maitar issu du versant sud de djebel Mobakhria, et l'autre oued Bou-Saada est issu du djebel Kardada.

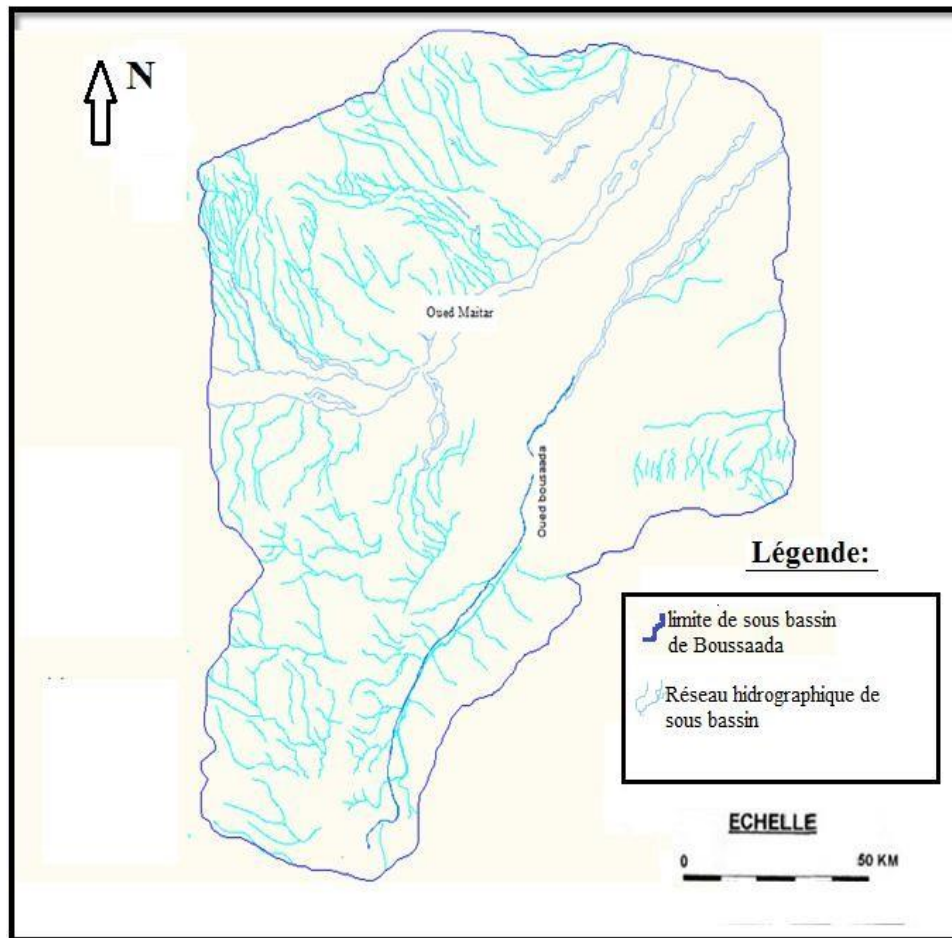


Figure I.08 : Le réseau hydrographique du sous-bassin de Bou-Saada.

### I.5. Activité de la population :

El Maadher est un village agricole où vive la majorité d'agriculteurs. L'eau jaillit abondamment grâce à la richesse de ses nappes phréatiques qui alimentent sans discontinuité les sources et les fontaines publiques. Les terres sont fertiles et les potentialités agricoles de la ville sont énormes. Malheureusement il y'a un manque d'investissement de cette terre généreuse et les résultats se font sentir au niveau des EAC (Exploitation agricole collective) où de grandes superficies verdoyantes occupent la partie sud-ouest de la ville.

### I.6. Inventaire du forage de la région de Maadher :

La zone contient un nombre important de forages et puits, le tableau (I.07) propose l'inventaire des forages exploités pour la collectivité du village Maadher. La totalité de ces

forages est alimentée par la nappe mixte du Hodna. Le tableau suivant représente l'inventaire du forage de la région étudiée.

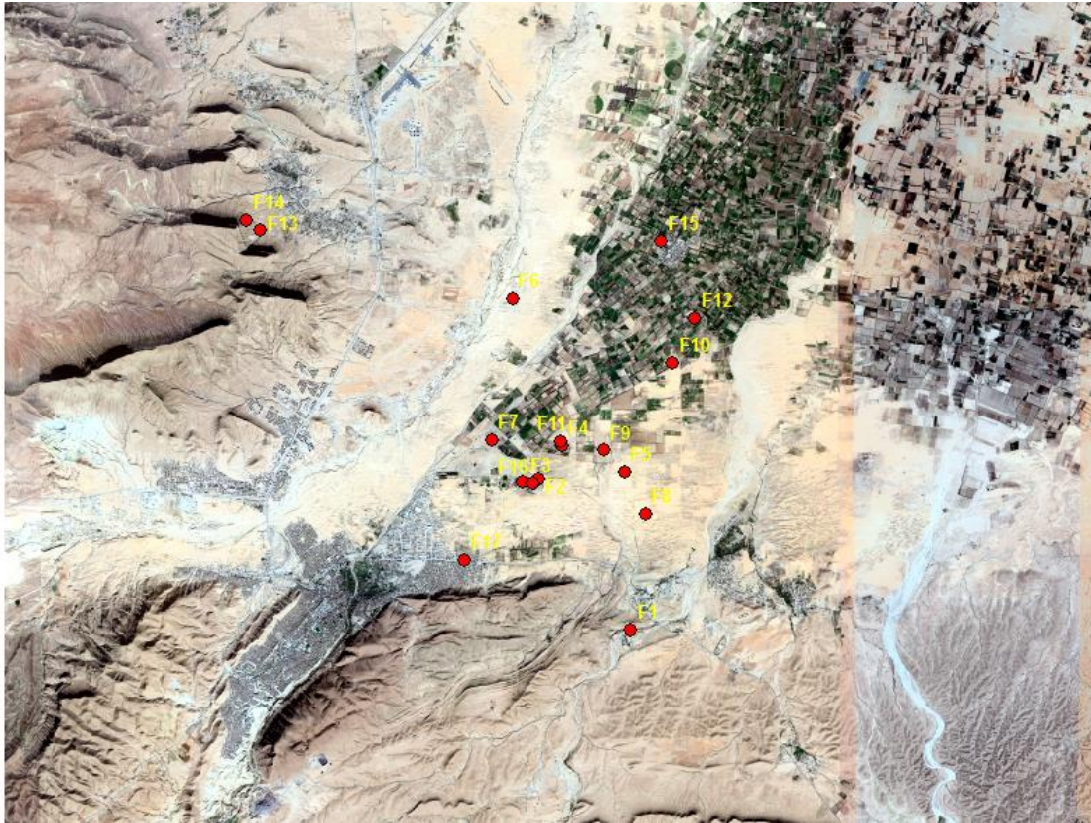
**Tableau I.07:** Inventaire des forages de la zone de Maadher. [5]

N°	Nom du forage	Les coordonnées		
		X	Y	Z
1	Romana Dahraouia	642,000	213,350	540
2	Maadher 255/232	639,800	216,800	505
3	Maadher 255/261	639,440	216,727	
4	Maadher 255/233	640,327	217,595	498
5	Maadher 255/234	641,800	217,000	490,5
6	Maadher 255/214	639,13	221	512
7	Maadher 255/214 Bis	638,695	217,703	480
8	Maadher II Nouveau	642,3	216,04	
9	Maadher 255/248	641,3	217,5	480
10	Maadher 255/236 Bis	642,853	219,554	479,98
11	Maadher 255/260	640,286	217,706	
12	Maadher 255/285	643,369	220,599	471
13	Lakfa 01 // Diss	633,239	222,470	
14	Lakfa 02 // Diss	632,924	222,713	
15	Maadher El Karia III	642,553	222,373	
16	Maadher 252/255	639,659	216,697	
17	Route Biskra	638,1	214,9	521

**I.6.1. Position des forages d'alimentation de la région d'étude:**

La position des forages destinés à la consommation humaine est dispersé dont on a la zone de Maadher qui comprend près de 17 forages.

L'implantation de ces forages sur la carte de la région d'étude nous a donné la figure suivante : (la figure est traitée par le logiciel MAP INFO).



**Figure I.09:** Inventaire des forages et localisation en fonction de l'aquifère.

**I.7.Conclusion :**

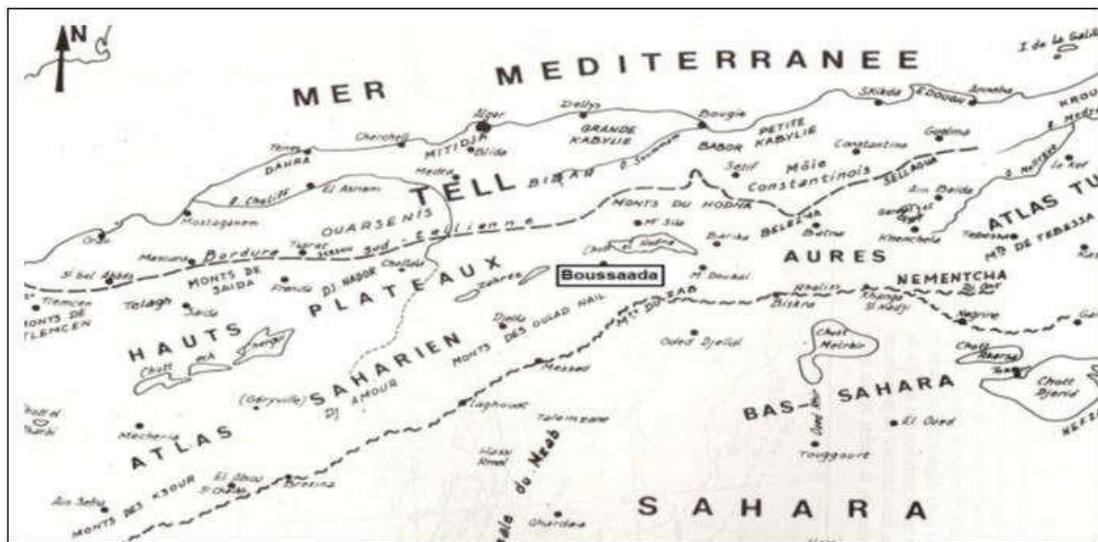
Ce chapitre décrit brièvement la zone d'étude village de Maader si situant dans la ville de Boussaâda. Il résume quelques informations concernant la situation géographique, la topographie, la climatologie et l'inventaire de quelques forages. Nous pensons que ces informations sont primordiales dans notre étude.

# **CHAPITRE II :**

L'étude géologique et  
Hydrogéologique

## II. Introduction :

L'étude géologique nous permet d'identifier les formations perméables détritiques et les formations résistantes fissurées ou karstique susceptibles d'être aquifères, ainsi que les formations imperméable qui constituent soit le toit, soit le substratum de ces informations ; leurs épaisseurs, et leurs étendues. 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 va caractériser chaque type de nappe et permettent la communication probable entre les aquifères. [01]



**Figure II.01:** Localisation de Boussaâda dans l'ensemble géomorphologique du Nord de l'Algérie. [06]

### II.1. Zone de Boussaâda :

C'est la rive sud du Chott, caractérisée par l'absence de Miocène marin et une épaisseur de Tertiaire moins importante qu'au Nord du Chott :

- À l'Est et au Sud par les pointements jurassiques des Fennd et le massif du Meharga.
- Au Sud-ouest l'anticlinal du Dj Kerdada.
- À l'Ouest les Djebels de Zemra et Selat. Par ailleurs, la ville de Boussaâda et l'Oued Temsa Maïter délimitent deux zones structurales distinctes.
- Au Nord un plateau rattaché aux Hautes Plaines Algéroises.
- Au Sud une partie plissée rattachée à l'Atlas Saharien. Une grande faille E-O sépare les deux zones. [07]

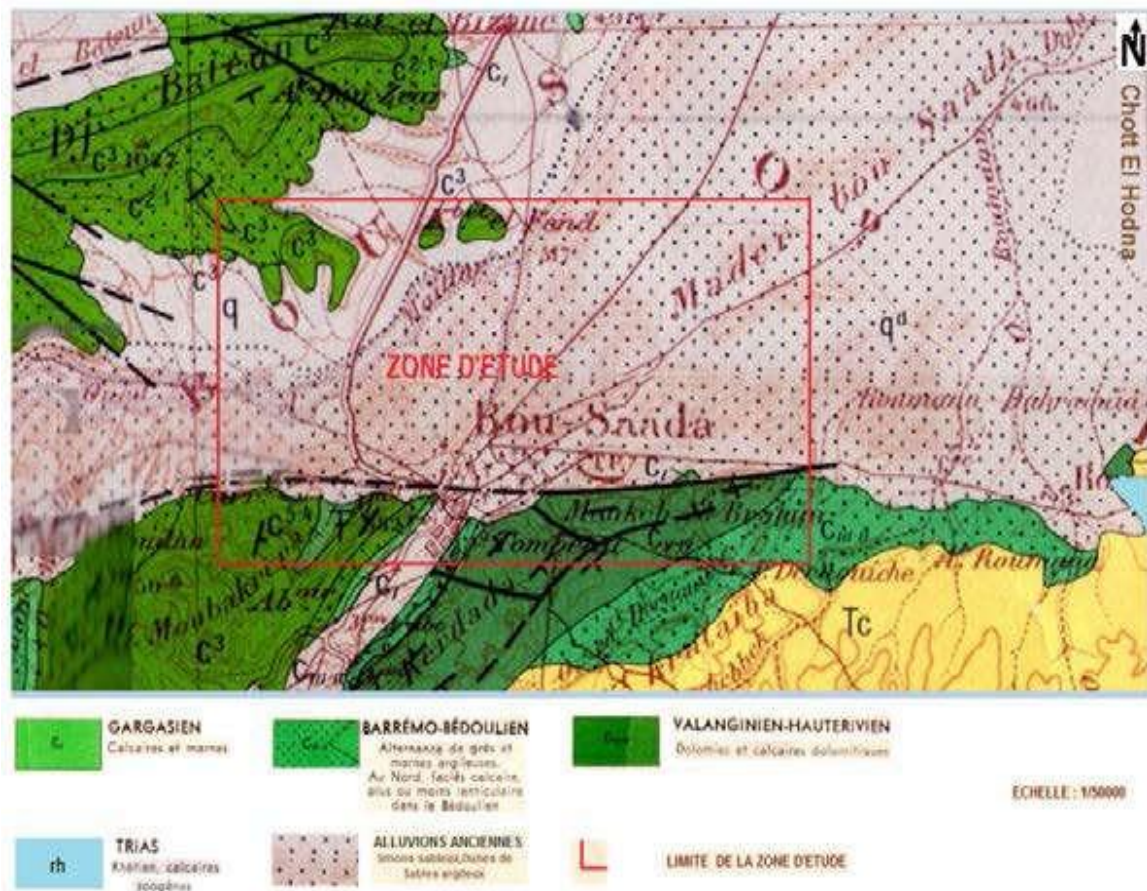


Figure II.02: extrait de la carte géologique du Boussaâda. [03]

### II.1.1. Éléments de Stratigraphie :

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 MAITER, des sables souvent chargés en matière argileuse, ils proviennent de l'érosion de grès.

- **Tertiaire continental :**

Ces formations sont localisées au Sud de Boussaâda, elles sont constituées par des dépôts d'argilerouge et de sables. L'épaisseur de ces formations est très variable de 50 à 250 m.

- **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 Boussaâda, elles sont à prédominance carbonatée, dans lesquelles les horizons gypseux sont réduits.

- **Barrémo-Bédoulien :**

Dans la région de Boussaâda, 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 Boussaâda : 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 surmontées par une série carbonatée alternant avec des formations détritiques. Dans les Monts du Hodna, l'Albien est très réduit (calcaires et marnes) ou absent.

- **Turonien :**

Dans la région de Boussaâda, ce sont des Calcaires bitumineux en plaquettes, marnes, et dolomies surenviron 100m. Au forage de M'doukal, les dolomies sont aquifères. Au Dj Metlili la série fait 400m d'épaisseur.

- **Sénonien Inférieur :**

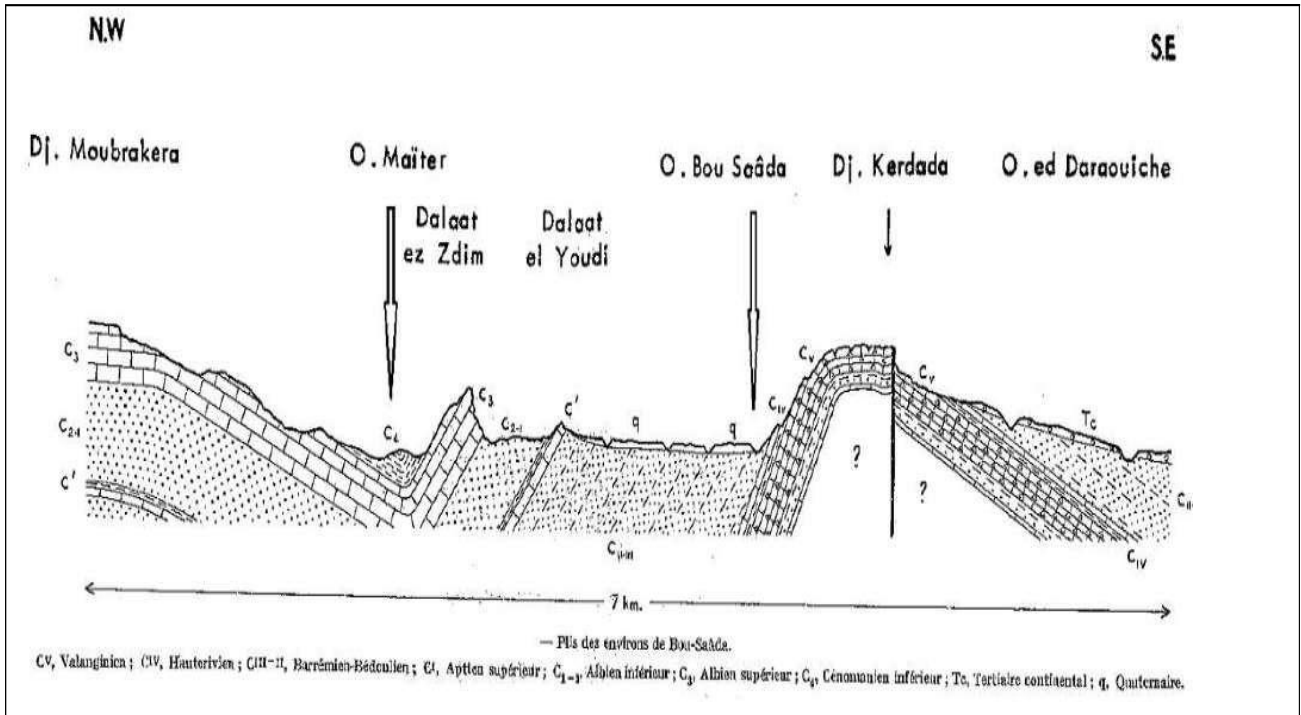
Série argileuse et marneuse de 100m, surmontée dans la région de Boussaâda par d'épais calcaires et marnes. Les marnes ont 600m d'épaisseur au Dj Metlili.

- **Tertiaire indéterminé**

Dans la région de Boussaâda, le Tertiaire est formé uniquement de dépôts continentaux : argiles rouges et conglomérats d'âge indéterminé.

- **Quaternaire**

Alluvions récentes et formations dunaires ; limons sableux et niveaux grossiers à galets en périphérie des formations pontiennes [3].



**Figure II.03:** Coupe géologique de la zone de Boussaâda. [01]

### II.1.2. Géomorphologie de la région d'étude :

La région El Maadher située au Nord de la ville de Boussaâda et au sud de la plaine de Hodna, appelée aussi Ramel (sable), est constituée de dunes de sable, de dépôts alluviaux récents et de collines rocheuses isolées (par exemple, Djebel Meharga de 900 m). Au sud, à ça. Entre 550 et 850 m, le paysage est constitué de collines rocheuses et de grands glacis (ou frontons) constitués de sable, de graviers, de cailloux cimentés localement. Cette zone est soumise en permanence à l'érosion éolienne due à la texture sableuse, et de travail du sol et à la sédimentation (lavage des plaques et vent). Il est drainé par de nombreux oueds qui lessivent les sels en profondeur et amènent les limons aux sols.

**II.1.3: La lithologie :**

D'une manière générale de l'étude géologique, nous ressortons les différentes formations lithologiques :

D'après les coupes géologiques (1) et (2) situent dans la figure II.04 et qui sont construites à partir de forages à profondeurs variantes, ceux-ci permettent la reconstitution lithologique de la région.

D'après la figure II.05 la coupe (1) avec des forages dont la profondeur dépassant les 250 m aboutit des formations correspondant au Miocène indifférencié.

De même pour la figure II.06 la coupe (2) traverse entre autres le chott, renferme de formation datant du quaternaire surmontant des couches plus profondes du Mio-pliocène.



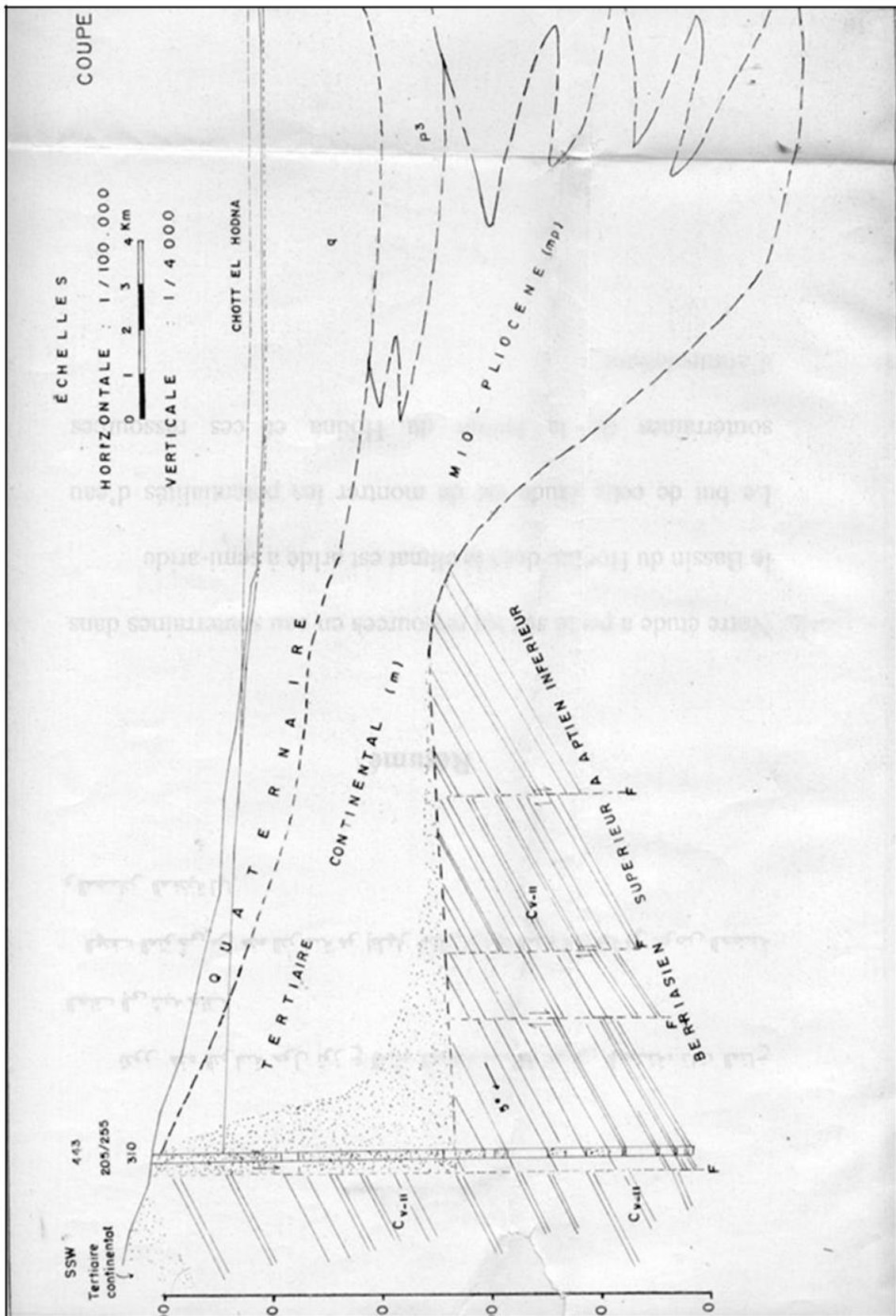


Figure II.05: Coupe géologique du forage Maadher (235/255) suivant la figure II-5. (FAO 1973). [08]

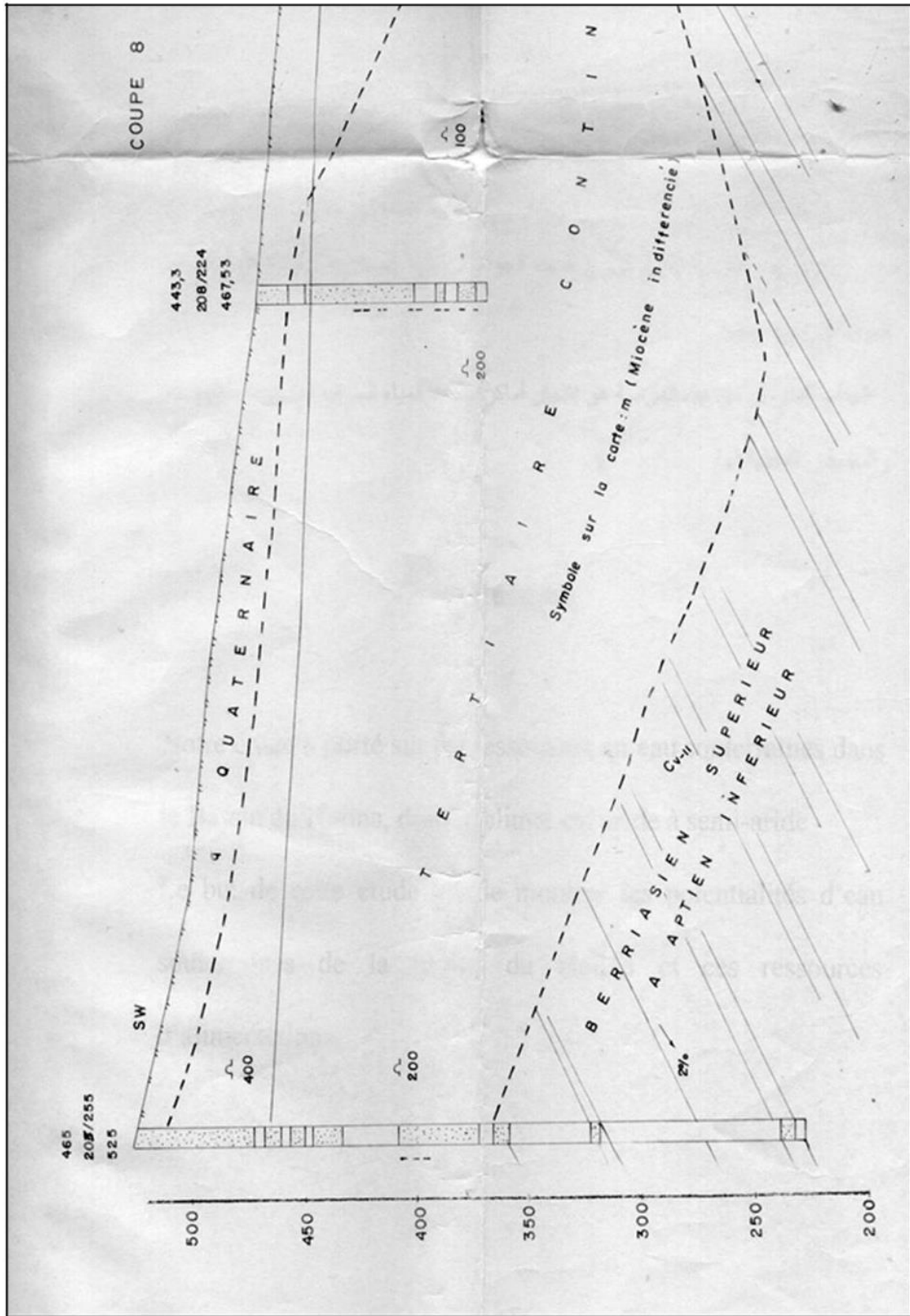


Figure II.06: Coupe géologique du forage Maadher (233/255) suivant la figure II-6 (FAO 1973). [08]

**II.2. Identification des formations hydrogéologiques :**

Nous nous sommes basés dans cette phase de l'étude sur l'inventaire réalisé par l'ADE (ANRH) en 1973 ainsi que sur les coupes hydrogéologiques que nous avons pu établir. La région Maadher se caractérise ainsi par l'existence de deux aquifères :

Il ajoute que l'attractivité de cette paisible localité s'explique par l'existence d'une nappe phréatique peu profonde (plus de 100 mètres), Maadher étant située dans la région du Chott de la Hodna, est alimentée en permanence par l'électricité et est avantagée surtout par une distance relativement proche de la capitale (240 km). Dans une des exploitations, un groupe d'hommes procède au nettoyage des légumes, dont la betterave, la carotte et la salade frisée, largement cultivées au début de l'été, par «le même procédé que celui pratiqué dans la banlieue algéroise depuis la période coloniale», précise-t-il. Cela étant, poursuit-il, les agriculteurs sont de plus en plus nombreux à cultiver une large gamme de fruits et légumes, notant que la culture d'abricots s'est particulièrement développée ces dernières années à Maadher, si bien qu'elle a attiré des investisseurs de renom, à l'instar des groupes agro-alimentaires florissants Ce-vital et Amor Benamor. Ce dernier a misé sur la transformation de ce fruit traditionnellement associé à la région de N'gaouès à Batna. Maadher a également attiré un autre fleuron de l'industrie algérienne, la laiterie Soummam, laquelle a investi dans la production du lait de vaches, contribuant ainsi à la création d'emplois dans une région qui n'en offre pas tellement.

**La nappe phréatique:** Elle se localise dans les accumulations alluvionnaires des oueds tels qu'Oued Boussaâda. Cette nappe est essentiellement alimentée par les précipitations et l'infiltration des eaux d'irrigation.

**La nappe profonde de Mio-pliocène :** L'importance de cette nappe se voit en allant vers le Nord de la région où elle est particulièrement exploitée et son épaisseur devient plus. Elle est constituée essentiellement d'une alternance de couches d'argiles imperméables à passer de sable et cailloutis.

**La nappe de l'éocène Inférieur :** Cette nappe affleure au nord de la région et devient de plus en plus profonde en allant vers le sud (profil A-B). Son réservoir est constitué surtout de calcaire et calcaire marneux. Les différents sondages réalisés montrent que les calcaires Eocène présentent un réseau de diaclases dense d'origine tectonique et karstique. C'est la nappe la plus exploitée, notamment en s'étendant au nord et au centre de la région.

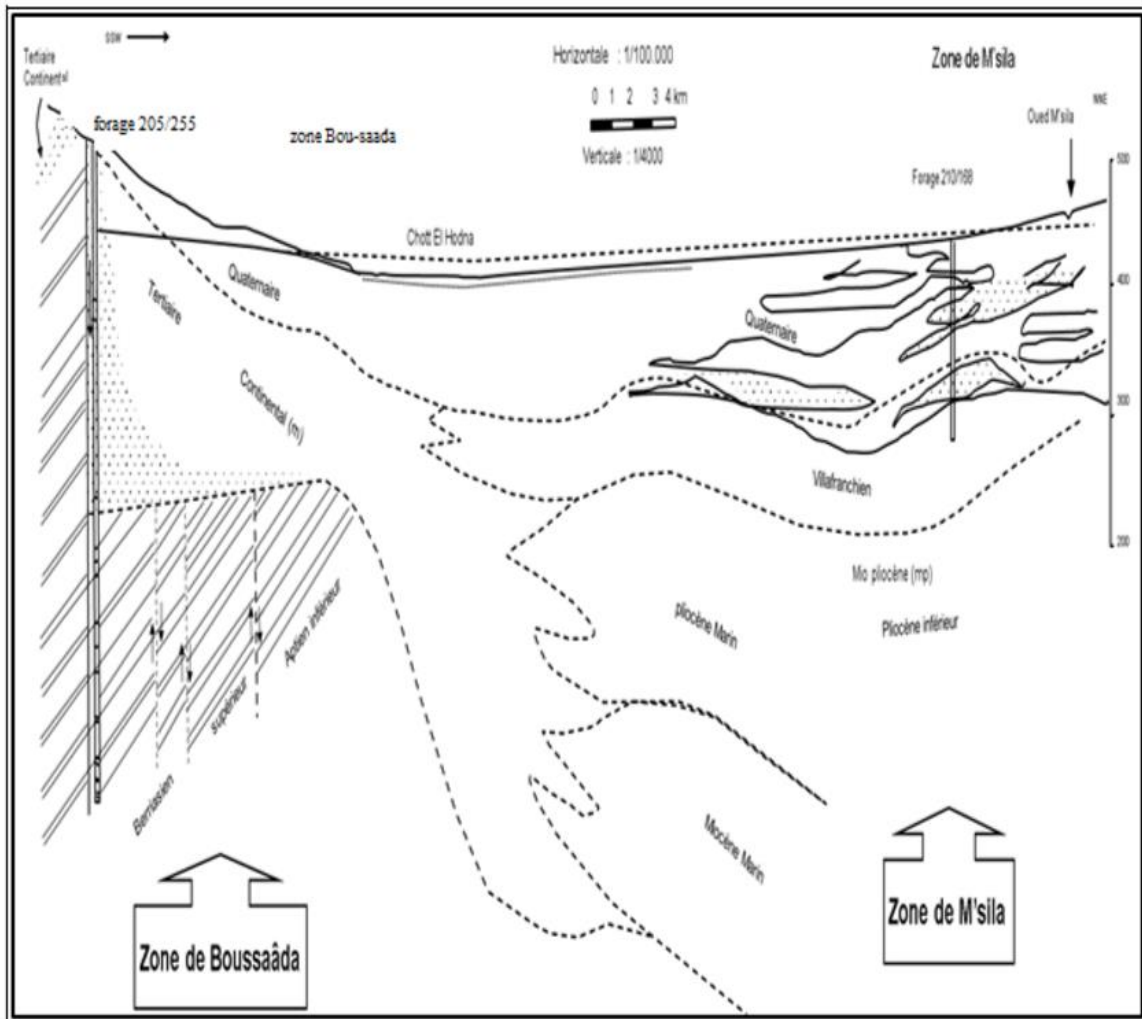
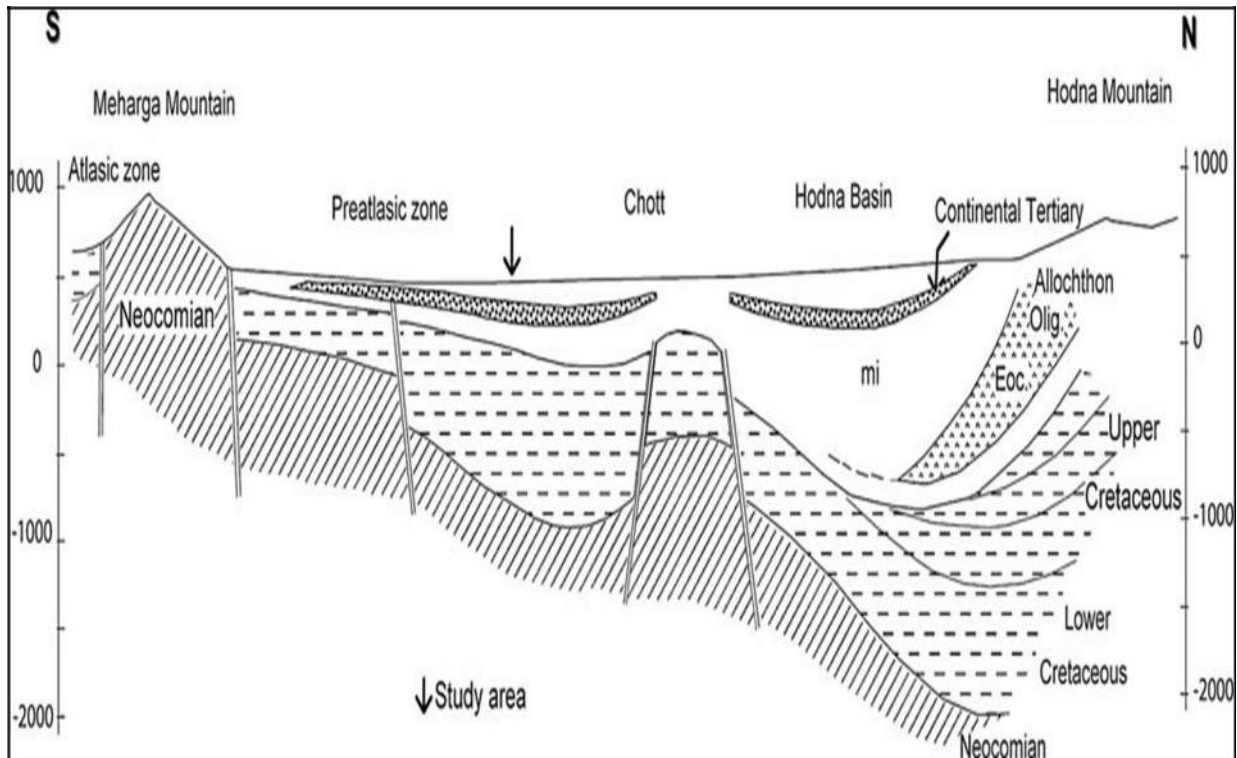


Figure II.07: Coupe géologique de forage Maadher (205/255) suivant la Figure II.06. [08]

**II.2.1. 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 de 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 : les TDS varient de 0,5 à 250 g / L. L'aquifère profond est constitué de marnes et de conglomérats intercalés (Tertiaire continental) (Figure. 11).



**Figure II.08:** Coupe schématique du bassin de Chott El Hodna Altitude et profondeur / mètre.

Cette formation a 100-400 m d'épaisseur, repose sur presque toutes les formations plus anciennes. Il collecte leur eau et constitue le principal aquifère. L'eau est 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. La salinité de l'eau de forage est comprise entre 0,5 et 5 g / L. 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 en charge. À l'heure actuelle, un abaissement du niveau des eaux souterraines supérieur à 15 m depuis les années 1970 a été enregistré (ANRH 2006). La simulation de scénarios de pompage d'eau (ANRH 2007) montre que l'abaissement du niveau des eaux souterraines en dessous du niveau du Chott pourrait entraîner un renversement de la direction du flux d'eau salée du Chott vers l'aquifère, ainsi que de graves dommages au développement économique de la région.

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 Beniane, 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. [09]

### II.2.2. Les eaux souterraines :

Les formations aquifères 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 très salés par conséquent ceci affecte les eaux de ces 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.

**Nappe captive** : Son aquifère est constitué par des conglomérats du Mio-Pliocène situé au sud du Chott. Les eaux souterraines 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 sources.

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

Source d'Ain Sefine, source d'Ain M'guer, source d'Ain N'guaous, source d'Ain Tinibaouine, ajouter à cela les sources issues d'un aquifère Albo-Aptien [09].

**II-3 Conclusion**

Selon ce chapitre, on comprend que bousaada possède une géologie riche et diverse et cela aura une influence sur les eaux souterraines et leurs compositions.

Selon une étude hydrogéologique de la région, BOUSAADA renferme des nappes alimentées par la nappe mixte de Hodna. Ainsi, ces études permettront aussi de déterminer la qualité des eaux souterraines et faciliter de savoir pourquoi la composition de l'eau des forages se varie d'un forage à un autre.

**CHAPITRE III :**  
**Qualité des eaux et**  
**pollution des nitrates**

### III. Introduction :

L'eau potable est destinée à la consommation humaine, elle ne doit pas représenter un danger sur la santé des usagers. Pour vérifier cette condition, il faut passer par le contrôle de diverses caractéristiques regroupant de nombreux paramètres. De manière générale celles-ci peuvent être classées comme suit :

- 1)- Caractéristiques physiques ou organoleptiques.
- 2)- Caractéristiques chimiques et physico-chimiques.
- 3)- Caractéristiques bactériologiques.

#### III.1. Les normes de potabilité :

##### III.1.1 Les paramètres organoleptiques :

- **La 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.

- **L'odeur et la 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.

##### III.1.2 Les paramètres physico-chimiques :

- **La température :**

La température est un facteur écologique important dans les milieux aqueux, son élévation peut perturber fortement la vie aquatique [10]. Il est important de connaître la température de l'eau, car elle joue un rôle important dans la solubilisation des sels minéraux et des gaz particuliers, elle influe sur la solubilité de l'oxygène dans l'eau et la cinétique des réactions biochimiques, par conséquent la température influe également sur le pouvoir autoépurateur des cours d'eau [11]. La norme algérienne fixe la température à 25°C.

- **Le potentiel hydrogène (pH) :**

L'eau renferme des ions  $H^+$  et  $OH^-$  libres (qui ne sont pas combinés pour donner des molécules du liquide). Le taux de concentration en ion  $H^+$  est le potentiel hydrogène (PH) du milieu. Il mesure la valeur de dissociation en ions des acides et des bases (produits alcalins) en solution dans l'eau. Le pH varie entre 0 et 14 ; 7 étant le pH correspondant à la neutralité. Une eau est d'autant plus acide lorsque son pH (inférieur à 7) est plus près de la valeur 0, et d'autant plus alcaline lorsque son pH (supérieur à 7) est plus près de 14 [12]. Le tableau 2 représente la classification des eaux selon leur pH :

**Tableau III.01:** Classification des eaux selon leur PH. [13]

pH < 5	Acidité forte présence d'acides minéraux ou organiques dans les
	Eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée → majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

- **La conductivité électrique :**

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre (S/cm). La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau [14]. Le tableau 2 représente la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité.

**Tableau III.02:** Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité. [15]

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$	Minéralisation
$\text{Cond} < 100$	Eau de minéralisation très faible
$100 \leq \text{Cond} < 200$	Eau de minéralisation faible
$200 \leq \text{Cond} < 400$	Eau de minéralisation peu accentuée
$400 \leq \text{Cond} < 600$	Eau de minéralisation moyenne
$600 \leq \text{Cond} < 1000$	Eau de minéralisation importante
$\text{Cond} \geq 1000$	Eau de minéralisation excessive

- **La turbidité :**

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute. Elle est causée par la présence des matières en suspension fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organiques ou minérales. L'unité de mesure utilisée pour exprimer la turbidité est : NTU = Unité de Turbidité Néphélométrique [14].

- **La dureté :**

La dureté de l'eau est associée à la présence d'ions métalliques bivalents en solution comme le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) [16].

- **Matières en suspension (MES) :**

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, elles déterminent la turbidité de l'eau, elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique [17]. Les concentrations en matières en suspension dans les eaux sont très variables et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l [18].

- **Résidu sec à 105° :**

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux), obtenue après une évaporation d'eau. Une eau dont la teneur en résidu sec est extrêmement faible peut être acceptable à la consommation. Le résidu sec à 105°C est déterminé par la relation suivante :

$$(\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions}) - 1/2 [\text{HCO}_3^-]$$

- **Minéralisation globale :**

La minéralisation globale est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Elle est en fonction de la géologie des terrains traversés [10]. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont peu minéralisées, tandis que celles circulant dans des sous-sols à roches sédimentaires le sont nettement plus minéralisées [11]. Parmi ces minéraux:

- \* **Calcium :**

Le calcium est l'un des éléments constitutifs majoritaires des roches carbonatées. La concentration en calcium dans les eaux souterraines est contrôlée par la solubilité de certains minéraux. C'est le composant majeur de la dureté de l'eau, des concentrations en calcium de plus de 200 mg/l diminuent les possibilités d'utilisation de l'eau (Formation de dépôts calcaires) [19].

- \* **Magnésium :**

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes. Le magnésium est un élément important pour la croissance et pour la production de certaines hormones, il intervient également dans de nombreux systèmes enzymatiques. Un déficit entraîne des troubles neuromusculaires voire des manifestations cardiaques [20].

- \* **Sodium :**

Le sodium est un élément constant dans l'eau, il peut provenir de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, et d'autres éléments. Le sodium est un élément vital qui participe à des fonctions essentielles, c'est un métal très abondant dans la nature ne se rencontre pas naturellement à l'état natif (naturel) mais, toujours associé à d'autres

éléments chimiques (chlorure, sulfate). Le principal minéral contenant du sodium et l'un des plus répandus est le chlorure de sodium (sel gemme) [20].

**\* Potassium :**

Le potassium est présent dans l'eau à des teneurs ne dépassant pas habituellement 10mg/l à 15mg/l. Certains rejets industriels, en particulier de mines de potasse et d'usines d'engrais, peuvent entraîner dans l'eau des quantités relativement élevées [10].

**\* Chlorures :**

De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux ; à des concentrations variables. Des concentrations élevées de chlorure nuisent au goût de l'eau en lui conférant une saveur salée surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium, il se présente à des teneurs inférieures à 25mg/l dans les eaux courantes exemptes de pollution [20]. Les chlorures présents dans une eau peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation de l'eau à travers des terrains salés.
- Infiltration d'eaux marines dans la nappe souterraine.
- Rejets humains [14].

**\* Sulfates :**

Les sulfates sont des Composés naturels des eaux, les ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont liés aux cations majeurs, calcium, magnésium et sodium. La plupart des sulfates sont solubles dans l'eau, ils peuvent être réduits en sulfure volatilisé dans l'air en hydrogène sulfuré (HS) précipité en sels insolubles ou assimilés par des organismes vivants [20].

**• Dureté totale :**

La dureté totale est la concentration totale en ions calcium et magnésium. Elle s'effectue par un dosage de l'EDTA à pH = 10, en utilisant le NET comme indicateur [20].

### III.1.3. Les paramètres de pollution :

**• L'ammonium :**

L'ammonium peut aboutir dans l'eau par l'intermédiaire d'agents de floculation ou d'anodes en aluminium (protection cathodique contre la corrosion) [15].

- **Nitrites :**

Les nitrites sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates. Elles proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques.

Les nitrites peuvent provoquer dans certains cas des phénomènes de méthémoglobinisation pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon [15].

- **Nitrate :**

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels. Les nitrates proviennent également de l'oxydation de l'ammoniaque. Matières organiques et microorganismes → ammoniacs → nitrites → nitrates [15].

Des concentrations en nitrates supérieures à 50 mg/l sont à l'origine de méthémoglobinémie (Cyanose) des nourissants [11].

- **Phosphore :**

Les phosphates contenus dans les eaux de surface ou des nappes peuvent être d'origines naturelles, mais à l'heure actuelle leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets industriels, domestiques ou agricoles [20].

- **Les éléments indésirables Fer (Fe<sup>2+</sup>) :**

Le fer est un élément indispensable au fonctionnement du corps humain (synthèse de l'hémoglobine) il est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines :

- Lessivage des terrains.
- Rejets industriels.
- Corrosion des canalisations métalliques.

Le fer se trouve en solution dans les eaux privées d'oxygène, suivant les cas, le fer pourra exister à l'état colloïdal, sous forme de complexes organiques ou minéraux ; au contact de l'air on assiste à une précipitation due à l'oxydant ion de ce métal [20].

### III.1.4. Les paramètres bactériologiques :

Ce sont les germes indicateurs d'une pollution fécale (coliformes, streptocoques), certains germes pathogènes (salmonelles, staphylocoques, bactériophages fécaux, entérovirus) [21].

Tableau III.03: Normes algériennes de qualité des eaux potables. [22]

Paramètre	Valeur
<b>A. Paramètres organoleptiques</b>	/
- Couleur	15 à 20 mg Co-Pt
- Turbidité	5 NTU ou 15 gouttes de mastic
- Odeur et Saveur	Absence
<b>B. Paramètres physico-chimiques</b>	/
- Température .....	15 °C
- pH .....	6.5 à 8.5
- Conductivité .....	2800 $\mu$ S/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
<b><u>Paramètres concernant les substances indésirables</u></b>	/
- Nitrates $N_3O^-$ .....	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 <sub>2</sub> S .....	0.02 µg/L (absence d'odeur)
- Hydrocarbures .....	10 µg/L
- Phénols .....	2 µg/L (absence)
- Fer Fe <sup>++</sup> .....	0.3 mg/L
- Manganèse Mn <sup>++</sup> .....	0.5 mg/L
- Cuivre Cu <sup>++</sup> .....	0.05 – 1,5 mg/L
- Phosphor.....	5 mg/L
- Zinc Zn <sup>++</sup> .....	5 µg/L
- Fluor F <sup>-</sup> .....	0.3 - 2 mg/L
- Argent Ag <sup>+</sup> .....	0.05 mg/L
<b><u>Paramètres concernant les substances toxiques</u></b>	
- Arsenic As .....	0.05 mg/L
- Cadmium Cd <sup>++</sup> .....	0.01 mg/L
- Sélénium Se .....	0.61 µg/L
- Cobalt Co .....	50 µg/L = 0.05 mg/L
- Chrome hexa valent Cr <sup>+6</sup> .....	0.05 mg/L
- Mercure Hg <sup>++</sup> .....	1 µg/L
- Nickel Ni <sup>++</sup> .....	50 µg/L
<b><u>C. Paramètres bactériologiques</u></b>	
- Escherichia Coli .....	- absence dans 100 ml (eau traitée)
- Streptocoques fécaux .....	- absence dans 100 ml (eau traitée)
- Clostridium Sulfito-réducteurs.....	- absence dans 100 ml (eau traitée)

### III.2.Pollution des eaux :

#### III.2.1.Définition :

Le terme pollution peut être défini comme suit : « c'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparait 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 [23].

### III.2.2 Sources de pollution :

On distingue deux sources de pollutions à savoir :

- **Pollution ponctuelle :**

Les rejets localisés abondants et identifiables, chroniques ou dus à des accidents, sont responsables de la pollution ponctuelle, cette pollution est provoquée par des déversements domestiques, urbains, ou industriels peu ou non traités.

- **Pollution urbaine :**

Les eaux usées urbaines transportent des corps en suspension et en solution comme les produits ménagers. Les stations d'épuration ne traitent que 65% des eaux usées et ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution.

Certains composés organiques notamment les phosphates sont à l'origine de déséquilibres des écosystèmes en favorisant par excès le développement de certains végétaux indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui s'y trouvent [24].

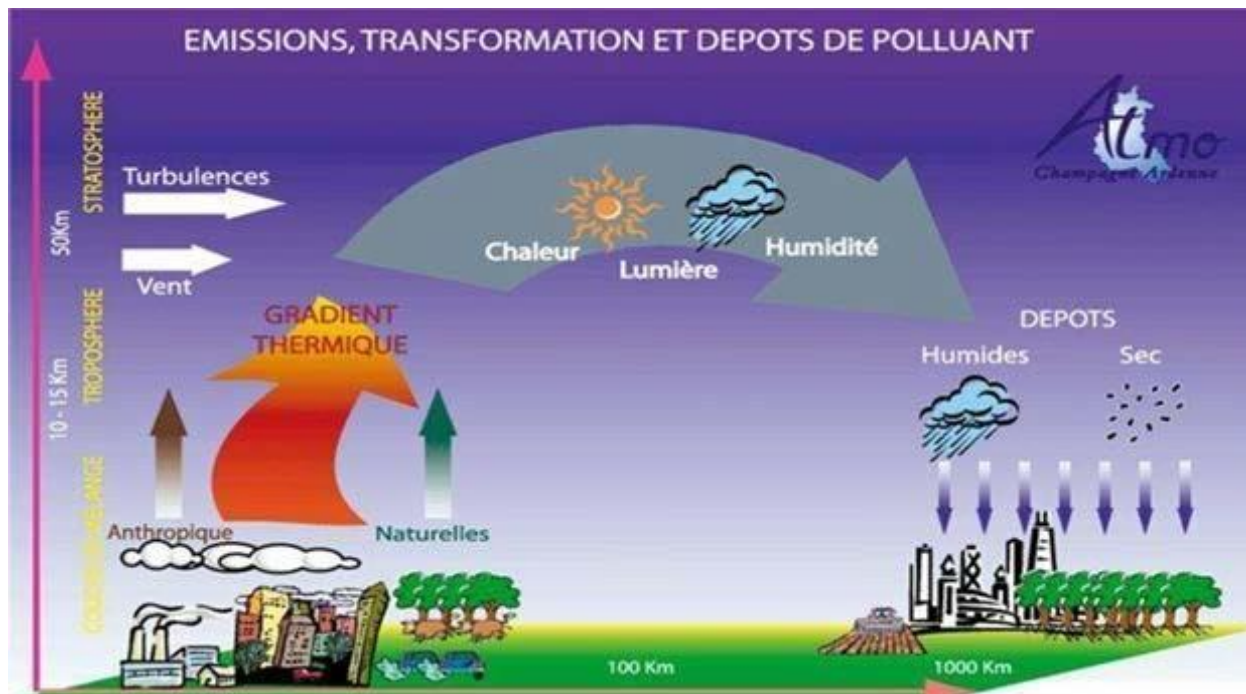
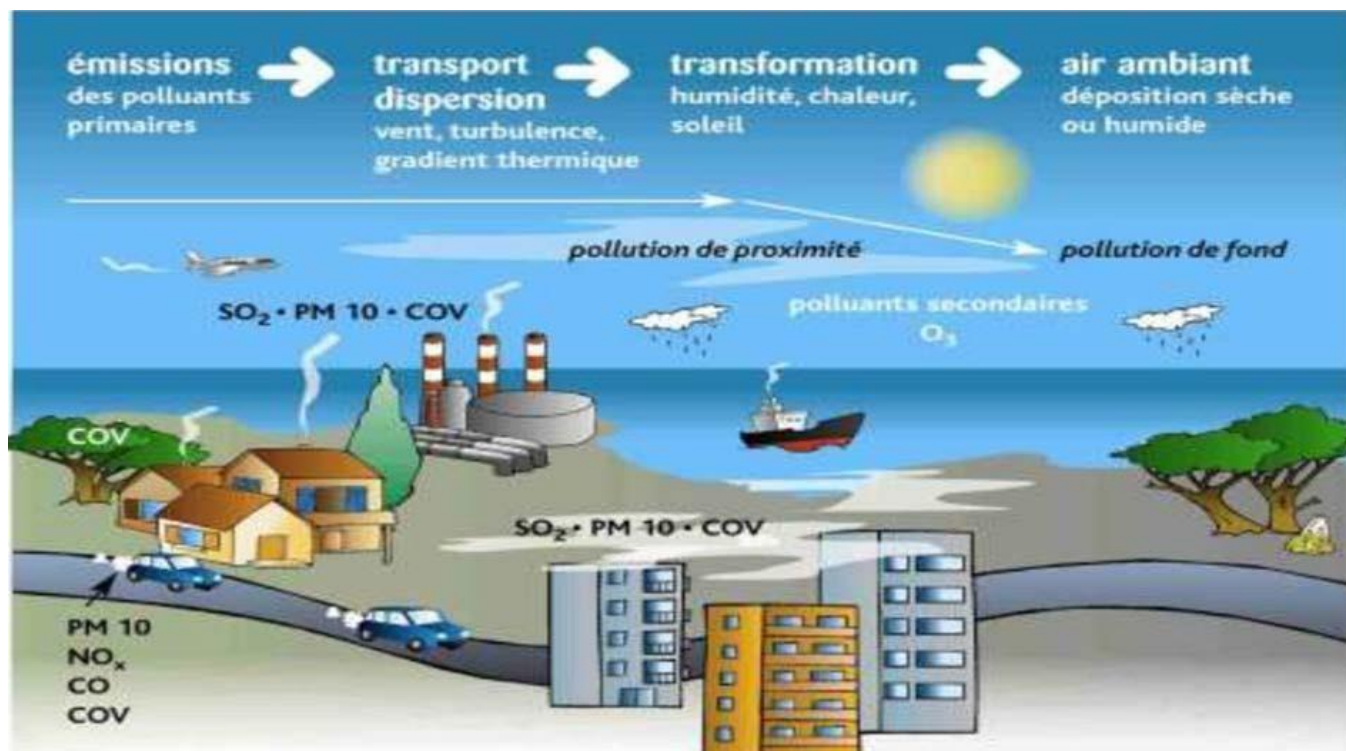


Figure III.01: Les pollutions des eaux par l'urbanisme. [25]

- **Pollution industrielle :**

Une usine doit être équipée d'une station d'épuration (STEP). Un traitement primaire élimine les matières en suspension (ex. : résidus de lavage, corps gras, huiles), puis un traitement secondaire élimine les matières en solution (ex. : métaux lourds). En réalité, seulement 65% des eaux usées passent en station d'épuration ou le traitement secondaire n'est généralement pas mis en application (bien souvent pour des raisons de coût [24]).



**Figure III.02:** Les pollutions des eaux produites par l'industrie. [25]

- **Pollution diffuse :**

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée des sols. Différentes substances sont conduites vers les nappes et les rivières telles que les hydrocarbures les métaux lourds, les pesticides. Cette pollution peut s'élargir sur de grandes surfaces. Il est difficile de l'identifier et donc difficile à maîtriser.

- **Pollution agricole :**

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

Les phosphates et les dérivés de l'azote (spécialement les nitrates) causent des déséquilibres dans les milieux recevant les eaux de ruissellement et celles d'infiltration provenant de l'agriculture en favorisant le développement des algues qui prennent place à toute autre forme de vie à cause de leur sur développement.

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 conçus pour être vite neutralisés avec une durée de vie très courte quand ils sont dissous dans le sol, mais l'utilisation de mauvaise préparation risque d'avoir des effets graves d'intoxication. L'accumulation de ces produits dans les cours d'eau peut avoir un effet important sur le milieu marin, à l'endroit même où se déversent des fleuves.

- **Pollution atmosphérique :**

L'atmosphère terrestre au cas où elle comporte des polluants peut être une source de pollution. En effet en cas d'orage, les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration des polluants menaceront les eaux souterraines et les eaux superficielles. Cette contamination qui risque d'être durable entraîne de grande difficulté de traitement.

### **III.3. Les principaux polluants des eaux :**

#### **III.3.1. Les matières en suspension :**

Les matières en suspension sont de fines particules, présentes naturellement dans l'eau des rivières pour les uns (planctons, débris végétaux fins, minéraux), elles sont aussi des polluants d'origine humaine pour d'autres (matières organiques et minérales). Elles peuvent réduire la transparence de l'eau (turbidité), ce qui forme un danger pour la biologie des cours d'eau.

#### **III.3.2. Les matières organiques :**

Quelques rejets contiennent des matières organiques. Ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en CO<sub>2</sub> 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 une demande biologique en oxygène. D'une autre manière, la quantité d'oxygène consommée par des micro-organismes pour sa biodégradation. On mesure aussi " la demande chimique en oxygène"

(DCO), c'est-à-dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut l'être par voie chimique.

### **III.3.3. Polluants métalliques et les polluants chimiques persistants :**

Certains polluants chimiques sont généralement persistants, ils résistent à la dégradation chimique et biologique est forme une famille de polluants très dangereux avec les métaux lourds. Cette famille de polluants, absorbés par des plantes ou des petits animaux, s'accumule et se concentre au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme.

### **III.3.4. Les sels minéraux :**

Les sels minéraux sont présents naturellement dans l'eau, en quantité variable. La composition minéralogique de l'aquifère ou des rejets industriels peuvent faire élever les concentrations de sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium). Mais cela peut être néfaste à la santé humaine.

### **III.3.5. Polluants microbiologiques de l'eau :**

Peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils ont un danger pour la santé humaine, et limitent alors les usages de l'eau (baignade, élevage de coquillage).

### **III.4. Lutte contre la pollution (prévention à la pollution) :**

Les mesures à prendre pour lutter contre la pollution des eaux souterraines :

- Règlementation des rejets industriels et épuration des eaux usées.
- Lutte contre la pollution agricole par l'adaptation des pratiques culturales (dose, période d'épandage des engrais).
- Règlementation et protection des dépôts des déchets de toutes natures.
- Etablissement des périmètres de protection des eaux captées pour l'alimentation humaine.

Il faut noter ici que l'outil le mieux adopté à la prévention techniquement et économiquement est le modèle mathématique de simulation hydrodynamique et hydrochimique [26].

### **III.5. L'azote :**

L'azote est un élément important dans la constitution de nombreuses molécules organiques (les acides aminés et protéines, en particulier) [27]. Pour survivre, se développer et se reproduire, les plantes ont besoin de ressources, c'est-à-dire de source d'énergie naturelle ou des matières premières, comme l'énergie lumineuse, l'eau et les éléments nutritifs disponibles dans le sol, essentiellement l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) ainsi que d'autres macro et microéléments. Au niveau nutritif, l'azote est considéré comme le principal élément limitant la croissance des plantes [28].

**III.5.1. Différentes formes de l'azote :**

L'azote peut exister sous trois formes principales :

- **Gazeuse :**

Il constitue 78% de l'atmosphère.

- **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 [29].

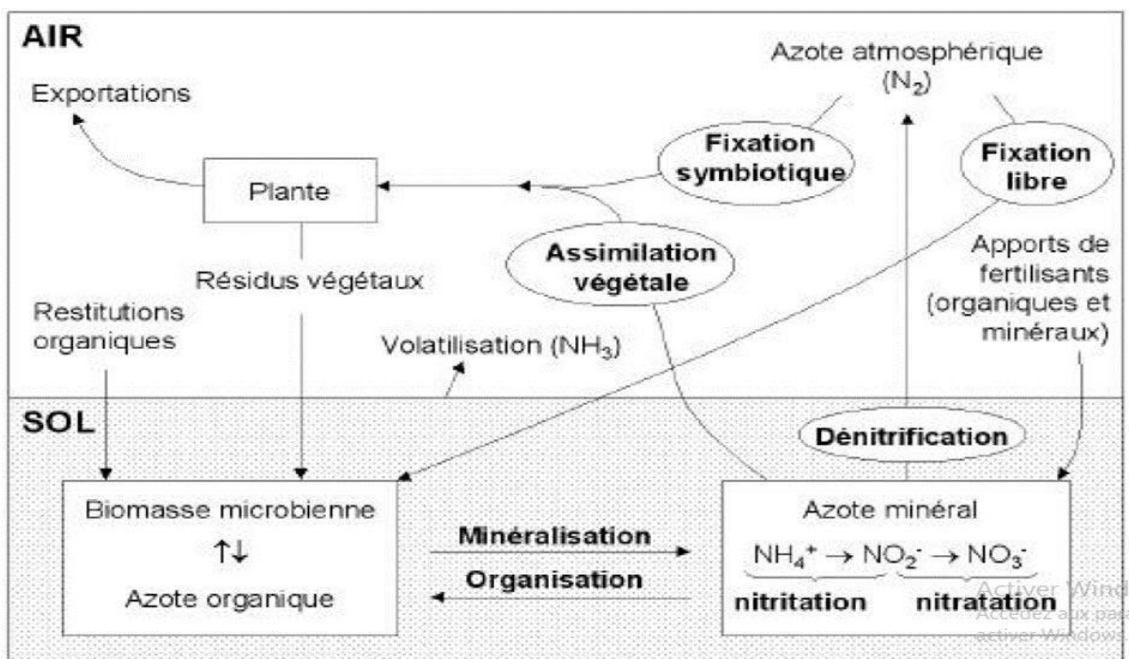


Figure III.03: cycle de l'azote dans le sol. [29]

**III.5.2. Origine des nitrates :**

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

- Nitrates provenant de sol forestier ancien.
- 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, l'industrialisation et la pratique de l'élevage intensif.

Toutes ces causes montrent que la contamination des nappes souterraines par les nitrates est due à l'utilisation des engrais en agriculture.

### **III.5.2.1. Nitrates provenant de l'agriculture moderne :**

Le responsable essentiel de hauts niveaux de nitrates et de phosphates est l'agriculture intensive. Les engrais minéraux apportés aux plantes (ils facilitent leur croissance) et les effluents d'élevage (déjections animales au sein des fumiers et lisiers) sont à l'origine de cette pollution. 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.

Quelles que soient la profondeur de la nappe et la vitesse d'alimentation, les nitrates sont identifiés dans les eaux souterraines de moins de trente ans d'âge avec une proportion d'autant plus grande que l'âge de la nappe est nouveau.

Dans les plaines où l'infiltration est assez rapide, l'étude isotopique a montré que l'origine multiple des nitrates dans les eaux souterraines est agricole, lié l'épandage d'engrais artificiels et d'engrais naturels.

### **III.5.2.2. Nitrates d'origine animale :**

L'activité agricole est orientée vers l'élevage intensif qui produit des quantités importantes de fumiers et de lisiers 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 ha, la production d'azote d'origine porcine par ha et le rapport de la surface en culture fourragère. La teneur en nitrates des eaux souterraines s'accroît avec les charges de porcines et de bovins à l'hectare dont les contributions respectives sont pratiquement identiques.

### **III.5.2.3. Nitrates d'origine industrielle :**

La contamination des nappes est élevée dans les zones industrielles, les plus anciens, ces zones contiennent plusieurs industries chimiques, dans les usines d'engrais et anciennes gravières remblayées par des déchets industriels, et dans des résidus de la fabrication des produits chimiques.

### **III.5.3. Effet de nitrate :**

#### **III.5.3.1. Effets connus sur la santé humaine :**

L'ingestion de nitrates constitue un risque pour la santé humaine. Elle est liée à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. Cette réduction de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$  est le fait de bactéries ayant une activité nitrate réductase. Il ne semble pas exister d'études relatant un effet toxique chronique des nitrates qui ne soient pas liés aux effets des nitrites.

#### **III.5.3.2. Sur les plantes :**

Les effets toxiques des polluants atmosphériques azotés sur la végétation peuvent s'exercer 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 [30]. Divers symptômes montrent la toxicité de l'azote à savoir : réduction de la capacité totale d'assimilation et chute du feuillage [31].

#### **III.5.3.3. Sur les animaux :**

La toxicité de l'azote chez les animaux terrestre 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 [30].

#### **III.5.3.4. 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 [32] :

-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'oxydo-réduction du milieu ainsi qu'une modification de l'écologie de ces milieux.

### **III.6. Contamination des eaux par les nitrates en Algérie :**

En Algérie, les pratiques de fertilisation intense des sols dans quelques plaines agricoles et les rejets des eaux usées domestiques et industriels ont augmenté les concentrations des nitrates des eaux des nappes dans plusieurs régions, durant ces dernières années. Dans nombreuses enquêtes ont mis en évidence que la pollution par les nitrates des eaux souterraines a atteint un stade alarmant [33].

Le programme de surveillance des eaux de sources et de puits, effectué par le laboratoire de chimie des eaux de l'A.N.R.H, a montré la présence depuis 1994 d'une forte teneur en nitrates dans les eaux souterraines, dans le centre du pays (la plaine de Mitidja, le Haut Chélif) et à l'Ouest (Sidi Bel Abbas), avec une concentration excédant largement la dose maximale de 50 mg/l [33].

La mise en œuvre du système d'information géographique (SIG) par Abdelbaki et Boukli (2007) a permis d'établir des cartes numérisées de la qualité des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. Les résultats obtenus ont montré que ces eaux contiennent des concentrations en nitrates dépassent les normes par endroit. Par exemple au forage d'Ain Defla, la teneur en nitrates atteint 82mg/l. ces nitrates proviennent soit par la matière organique enfouie dans le sol (résidus des précédentes récoltes, humus...), soit par les engrais ou par les rejets domestiques et industriels.

### **III.7. Contamination des eaux par les nitrates dans la zone d'étude :**

Les eaux souterraines de la nappe d'El-Maadher subissent une pollution multiforme qui fragilise cette région. Essentiellement 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 menée sur des années connues entre 1976 et 2020.

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. [34]

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. [34].

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 principale (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 2016 et on utilise la méthode de Kriging par Programme ArcGis10.3.

**III.8. 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 de la commune du Boussaâda à partir du champ potentiel de captage El Maadher.

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

Dix sept échantillons d'eau de forages prélevés (Compagne, 2020) 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, 2018, 2019, 2020 et 1967.

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

**Tableau III.04:** Les paramètres physico-chimique des eaux de forages 2020.

Nom	lieu de prelevement	R.S mg/l	Cond us/cm	Ca+2	Mg+2	NH4	HCO3-	Cl-	SO4+2	TH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na+	K+

F1	Romana Dahraouia	1500,44	1980	131,2	124,41	0	305	142	640	840	87,4	130	6,3
F2	Maadher 255/232	1955,12	2580	160	136,08	0	427	71	650	960	62,4	96	8,3
F3	Maadher 255/261	2076,37	2740	160	165,24	0	366	106,5	850	1080	45,6	70	8,2
F4	Maadher 255/233	1909,65	2520	160	165,24	0	305	106,5	800	1080	113	83	7,4
F5	Maadher 255/234	2424,96	3200	192	155,52	0	427	106,5	850	1120	89,6	137	8,6
F6	Maadher 255/214	1538,33	2030	136	131,22	0	427	71	630	880	49,6	74	6,2
F7	Maadher 255/214 Bis	1343,57	1773	128	126,36	0	403	71	550	840	62	100	9
F8	Maadher II Nouveau	2280,97	3010	180,8	186,62	0	427	248,5	900	1220	37	132	7,4
F9	Maadher 255/248	2296,13	3030	184	182,73	0	427	142	900	1212	46,3	78	7,3
F10	Maadher 255/236 Bis	2440,11	3220	168	208,98	0	390	241,4	920	1280	33,3	70	7,6
F11	Maadher 255/260	2099,10	2099,10	139,2	182,73	0	403	248,5	820	1100	29	96	7,3
F12	Maadher 255/285	2265,82	2265,82	224	155,52	0	305	71	850	1200	30	87	7,4
F13	Lakfa 01 // Diss	944,21	944,21	192	97,2	0	305	177,5	320	880	33,4	83	3,1
F14	Lakfa 02 // Diss	897,23	897,23	192	106,92	0	305	142	310	920	46	73	7,35
F15	Maadher El Karia III	1301,90	1301,90	184	102,06	0	305	71	500	880	108	90	7
F16	Maadher 252/255	1376,92	1376,92	112	106,92	0	305	71	500	720	91,5	90	7,2
F17	Route Biskra	1492,86	1492,86	152	111,78	0	305	71	600	840	86,2	91	8,7

**III.9.Conclusion :**

Ce chapitre renferme l'étude d'un type de pollution dangereuse : c'est la pollution des eaux par les nitrates. L'utilisation contrôlée d'engrais industriels ou naturels et des pesticides engendre la pollution des eaux par les nitrates, des composés chimiques. Des solutions fiables doivent être proposées pour limiter ces risques pour 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 destinées aux collectivités de la ville de Boussaâda. 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.

Six périodes d'observation de 1967 au 2020 ont été prises en considération dans l'étude, les années concernées de 1967, 1996, 2006, 2014, 2018, 2019 et 2020 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. Matériels et méthodes :

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 ( $T^{\circ}$ ), et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés in situ pour éviter les changements. Les échantillons sont analysés pour les éléments : sodium ( $\text{Na}^+$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). 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 variée 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 » et en employant le logiciel ArcGIS 10.3 pour utiliser la méthode de Kriging.

#### 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 :

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différents forages, il faut analyser leur fiabilité. La méthode utilisée est la balance ionique (BI).

$$BI = \frac{\sum |r^+ - \sum r^-|}{\sum r^+ + \sum r^-} * 100$$

Avec

$\sum r^+$  : Somme des concentrations des cations en meq/L (*milliéquivalent/litre*)

$\sum r^-$  : Somme des concentrations des anions en meq/L.

Cette relation permet de définir trois classes :

**-BI < 2 %**: Bonnes analyses.

**-2 ≤ BI < 5** : Analyses acceptables.

**-5 ≤ BI**: Mauvaises analyses (douteuses).

Les valeurs de la balance ionique des données (variables) principaux de l'année 2020 sont indiquées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.01:** Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2020:

Indication	Lieu de prélèvement	Balance (%)
F1	Romana Dahraouia	-2%
F2	Maadher 255/232	0%
F3	Maadher 255/261	-5%
F4	Maadher 255/233	-2%
F5	Maadher 255/234	-1%
F6	Maadher 255/214	-4%
F7	Maadher 255/214 Bis	1%
F8	Maadher II Nouveau	-5%
F9	Maadher 255/248	-5%
F10	Maadher 255/236 Bis	-5%
F11	Maadher 255/260	-5%
F12	Maadher 255/285	3%
F13	Lakfa 01 // Diss	0%
F14	Lakfa 02 // Diss	0%
F15	Maadher El Karia III	6%
F16	Maadher 252/255	-1%
F17	Route Biskra	0%

Les valeurs de BI de l'année 2020 varient entre -5% et +6% que les ions sont prédominants dans la plupart des eaux souterraines de la région de Boussaâda.

Même chose pour les valeurs de BI pour les autres années d'observation :

- BI de (2019) entre -9% et 9%, les ions sont prédominants.
- BI de (2018) entre -5% et +4%, les ions sont prédominants.
- BI de (2014) entre -9% et +8%, les ions sont prédominants.
- BI de (2006) entre -10% et +10%, les cations sont prédominants.
- BI. de (1996) entre -4% et +10%, les ions sont prédominants.
- BI. de (1967) entre -9% et +6%, les cations sont prédominants.

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

#### IV.2.2. Traitement statistiques 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.02:**Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2020 avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 2020				
	Norme Algérienne	Min.	Max.	Moy.	Ecrat Type
RS	□ 2000 mg/L	897,235	2440,116	1773,163	<b>507,432</b>
T(c)	15 °C	/	/	/	/
Ph	6.5 à 8.5	/	/	/	/
CE 25°C	□2800 μ S/cm	1184,000	3220,000	2339,882	<b>669,612</b>
Ca <sup>2+</sup>	75 - 200 mg/L	112,000	224,000	164,424	29,277
Mg <sup>2+</sup>	□150 mg/L	97,200	208,980	143,856	34,337
Na <sup>+</sup>	200	70,000	137,000	92,941	21,206
K <sup>+</sup>	□20	3,100	9,000	7,315	1,333
TH	10-50 F°	72,000	128,000	103,059	168,668
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.05 - 0.5	00,00	00,00	00,00	00,00
Cl <sup>-</sup>	200 - 500 mg/L	71,000	248,500	126,965	65,693
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	200 - 400 mg/L	<b>500</b>	900	699,411	149,226
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	□ 50 mg/L	29,000	113,000	61,782	28,377
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	□ 350 mg/L	305,000	427,000	364,565	54,710

**Tableau IV.03:** Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2019 et avec les normes Algériennes.

Variable	Compagne 2019				
	Norme Algérienne	Min.	Max.	Moy.	Ecrat Type
RS	□ 2000 mg/L	897,235	2440,116	1773,163	<b>507,432</b>
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
CE 25°C	□2800 μ S/cm	966,000	3230,000	1764,906	579,154
Ca <sup>2+</sup>	75 - 200 mg/L	88,000	544,000	275,500	138,363
Mg <sup>2+</sup>	□150 mg/L	34,000	156,000	98,945	38,984
Na <sup>+</sup>	200	27,000	290,000	89,469	57,409
κ+	□20	0,900	11,400	5,522	1,994
TH	10-50 F°	46,000	192,000	108,594	46,234
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.05 - 0.5	00,00	00,00	00,00	00,00
Cl <sup>-</sup>	200 - 500 mg/L	67,000	479,000	257,887	137,959
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	200 - 400 mg/L	250,000	990,000	604,063	165,605
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	□ 50 mg/L	27,000	290,000	74,838	48,872
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	□ 350 mg/L	235,000	488,000	346,788	54,710

**Tableau IV.04:** Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2018 avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 2018			
	Min	Max	Moy	Ecrat Type
RS	500.00	1614.00	1174.50	326.26
T(c)	8.8	8.8	14.62	3.69
pH	6.32	7.3	6.99	0.29
CE 25°C	1453.96	2374.95	1851.57	319.66
Ca <sup>2+</sup>	173.00	256.00	207.40	28.85
Mg <sup>2+</sup>	75.00	153.00	115.60	23.35
Na <sup>+</sup>	65	159	101.8	29.34
κ+	5	17	11.5	4.14
TH	74.00	128.00	103.90	14.75
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.00	0.02	0.013	0.007
Cl <sup>-</sup>	47	253	156.5	72.17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	550	780	680.8	65.30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	37	108	83.8	19.08
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	244	427	312.5	61.8

**Tableau IV.05:** Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2014 avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 2014			
	Min	Max	Moy	Ecrat Type
TDS	418	1713	1144.3	325.64
T(c)	14	25	18.51	3.99
pH	6.51	7	6.81	0.16
CE 25°C	849.6	2519.9	2102.7	487.75
Ca <sup>2+</sup>	136	288	205.1	50.24
Mg <sup>2+</sup>	87	155	115.28	24.47
Na <sup>+</sup>	45	270	116.7	64.95
K <sup>+</sup>	5	35	13.7	9.34
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00	4,30	0,632	1,434
Cl <sup>-</sup>	106	266	182.4	51.9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	271.0	950.0	715.26	228.58
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	36	150	93.6	29.13
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	219	317	274.4	34.22

**Tableau IV.06:** Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2006 avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 2006			
	Min	Max	Moy	Ecrat Type
TDS	335	1212	931.3	264.53
T(c)	6.4	26.7	19.37	6.87
pH	6.83	7.69	7.25	0.33
CE 25°C	708.02	2398.36	1854.7	502.62
Ca <sup>2+</sup>	109	299	216	59.7
Mg <sup>2+</sup>	31	135	91.8	27.96
Na <sup>+</sup>	16	255	123.77	100.7
K <sup>+</sup>	5	35	15.22	9.54
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00	0.01	0.003	0,005
Cl <sup>-</sup>	165	288	213.33	38.18
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	243	1114	548.3	314.79
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19	222	111.3	61.36
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	171	378	285.77	55.52

**Tableau IV.07:** Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 1996 avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 1996			
	Min	Max	Moy	Ecrat Type
TDS	1206	3268	2044.2	595.76
T(c)	/	/	/	/
pH	6.8	7.6	7.07	0.2
CE 25°C	2007	5017.50	3107.13	853.19
Ca <sup>2+</sup>	88	401	246.3	79.29
Mg <sup>2+</sup>	54	190	121.4	42.09
Na <sup>+</sup>	33	250	140.66	77.11
K <sup>+</sup>	2	15	6.06	3.76
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00	0,20	0,093	0,070
Cl <sup>-</sup>	75	550	306.3	145.9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	378	1415	832.06	270.63
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22	240	81.13	70.37
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	60	205	107.6	34.86

**Tableau IV.08:** Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 1967 avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 1967			
	Min	Max	Moy	Ecrat Type
TDS	318	7178	3299	2319.31
T(c)	16	21	19	1,29
pH	/	/	/	/
CE 25°C	1611	8775	4159	2185
Ca <sup>2+</sup>	30	698	370	171.09
Mg <sup>2+</sup>	51	638	223	42.09
Na <sup>+</sup>	24	808	280	230.11
K <sup>+</sup>	0	22	7	6.4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00	0,200	0,094	0,066
Cl <sup>-</sup>	57	1882	492	511.7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	432	3150	1500	868.9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	535	88	125.8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	38	234	163	57.81

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 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des sept années d'observation ont présentés des teneurs très élevées. Les concentrations du magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sont légèrement tolérées.

En générale, les valeurs moyennes de cations sont dans l'ordre d'abondance suivant :

$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$  tandis que les anions révèlent un ordre d'abondance comme suit

$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$  pour les mesures des années (2006, 2014, 2018, 2019, 2020) et un autre ordre d'abondance  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$  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 écart-types de conductivité électrique (CE) à 25°C, de TDS et de  $\text{SO}_4^{2-}$  sont les plus remarquables, et en deuxième rang se trouve les valeurs d'écart type de  $\text{Ca}^{2+}$ , de  $\text{Mg}^{2+}$  et des  $\text{NO}_3^-$ . Ces écart-types indiquent soit la présence d'échanges entre les différentes nappes de l'aquifère mixte (phréatique et profonde).

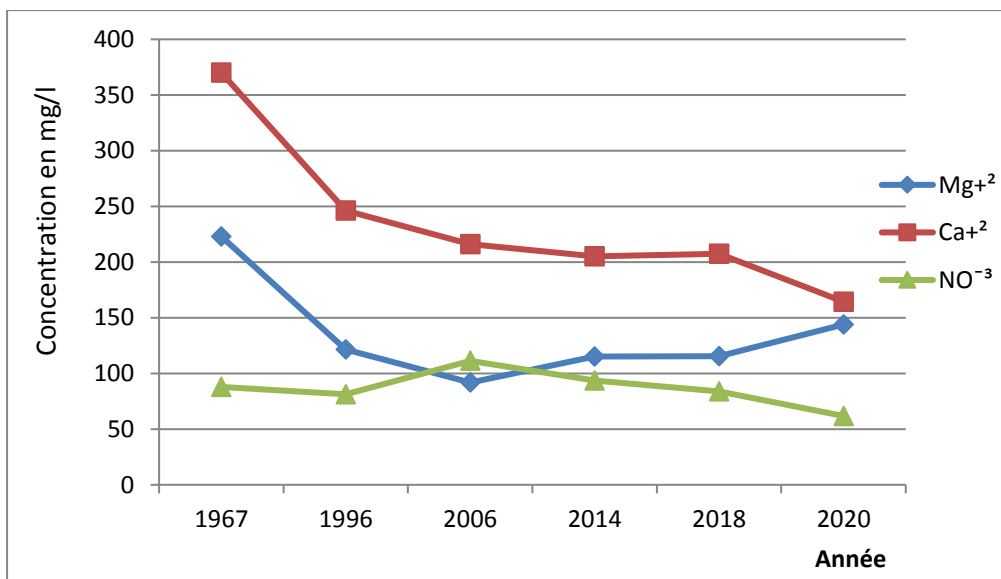
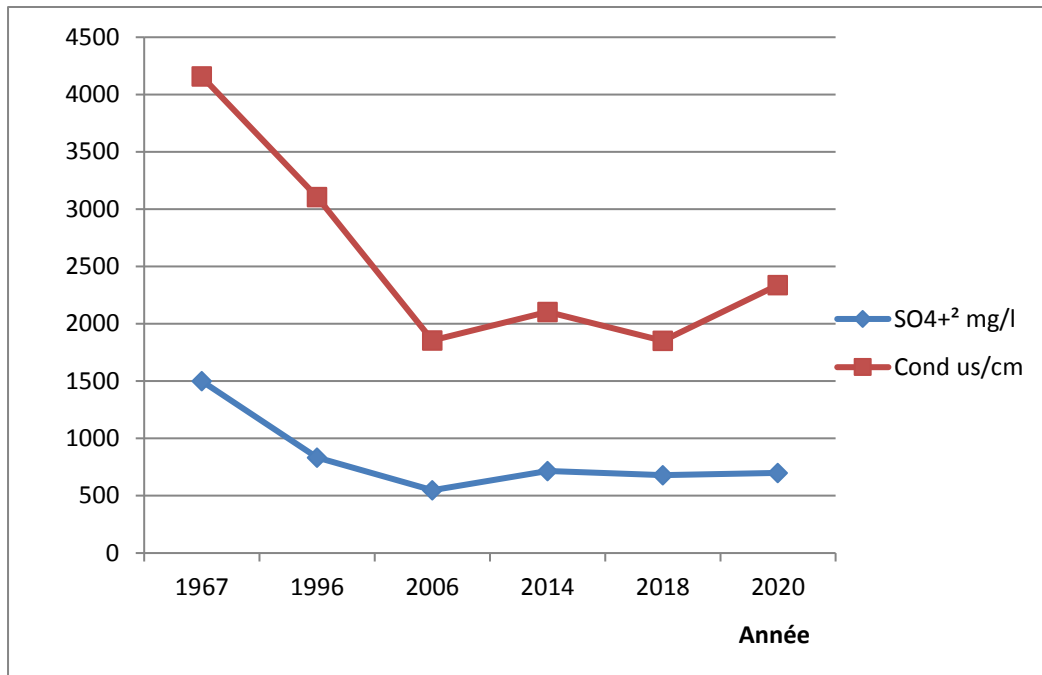


Figure. IV.01: Evolution temporelle les valeurs moyennes de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{NO}_3^-$ .



**Figure. IV.02** Evolution temporelle les valeurs moyennes de CE et  $\text{So}^{2-}_4$ .

Les figures (IV.01-IV.02) montrent que les courbes d'évolution temporelle des valeurs moyennes (de l'ensemble) du calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) sont soumis aux normes algériennes à partir de l'année 2020 par rapport aux années précédentes et des nitrates ( $\text{No}^{-}_3$ ) dépassent les normes algériennes. De même pour la courbe des sulfates ( $\text{SO}^{2-}_4$ ), 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  $\mu\text{s/cm}$ ).

#### Remarque :

Les valeurs moyennes pour l'ensemble de la zone d'étude montrent qu'il existe une différence remarquable entre les données mesurées dans les années 1967 et 1996 d'une part et les données mesurées dans les années 2006, 2014, 2018, 2019 et 2020 de l'autre part. L'explication la plus proche de la réalité est que les échantillons traités proviennent uniquement de la nappe phréatique (profondeur inférieure à 60m) par rapport aux échantillons d'eau de la nappe profonde (s'appelle aussi l'aquifère mixte de Plio-Quaternaire).

### IV.3. Détermination des faciès hydrochimiques :

L'interprétation des faciès hydrochimiques 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.

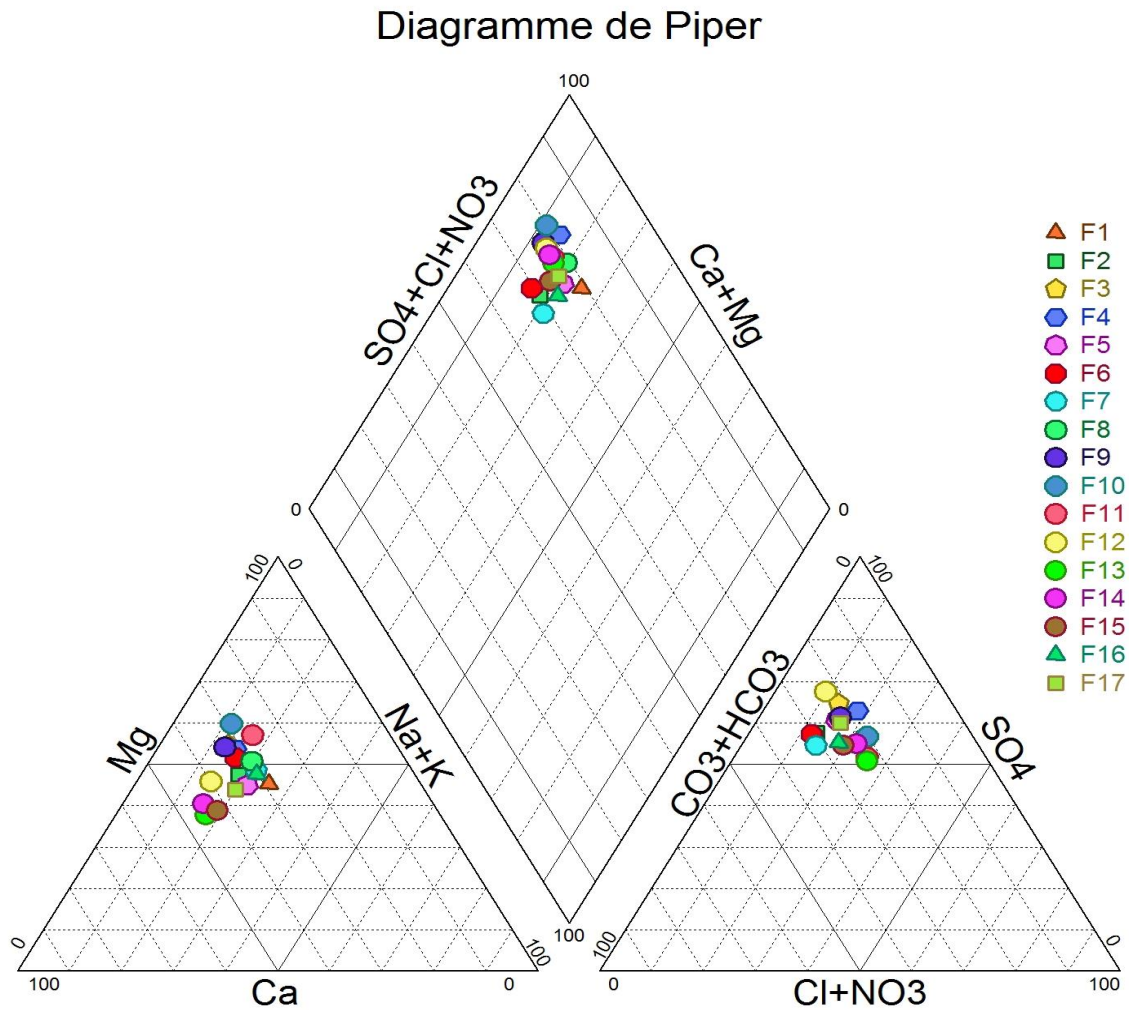
Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le diagramme de Piper à travers le logiciel d'hydrochimie (Diagramme 2).

Les éléments considérés sont  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $(\text{Na} + \text{K})$  pour les cations majeurs et  $\text{HCO}_3^-$ ,  $(\text{Cl} + \text{NO}_3^-)$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  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.03**) pour les échantillons d'eau de l'année 2020 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 sulfatée et chlorurée calcique et magnésienne. Les eaux de la zone de Maadher ont une tendance très remarquable vers la salinisation. Les cations sulfatée et calciques, marque la totalité des forages représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi l'origine de ces eaux.

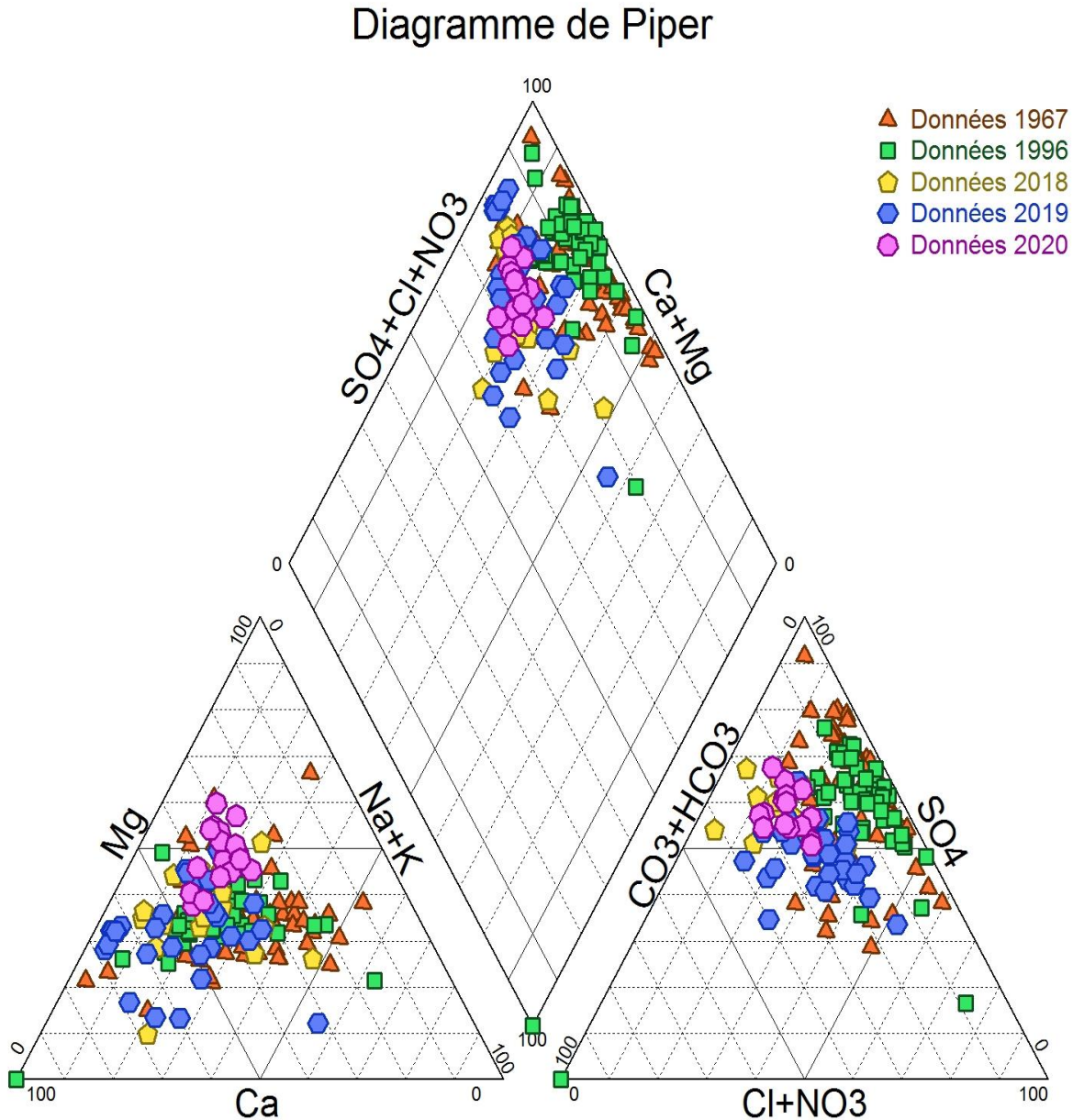
La projection des résultats d'analyses chimiques montre que les eaux de la nappe du Plio-Quaternaire sont caractérisées par l'abondance des ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ).



**Figure IV.03:** Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude, année 2020.

Les paramètres d'analyse des eaux de l'aquifère Plio-quaternaire sur le diagramme Piper (**Figure IV.04**) 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.04:** Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude.

#### IV.4. Analyses statistiques multivariées des variables physico-chimiques :

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

**(ACP) :**

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode très efficace pour l'analyse de données quantitatives (continues ou discrètes) se présentant sous la forme de tableaux à M observations / N variables. Elle permet de :

-visualiser et analyser rapidement les corrélations entre les N variables, visualiser et analyser les M observations créées par N variables sur un graphique à deux ou trois dimensions, construit de manière à ce que la dispersion entre les données soit aussi bien préservée que possible,

-construire un ensemble de P facteurs non corrélés

Les limites de l'analyse en composants principaux viennent du fait que c'est une méthode de projection, et que la perte d'information induite par la projection peut entraîner des interprétations erronées. Des astuces permettent d'éviter ces inconvénients.

Il est également important de noter que l'ACP est un outil de statistique exploratoire et ne permet généralement pas de tester des hypothèses. Un avantage de cet aspect exploratoire est que l'ACP peut être déclenché à différentes reprises, en éliminant / rajoutant des observations ou des variables, à condition que ces manipulations soient justifiées dans les interprétations.

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.4.1. Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude :****IV.4.1.1. Matrice de corrélation des valeurs :**

D'après la matrice de corrélation calculée des paramètres, les coefficients de corrélation varient entre -0,545 et 01,00. Les meilleures corrélations sont notées entre (Condo ;R.S), ( $Mg^{+2}$  ; R.S), ( $Mg^{+2}$  ;Cond), (TH ;R.S), (TH ;Cond), (TH ; $Mg^{+2}$ ), ( $SO_4^{+2}$  ;R.S), ( $SO_4^{+2}$  ;Cond), ( $SO_4^{+2}$  ; $Mg^{+2}$ ), ( $SO_4^{+2}$  ;TH), ( $HCO_3^-$  ;R.S),( $HCO_3^-$  ;Cond), ( $HCO_3^-$  ; $Mg^{+2}$ ) d'une part et ( $NO_3^-$  ; $Cl^-$ )d'autre part mais d'une façon inverse.

Tableau IV.09: Matrice de corrélation des principaux paramètres physico-chimiques:

Variable	R.S	Cond	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	TH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>	NO <sup>-3</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
R.S	<b>1</b>											
Cond	<b>1,000</b>	<b>1</b>										
Ca <sup>+2</sup>	0,238	0,238	<b>1</b>									
Mg <sup>+2</sup>	<b>0,895</b>	<b>0,895</b>	0,151	<b>1</b>								
Na <sup>+</sup>	0,208	0,208	-	0,028	<b>1</b>							
K <sup>+</sup>	0,429	0,429	-	0,304	0,155	<b>1</b>						
TH	<b>0,854</b>	<b>0,854</b>	0,560	<b>0,903</b>	0,002	0,189	<b>1</b>					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>												
Cl <sup>-</sup>	0,314	0,314	0,118	0,590	0,137	-0,270	0,546		<b>1</b>			
SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>	<b>0,910</b>	<b>0,910</b>	0,403	<b>0,898</b>	0,121	0,297	<b>0,927</b>		0,399		<b>1</b>	
NO <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-		-		-	
	0,230	-0,230	0,298	0,407	0,270	0,226	0,470		<b>0,545</b>	-0,195	<b>1</b>	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,662</b>	<b>0,662</b>	0,054	<b>0,617</b>	0,196	0,340	0,541		0,209	0,603	-	<b>1</b>
											0,462	

La conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $25^\circ\text{C}$  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 septes périodes d'observation (1967, 1996, 2006, 2014, 2018, 2019 et 2020) a été réalisée sur 17 échantillons au maximum et 12 variables dont : la CE, TDS, Rs, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, k<sup>+</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 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.4.1.2. Etude des variables et des individus de l'année 2020 :

Une étude statistique par l'analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée sur les données de l'année d'observation 2020 a montré que les premiers facteurs (Fac1, Fac2 et Fac3) ont accumulé un pourcentage de 78,90 % de la variance statistique et qui ont pu être exprimés les échantillons. 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.10:** Présentation des valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux, année 2020 :

	F1	F2	F3
Valeur propre	5,721	1,878	1,081
Variabilité (%)	52,010	17,069	9,825
% cumulé	52,010	69,079	78,904

Du tableau IV.7, les meilleures corrélations de facteur F1 se font respectivement avec les éléments R.S, Cond,  $Mg^{+2}$ ,  $HCO^{3-}$  et TH, concernant le facteur F2 il est bien corrélé avec les éléments  $K^{+}$ ,  $NO^{-3}$  et corrélé inversement avec  $Cl^{-}$ . Le facteur F3 est bien corrélé avec les éléments  $Na^{+}$ ,  $Cl^{-}$  et corrélé aussi avec  $Ca^{+2}$  mais à l'inverse.

Tableau IV.11:Corrélation entre les variables et les facteurs:

	F1	F2	F3
R.S	<b>0,945</b>	0,246	-0,042
Cond us/cm	<b>0,945</b>	0,246	-0,042
Ca <sup>+2</sup>	0,358	-0,416	<b>-0,537</b>
Mg <sup>+2</sup>	<b>0,950</b>	-0,007	0,086
Na <sup>+</sup>	0,139	0,440	<b>0,593</b>
K <sup>+</sup>	0,323	<b>0,762</b>	-0,209
TH	<b>0,951</b>	-0,186	-0,161
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,000	0,000	0,000
Cl <sup>-</sup>	0,514	<b>-0,533</b>	<b>0,555</b>
SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>	<b>0,945</b>	0,037	-0,125
NO <sup>-3</sup>	-0,463	<b>0,681</b>	-0,088
HCO <sup>3-</sup>	<b>0,710</b>	0,159	0,170

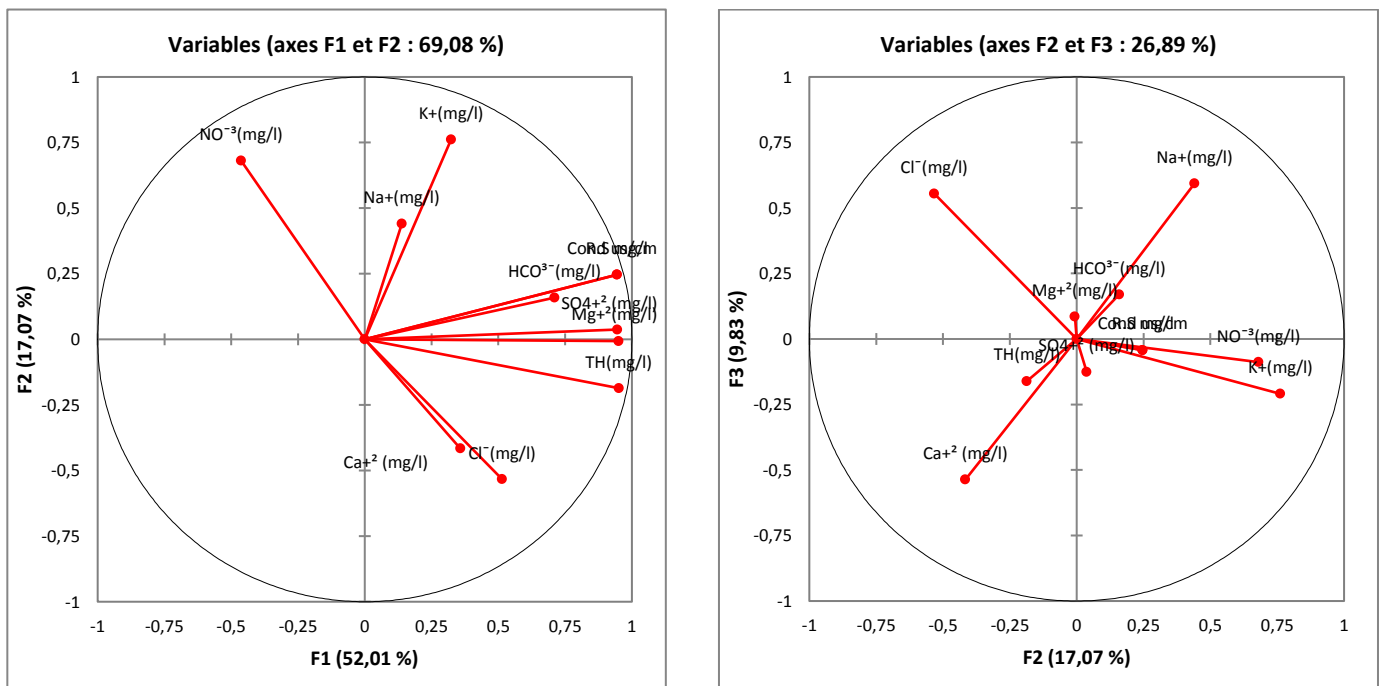


Figure IV.05 : Projection des variables sur le plan factoriel.

## IV.4.1.3. Etude des individus :

Le Tableau IV.12 présente Contributions des observations (%) (Forages) par rapport aux principaux plans (F1-F2), (F1-F3) et (F1-F4).

**Tableau IV.12 :** présente Contributions des observations (%) (Forages) par rapport aux principaux plans (F1-F2), (F1-F3) et (F1-F4).

Observation	F1	F2	F3
F1	3,585	1,389	<b>18,688</b>
F2	0,043	<b>4,278</b>	0,298
F3	2,006	0,025	<b>5,506</b>
F4	0,018	2,533	<b>3,913</b>
F5	5,770	<b>14,016</b>	0,108
F6	<b>1,220</b>	0,270	0,063
F7	2,886	<b>6,577</b>	1,640
F8	12,873	0,402	<b>15,908</b>
F9	<b>8,806</b>	0,614	3,110
F10	<b>13,871</b>	4,153	0,007
F11	4,136	1,919	<b>16,027</b>
F12	4,833	1,530	<b>21,568</b>
F13	9,021	<b>43,912</b>	1,327
F14	6,324	<b>8,929</b>	3,743
F15	<b>8,545</b>	0,454	4,678
F16	<b>11,443</b>	3,973	1,658
F17	4,620	<b>5,025</b>	1,757

L'application de l'ACP (Année 2020) montre les groupes suivants :

- **Groupe n° 01 :** ce groupe renferme les forages Maadher 255/214, Maadher 255/248 Maadher 255/236 Bis Maadher El Karia III et Maadher 252/255 ; ces forages caractérisés par les paramètres  $Mg^{+2}$ , TH,  $SO_4^{+2}$ ,  $HCO_3^{-}$  et Cond, taux élevé de Rs.
- **Groupe n° 02 :** ce groupe comporte les forages Maadher 255/232 Maadher 255/234, Lakfa 01 // Diss, Lakfa 02 // Diss, Route Biskra ; ces forages caractérisés par les paramètres  $K^+$ ,  $NO_3^{-}$ .
- **Groupe n° 03:** ce groupe comporte les forages, Romana Dahraouia Maadher 255/261, Maadher 255/233, Maadher II Nouveau, Maadher 255/260 et Maadher 255/285 ; ces forages caractérisées par les paramètres  $Na^+$ ,  $Cl^{-}$ .

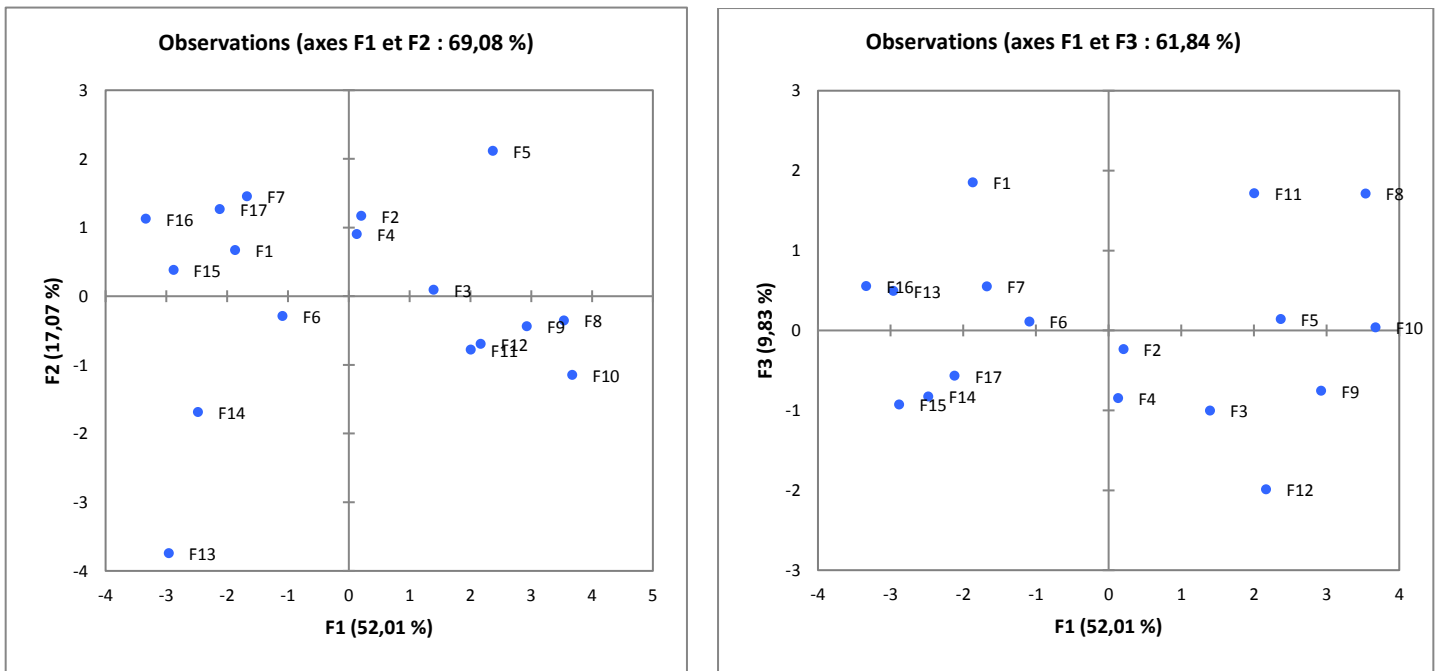


Figure IV.06: Projection des observations sur le plan factoriel.

#### IV.5. Résultat et discussion :

##### IV.5.1. Interaction eaux/sédiments :

D'après la figure IV.07, l'origine de cette élévation de la conductivité est fortement influencée par les sulfates que par les chlorures.

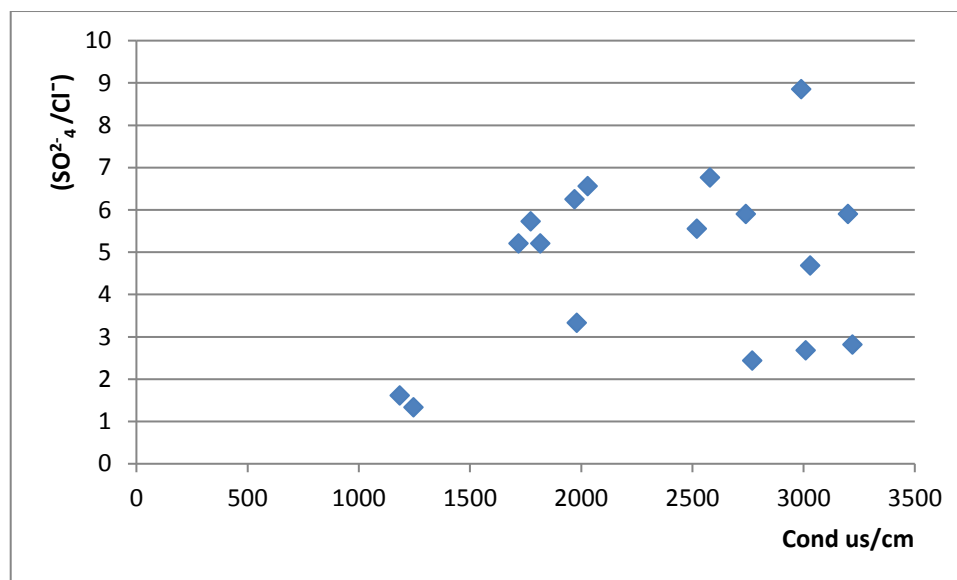


Figure IV.07: Variation de la conductivité en fonction du rapport  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ . (meq/l)

##### IV.5.2. Origine de la qualité :

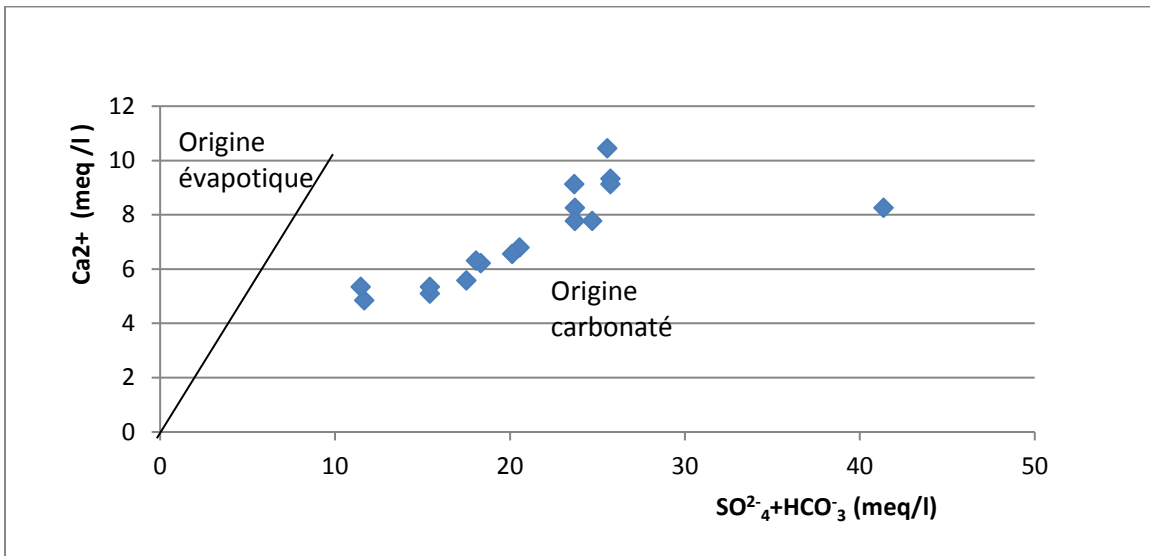
Dans la nature, les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées. Au cours de leur trajet dans l'aquifère, les eaux dissolvent en quantités variables, en fonction de certains paramètres (PH, T°, Pression, produits de solubilité, ...). L'étude montre une croissance des paramètres des sulfates, de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

##### IV.5.2.1. Origine des éléments $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ et $\text{HCO}_3^-$ :

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  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)

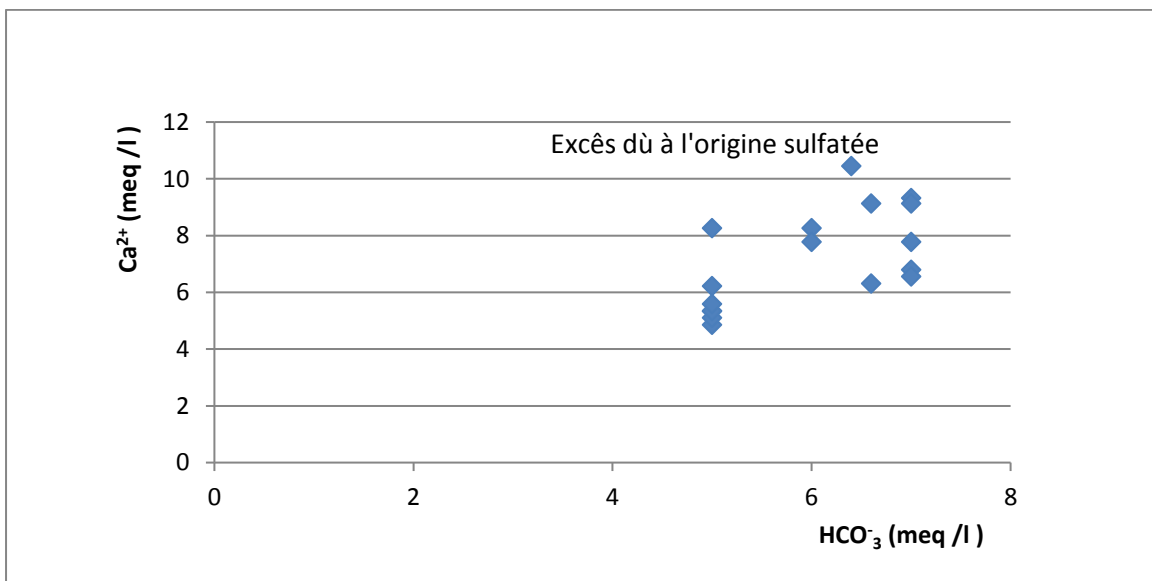
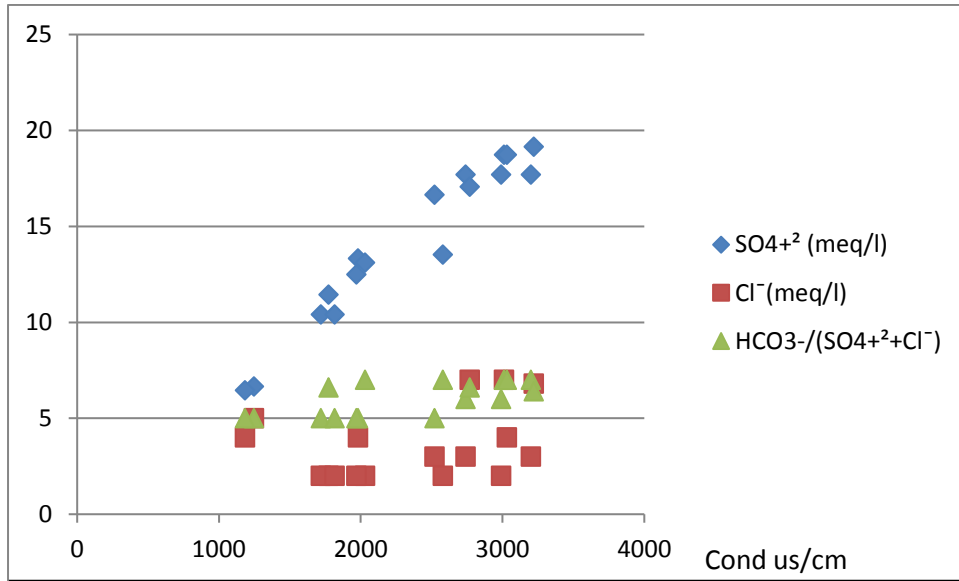


Figure IV.08: Relation entre  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ .

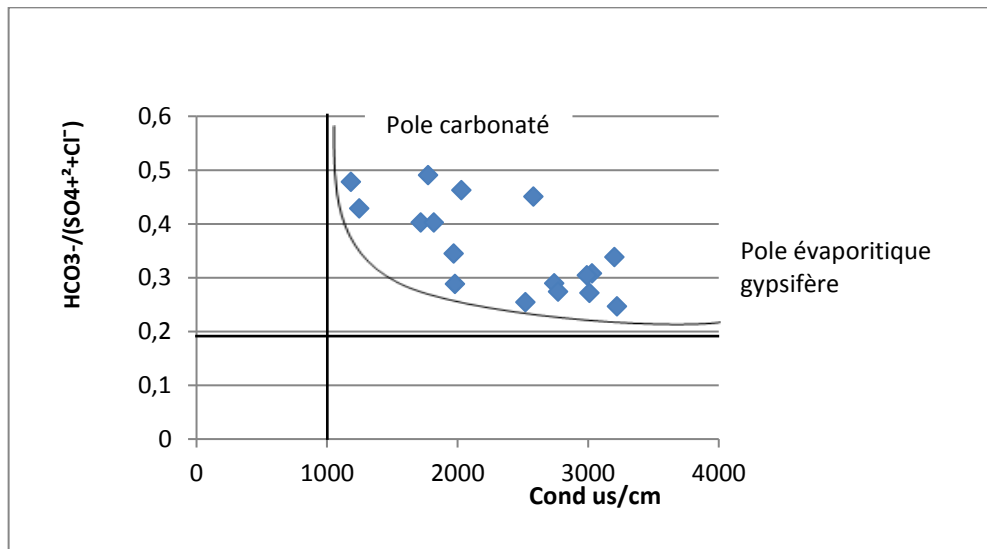
#### IV.5.2.2. Origine des éléments $HCO_3^-$ , $Cl^-$ et $SO_4^{2-}$ :

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 9-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.09:** Evolution de la conductivité électrique en fonction des anions.

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

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 ([09], [36], [37]). 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 [38]. Il a indiqué que l'eau souterraine est sous-saturée en gypse (valeurs négatives de 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 des fortes concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . La sous saturation vis-à-vis de l'halite (IS valeurs négatives) montre que la dissolution des sels gemme 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.6. Pollution des nitrates:

Dans la figure IV.10, que les courbes d'évolution temporelle des valeurs moyennes de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) nous a 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 sol-forestiers anciens dans le sous bassin (transportés par les oueds de la région, par infiltration).

- 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.10** 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.

#### IV.6.1. 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 sondent principalement l'aquifère profond (profondeur supérieure de 100 m, le reste des années d'observation 2006 à 2018), ces aquifères ne sont pas séparés par une formation imperméable. La contamination de l'aquifère profond par la nappe phréatique est donc possible.

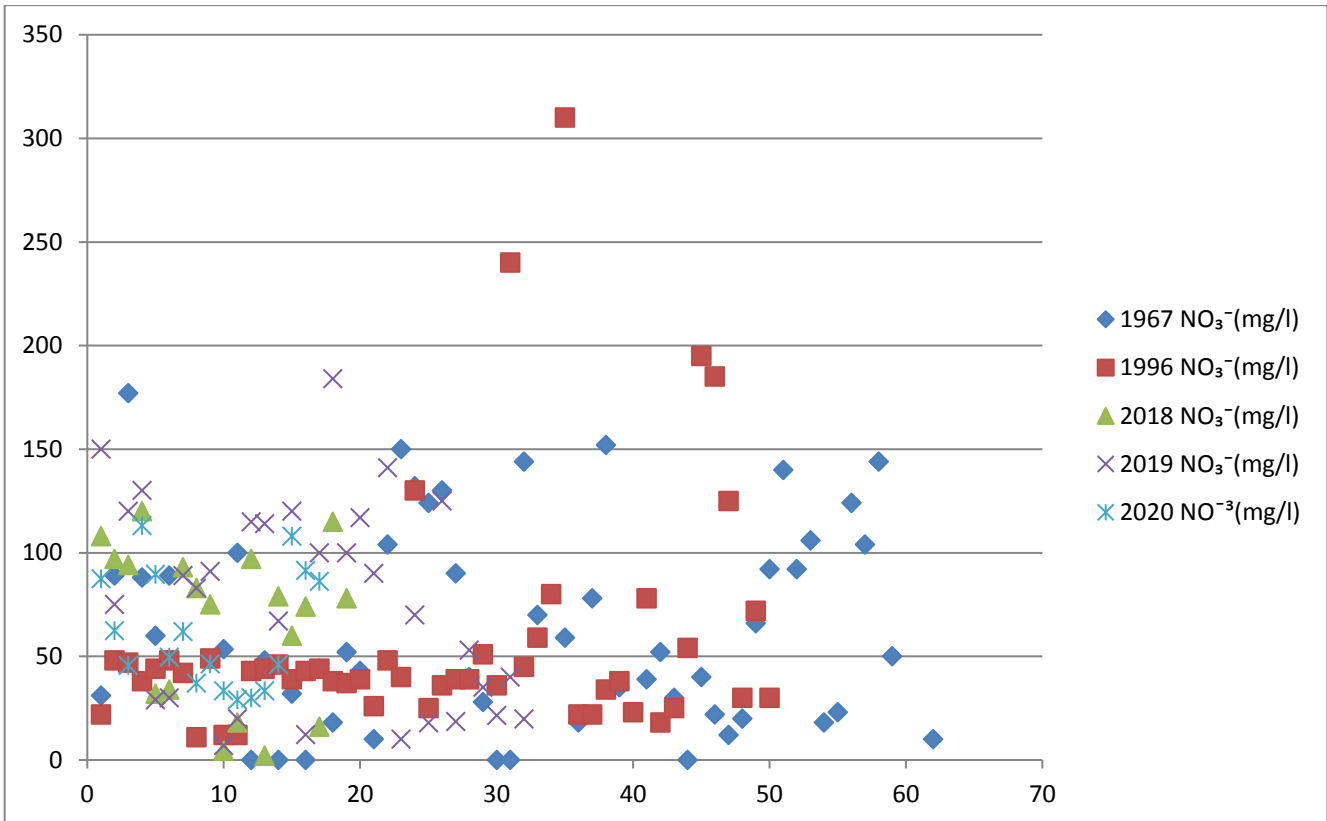
**Tableau IV.13:** Données statistiques de nitrates de la zone d'étude (Zone de captage), années 1967 au 2020

	Min	Max	Moy	Ecart type
1967	-	535	88	125,8
1996	22	240	81,13	70,37
2006	19	222	111,3	61,36
2014	36	150	93,6	29,13
2018	37	108	83,8	19,08
2019	07,00	184,00	74,838	38,09
2020	29,000	113,000	61,782	28,377

D'après le tableau **IV.13**, nous notons que les valeurs minimales de nitrate sont en augmentation, les écarts-types sont en diminution et les concentrations moyennes ont régressé en 2020 mais ces valeurs dépassent les normes algériennes ; 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  $\text{NO}_3^-$  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.10** montre des fortes concentrations en nitrates observées même à des profondeurs supérieures à 150 m (années 2014 et 2020), ce qui montre la dégradation qualitative de l'aquifère profond.



**Figure IV.10:** L'évolution 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  $\text{NO}_3^-$  et 29 %, plus de 100 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  ; à l'inverse, 59 % mesuraient moins de 50 mg/l de  $\text{NO}_3^-$ . 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  $\text{NO}_3^-$ , 53.33 % des échantillons contenant plus de 50 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  et 46.66 % moins de 50 mg/l de  $\text{NO}_3^-$ .

Suivant le tableau que la comparaison des fréquences cumulées des concentrations en nitrates montre clairement une diminution des valeurs d'écart type de 1996 à 2020. 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 montre 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.14:** Répartition des échantillons en pourcentages de nitrates, années 1967 au 2020.

	% des échantillons Inf. de 50 mg/l	% des échantillons sup. de 50 mg/l	% des échantillons Inf. de 100 mg/l
1967	59	41	29
1996	47	53	27
2006	22	78	66
2014	10	90	30
2018	10	90	10
2019	38	63	32
2020	53	47	12

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.

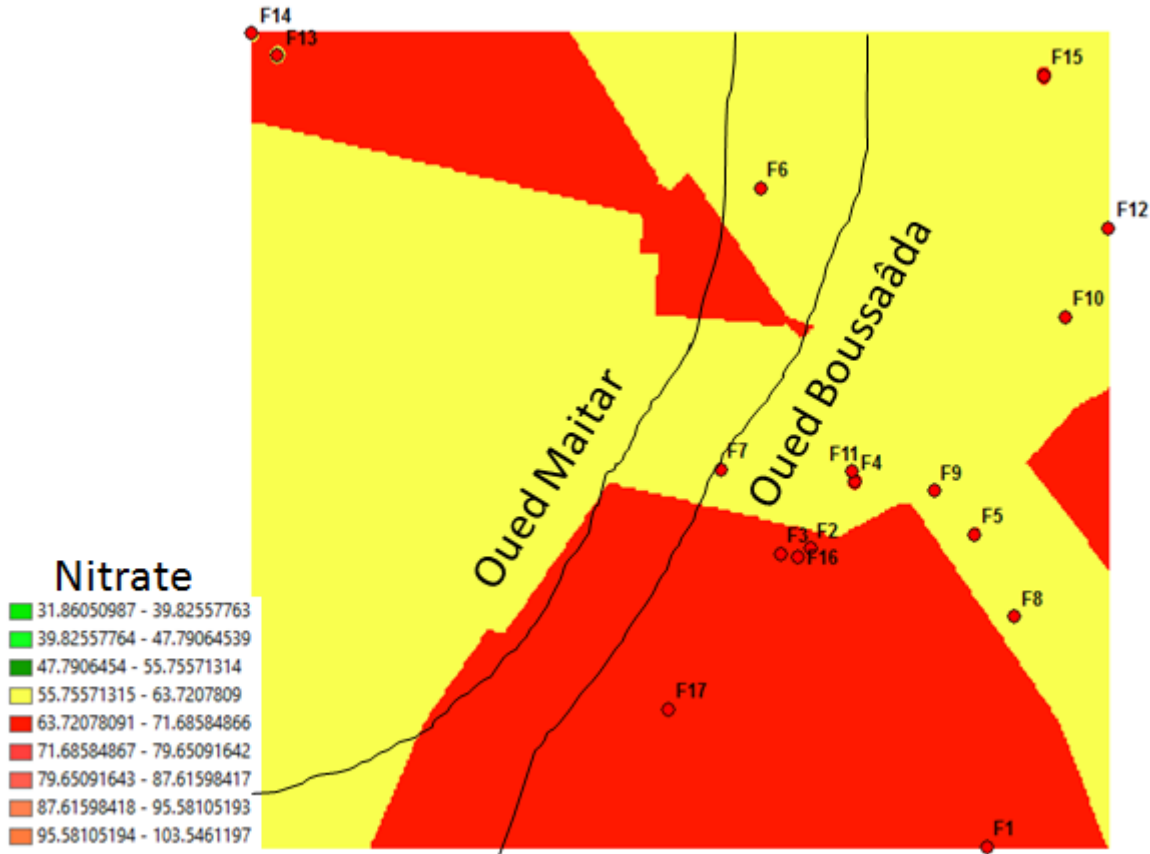
De grandes valeurs sont observées dans le nord et l'est où les populations sont rassemblées près des zones purement agricoles. Cela peut donc être attribué à la contamination d'origine agricole.

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.

## IV.7. Méthode de KRIGING :

Kriging est un interpolateur non biaisé à variance minimale dans lequel la distribution spatiale des erreurs est calculée lors de l'interpolation. Dans Kriging, la contribution de l' $i$ ème observation à l'interpolation est déterminée en fonction de son poids,  $i$ . De plus, le poids des points d'observation est calculé en fonction de leur distance au point d'intérêt et de la fluctuation spatiale de la variable interpolée dans les points d'observation. Les méthodes de krigeage utilisées dans cette étude sont le Kriging ordinaire, simple, résiduel et le co-Kriging. Ces méthodes peuvent être divisées en deux catégories. La première catégorie comprend les méthodes de Kriging dans lesquelles seules les données spatiales interpolées sont utilisées pour l'interpolation. La deuxième catégorie comprend les méthodes de Kriging dans lesquelles les variables spatiales secondaires sont utilisées comme variable complémentaire ou auxiliaire à côté de la variable spatiale principale dans l'interpolation. Le logiciel utilisé pour l'analyse de Kriging est ARCVIEW-GIS version 9. La première catégorie comprend le Kriging simple et ordinaire dans lequel la variable principale d'interpolation a été utilisée. Dans ces deux méthodes de Kriging, les données spatiales sont considérées comme stationnaires et il est supposé qu'il n'y a pas de tendance ou de dérive externe dans les données spatiales. Dans le Kriging simple, on suppose que la moyenne des variables est connue et dans le Kriging ordinaire, la moyenne des données est supposée inconnue. L'analyse de Kriging dans la première catégorie effectuée par le logiciel utilisé, et les résultats sont présentés sous forme de carte de la variable principale interpolée dans différentes classes et la carte de l'erreur standard correspondante. La deuxième catégorie comprend le Kriging et le co- Kriging résiduels. Dans ces méthodes, on suppose qu'il existe une tendance ou une dépendance spatiale dans les données qui les rend non stationnaires. Trois types d'approches peuvent être utilisés pour tenir compte de la tendance des données. Dans la première approche, la tendance des données est détectée et trouvée en ajustant une fonction du

premier au troisième ordre aux données spatiales interpolées. Ensuite, la tendance des données est éliminée en soustrayant la tendance déterminée des données pour chaque point d'observation. La différence entre les données et les valeurs de la fonction de tendance sur chaque point d'observation est la valeur résiduelle à ce point. Ensuite, Kriging ordinaire a été appliqué aux valeurs résiduelles. La première approche est exécutée automatiquement par le logiciel et les cartes résultantes sont dessinées. Dans la seconde approche, la tendance des données est déterminée en trouvant la fonction de corrélation entre la variable spatiale principale et les autres variables spatiales. La tendance existante est approximée par la fonction de corrélation déterminée. Puis la tendance approximative est soustraite des données et les résidus sont déterminés dans chaque point d'observation. Ensuite, Kriging ordinaire ou simple a été utilisé pour l'interpolation des données résiduelles. La seconde approche ne peut pas être conduite automatiquement par le logiciel. Le résidu doit être déterminé manuellement, ensuite, le logiciel doit être utilisé pour Kriging ordinaire ou simple sur les données résiduelles. Les cartes résultantes dans cette approche sont les classes des résidus interpolés et son erreur standard correspondante. La troisième approche utilise une variable spatiale auxiliaire ou complémentaire à côté de la variable principale dans l'interpolation de la variable principale. Kriging est la méthode utilisée dans la troisième approche. La troisième approche a été utilisée par le logiciel, et les cartes résultantes sont les classes de la variable principale interpolée et son erreur standard correspondante.



**Figure IV.11:** Spatial distribution des concentrations des nitrates dans la zone d'étude.

D'après la figure et d'après notre étude sur la présence du nitrate dans la région de Maadher et en employant la méthode de Kriging, nous avons trouvé que le nitrate existe dans les forages F2, F3, F16, F17 ainsi que dans son entourage qui se situe près de Oued Maïter Et Oud Boussaâda. Nous avons remarqué aussi l'existence du nitrate aux forages F13, F14 et dans son environnement qui se trouve près d'agglomération et Oued .....

Comme on peut remarquer aussi une faible concentration du nitrate aux forages F4, F5, F7, F8, F9, F11, F10, F12, qui se situent loin d'Oued Maïter et Oued Boussaâda et loin aussi des agglomérations

Finalement , nous souhaitons que cette contribution hydrochimique, que nous avons menée au niveau de la plaine de Boussaâda 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.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons fait une étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Maadher.

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

Et d'après l'analyse des données statistiques des éléments physico-chimique on remarque que les teneurs des éléments sont élevées et dépassent la norme de l'OMS tels que calcium, magnésium, sulfate, nitrate et la conductivité électrique dans tous les forages étudiés.

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 marnes 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 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 nocive.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

L'étude que nous avons menée dans la région de Boussaâda, nous a permis de récolter les connaissances des différents paramètres hydrochimiques concernant les eaux souterraines de la nappe de Maadher ainsi que les principales sources de pollution dans la région.

L'étude de la 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 qui menacent actuellement les ressources en eaux de la région.

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

L'interprétation de diagramme de PIPER a montré que les éléments ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont les éléments dominants. Donc les eaux souterraines de cette région font partie de la famille chimique Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne.

La plupart des échantillons prélevés présentent une eau de qualité mauvaise pour la consommation sa concentration de nitrate dépassent les normes algérienne de potabilité.

Donc Avant toutes consommations 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 de 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 vis-à-vis la population vivante dans des conditions d'hygiène non conforme aux normes internationales.

Il est de ressort de toutes les instances concernées par le suivi et le contrôle de la qualité des eaux de mettre les bouchées doubles pour sauver les vies humaines.

# **Annexe**



## 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 physico-chimique  $y$  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

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE :**

- [1] A. Benrabia. Mémoire de master en hydraulique «Etude de la qualité des eaux souterraines de la région de Boussaâda Wilaya de M'Sila» université de M'sila (2012/2013).
- [2] APC de M'sila.
- [3] Station météo de Bousaâda 2018.
- [4] H. Marwa « Contribution à l'étude de la contamination des eaux souterraines à usage agricole par les nitrates dans la plaine de Boussaâda (Sud-Est Algérien).
- [5] ADE M'sila.
- [06] B.ABDELKADER. Mémoire Master « Analyse statistique multi variée deseaux souterraines de la région de Boussaâda » en Hydraulique urbaine, université de MOHAMED BOUDIAF - M'SILA (2013).
- [07]L'ANRH Agence nationale des ressources hydriques.
- [08]Allal hamza, Tahir Farid « Qualité des eaux souterraines du bassin EL HODNA (zone d'étude : Boussaâda et Sidi Aissa). Mémoire d'ingénieur 2008.
- [09] Derekov A M (1973) Etudes hydrologiques dans le bassin du chott et Hodna. FAO.
- [10] RODIER J. (2005) L'analyse de l'eau : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers. 8<sup>ème</sup> édition : Dunod, Paris. France. 1381p
- [11] DEGREMONT. (2005) Mémento technique de l'eau. Tome I. 10<sup>ème</sup> édition.
- [12] GROSCLAUDE G. (1999). L'eau. Tome I : milieu naturel et maitrise. Edition INRA Paris. France. 204P.
- [13] FEPS. (2005). : Fondation de l'Eau Potable Sure. [www.canadahelps.org](http://www.canadahelps.org)
- [14]. REJSEK F. (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Edition Canopé – CRDP de bordeaux. France. 360p.
- [15]. SAMAKE H. (2002). Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N. S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001.Thèse de doctorat. Mali. 77p.
- [16]. DESJARDINS. (1997). Le traitement des eaux. Edition Tec & Doc. 2<sup>ème</sup> édition. France. 304p.
- [17]. ABDELLATIF H. (2006). Traitements de l'eau source bousa fer. Mémoire de fin d'étude licence. Université des sciences et de la technologie, Oran. Algérie. 72p.
- [18]. GAID A. (1984). Epuration biologique des eaux usées urbaines. Office des publications universitaires (OPU). Alger. Algérie.261p.
- [19]. COLLIN J. (2004). Les eaux souterraines : connaissance et gestion. Edition Hermann, Paris. France. 169p.

- [20]. POTELON J et ZYSMAN K. (1998). Le guide de l'analyse d'eau potable. Edition la lettre du cadre territorial. Paris. France. 120p.
- [21]. RODIER. J, l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaires ; eaux de mer ; édition Dunod, 8<sup>ème</sup> édition ; pages (945 à1075), 1976.
- [22]. Journal officiel 2011
- [23]. O. Bensellama, Diagnostic de la qualité physicochimique des eaux de l'Oued Boussaâda – M'sila. Mémoire de fin d'études, Master en Hydraulique urbaine, Université de M'sila, (2014).
- [24]. Birech S., Messaoudi I., (2006). La contamination des eaux par les métaux cas de chott Ain Beida de la région de Ouargla, mémoire d'ingénieur, université de Ouargla).
- [25]. Bouguetit K., Benhamida N., (2015). Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire), Mémoire d'obtention de Master Académique en Sciences et Technique, Université KASDI MERBAH OUARGLA. P 50.
- [26]. Amroune A., Mettai M., (2000). Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Boussaâda. Mémoire d'ingénieur, université Constantine, 7-196p.
- [27]. Zahran. HH., (1999). Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63: 968-989.
- [28]. Aerts R., Chapin FS., III (2000). The mineral nutrition of wild plants revisited: A revaluation of processes and patterns. *Advances in ecological research*, 30, 1-67.
- [29]. Bouchenouk I., (2013). Processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines dans les zones semi-arides, cas de la plaine de BOUKADIR (nord-ouest Algérien), mémoire d'obtention du grade de magister en géologie, Université d'Oran, P : 62-65
- [30]. O.M.S., (1997). Health and sustainable development, programmes on Health and Environment World Health Organization, Genève.
- [31]. Miller T.w, Chalet L, Cole D.J, Cole L.J, Flor J.E, Goegelman R.T, Gullo V.P, Joshua H, Kempf A.J, Krellwitz W.R, et al., (1979). Avermectins, new family of potent anthelmintic agents: isolation and chromatographic properties. *Antimicrob Agents Chemother*. Vol. 15 (3),pp. 368-371.
- [32]. Lacroix. A, Beaudoin. N., (2007). Désintensification et préservation des ressources naturelles (eau et sols). Dossier de l'environnement de l'INRA n° 24, pp 83-85.
- [33]. Benmani K., (1995). Pollution des eaux par les nitrates en Algérie. 2<sup>ème</sup> colloque national Climat

Et Environnement. Oran. Algérie.

[34]. Ahmidat Waffa L'évolution de la pollution en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) dans les eaux souterraines de la nappe de Maadher, Boussaâda-M'sila. Mémoire de fin d'études, Master en Hydraulique urbaine, Université de M'sila, (2019).

[35]Castany, G (1982) Principe et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris,

[36]GOUAIDIA L et al. (2004) : Application des méthodes statistiques pour expliquer le chimisme de la nappe alluvionnaire de Meskiana. Colloque international Terre et Eau. Université de Annaba 04, 05 & 06 décembre 2004.

[37] Rouabhia A, Djabri L, Hadji R, Baali F, Fehdi C & Hani A (2010) Geochemical characterization of groundwater from shallow aquifer surrounding Fetzara Lake N. E. Algeria.

## ملخص:

إن الهدف من هذه المذكرة هو دراسة مصدر تلوث المياه الجوفية عن طريق النترات لمنطقة المعذر بوسعادة والتي تستخدم من أجل الري والشرب. لتحديد تأثير النترات على المياه الجوفية لمنطقة المعذر قمنا بإجراء تحاليل فيزيوكيميائية من 17 عينة من هذه المياه سنة 2020 وكان الهدف من أخذ هذه العينات هو تحديد البدني والبيانات الكيميائية ومقارنتها بالنتائج التي تم الحصول عليها في الأعوام 2019، 2018، 2014، 2006، 1996 و 1967 ولقد أظهرت لنا هذه الدراسة أن تلوث المياه له عدة أسباب من بينها الاستخدام المكثف للأسمدة العضوية في الزراعة، وتلوث وادي بوسعادة وميتر اللذان يمران بالمنطقة.

الكلمات المفتاحية: بوسعادة، المعذر، التلوث، النترات، الماء الجوفية

## Résumé

Le but de cette mémoire est d'étudier l'évolution de la contamination des eaux souterraines par les nitrates dans la région Maadher (Bousaada) qui sont 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 17 échantillons de ces eaux ont été effectuées au cours de l'année 2020. Le but de cet échantillonnage est d'identifier les données physicochimiques et de comparer les résultats obtenus lors de la campagne 2020 avec ceux de la campagne 2019. 2018. 2014. 2006. 1996 et 1967 L'étude montre que la pollution de l'eau a plusieurs origines, notamment d'origine agricole, en raison de l'utilisation intensive d'engrais organiques et inorganiques à des fins agricoles et la pollution dans Oued Maitar Et Oued Boussaada qui passe a ce place.

**Mots-clés :** Eaux souterraines, Pollution, Nitrates, Maadher Boussaâda.

## Abstract:

The purpose of this dissertation is to study the evolution of groundwater contamination by nitrates in the Maadher (Bousaada) region which are used for irrigation and drinking.

To assess the effect of nitrates on groundwater in order to facilitate their use, physico-chemical analyzes of 17 samples of this water were carried out during the year 2020. The purpose of this sampling is to identify the data physical, chemical and to compare the results obtained during the 2020 campaign with those of the 2019. 2018. 2014. 2006. 1996 and 1967 campaign. The study shows that water pollution has several origins, in particular from agricultural origin, due to the intensive use of organic and inorganic fertilizers for agricultural purposes and pollution in Oued Maitar Et Oued Boussaada which passes in this place.

**Keywords :** Groundwater, Pollution, Nitrates, Maadher Boussaâda.

