

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 : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: AHMIDAT WAFFA

Intitulé

**L'évolution de la pollution en nitrates (NO_3^-)
Dans les eaux souterraines de la nappe de
Maadher, Boussaada-M'sila**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. Ferhati	Université	M'sila	Président
Mr. Dougha Mustapha	Université	M'sila	Rapporteur
Mr. Ghodbane Massoud	Université	M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciements

Au terme de cette étude, je veux d'abord remercier mon encadreur monsieur Mr. DOUGHA .Mostafa pour ses précieux conseils, et ses orientations tout le long d'année. Je remercie vivement madame Soumia Guilal pour sa gentillesse et sa spontanéité avec lesquelles elle a bien voulu m'aider à terminer ce travail. Ensuite, je tenu à remercier aussi mes Professeurs et mes enseignants, pour l'intérêt qu'ils m'on accordé. Enfin, mes reconnaissances iront aussi à toute personne qui, de loin ou de prés, a participé à l'achèvement De ce travail ...

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je

dédie ce travail à :

Mes chers parents pour leurs sacrifices, leurs encouragements, et pour

leurs soutien moral et matériel tout au long de mes études.

A oncle Cheikh Ben nana, mes chers frères et sœurs et à toute ma famille

de près ou de loin.

Tous les professeurs de notre département

Tous mes amis (es) et personnes qui m'ont aidé et soutenu pour accomplir

mon travail.

SOMMAIRE

Chapitre I cadre géomorphologique de la région d'étude	
I. Introduction	3
I.1 Situation géographique de la région de BOU-SAADA	3
I.1.1. Relief	4
I.2. Situation géographique de la zone d'étude	6
I.2.1. Situation topographique	6
I.2.2. Démographie	6
I.3. Aperçu_ climatologique	7
I.3.1.Climat	7
I.3.2 Précipitation	8
I.3.3.Températures	9
I.3.4 Vent	9
I.3.5 L'évapotranspiration	10
I.4.Réseau hydrographique	11
I.5.Activité de la population	12
I.6.Inventaire du forage de la région de Maadher	13
I.6.1.Position des forages d'alimentation de la région d'étude	14
I.7.Chaîne de Production	14
I.8.Conclusion	16
Chapitre II L'étude géologique et Hydrogéologique	
II.1 Introduction	18
II.2 Géomorphologie du bassin El Hodna	18
II.2.1 Stratigraphie du bassin	19
II.3. Géomorphologie de la région d'étude	24
II.4: La lithologie	24
II.4.1 : Identification des formations hydrogéologiques	28
II.5 .Hydrogéologie de la région	32
II.5.1 Les eaux souterraines	34
II-6 Conclusion	35
Chapitre III Qualité des eaux et pollution des nitrates	
III.I. Introduction	37
III.2 Paramètres de qualité	37

SOMMAIRE

III.2.1 Définitions	37
III.3. Principaux paramètres de potabilité	38
III.3.1 Les paramètres organoleptiques (physique)	38
III.3.2 Les paramètres physico-chimiques	38
III.3.3 Les paramètres chimiques	39
III.3.3.1 Ions majeurs	39
III.3.2.4 Les paramètres bactériologiques	42
III.4. Pollution des eaux	43
III.4.1. Sources de pollution	43
III.4.1.1. La pollution ponctuelle	44
III.4.1.2. Pollution diffuse	45
III.4.2. Les principaux polluants des eaux	46
III.4.2.1. Sels minéraux	46
III.4.2.2. Matières fertilisantes	46
III.4.2.3. Métaux lourds	47
III.4.2.4. Polluants microbiologiques de l'eau	47
III.6.3. Sur les animaux	52
III.6.4. Sur les eaux naturelles	52
III.7. Contamination des eaux par les nitrates en Algérie	53
III.8. Contamination des eaux par les nitrates dans la zone d'étude	53
III.9 Présentation qualitative des eaux souterraines de quelques points d'eau de la zone d'étude	54
III.10 conclusion	57
Chapitre IV Résultats et discussion	
IV. Introduction	59
IV.1 Matériels et méthodes	59
IV.2 Description des données de qualité	59
IV.2.1 Balance ionique	60
IV.2.2 Traitement statistiques des données de qualité	60
IV.4. Analyses statistiques multivariées des variables physico-chimiques	66
IV.4.2 Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude	67
IV.4.2.1 Matrice de corrélation des valeurs	67

SOMMAIRE

IV.4.2.2 Etude des variables et des individus de l'année 2018	68
IV.4.2.3 Etude des individus	69
IV.5 Résultat et discussion	70
IV.5.1 Interaction eaux/sédiments	70
IV.5.2 Origine de la qualité	71
IV.5.2.1 Origine des éléments Ca^{2+}, SO_4^{2-} et HCO_3^-	71
IV.5.2.2 Origine des éléments HCO_3^-, Cl^- et SO_4^{2-}	73
IV.5.3 Pollution des nitrates	74
IV.5.3.1 Analyse des données de nitrate	76
IV.5.3.2 Analyse des facteurs explicatifs de la pollution nitrique des eaux souterraines	79
IV.6. Conclusion	81
Conclusion générale	84

Liste des figures

N°	Chapitre I	Page
01	Localisation géographique de Bou-Saada	3
02	Les champs de dunes de Boussaâda	4
03	la palmeraie de Boussaâda	4
04	Photo satellitaire de la commune de Boussaâda	5
05	localisation géographique de Maadher	6
06	La pluviométrie moyenne mensuelle en (mm) de la région de Bou-Saada (1994-2016)	8
07	Température moyenne mensuelle de la région de Bou-Saada (1994-2016)	9
08	Variation des vitesses moyennes mensuelles de la région de Bou-Saadâ (1994-2016)	10
09	Evaporation mensuelle de la station de Boussaâda (2004-2016)	11
10	Réseau hydrographique du bassin versant de Boussaâda	11
11	Carte hypsométrique du bassin versant de Boussaâda	12
12	Inventaire des forages et localisation en fonction de l'aquifère.	14
13	Chaine de production « Maadher I et III	15
14	Chaine de production « Maadher II	15
Chapitre II		
1	Carte géologique du bassin El Hodna, 1951	18
2	Carte pédologique de la plaine du Hodna (FAO 1975)	21
3	carte Géologique de région de Boussaâda	21
4	Coupe géologique de la zone de Boussaâda	23
5	Coupe schématique Nord-Sud à travers le Bassin El Hodna	25

Liste des figures

6	Coupe géologique du forage Maadher (235/255) suivant la figure II-5	26
7	Coupe géologique du forage Maadher (233/255) suivant la figure II-6	27
8	Coupe géologique de forage Maadher (205/255) suivant la Figure II-7	29
9	Schéma descriptive et la coupe géologique de forage Maadher	30
10	Schéma descriptive et la coupe géologique de forage Maïter	31
11	Coupe schématique du bassin de Chott El Hodna Altitude et profondeur / mètre	32
12	Le réseau hydrographique	33
13	Position de la nappe de Boussaâda	34
Chapitre III		
1	Les pollutions des eaux usées	44
2	Les pollutions des eaux produites par l'industrie	45
3	Cycle de l'azote dans l'air et le sol	48
4	Utilisation des engrais en agriculture moderne	49
5	Utilisation des engrais animaux en agriculture	51
Chapitre IV		
1	Evolution temporelle les valeurs moyennes de Ca^{2+} , Mg^{2+} et No_3^-	63
2	Evolution temporelle les valeurs moyennes de CE et So_4^{2-}	63
3	Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude, année 2018	65
4	Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude.	66
5	Projection des variables sur le plan factoriel	69
6	Projection des observations sur le plan factoriel	70
7	Variation de la conductivité en fonction du rapport $\text{So}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, (meq/l)	71
8	Relation entre Ca^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^-	72
9	Evolution de la conductivité électrique en fonction des anions.	73
10	Schémas explicatifs de la situation des nitrates dans la zone d'étude	75

Liste des figures

11	L'évolution temporelle des nitrates au cours des cinq périodes d'observation	78
12	L'évolution temporelle des nitrates au cours des années d'observation 2004-2018 suivant le chemin sectionné entre les forages F1, F7, F6	80
13	L'évolution temporelle des nitrates au cours des années d'observation 2004-2018 suivant le chemin sectionné entre les forages F6, F3, F5, F1	81

Liste des tableaux

N°	CHAPITRE I	Page
1	L'évolution de la population de Maadher durant la période 1998-2019.	7
2	coordonnées de la station météorologique	7
3	Précipitation moyenne mensuelle de la région de Boussaâda durant la période (1994-2016).	7
4	répartition de température en fonction des mois	8
5	Des vitesses moyennes mensuelles de la région de Bou-Saadâ (1994/2016).	9
6	Evapotranspiration en (mm) de la région de BOU SAADA durant la période 2004-2016	10
7	Inventaire des forages de la zone de Maadher	13
CHAPITRE III		
1	Normes Algériennes de qualité des eaux potables	42
2	Résultats des mesures des paramètres physiques des années 2018 et 2014	55
3	Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2006-2007	55
4	Données d'archive de paramètres physiques en 1967 et 1996	56
CHAPITRE VI		
1	Balance ionique des valeurs principales des eaux souterraines de l'année d'observation 2018	60
2	Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2018 et avec les normes Algériennes	61
3	Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 2006 et 2014	61
4	Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 1996 et 1967	62
5	Matrice de corrélation des principaux paramètres physico-chimiques	67
6	Présentation des valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux, année 2018	68
7	Corrélation entre les variables et les facteurs	68
8	Coordonnées des observations	69
9	Données statistiques de nitrates de la zone d'étude (Zone de captage), années 1967 au 2018	77
10	Répartition des échantillons en pourcentages de nitrates, années 1967 au 2018	79

Introduction générale

Introduction

La zone d'El-Maadher est se située au sud de la plaine Hodna, elle s'étend sur une superficie de 14600 Hectare, les aquifères qui la constituent représentent la principale source d'approvisionnement en eau potable de toute la région de Boussaâda (ADE). Cette plaine est parcourue par des Oueds (de Boussaâda et de Maîter) qui se déversent dans le Chott.

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 une période des années (1976–2018), a révélé des concentrations en éléments physico-chimiques répondant à la norme algérienne en majorité relative aux eaux de consommation, à l'exception de calcium et de magnésium et des nitrates dont les concentrations sont largement supérieures aux normes.

Le niveau des nitrates de presque la totalité des points d'eau (forages et puits) situés sur la région d'El-Maadher dépasse largement la limite admissible (50 mg/l).

La question majeure qui se pose est alors, comment gérer et protéger ces ressources en eaux ? Pour cela des mesures de prévention et de protection se posent. Cette protection peut être assurée par la délimitation des zones dites vulnérables ou à hautes risques.

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

CHAPITRE I :

*Cadre Géomorphologique
de la région d'étude*

I. Introduction:

Avant de traiter notre sujet il faut avoir une idée générale sur l'emplacement de notre site d'étude (Boussaâda et El-Maadher) concernant une vision géographique, démographique, climatique, administrative et morpho métriques.

I.1. Situation géographique de la région de BOU-SAADA:

L'Oasis de Bou-Saadâ se situe au sud-est du nord algérien appartenant aux Hauts Plateaux il est Situé à 250 km d'Alger, mais seulement à 200 km à vol d'oiseau de la mer elle couvre une superficie de 255 km² avec une population de 184 694 habitants ce qui nous donne une densité de 724 habitants au Km² (PDAU -2017). Situé sur l'axe 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 Zibans et le littoral algérois, et entre le M'Zab et Constantine. Bou-Saadâ est placée au point de rencontre des coordonnées spatiales suivantes : 4° ,11' longitude est et 35° ,13' latitude nord. Son altitude est de 560 m au- dessus du niveau de la mer.



Figure (I.1) localisation géographique de BOUSAADA

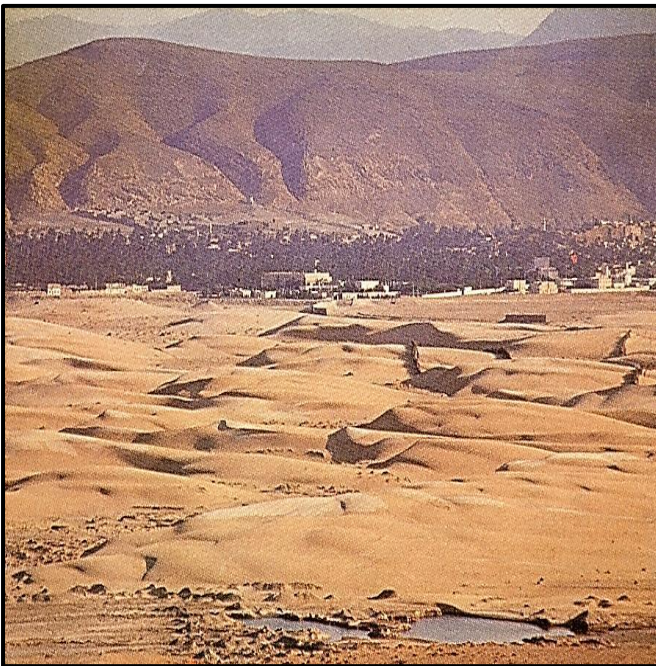
I.1.1. Relief:

Les trois zones hodnéennes les plus proches de Boussaâda peuvent être identifiées comme suit:

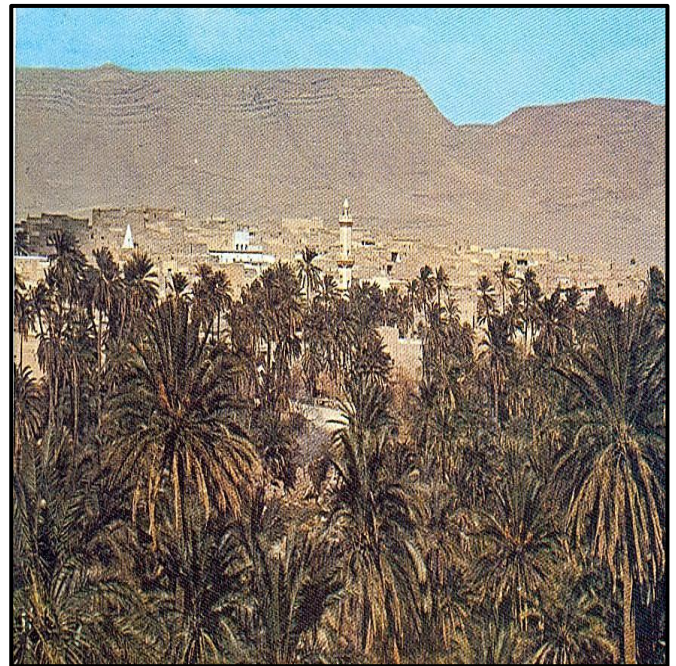
- La plaine El Hodna (Altitude : 550 m à 850 m) présente des glacis caillouteux encroûtés, ensablés, et des collines rocheuses ;
- Le R'mel (Altitude : 400 m à 550 m) est formé de dunes de sable, de dépôts alluviaux récents et de collines rocheuses isolées. C'est un pli orienté, constitué de calcaire, marne et grès du jurassique et du crétacé ;
 - ✓ Les terres agricoles du côté nord-est (village agricole d'El Maadher).
- Les chaînes montagneuses sont constituées également de calcaires, marnes et grès (crétacé inférieur et supérieur).

Les montagnes de la chaîne saharienne qui presque entourent la ville de Boussaâda sont :

- ✓ Djebel Grigour côté Nord-ouest de la ville.
- ✓ Djebel Moubkhira côté Sud-ouest (772 m).
- ✓ Djebel Kerdada côté sud (947 m).
- ✓ Mont de Menkeb Sidi Brahim (718 m) côté Sud-est de la ville et djebel El Maâleg côté Sud de la commune. [01]



Figure(I.2):Les champs de dunes de Boussaâda



Figure(I.3): la palmeraie de Boussaâda

Les vallées traversant le périmètre de Boussaâda :

- ✓ La vallée de l'oued Boussaâda qui forme une sorte de couloir entre le Djebel Moubakhera et Djebel Kerdada et coule au pied de ce dernier en se jettent dans la plaine Nord.
- ✓ La vallée de l'Oued Maîter située à l'ouest de la ville de Boussaâda avec une altitude de 587 m à la limite ouest du chef-lieu, et 547 m sur la RN 8, formant un couloir venteux animé par les vents Ouest et Nord, se perd dans les sables qui le bordent au nord de Boussaâda.

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 Sebkhha où les larges lits de l'Oued sont souvent à sec et sont soumis à la déflation des vents de l'Ouest.

La texture du sol du nord de Boussaâda est dominée par le sable.

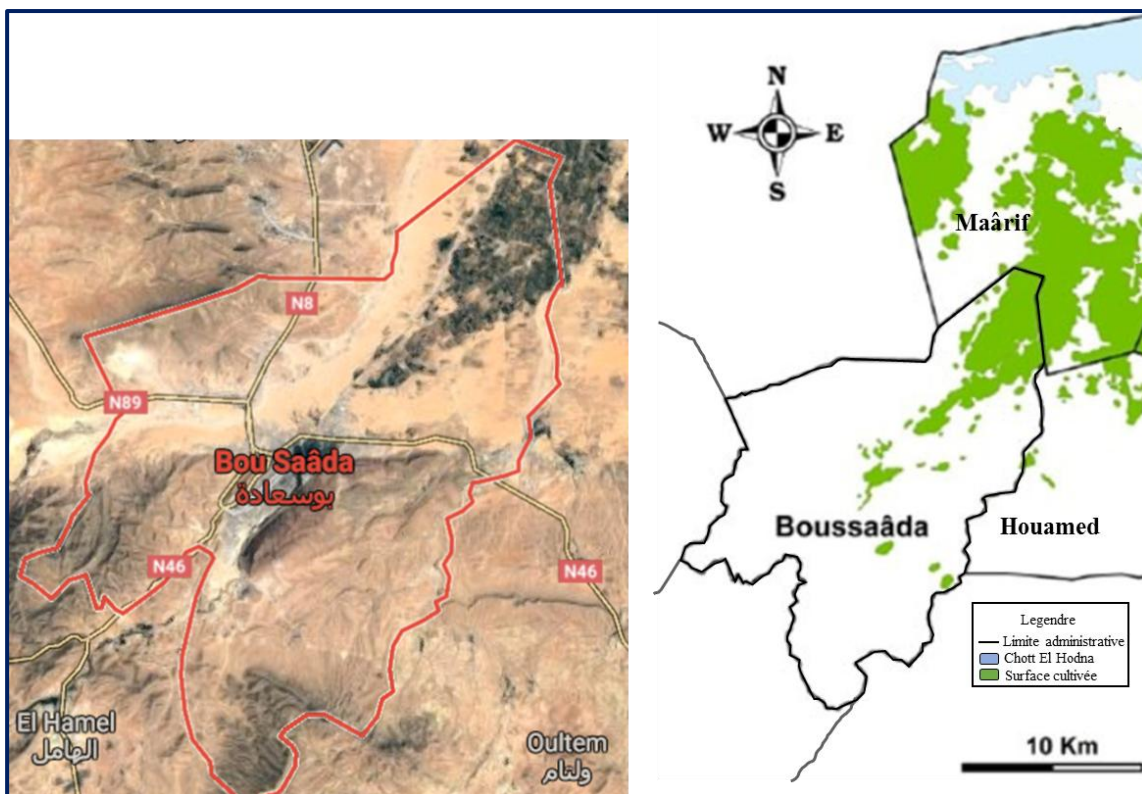


Figure (I.4) Photo satellitaire de la commune de Boussaâda

Au nord de la ville de Boussaâda, on trouve la région de Maadher impressionnée par son important potentiel agricole. Des étendues d'hectares de terrains agricoles et les vergers sont remarquables à perte de vue.

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

Le village de Maadher est situé au Nord-Est de la ville de Boussaâda sur le chemin de wilaya N° :04 à environ de 8 km du chef-lieu de la commune, la surface totale de cette village est 14600 Hectare.

Ces limites administratives :

- ✓ Au Nord : par la commune de Maarif
- ✓ Au Sud-Est : par la commune de Bou-Saadâ
- ✓ A l'Est : par la commune de Ouled sidi Brahim
- ✓ A l'Ouest : par la commune de Khoubana



Figure (I.5) localisation géographique de Maadher

I.2.1. Situation topographique :

L'aspect général du village Maadher-Bousaada est caractérisé par une topographie de relief pratiquement plane.

I.2.2. Démographie :

Selon les renseignements recueillis par les services A.P.C, La population de Maadher élevé jusqu'à 9000 habitants en 2018 avec une densité de 61.64 hab./km². [2]

Tableau I.1: L'évolution de la population de Maadher durant la période 1998-2018.

Évolution démographique		
1998	2008	2018
3943	7398	9000

Source : A.P.C Bou-Saada

I.3. Aperçu climatologique:

L'étude de la climatologie est très importante car la connaissance de la pluviométrie, les températures, l'humidité de l'air et les vents, nous permet de bien connaître la zone d'étude. [3]

I.3.1. Climat :

Le climat à Maadher est semi- aride caractérisé par un climat chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver. Le mois de janvier est le plus pluvieux, par contre les de juillet et Aout sont les plus chauds.

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

Tableau I.2 coordonnées de la station météorologique

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

Le climat est de type continental semi –aride aux hivers rigoureux et aux étés secs et chauds.

I.3.2 Précipitation:

Selon la situation géographique et la saison, les précipitations se caractérisent par des intensités, une durée et une fréquence très différentes. Les pluies peuvent être de très fortes intensités ou alors être de très faibles et persister plusieurs jours durant.

Dans la vallée, il ne neige pratiquement jamais. Dans les montagnes les précipitations sont en moyen de 100 à 200 mm/an, avec une pluviométrie mal réparties dans le temps et dans l'espace et des orages peu fréquents, répartis sur une dizaine de jours par an et pendant les mois très chauds. Aussi on note 30 jours de gelée blanche par an. [3]

Tableau I.3: Précipitation moyenne mensuelle de la région de Boussaâda durant la période (1994-2016).

mois	Sep	Oct	Nov	Déc.	Jan	Fé	Mars	Av	Mai	Jui	Jt	Aout
précip (mm)	20,03	8,8	14,45	24,9	8,9	9,1	11,53	16,28	12,38	11,6	9,7	10

Source : Station météo de Bou-Saada 2018

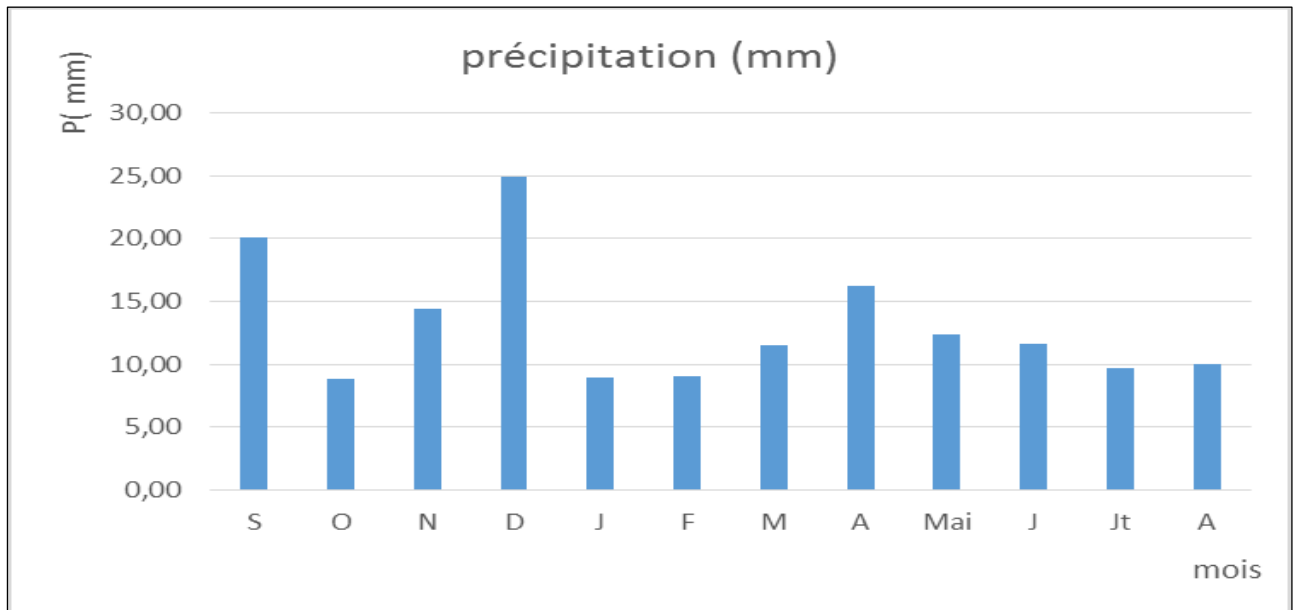


Figure (I.6) La pluviométrie moyenne mensuelle en (mm) de la région de Bou-Saadâ (1994-2016).

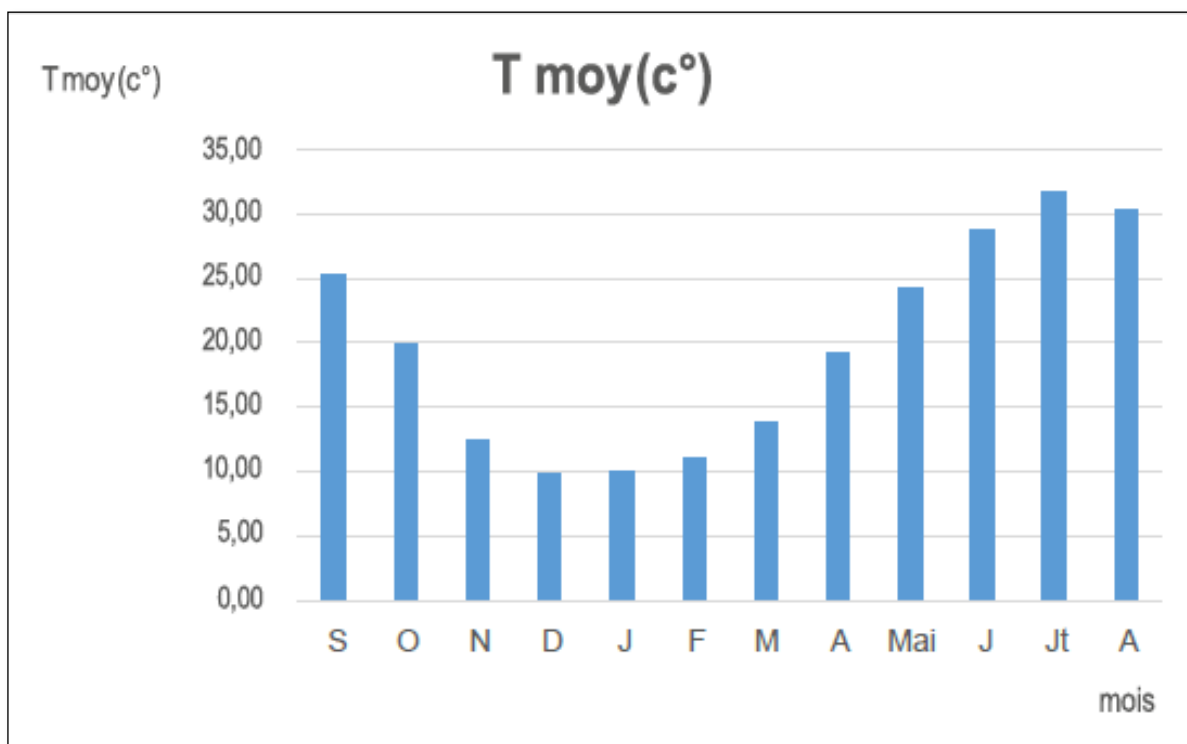
I.3.3. Températures :

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

Tableau I.4 : répartition de température en fonction des mois

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

Source : Station météo de Bou-Saada 2018



Figure(I.7) Température moyenne mensuelle de la région de Bou-Saada (1994-2016)

I.3.4 Vent:

Les vents sont canalisés par l'orientation du relief et ils 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.5 : Des vitesses moyennes mensuelles de la région de Bou-Saadâ (1994/2016).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	A v	Mai	Jui	Jt	Aout
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

Source : Station météo de Bou-Saadâ, 2018

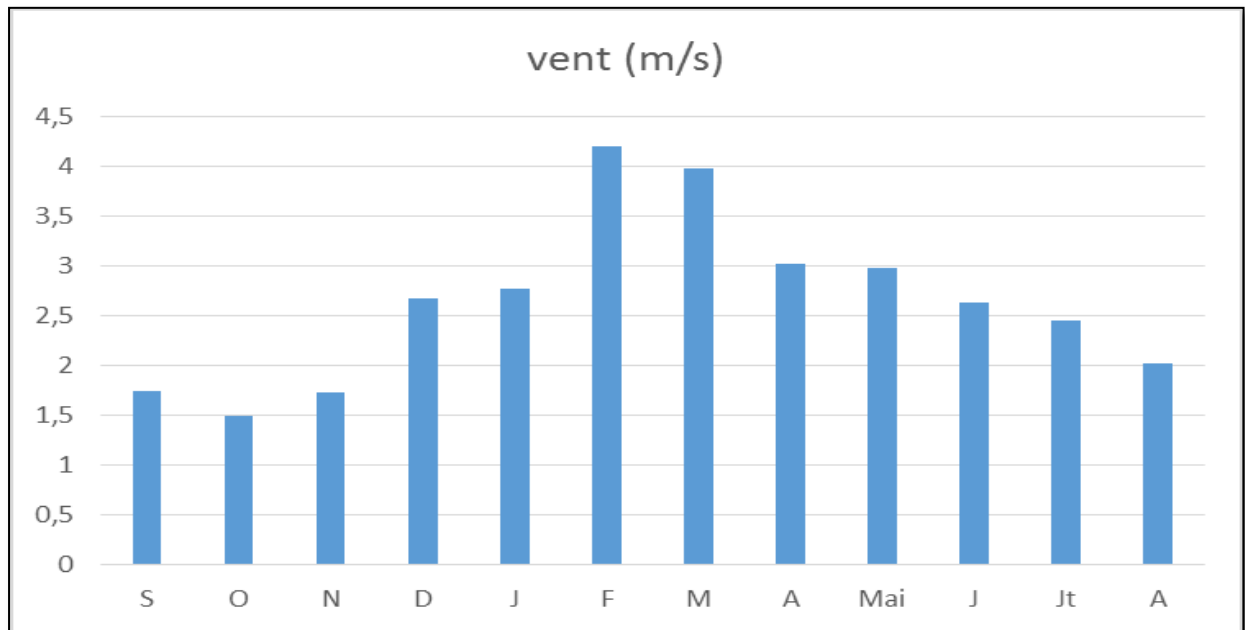


Figure (I.8): Variation des vitesses moyennes mensuelles de la région de Bou-Saadâ (1994-2016)

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 :

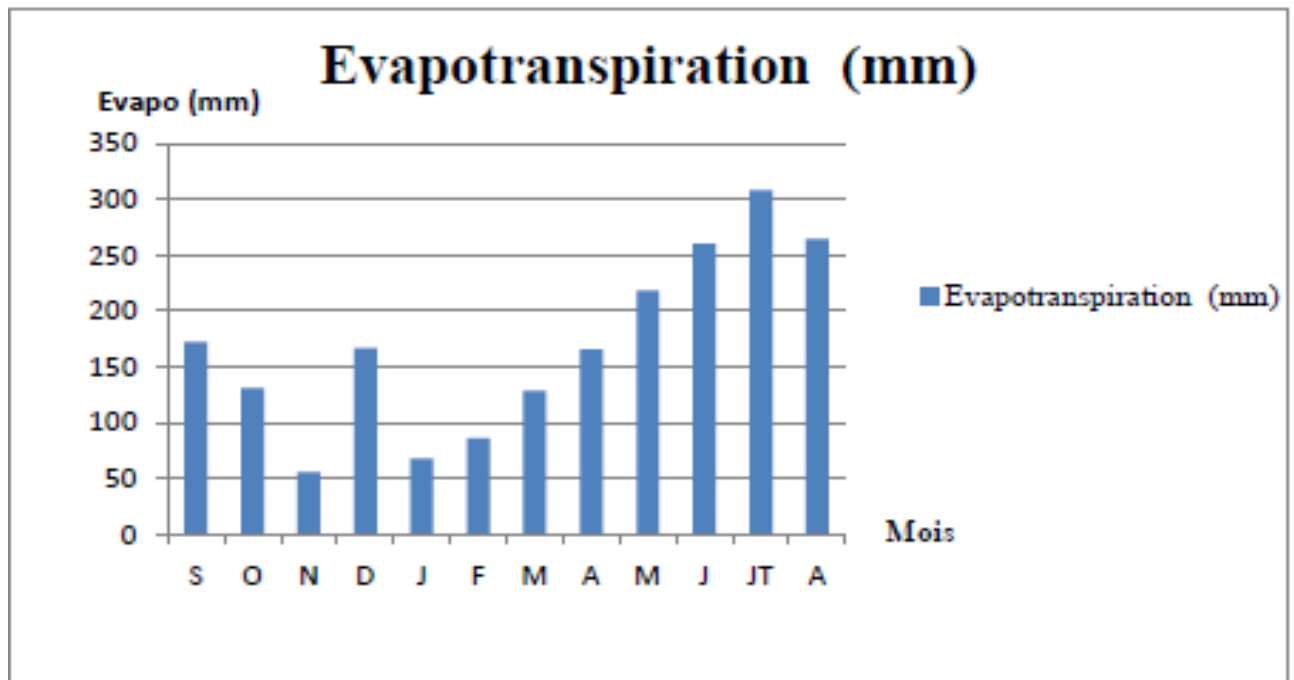
La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes.

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

Tableau 1.6 : Evapotranspiration en (mm) de la région de BOU SAADA durant la période 2004-2016

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	JT	Aou
ET (mm)	172,3	130,7	55,8	166,9	67,6	85,9	128,7	165,2	218,2	260,3	307,7	264,2

Source : station météo de Bou-Saadâ, 2018



Figure(I.9): Evaporation mensuelle de la station de Boussaâda (2004-2016)

Les données de la figure indiquent que la zone d'étude est caractérisée par une faible évapotranspiration qui varie entre 55.8 et 292.96 (mm/m).

I.4.Réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique de Boussaâda est marqué par la présence de deux oueds, c'est oued Maïter issu du versant sud de djebel Mobakhria, et l'autre oued Bou-Saada est issu du djebel Kardada. Les eaux pluviales qui traversent ces deux Oueds se déversent dans le chott du Hodna.

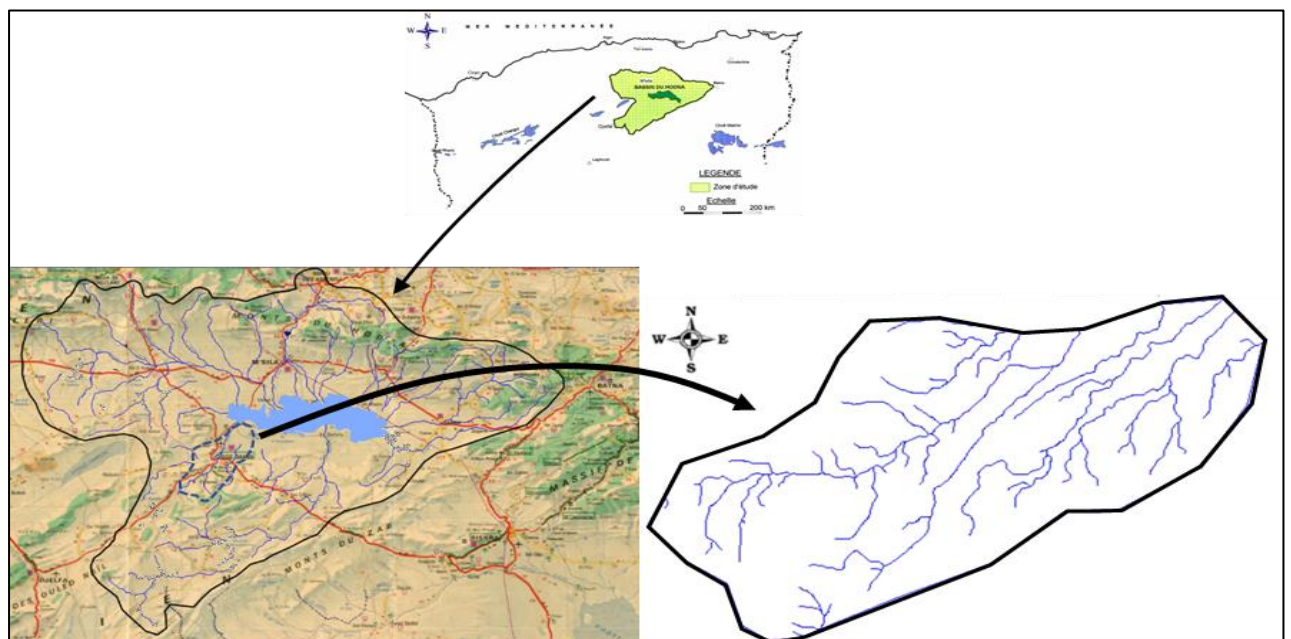


Figure (I.10) Réseau hydrographique du bassin versant de Boussaâda

La surface du bassin versant du Boussaâda est de l'ordre $187,4 \text{ km}^2$. Les courbes hypsométriques montrent que **72,32 %** de la surface totale du bassin versant est comprise entre les altitudes **500 m** et **800 m**. Au-dessous de **800 m**, le pourcentage des surfaces du bassin versant est très faible par rapport à la surface totale. Il est de l'ordre de **7,73 %**. Les altitudes au-dessus de **500 m** occupent une surface de l'ordre de **17,68 %**. D'après la courbe hypsométrique, on peut déduire que la pente est relativement assez moyenne.

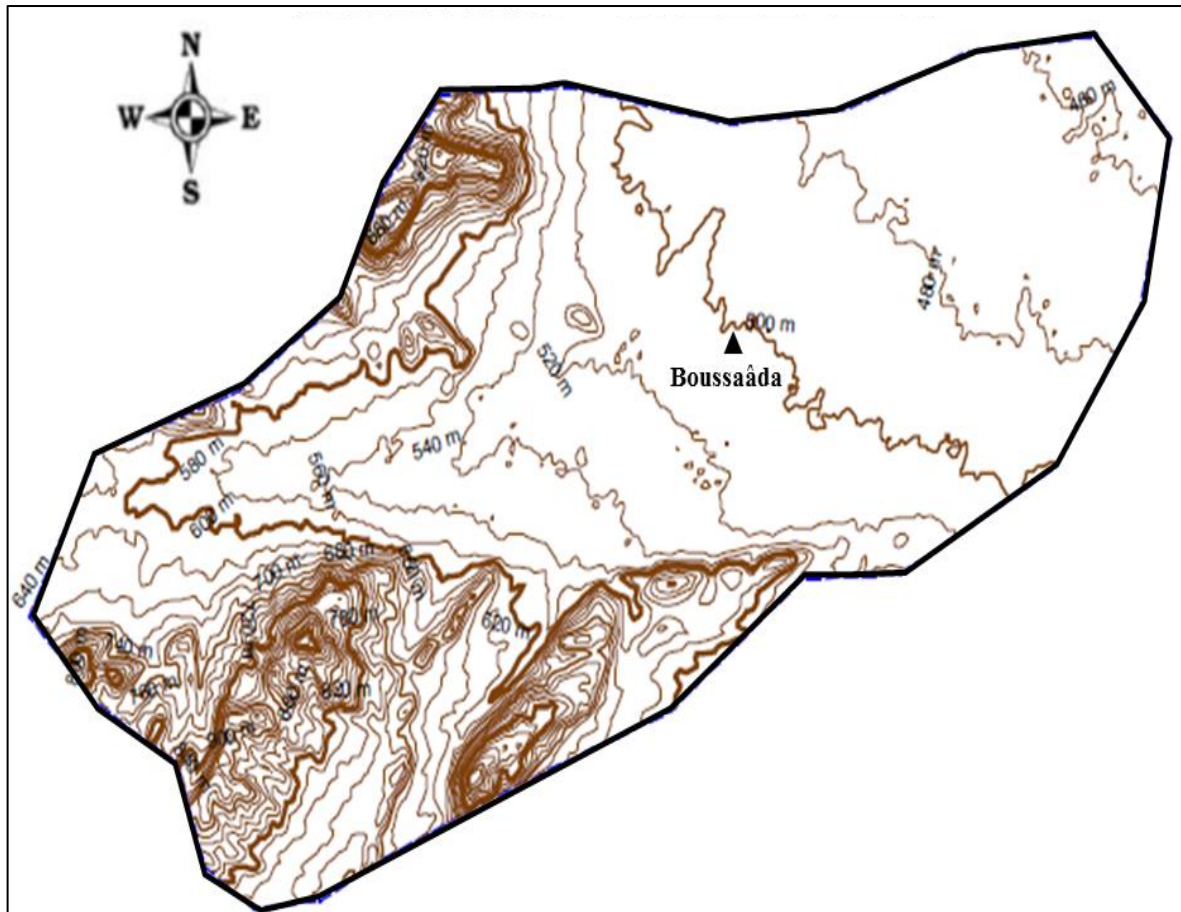


Figure (I.11) Carte hypsométrique du bassin versant de Boussaâda

La pente moyenne du bassin versant du Boussaâda est de l'ordre de **15,8 ‰**.

La densité de drainage qui représente la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant est de l'ordre de $150,44 \text{ km}^{-1}$.

I.5. Activité de la population :

L'agriculture occupe une place importante au sein des activités de la population rurale, la plupart des agriculteurs sont concentrés au village Agricole Maadher. Malgré c'est un village où l'eau jaillit abondamment grâce à la richesse de ses nappes phréatiques qui alimentent sans

discontinuité les sources et les fontaines publiques. La terre est fertile et les potentialités agricoles du village sont énormes. Mais peu qui se mettent au travail et ose remuer à cette terre généreuse, car les résultats se font sentir au niveau des EAC (Exploitation agricole collective) et la principale activité dans la région est les cultures maraichères, l'arboriculture et la céréaliculture.

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

La zone contient un nombre important de forages et puits, Le tableau (I.7) propose l'inventaire des forages exploités pour la collectivité du village Maadher. La totalité de ces forages sont alimentés par la nappe mixte du Hodna. Le tableau suivant représente l'inventaire du forage de la région étudiée.

Tableau I.7: Inventaire des forages de la zone de Maadher

N°	Nom du Forage	CODE	Les coordonnées			Débit d'exploitation (m3/j)	Débit d'exploitation (l/s)	Durée d'exploitation (h)	Etat
			X	Y	Z				
1	Maadher I	285/255	643,46	220,96	471	648	15	12	Ex
2	Maadher II	248/255	641,3	217,5	480	388.8	9	12	Ex
3	Maadher II	246/255	639,2	218	480	302.4	7	12	Ex
4	Maadher II bis	214/255	639,13	221	512	259	6	12	Ex
5	Maadher III	262bis/255	641,3	221,5	512	432	10	12	Ex
6	M.SIDI CHEIK	232/255	639,3	216,8	510	518	12	12	Ex
7	M.SIDI CHEIK	233/255	641,3	217	500	432	10	12	Ex
8	M.SIDI CHEIK	234/255	641,8	217	495	604.8	14	12	Ex
9	M.SIDI CHEIK	236/255	643,9	217,6	485	432	10	12	Ex
10	M.SIDI CHEIK	236 BIS/255	641,16	218,90	508	648	15	12	Ex

Source ADE M'sila Ex : exploité

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 10 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).

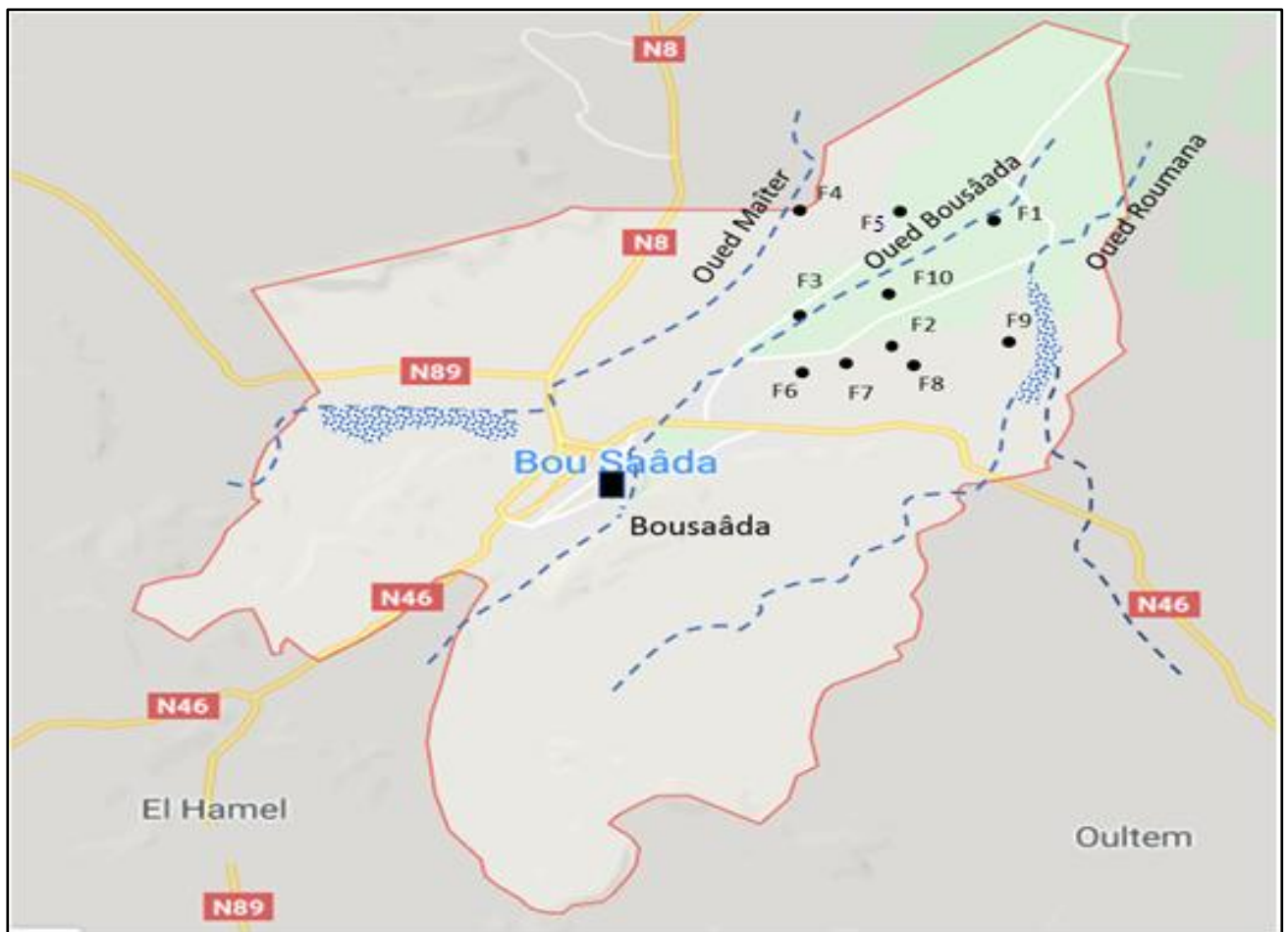


Figure (I.12) Inventaire des forages et localisation en fonction de l'aquifère.

I.7. Chaîne de Production

D'après les figures suivantes on peut observer que les distribution de l'eau potable se fait par la méthode suivante: Au début l'eau est transférée du forage vers les réservoirs de regroupage puis la station de pompage pour faire les traitements nécessaires de l'eau potable (au moins la désinfection) puis la transformation vers les réservoirs de distributions et en fin la distribution pour la consommation par l'habitants.[5]

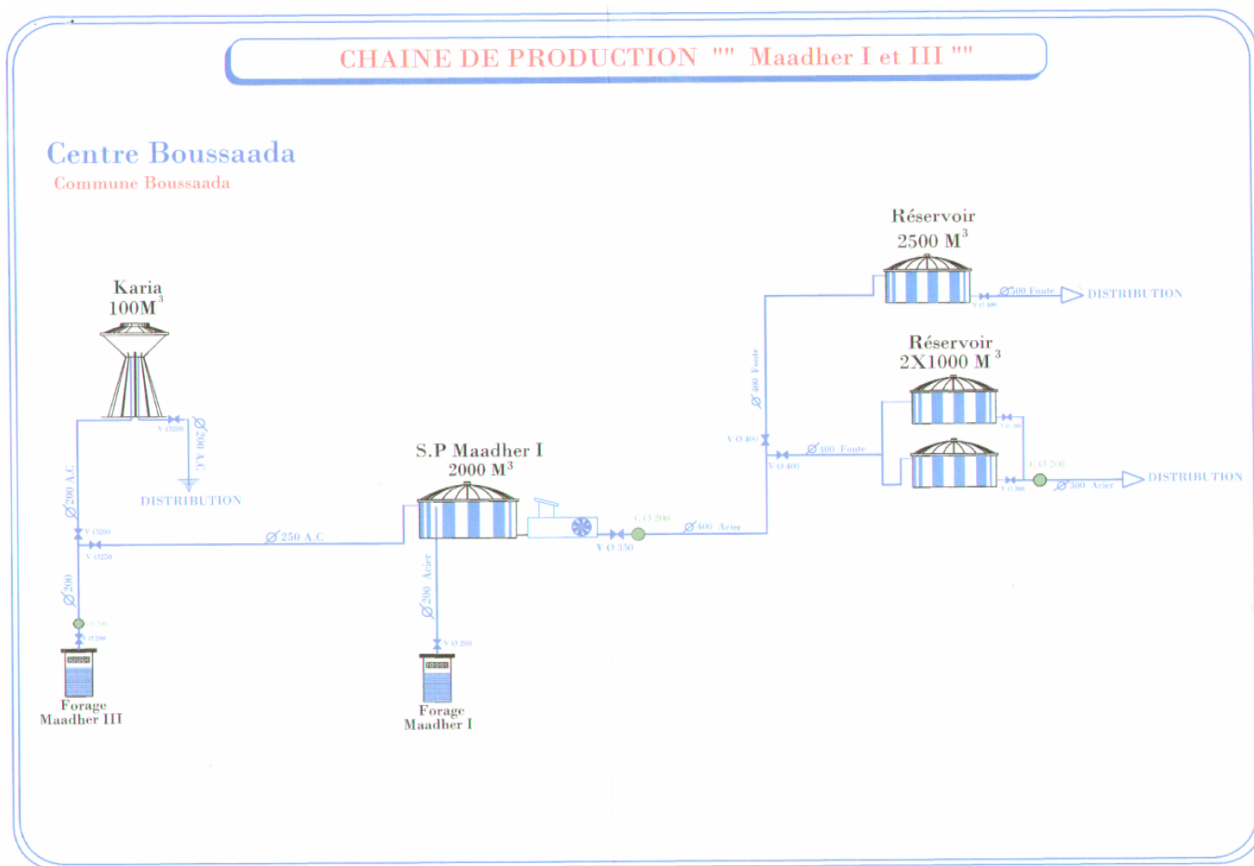


Figure (I.13) Chaîne de production « Maadher I et III ». [5]

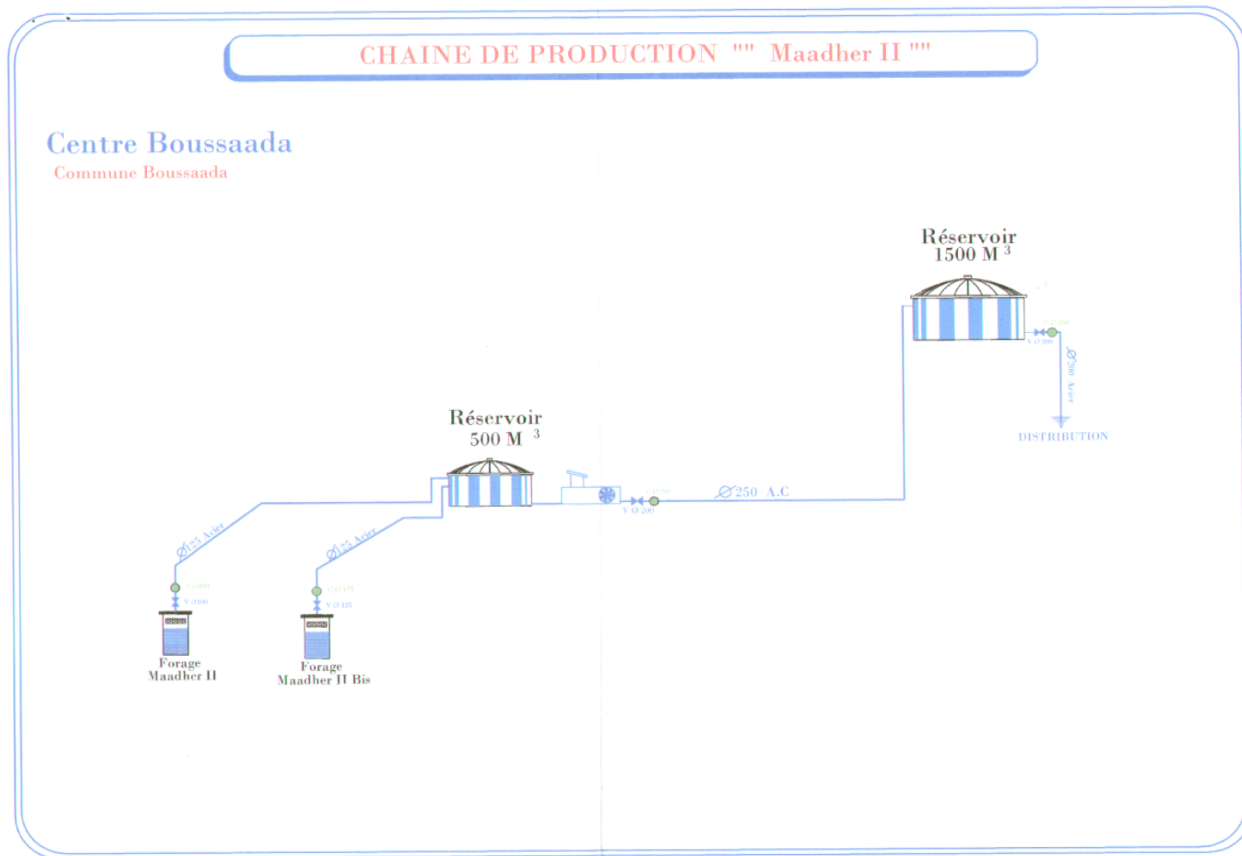


Figure (I.14) Chaîne de production « Maadher II ». [5]

I.8. Conclusion :

Le présent chapitre offre une brève description générale sur la zone d'étude village De Maadher qui se trouve dans la ville de Bou-Saada.

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

CHAPITRE II :

*L'étude géologique et
Hydrogéologique*

II.1 Introduction :

L'étude géologique nous permettons d'identifier la structure et la potentialité des aquifères exploités. Les formations perméables détritiques et les formations résistantes fissurées ou karstique susceptibles d'être aquifères, ainsi que les formations imperméables qui constituent soit le toit, soit le substratum. L'étude tectonique nous renseigne sur la géométrie des différents aquifères de la région. Les familles de failles entraînant la formation de fossés d'effondrement ou de soulèvement modifient ainsi la géométrie des couches qui va caractériser chaque type de nappe et permettent la communication probable entre les aquifères. [06]

II.2 Géomorphologie du bassin El Hodna :

Le relief du bassin Hodna est constitué des piedmonts, plaines, chott et R'mel. La position du bassin entre deux formations tellienne et saharienne résulte une grande complexité tectonique, cinq phases tectoniques ont en effet affecté le bassin lamarienne, atlantique, miocène, pliocène et quaternaire. [07]

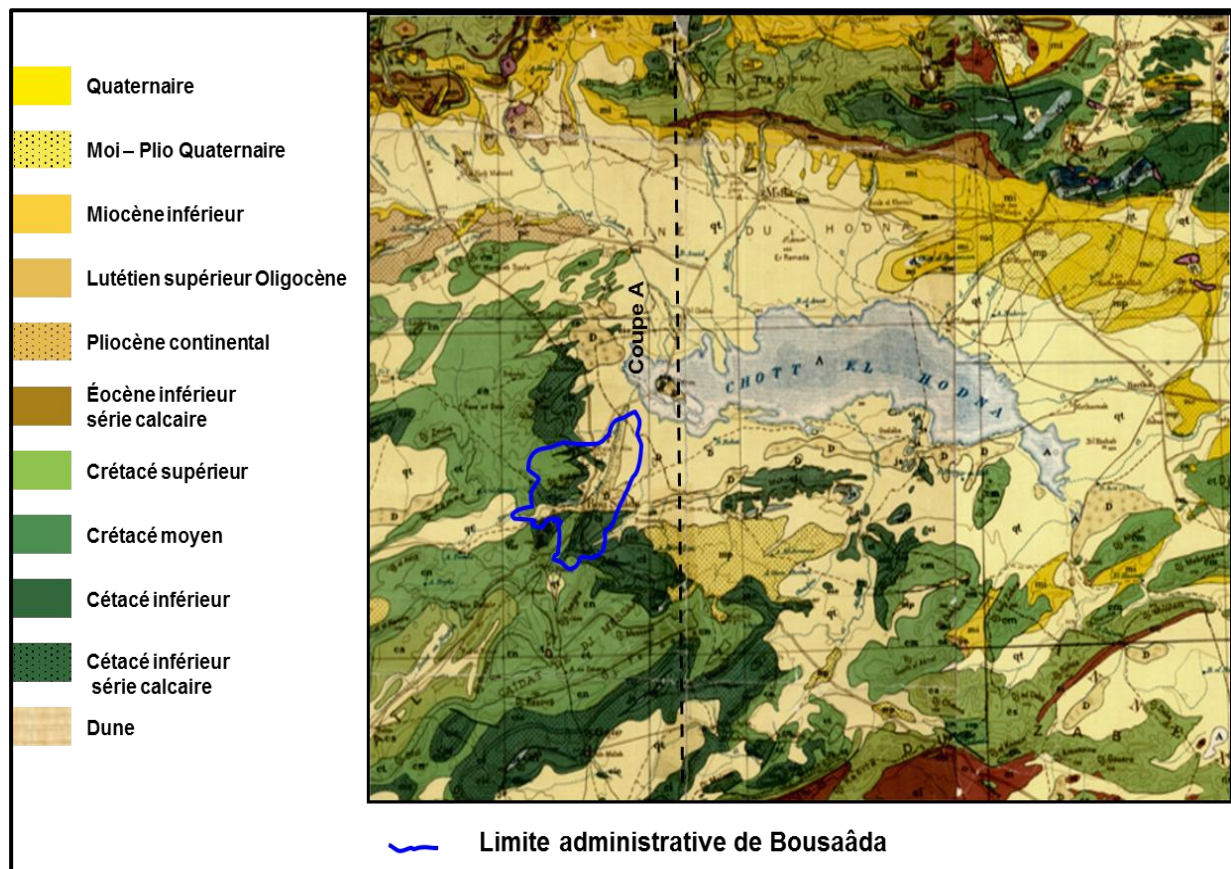


Figure II.1 : Carte géologique du bassin El Hodna, 1951

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Unité 4 : Les étendues chotteuses :**

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

La région est un milieu transitoire accumulateur de dépôts argileux récents qui bordent la sebkha, il réforme des dépôts alluvionnaires du quaternaire, la plaine se caractérise par des glacis d'accumulation et débordement à matériau fin qui correspondent aux glacis du quaternaire récent qui présentent des accumulations riches sous forme diffusée ainsi que des accumulations calcaro-gypseuses au gypseuses. [5]

II.2.1 Stratigraphie du bassin :

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

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

- **Le Jurassique et le carbonate** : occupants des surfaces réduites du bassin.

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

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

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

- **Le Paléogène** : il est présent en deux types de formation :

- **Formations autochtones** : représentées par l'éocène de faciès marnes et gypses à passées jaunâtre dues à l'alternance de la pyrite.

- **Formations allochtones** : sont les terrains argilo-marne-gypseux d'âge Eocène et Oligocène emballées de façon anarchique au Miocène.

- **Le Néogène** : il occupe une grande superficie de la région d'âge Miocène inférieur et moyen (marnes gris)

- **Le Quaternaire** : c'est l'âge pendant lequel ont été formés les chotts salés des hauts plateaux et de Sahara.

- **Le quaternaire ancien** : est présenté par des dalles calcaires conglomératiques surmontant localement des argiles sableuses roses.

- **Le quaternaire moyen** : comporte trois glacis de piémont (Saletien, Amirien, Tensifien) généralement étagés.

- **Le quaternaire récente** : montre des faciès lacustre (sable) du Soltanien, puis de vastes cônes de déjection grossière du Capsien se déposent.

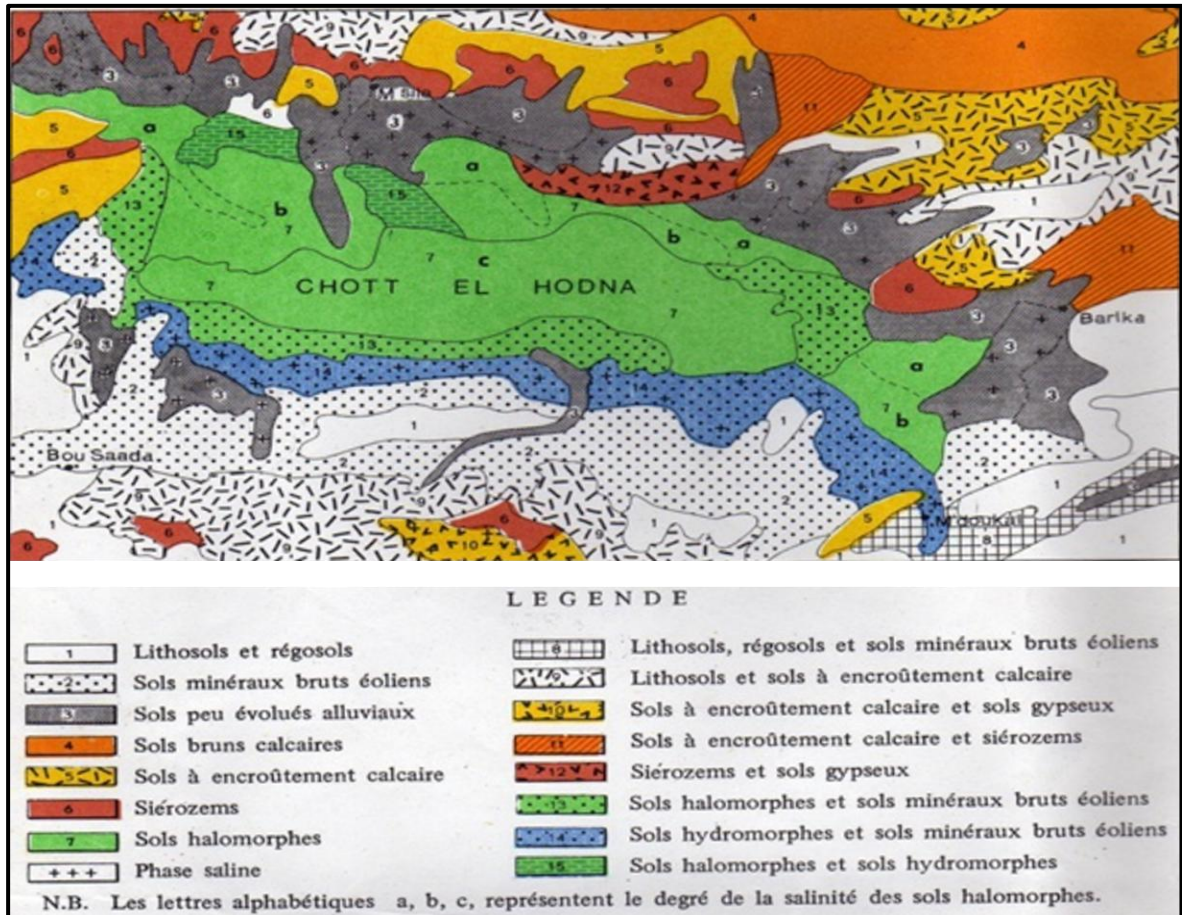


Figure II.2 Carte pédologique de la plaine du Hodna (FAO 1975)

Géologie de la région de Boussaâda :

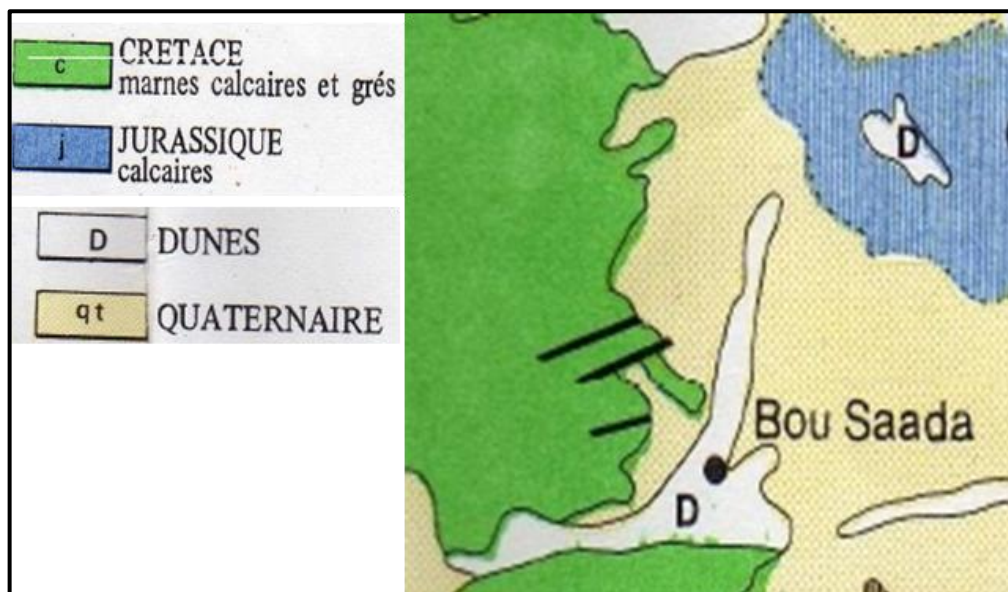


Figure II.3: carte Géologique de région de Boussaâda [8]

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

- **Alluvions anciennes et récentes** : Des limons souvent très riches en matière sableuse, atteignant parfois une épaisseur supérieure à 10 cm.
- **Dunes** : Localisées dans la cuvette des oueds Tamsa et Maîter, des sables souvent chargés en matière argileuse, ils proviennent de l'érosion de grès.
- **Tertiaire continental** : Ces formations sont localisées au Sud de Boussaâda, elles sont constituées par des dépôts d'argile rouge et de sables. L'épaisseur de ces formations est très variable de 50 à 250 m.
- **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 Bou Saada, 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 Bou Saada : 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.
- **Cénomaniens** : Sur environ 500 m on trouve : une série argileuse, puis une série de gypses et de calcaires. Au sommet, la puissante formation calcaro-dolomitique aquifère est parfois attribuée au Turonien.

II.3. 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 R'Mel (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.4: 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-5) 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-6) la coupe (1) avec des forages dont la profondeur dépassant les 250 m aboutit des formations correspondant au Miocène indifférencie.

De même pour la figure (II-7) la coupe (2) traverse entre autres le chott, renferme de formation datant du quaternaire surmontant des couches plus profondes du Moi-pliocène.

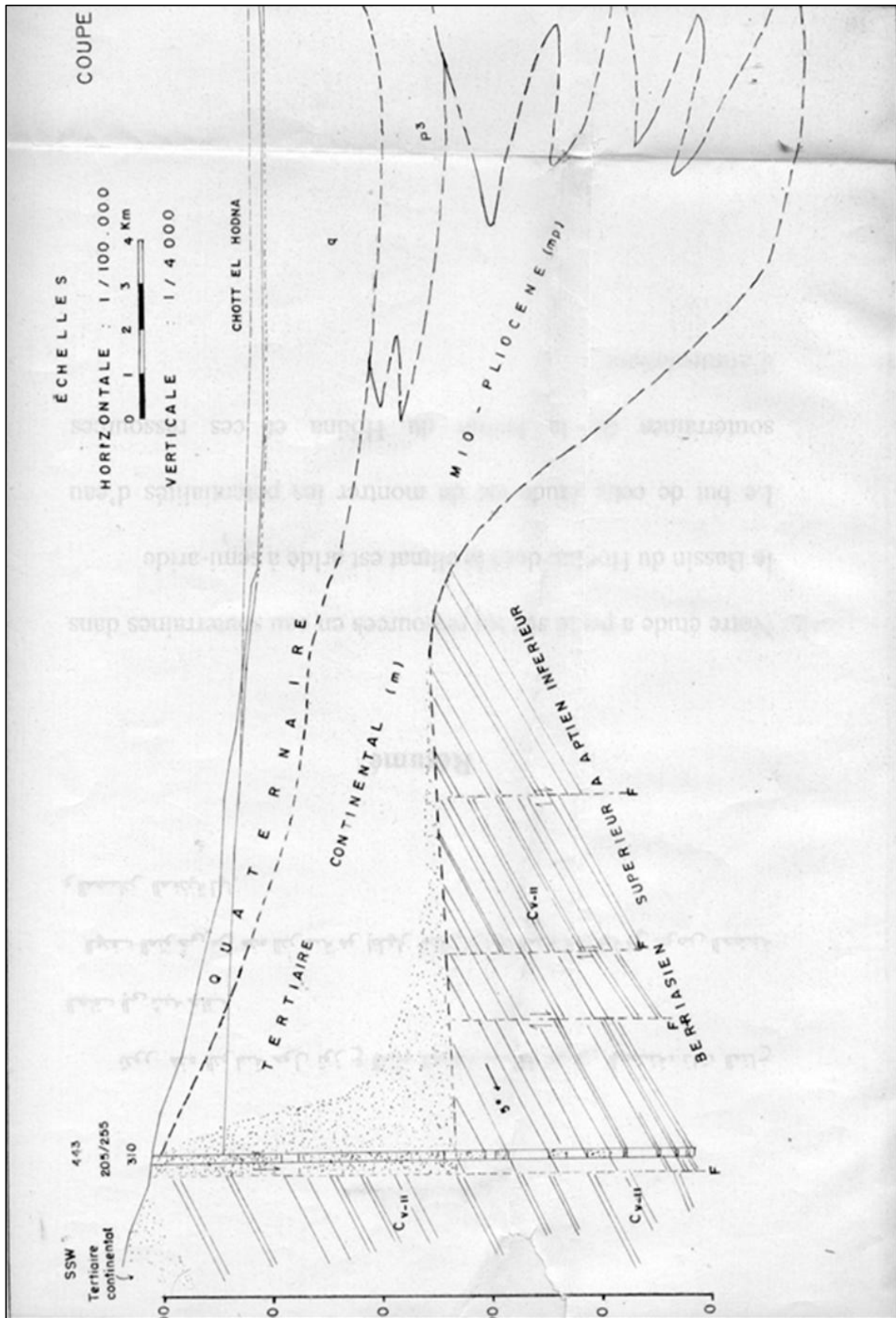


Figure (II-6) Coupe géologique du forage Maadher (235/255) suivant la figure II-5. (FAO 1973) [5]

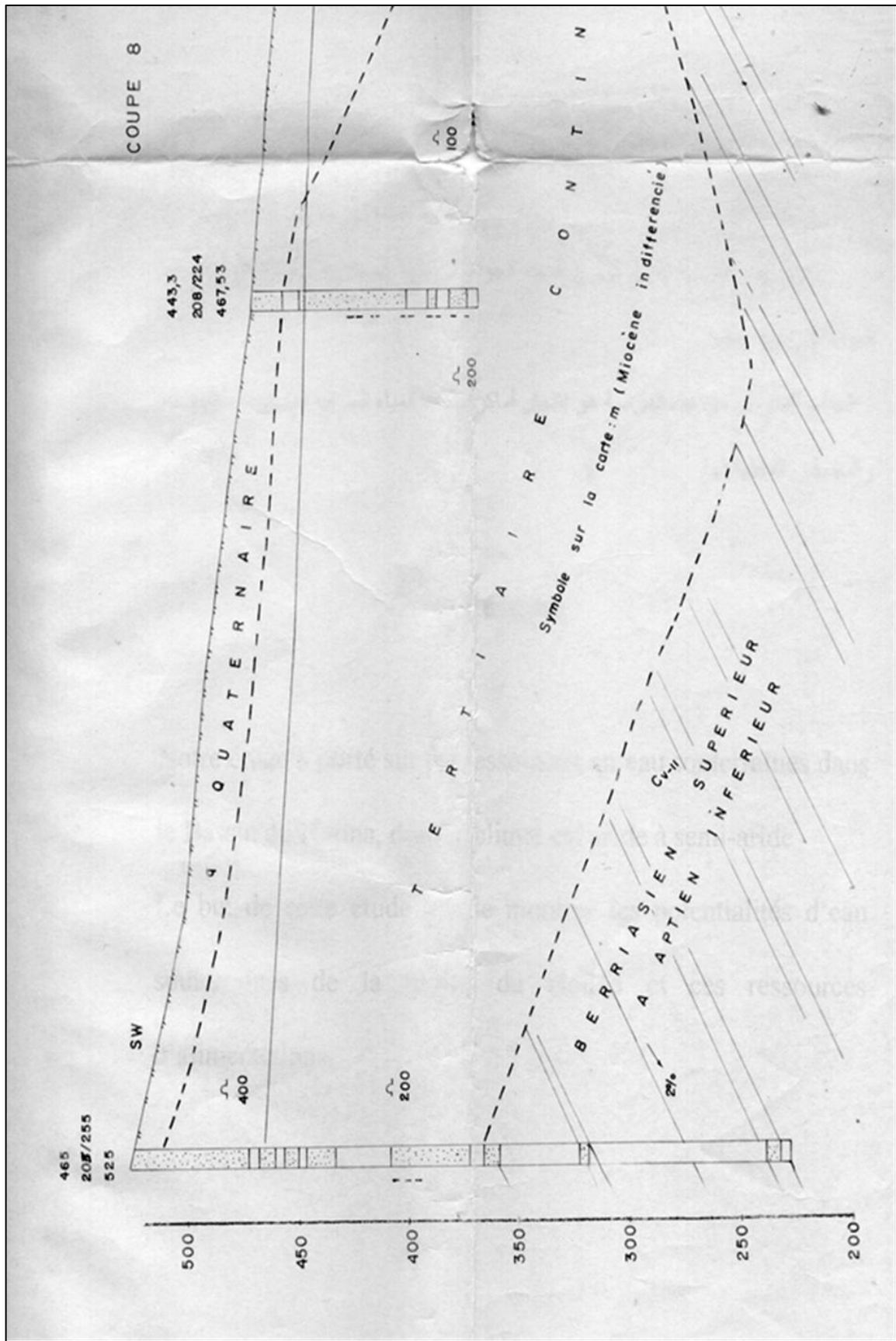


Figure (II-7) Coupe géologique du forage Maadher (233/255) suivant la figure II-6 (FAO 1973) [5]

II.4.1 : 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 Cevital 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.

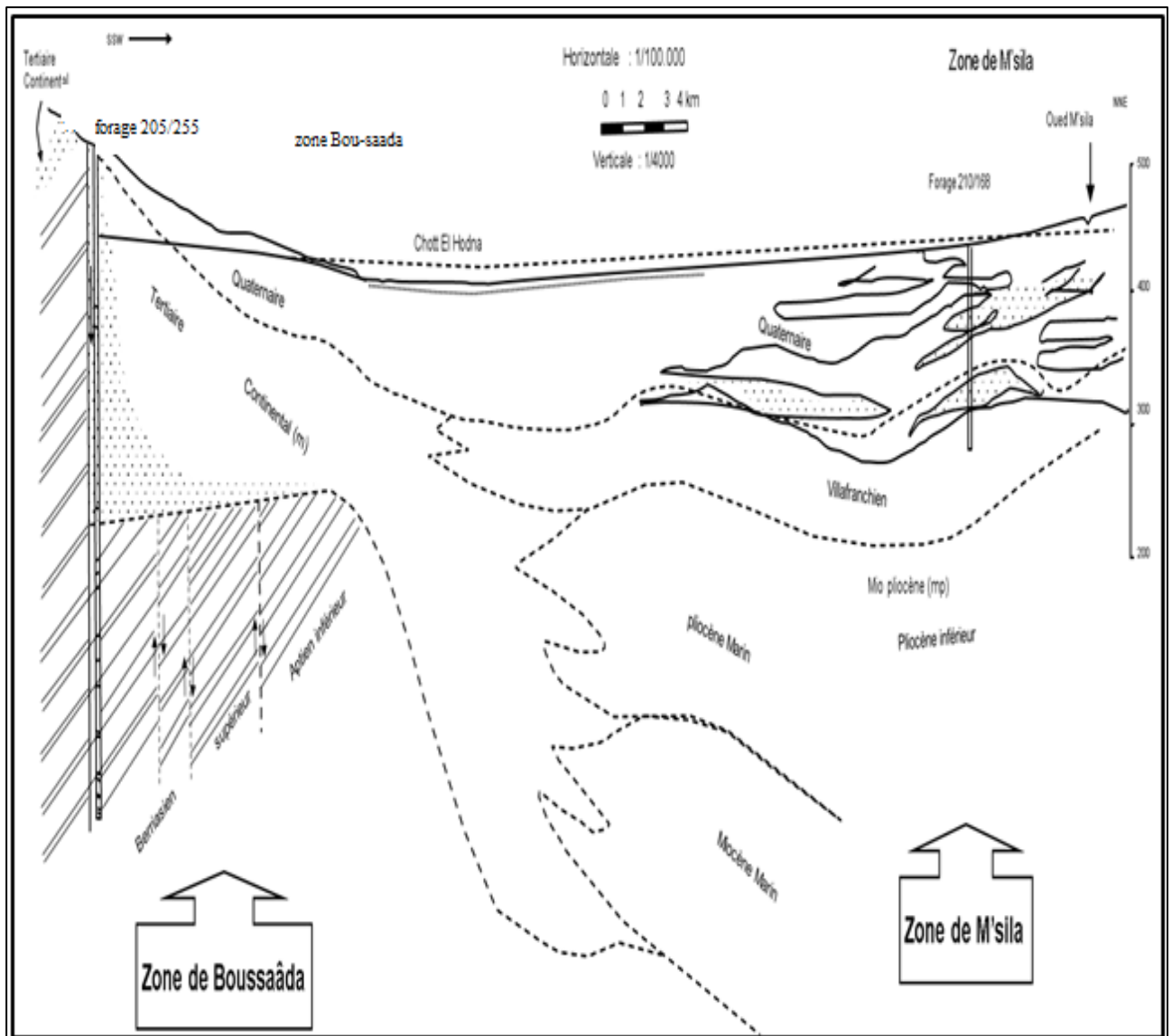


Figure II-8 : Coupe géologique de forage Maadher (205/255) suivant la Figure II-7

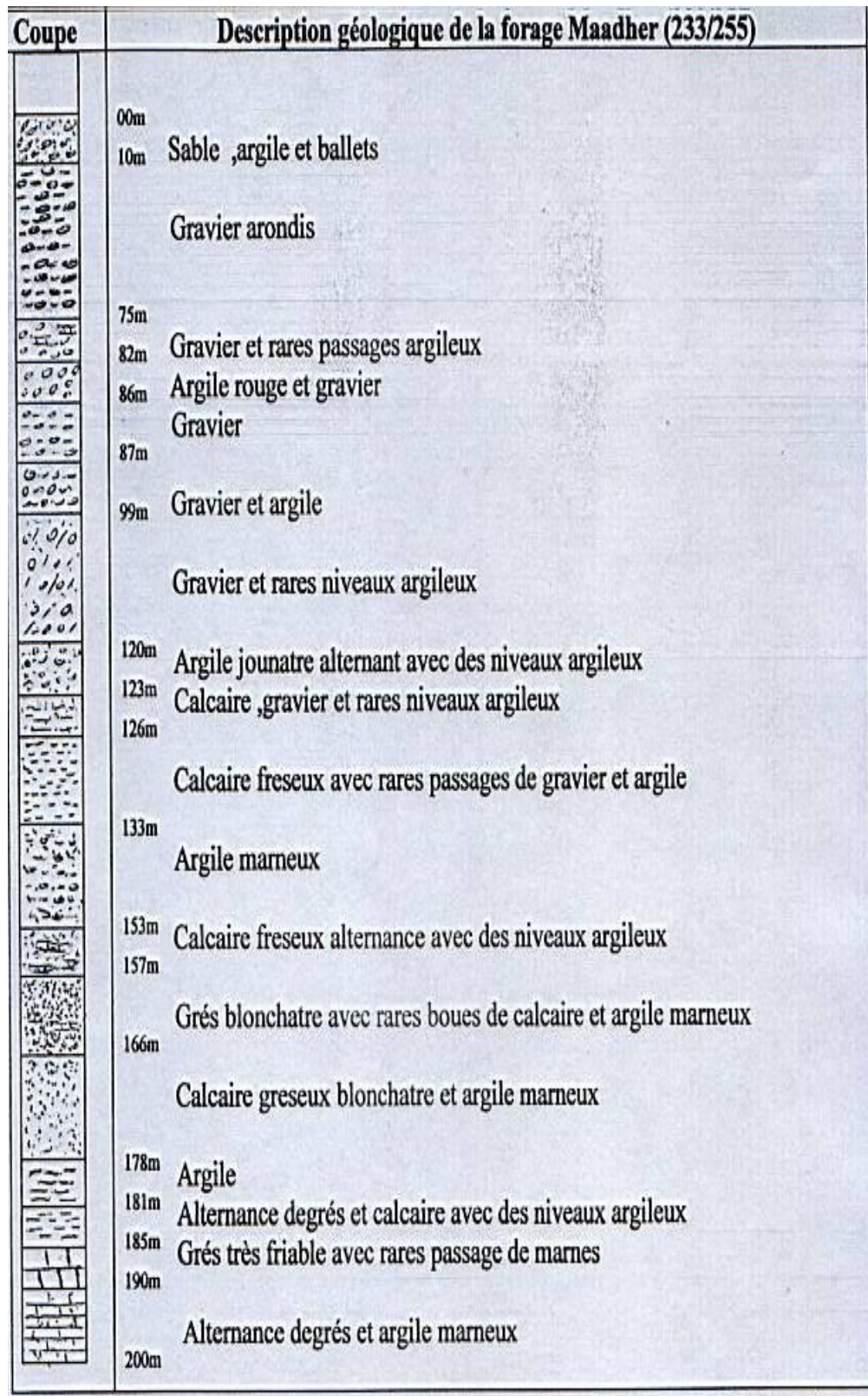


Figure II-9 : Schéma descriptive et la coupe géologique de forage Maadher

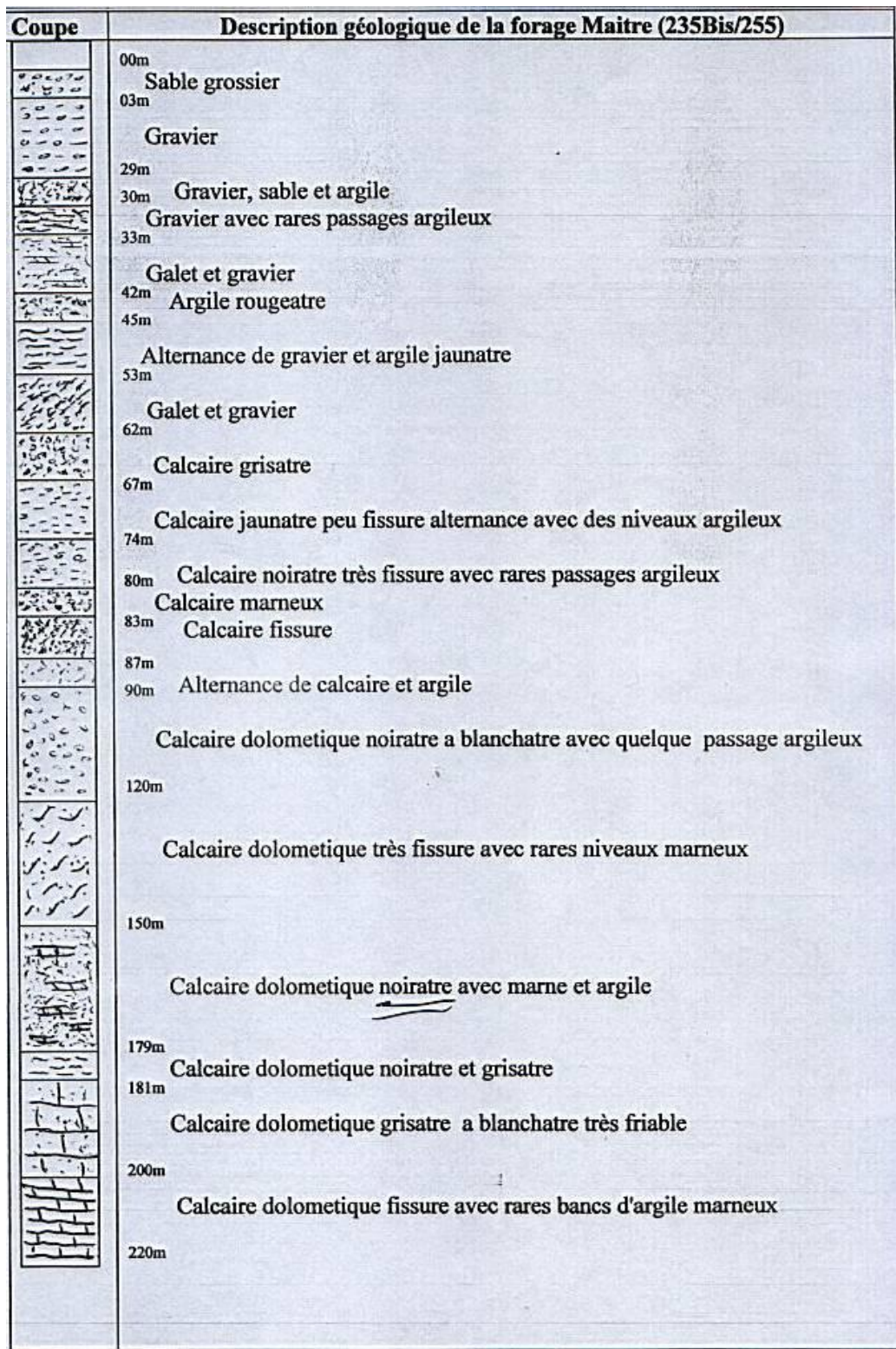


Figure II-10 : Schéma descriptive et la coupe géologique de forage Maître

II.5 .Hydrogéologie de la région :

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

Dans le sud 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**).

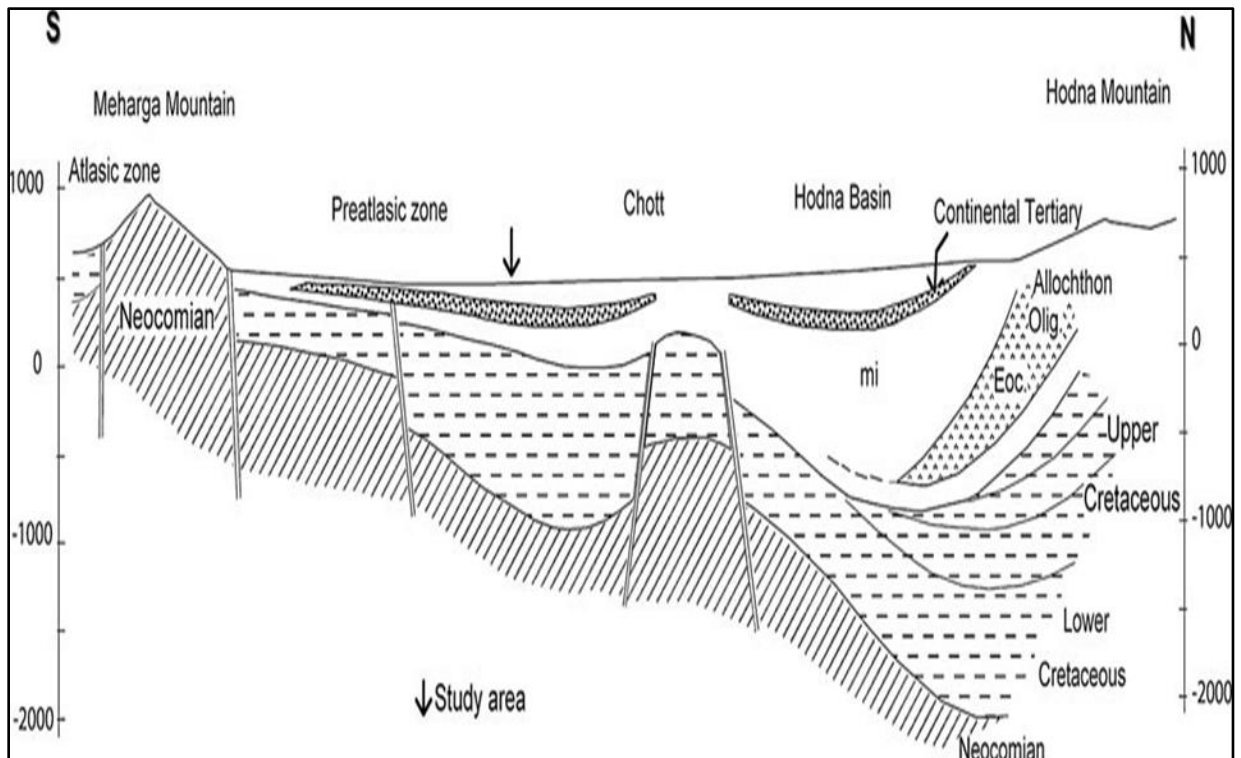


Figure II.11 : Coupe schématique du bassin de Chott El Hodna Altitude et profondeur / mètre

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 isopiézométriques 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 Miopliocène 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. [10]

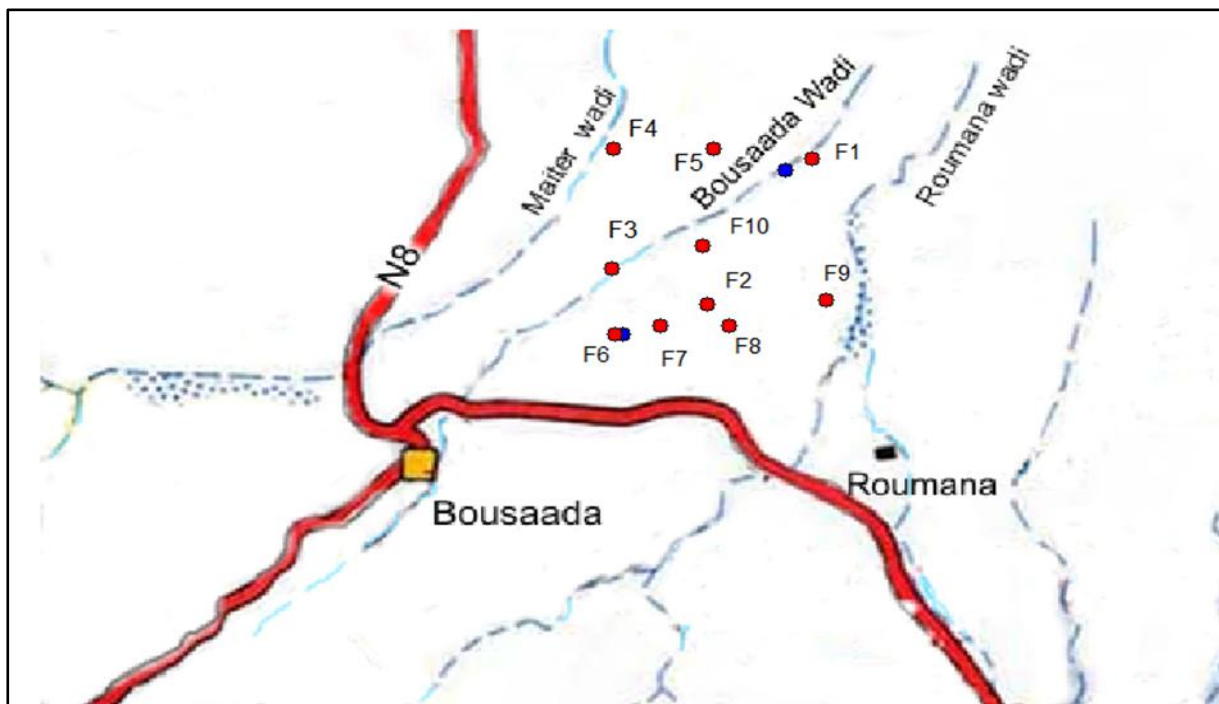


Figure II. 12: Le réseau hydrographique [9]

II.5.1 Les eaux souterraines :

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

Les terrains en bordure du Chott sont 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 Boussaâda.

- **Nappe captive** : Son aquifère est constitué par des conglomérats du Mio-Pliocène situé au sud du Chott, ses eaux sont moins salées mis à part ces deux nappes, il existe d'autres aquifères du Crétacé et du Jurassique moins bien connus que les premiers, exploités à partir des 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 [10].

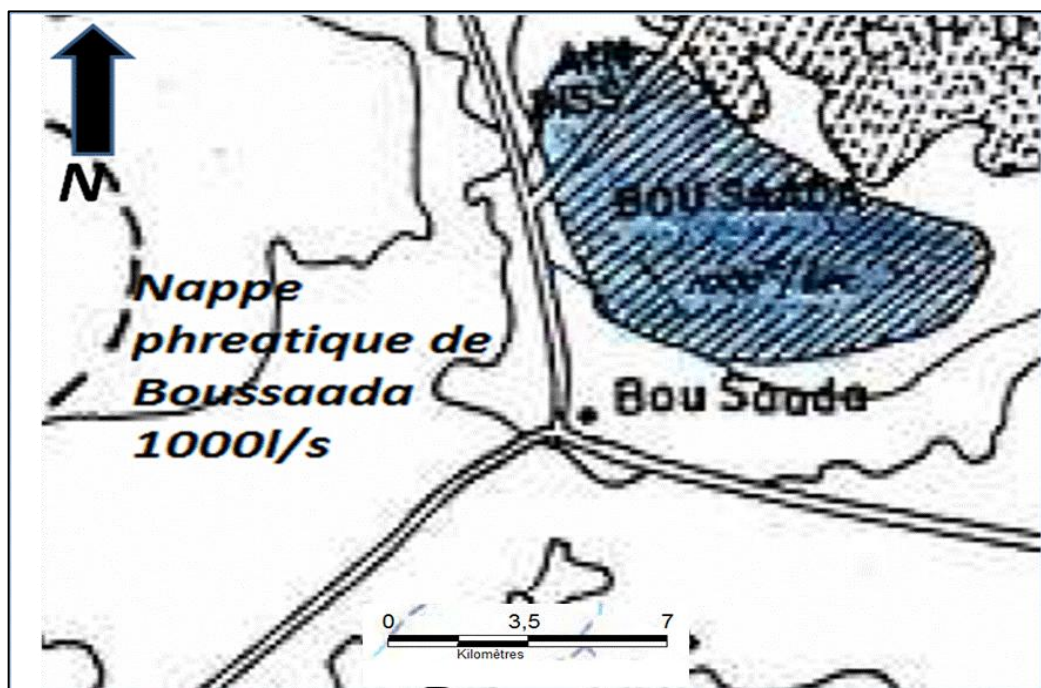


Figure II-13 Position de la nappe de Boussaâda. [9]**II-6 Conclusion**

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

L'étude hydrogéologique de la région a montré que Boussaâda contient tant des nappes qui sont alimentées par la nappe mixte de Hodna.

Ces études permettront de déterminer la qualité des eaux souterraines et faciliter de savoir les raisons pour lesquelles 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.1. Introduction :

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture.

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

Naturellement filtrée par le sol, l'eau souterraine est le plus souvent de bonne qualité et exempte de micro-organismes pathogènes. Celle-ci demeure cependant une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent en affecter la qualité et la rendre impropre à toute fin. Les fuites de réservoirs d'essence, les débordements d'installations septiques et l'usage d'engrais et de pesticides sont quelques exemples de sources de contamination susceptibles d'affecter les eaux.

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l) [11]. La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation.

III.2 Paramètres de qualité :

III.2.1 Définitions :

Toute eau destinée à la consommation humaine doit être "potable". Une eau remplit cette condition de potabilité si sa consommation ne présente aucun danger pour la santé des usagers. La vérification de cette condition passe 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.3. Principaux paramètres de potabilité :

III.3.1 Les paramètres organoleptiques (physique) :

❖ Odeur et saveur :

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

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

❖ Couleur :

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

III.3.2 Les paramètres physico-chimiques :

❖ Température :

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

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

❖ PH :

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

❖ Turbidité :

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

❖ Conductivité :

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

❖ Matière en suspension (MES) :

Les matières en suspension sont des particules solides très fines visibles à l'œil présente dans l'eau que la pratique devise en :

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

❖ Résidu sec :

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

III.3.3 Les paramètres chimiques :**III.3.3.1 Ions majeurs :**

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes [12].

Les cations :**❖ Calcium Ca^{++} :**

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

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

❖ Magnésium Mg^{++} :

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

❖ Sodium Na^+ :

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

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

❖ Potassium K^+ :

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

Les anions**❖ Chlorure Cl^- :**

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

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

- Activités humaines et industrielles.

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

L'inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'il communique à l'eau surtout s'agit de chlorure de sodium.

❖ Sulfate SO_4^{2-} :

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

La présence de sulfates dans l'eau de boisson peut lui communiquer un gout notable qui varie selon la nature du cation associé. Le seuil de détection gustative va de 250mg/l pour le sulfate de sodium à 1000 mg/l pour les sulfates de calcium.

❖ Nitrate NO_3^- :

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

❖ Bicarbonates HCO_3^- :

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

- La tension de CO_2 dissout
- La température de l'eau
- Le pH de l'eau

- La concentration de l'eau en sels nature et nature lithologiques des terrains traversés

III.3.2.4 Les paramètres bactériologiques :

Ce sont les germes indicateurs d'une pollution fécale (coliformes, streptocoques), certains germes pathogènes (salmonelles, staphylocoques, bactériophages fécaux, entérovirus).[12]

Tableau III-1 Normes Algériennes de qualité des eaux potables. [13]

Paramètre	Valeur limite
A. Paramètres organoleptiques	/
- Couleur	15 à 20 mg Co-Pt
- Turbidité	5 NTU ou 15 gouttes de mastic
- Odeur et Saveur	Absence
B. Paramètres physico-chimiques	/
- Température	15 °C
- pH	6.5 à 8.5
- Conductivité	2800 µS/cm à 20 °C
- Chlorures Cl ⁻	200 - 500 mg /L
- Sulfates SO ₄ ²⁻	200 - 400 mg /L
- Magnésium Mg ⁺⁺	150 mg/L
- Sodium Na ⁺⁺	200 mg/L
- Potassium K ⁺	20 mg/L
- Calcium Ca ⁺⁺	75 - 200 mg/L
- Aluminium Al ³⁺	0.2 mg/L
- Dureté totale TH	500 mg/L en CaCO ₃ = 50 °F
- Résidu sec à 105 °C	2 g/L
- Minéralisation	2 g/L
Paramètres concernant les substances indésirables	/
- Nitrates NO ₃ ⁻	50 mg/L
- Nitrites NO ₂ ⁻	0.1 mg/L
- Ammonium NH ₄ ⁺	0.05 - 0.5 mg/L
- NTK (Kjeldahl)	2 mg/L
- NTK (Kjeldahl)	5 mg/L
- Matières organiques M.O.	0.02 µg/L (absence d'odeur)
- Hydrogène Sulfuré H ₂ S	10 µg/L
- Hydrocarbures	2 µg/L (absence)
- Phénols	0.3 mg/L

- Fer Fe ⁺⁺	0.5 mg/L
- Manganèse Mn ⁺⁺	0.05 – 1,5 mg/L
- Cuivre Cu ⁺⁺	5 mg/L
- Phosphor PO ₄ ³⁻	5 µg/L
- Zinc Zn ⁺⁺	0.3 - 2 mg/L
- Fluor F ⁻	0.05 mg/L
- Argent Ag ⁺	/
<u>Paramètres concernant les substances toxiques</u>	0.05mg/L
- Arsenic As	0.01 mg/L
- Cadmium Cd ⁺⁺	0.61 µg/L
- Sélénium Se	50 µg/L = 0.05 mg/L
- Cobalt Co	0.05 mg/L
- Chrome hexa valent Cr ⁺⁶	1 µg/L
- Mercure Hg ⁺⁺	50 µg/L
- Nickel Ni ⁺⁺	/
<u>C. Paramètres Bactériologiques</u>	- absence dans 100 ml (eau traitée)
- Escherichia Coli	- absence dans 100 ml (eau traitée)
- Streptocoques fécaux	- absence dans 100 ml (eau traitée)
- Clostridium Sulfito-réducteurs.....	

III.4. Pollution des eaux :

Le terme "pollution" peut être défini comme une modification néfaste de l'environnement naturel résultant des effets directs ou indirects des niveaux de rayonnement, de la constitution physico-chimique de l'environnement naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces changements peuvent affecter les humains directement ou par le biais des ressources agricoles, de l'eau et d'autres produits biologiques. Ils peuvent également l'affecter alternativement, aux objets physiques qu'il possède, aux possibilités récréatives des environnements ou en défigurant la nature (Koller, 2004).

III.4.1. Sources de pollution :

Il existe deux sources de pollution : la pollution ponctuelle et la pollution diffuse.

III.4.1.1. La pollution ponctuelle:

Elle est constituée de rejets localisés, plus ou moins abondants et relativement faciles à identifier. Il est chronique ou accidentel, causé par des déversements domestiques, urbains ou industriels peu ou non limités.

- **La pollution urbaine :**

La pollution urbaine, telle que les eaux usées urbaines, entraîne des substances en suspension et dissoutes telles que des produits ménagers. Les usines de traitement des eaux usées ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution. Certains composés organiques, en particulier les phosphates, sont à l'origine des déséquilibres des écosystèmes en favorisant trop le développement de certains légumes indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui y sont présents [14].

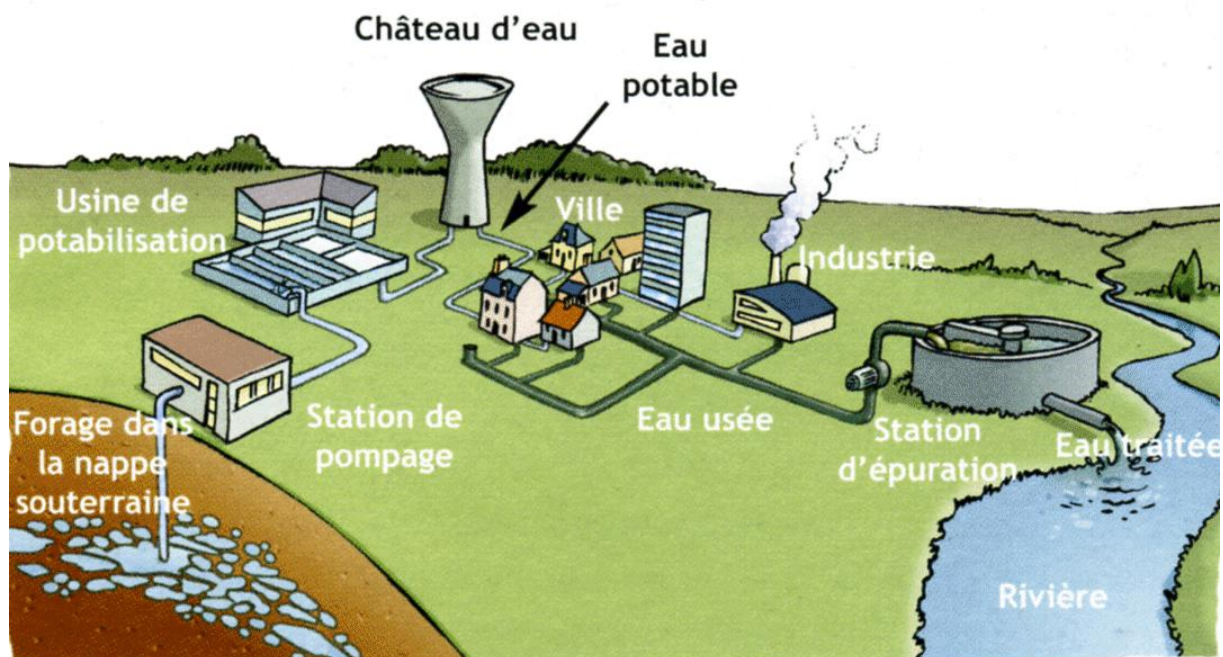


Figure.01. Les pollutions des eaux usées

- **Pollution industrielle :**

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



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

III.4.1.2. Pollution diffuse :

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusé de sols. Différentes substances sont transportées dans les eaux souterraines telles que les hydrocarbures, les métaux lourds et les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces. Il est difficile à identifier et donc difficile à contrôler.

- **Pollution agricole :**

La pollution agricole fait référence aux sous-produits biotiques et abiotiques (les facteurs biotiques représentent l'ensemble des interactions du vivant sur le vivant dans un écosystème. Opposables aux facteurs abiotiques, ils constituent une partie des facteurs écologiques de cet écosystème) de pratiques agricoles qui entraînent une contamination ou une dégradation de l'environnement et des écosystèmes environnants et / ou portent atteinte à l'homme et à ses intérêts économiques.

Les engrais apportent aux végétaux cultivés les nutriments nécessaires à leur croissance. Les trois principaux sont : l'azote, le phosphore et le potassium. Les trois éléments que sont l'hydrogène, le carbone et l'oxygène, nécessaires à l'activité de photosynthèse sont apportés par l'air et l'eau.

Les dérivés de l'azote (en particulier les nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les environnements recevant des eaux de ruissellement et des eaux d'infiltration provenant de l'agriculture en favorisant le développement d'algues qui se produisent dans toutes les autres formes de vie en raison de leur activité sur le développement

Les pesticides sont des produits chimiques utilisés pour détruire les champignons (fongicides), les mauvaises herbes (herbicides), les vers de terre (nématocides) et les insectes (insecticides) parasitant l'agriculture. Ces produits sont conçus pour être rapidement neutralisés avec une courte durée de conservation lorsqu'ils sont dissous dans le sol, mais l'utilisation d'une préparation médiocre a des effets d'intoxication importants [14].

L'accumulation de ces produits dans le cours d'eau peut avoir un impact important sur le milieu marin, à l'endroit même où les oueds coulent, ou par le retour des aquifères souterrains qui forment des sources.

- **Pollution atmosphérique :**

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

III.4.2. Les principaux polluants des eaux :

III.4.2.1. Sels minéraux :

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

III.4.2.2. Matières fertilisantes :

La présence excessive d'azote et de phosphore dans le cours d'eau provoque la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et consomment en particulier l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est générée par les eaux usées urbaines,

certaines effluents industriels et les eaux de ruissellement chargées d'engrais qui apportent une quantité excédentaire aux cultures.

III.4.2.3. Métaux lourds :

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

III.4.2.4. Polluants microbiologiques de l'eau :

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

III.4.2.5. Matières en suspension :

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

III.4.2.6. Matières organiques :

Certains rejets contiennent des matières organiques. Ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ par des microorganismes (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 "demande biologique en oxygène" (DBO) pure, c'est-à-dire la quantité d'oxygène que les microorganismes consommeront pour sa biodégradation. La demande chimique en oxygène (DCO), c'est-à-dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut être chimiquement.

III.4.3. Différentes formes de l'azote :

L'azote peut exister sous trois formes principales :

- **Minérale :**

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

- **Organique :**

Il entre dans la constitution des protéines dans tous les tissus vivants. L'azote est surtout employé dans la synthèse des produits de base (ammoniac, acide nitrique, etc.) dans l'industrie d'engrais, des explosifs et des colorants[14].

- **Gazeuse :**

Il constitue 78% de l'atmosphère.

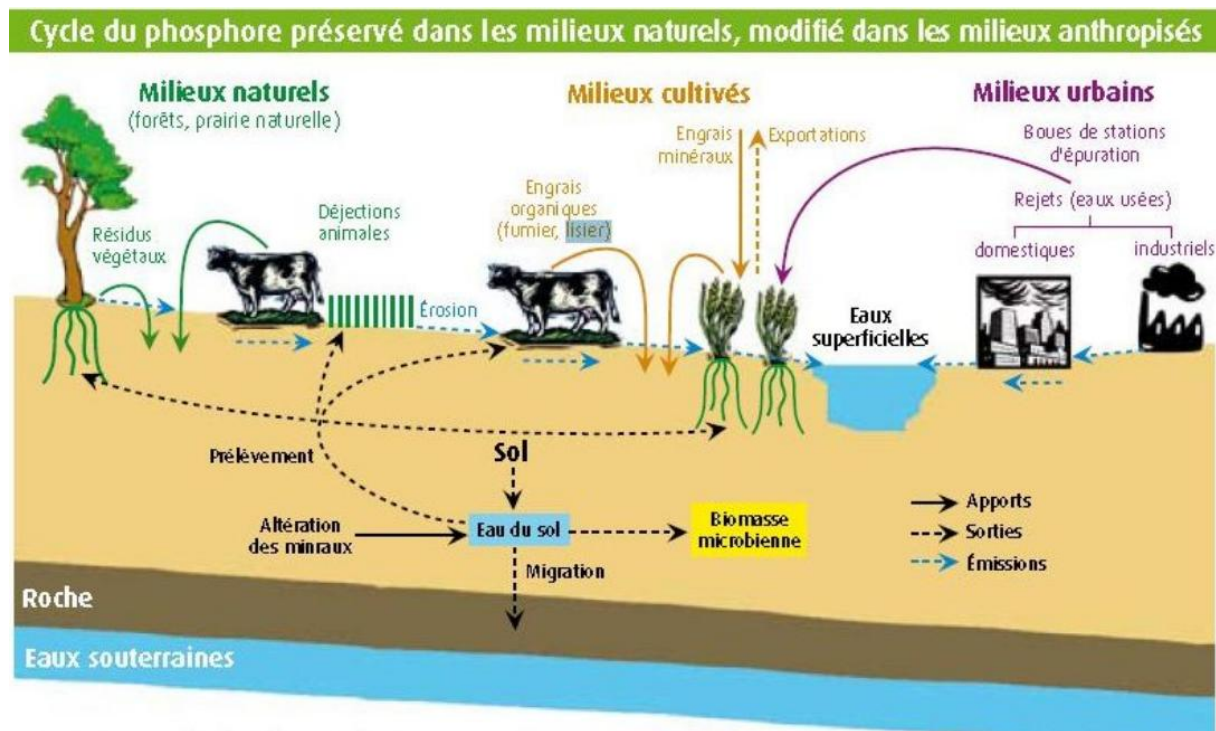


Figure.03. Cycle de l'azote dans l'air et le sol.

III.5. Origine des nitrates :

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

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

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

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

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

III.5.2. Nitrates provenant de l'agriculture moderne :

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

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

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

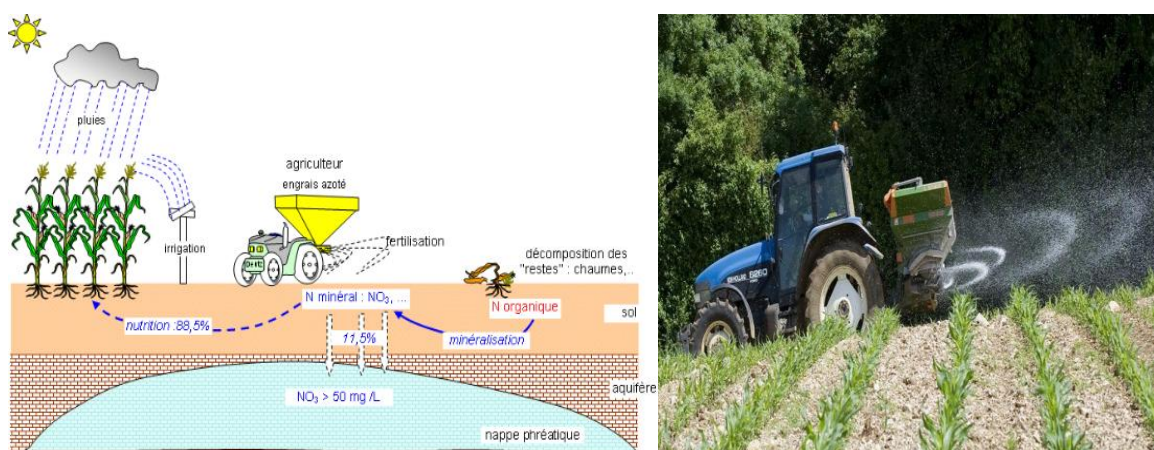


Figure.04. Utilisation des engrais en agriculture moderne

III.5.3. Nitrates d'origine domestique :

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

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

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

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

III.5.4 Nitrates d'origine animale :

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

Il y avait une relation très significative entre la teneur en nitrate des captages, la production d'azote d'origine bovine par 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.

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

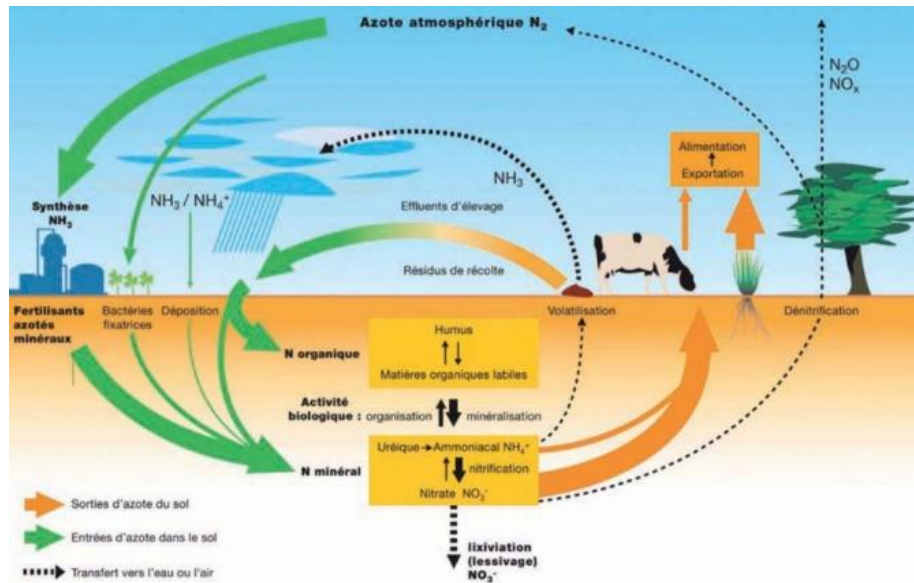


Figure.05. Utilisation des engrais animaux en agriculture

III.5.5. Nitrates d'origine industrielle :

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

III.5.6. Effet cumule de différentes sources de nitrates :

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

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

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

III.6. Effet de nitrate :**III.6.1. Effets connus sur la santé humaine :**

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

III.6.2. 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. Divers symptômes montrent la toxicité de l'azote à savoir : réduction de la capacité totale d'assimilation et chute du feuillage [15].

III.6.3. 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.

III.6.4. Sur les eaux naturelles :

L'intensification de l'agriculture, du fait du changement dans l'occupation des sols (notamment l'accroissement de la part des terres arables), de la pratique de l'irrigation et de l'usage d'intrants chimiques a eu des effets néfastes sur les ressources naturelles. Certain nombre de diagnostics font ressortir [15]:

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

En Algérie, les pratiques intensives de fertilisation des sols dans certaines plaines agricoles et les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ont entraîné une augmentation des niveaux de nitrates dans les eaux souterraines de plusieurs régions ces dernières années. Dans de nombreuses enquêtes, la pollution des eaux souterraines par les nitrates a atteint un stade alarmant. D'une façon générale, les études ont démontré que les nitrates pouvaient avoir des origines diverses :

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

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

Le programme de surveillance des eaux de sources et de Forages 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 Abbes, ...), avec une concentration excédant largement la norme 50 mg/l .

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

Les eaux souterraines 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 2018.

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

Les statistiques multivariées 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 multivariées 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 2013**.

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

Le travail qui suit a pour objet de faire le point sur l'évolution de la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation des collectivités de la commune du Boussaâda à partir du champ potentiel de captage El Maadher.

Cinq périodes d'observation ont été choisies. Nous nous sommes basés dans cette phase de l'étude sur l'inventaire réalisé par l'ADE et ANRH de M'sila en 1996, 2006, 2014 et 2018 ainsi que sur les données archives en 1967 (FAO, 1973).

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

Dix échantillons d'eau de forages prélevés (Compagne, 2018) 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, 2006, 2014 et 1967.

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

Tableau (III.2): Résultats des mesures des paramètres physiques des années 2018 et 2014:

Nom du forage	Compagne 2018				Compagne 2014			
	TDS	T(c)	PH	Cond. à 25° µs/cm	TDS	T(c)	PH	Cond. à 25° µs/cm
Maadher I 285/255	/	17,3	7,08	2127,42	125 7	14,2	6,82	2519,9
Maadher I BIS 248/255	/	9,3	7,12	1980,24	126 0	17	6,76	2258,99
Maadher II 246/255	/	8,8	7,04	1453,96	950	18,1	6,56	1855,36
Maadher II BIS 214/255	/	17,1	7,18	1481,835	122 2	23,8	7	2475,3
Maadher III 262bis/255	/	16,2	7,3	2374,95	100 1	15,7	6,98	2003,655
Maadher S, cheikh232	/	16,6	6,32	734,785	122 1	23	6,88	2441,85
Maadher S, cheikh233	/	17,3	7,19	2214,39	122 1	14	6,51	2110
Maadher S, cheikh234	/	16,6	6,9	1538,7	118 0	16,9	6,77	2241,15
Maadher S, cheikh236	/	17,2	7,1	1806,3	171 3	17,4	6,62	2271,255
Maadher S, cheikh236 BIS	/	9,8	6,68	1688,11	418	25	6,95	849,63

Tableau (III.3) : Résultats des mesures des paramètres physiques de l'année 2006-2007:

Nom du forage	Compagne 2006			
	TDS	T(c)	PH	Cond. à 25° µs/cm
Maadher I 285/255	1113	23,8	7,69	2212,16
Maadher I bis 248/255	1115	22,7	7,2	2164,215
Maadher II 246/255	833	11,3	6,99	1702,605
Maadher II bis 214/255	335	6,4	7,02	708,025
Maadher III 262bis/255	837	26,1	7,63	1654,66
Maadher S, cheikh232	840	17,5	6,83	1710,41
Maadher S, cheikh233	1095	26,7	7,62	2139,685
Maadher S, cheikh234	1002	17,6	6,92	2002,54
Maadher S, cheikh236	1212	22,3	7,36	2398,365

Tableau (III.4et 5): Données d'archive de paramètres physiques en 1967et 1996:

Compagne 1967				Compagne 1996			
N° de forage	TDS	T(c)	Cond. à 25° µs/cm	N° de forage	TDS	PH	Cond. à 25° µs/cm
1	1157	20	2430,7	907	1603	7,4	2564,5
3	2040	20	2820,95	916	1575	7,3	2230
19	5229	21	4158,95	1066	1943	7,2	2787,5
29	991	20	1611,175	1070	1998	7	3345
124	4261	19	5630,75	1081	3268	7	5017,5
128	3924	18,3	5006,35	1094	1379	7	2118,5
144	1628	18,3	2252,3	1104	2873	6,9	3679,5
145	2637	18,0	3289,25	1109	2335	7,1	3122
146	7178	17,0	7894,2	1125	1379	7,6	2341,5
147	6148	19,6	6868,4	1254	1206	7	2007
148	1861	20,8	2977,05	1257	2099	6,8	2564,5
155	6602	19,7	5954,1	1267	1801	7,3	3902,5
161	1277	18,3	1862,05	1276	2460	7,1	3791
170	1606	16	2196,55	1279	2715	7	4014
172	2278	19,5	2921,3	1291	2029	7	3122
173	318	18,8	4047,45				
174	6942	18,6	8775,05				

III.10 conclusion :

Dans ce chapitre nous avons traité un type de pollution très dangereux qui est la pollution des eaux par les nitrates qui sont des composés nocifs résultant de l'utilisation contrôlée de pesticides et d'engrais naturels ou industriels. On trouve que ce type est très répandu dans l'Algérie donc il faut faire des solutions fiables pour minimiser ces dommages 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.

Cinq périodes d'observation de 1967 au 2018 ont été prises en considération dans l'étude, les années concernées de 1967, 1996, 2006, 2014 et 2018 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°), et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés in situ pour éviter les changements. Les échantillons sont analysés pour les éléments : sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), chlorure (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-). La conservation et la transformation de ces échantillons au laboratoire ont suivi des méthodes standard. La précision analytique de la mesure des ions est déterminée en calculant la balance ionique (BI) absolue.

L'analyse statistique multivariée notamment l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée en employant le logiciel d'hydrochimie XLSTAT version 2014 et pour présenter le faciès chimique de l'eau on a utilisé le logiciel « DIAGRAMMES version 5.3 ».

IV.2 Description des données de qualité :

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

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

IV.2.1 Balance ionique :

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

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

Indication	N° de Forage	Lieu de prélèvement	Balance (%)
F1	M1 285/255	Maadher	4%
F2	MI BIS 248/255	Maadher	0%
F3	MII 246/255	Maadher	-5%
F4	MII BIS 214/255	Maadher	-3%
F5	MIII 262bis/255	Maadher	0%
F6	M 232/255	Maadher-Sidi cheikh	-4%
F7	M 233/255	Maadher-Sidi cheikh	-5%
F8	M 234/255	Maadher-Sidi cheikh	4%
F9	M 236/255	Maadher-Sidi cheikh	-2%
F10	M 236 bis/255	Maadher-Sidi cheikh	-5%

Les valeurs de BI de l'année 2018 varient entre -5% et +4% 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 (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.2:Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, année 2018 et avec les normes Algériennes:

Variable	Compagne 2018				
	Norme Algérienne	Min.	Max.	Moy.	Ecart type
RS	< 2000 mg/L	500.00	1614.00	1174.50	326.26
T(c)	15 °C	8.8	17.3	14.62	3.69
pH	6.5 à 8.5	6.32	7.3	6.99	0.29
CE 25°C	<2800 μ S/cm	1453.96	2374.95	1851.57	319.66
Ca ²⁺	75 - 200 mg/L	173.00	256.00	207.40	28.85
Mg ²⁺	<150 mg/L	75.00	153.00	115.60	23.35
Na ⁺	200	65	159	101.8	29.34
K ⁺	<20	5	17	11.5	4.14
TH	10-50 F°	74.00	128.00	103.90	14.75
NH ₄ ⁺	0.05 - 0.5	0.00	0.02	0.013	0.007
Cl ⁻	200 - 500 mg/L	47	253	156.5	72.17
SO ₄ ²⁻	200 - 400 mg/L	550	780	680.8	65.30
NO ₃ ⁻	< 50 mg/L	37	108	83.8	19.08
HCO ₃ ⁻	< 350 mg/L	244	427	312.5	61.8

Tableau IV .3:Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 2006 et 2014:

Variable	Compagne 2014				Compagne 2006			
	Min.	Max.	Moy.	Ecart type	Min.	Max.	Moy.	Ecart type
TDS	418	1713	1144.3	325.64	335	1212	931.3	264.53
T(c)	14	25	18.51	3.99	6.4	26.7	19.37	6.87
pH	6.51	7	6.81	0.16	6.83	7.69	7.25	0.33
CE 25°C	849.6	2519.9	2102.7	487.75	708.02	2398.36	1854.7	502.62
Ca ²⁺	136	288	205.1	50.24	109	299	216	59.7
Mg ²⁺	87	155	115.28	24.47	31	135	91.8	27.96
Na ⁺	45	270	116.7	64.95	16	255	123.77	100.7
k+	5	35	13.7	9.34	5	35	15.22	9.54
NH ₄ ⁺	0,00	4,30	0,632	1,434	0,00	0,010	0,003	0,005
Cl ⁻	106	266	182.4	51.9	165	288	213.33	38.81
So ₄ ²⁻	271.0	950.0	715.26	228.58	243	1114	548.3	314.79
No ₃ ⁻	36	150	93.6	29.13	19	222	111.3	61.36
Hco ₃ ⁻	219	317	274.4	34.22	171	378	285.77	55.52

Tableau IV.4:Données statistiques de quelques caractéristiques physico-chimiques, années 1996 et 1967 :

Variable	Compagne 1996				Compagne 1967			
	Min.	Max.	Moy.	Ecart type	Min.	Max.	Moy.	Ecart type
TDS	1206	3268	2044.2	595.76	318	7178	3299	2319.31
T(c)	/	/	/	/	16	21	19	1.29
pH	6.8	7.6	7.07	0.2	/	/	/	/
CE 25°C	2007	5017.50	3107.13	853.19	1611	8775	4159	2185
Ca ²⁺	88	401	246.3	79.29	30	698	370	171.09
Mg ²⁺	54	190	121.4	42.09	51	638	223	168.35
Na ⁺	33	250	140.66	77.11	24	808	280	230.11
k ⁺	2	15	6.06	3.76	0	22	7	6.4
NH ₄ ⁺	0,00	0,20	0,093	0,070	0,00	0,200	0,094	0,066
Cl ⁻	75	550	306.3	145.9	57	1882	492	511.7
So ²⁻ ₄	378	1415	832.06	270.63	432	3150	1500	868.9
No ⁻ ₃	22	240	81.13	70.37	0	535	88	125.8
Hco ⁻ ₃	60	205	107.6	34.86	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 (So²⁻₄), le calcium (Ca²⁺) et les nitrates (No⁻₃) des cinq années d'observation ont présentés des teneurs très élevées. Les concentrations du magnésium (Mg²⁺) sont légèrement tolérées.

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

Ca²⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ > K⁺ tandis que les anions révèlent un ordre d'abondance comme suit SO²⁻₄ > HCO⁻₃ > Cl⁻ pour les mesures des années (2006, 2014, 2018) et un autre ordre d'abondance SO²⁻₄ > Cl⁻ > 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 SO_4^{2-} sont les plus remarquables, et en deuxième rang se trouvent les valeurs d'écart type de Ca^{2+} , de Mg^{2+} et des NO_3^- . Ces écart-types indiquent soit la présence d'échanges entre les différentes nappes de l'aquifère mixte (phréatique et profonde).

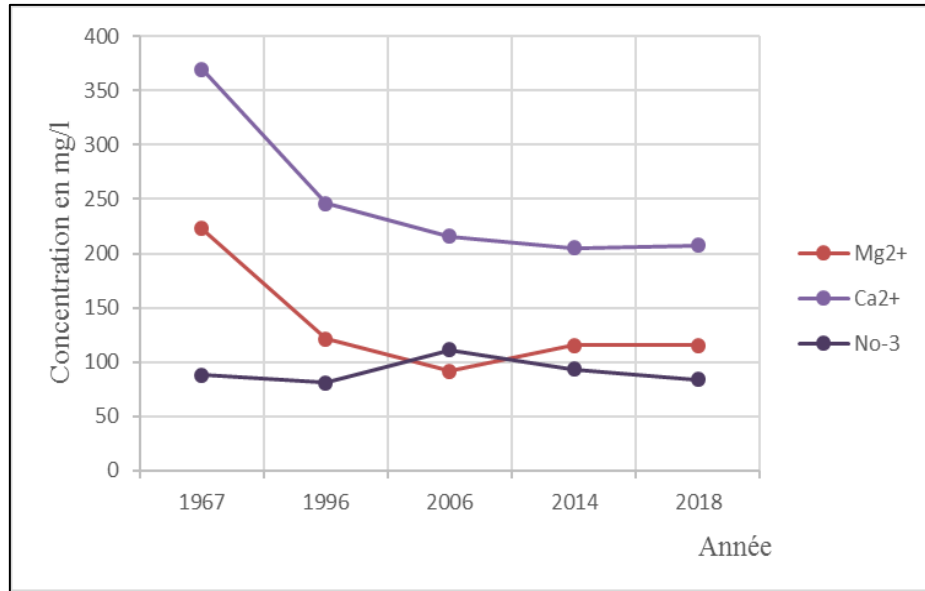


Figure. IV.1 Evolution temporelle les valeurs moyennes de Ca^{2+} , Mg^{2+} et NO_3^-

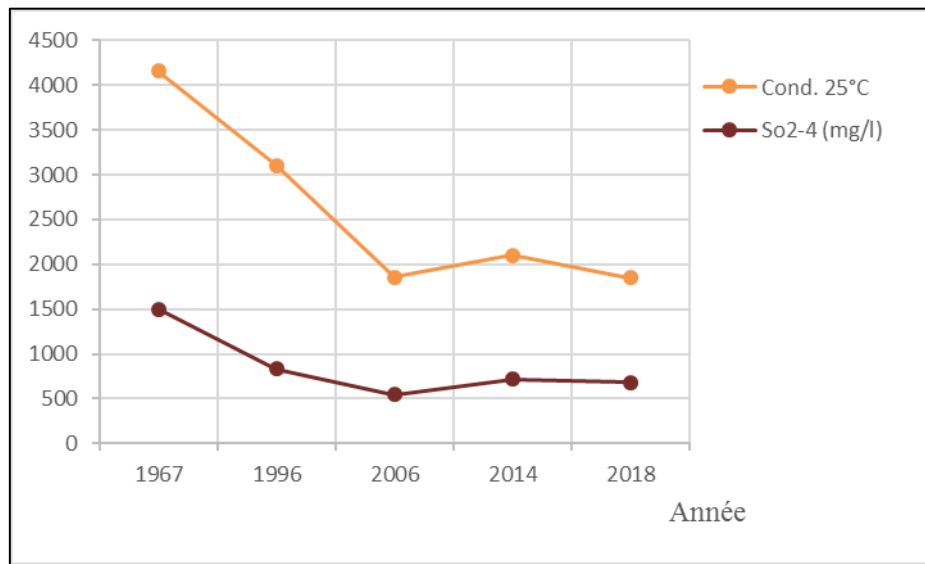


Figure. IV.2 Evolution temporelle les valeurs moyennes de CE et SO_4^{2-}

Les figures (IV.1-IV.2) montrent que les courbes d'évolution temporelle des valeurs moyennes (de l'ensemble) du calcium (Ca^{2+}) et des nitrates (NO_3^-) dépassent les normes algériennes. De même pour la courbe des sulfates (SO_4^{2-}), toutes ces valeurs dépassent

la norme (200 mg/l) ainsi que les valeurs de conductivité électrique en 1967 et 1996 qui ne respectent pas la norme (2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

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 et 2018 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 Ca^{2+} , Mg^{2+} , ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) pour les cations majeurs et HCO_3^- , ($\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$) et SO_4^{2-} pour les anions majeurs.

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

D'après le diagramme de Piper (**Figure. IV.3**) pour les échantillons d'eau de l'année 2018 explique clairement les variations des concentrations des cations et des anions dans la zone d'étude. Il montre que tous les échantillons ont un faciès chimique dominant de type 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 (SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+).

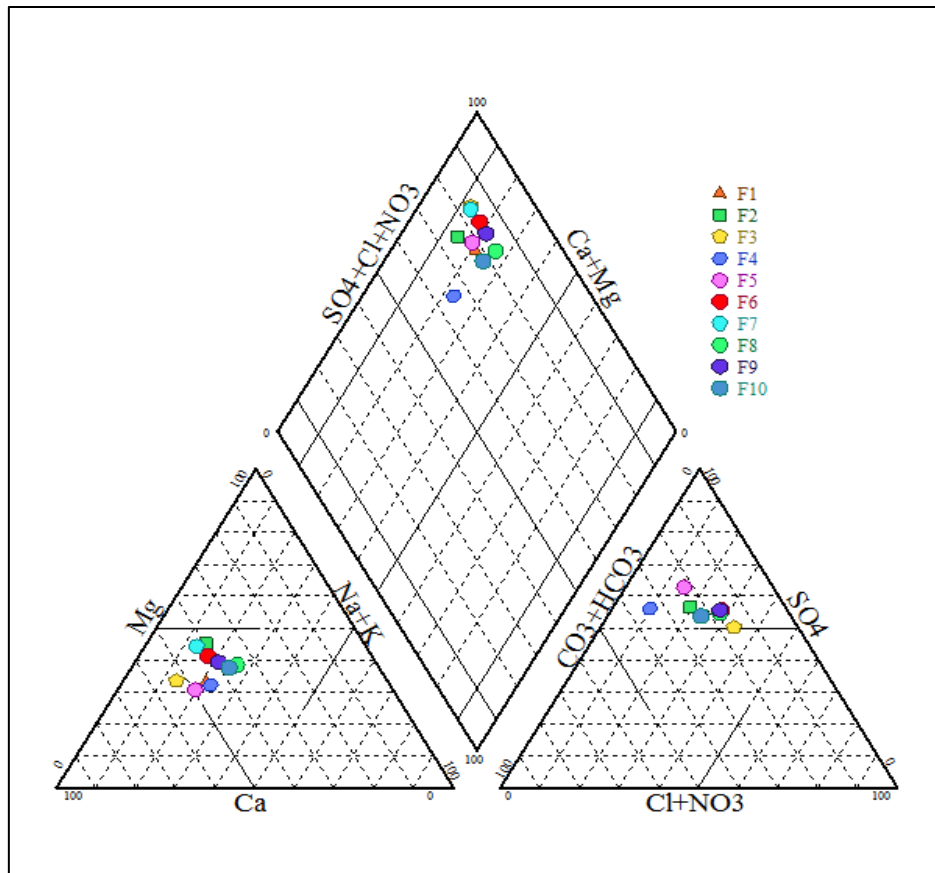


Figure. IV.3 Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude, année 2018.

Les paramètres d'analyse des eaux de l'aquifère Plio-quatenaire sur le diagramme Piper(**FigureIV.4**) montre que les eaux des forages de la région de Maadher sont marquées généralement par les sulfates qui s'accompagnent tantôt de calcium, tantôt des chlorures et tantôt de magnésium, ceci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l'Albien.

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

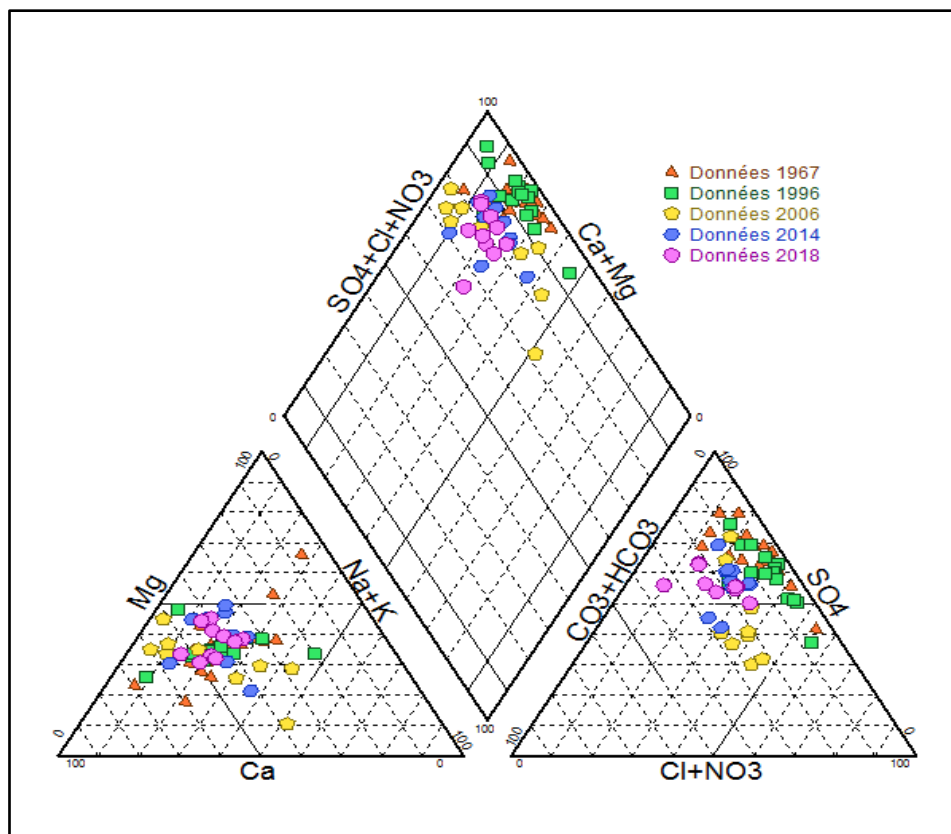


Figure. IV.4 Diagramme de Piper des eaux des nappes de la zone d'étude.

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

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

IV.4.2.1 Matrice de corrélation des valeurs :

D'après la matrice de corrélation calculée des paramètres, les coefficients de corrélation varient entre 0.00 et 0.86. Les meilleures corrélations sont notées entre les sulfates et les nitrates d'une part et les bicarbonates et le chlorure d'autre part mais d'une façon inverse.

Tableau IV5: Matrice de corrélation des principaux paramètres physico-chimiques:

Variable	CE	RS	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	TH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+	K+
CE	1,00											
RS	0,69	1,00										
NH ₄ ⁺	0,23	0,09	1,00									
NO ₃ ⁻	0,61	0,46	-0,08	1,00								
SO ₄ ⁻²	0,83	0,52	0,13	0,86	1,00							
TH	0,36	-0,19	0,06	0,57	0,63	1,00						
HCO ₃ ⁻	0,02	0,25	-0,48	-0,24	-0,16	-0,49	1,00					
Cl ⁻	-0,33	-0,43	0,34	0,06	-0,12	0,37	-0,83	1,00				
Ca ²⁺	0,49	0,43	0,38	0,54	0,52	-0,02	-0,25	-0,14	1,00			
Mg ²⁺	0,12	0,02	-0,37	0,54	0,40	0,62	-0,16	0,39	-0,38	1,00		
Na+	-0,16	-0,01	-0,36	0,18	0,26	0,22	0,08	-0,15	-0,12	0,26	1,00	
K+	0,25	-0,19	-0,21	0,33	0,53	0,55	-0,17	0,00	-0,02	0,38	0,55	1,00

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

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

L'analyse statistique en composantes principales pour les cinq périodes d'observation (1967,1996,2006 ,2014 et 2018) a été réalisée sur 17 échantillons au maximum et 13 variables dont : la CE, le pH, TDS, Rs, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻, HCO₃⁻,SO₄⁻²,NO₃⁻,Na⁺,k⁺ et NH₄⁺ à l'aide du logiciel XLSTAT version 2014. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque.

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

IV.4.2.2 Etude des variables et des individus de l'année 2018 :

Une étude statistique par l'analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée sur les données de l'année d'observation 2018 a montré que les premiers facteurs (Fac1, Fac2 et Fac3) ont accumulé un pourcentage de 76.47 % de la variance et qui ont pu être exprimés. 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.6: Présentation des valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux, année 2018:

	F1	F2	F3
Valeur propre	4,023	2,806	2,347
Variabilité (%)	33,522	23,387	19,562
% cumulé	33,522	56,909	76,471

Du tableau IV.7, les meilleures corrélations du facteur F1 se font respectivement avec les éléments NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} et K^+ concernant le facteur F2, il est bien corrélé avec les éléments Cl^- , Ca^{2+} et Mg^{2+} . Le facteur F3 est bien corrélé avec les éléments NH_4^+ et HCO_3^- .

Tableau IV.7: Corrélation entre les variables et les facteurs:

	F1	F2	F3
CE	0,763	-0,497	0,087
RS	0,436	-0,734	-0,033
NH_4^+	0,084	-0,113	0,844
NO_3^-	0,905	-0,054	-0,017
SO_4^{2-}	0,975	-0,166	-0,042
TH	0,717	0,548	0,023
HCO_3^-	-0,313	-0,559	-0,686
Cl^-	0,049	0,762	0,563
Ca^{2+}	0,469	-0,520	0,455
Mg^{2+}	0,516	0,555	-0,339
Na+	0,251	0,249	-0,607
K+	0,556	0,377	-0,382

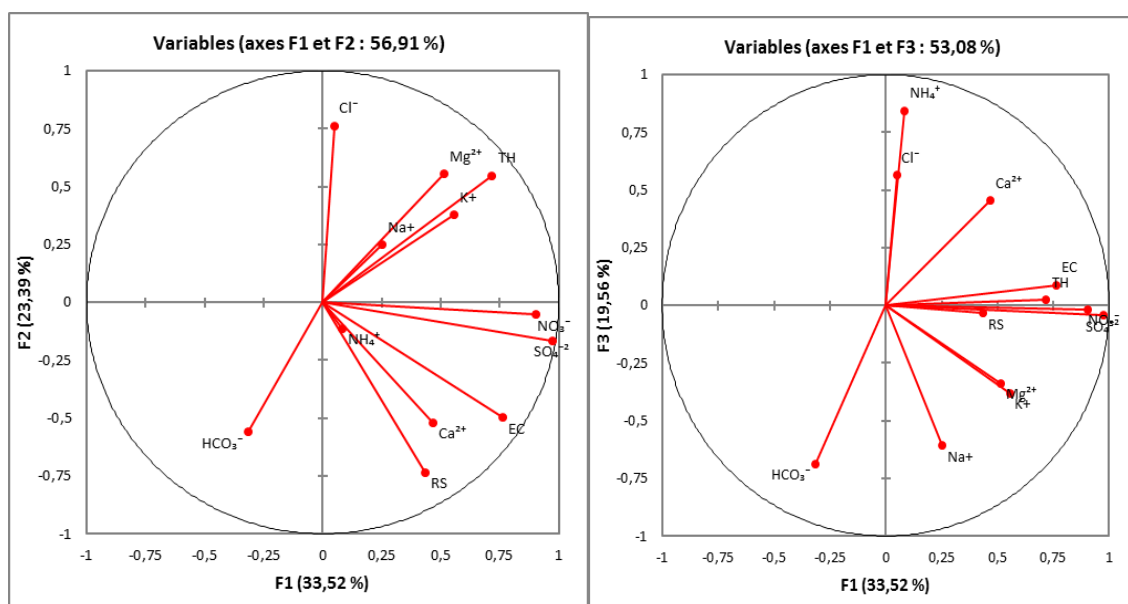


Figure. IV.5 :Projection des variables sur le plan factoriel

IV.4.2.3 Etude des individus :

Le Tableau IV.8 présente les coordonnées des observations (forages) par rapport aux principaux plans (F1-F2), (F1-F3) et (F1-F4).

Tableau IV.8 :Coordonnées des observations.

Observation	F1	F2	F3
F1	2,155	-1,727	-0,850
F2	0,248	-0,636	-1,468
F3	-2,105	0,086	3,078
F4	-4,944	-1,611	-1,359
F5	2,274	-2,814	0,573
F6	0,568	2,561	0,642
F7	0,891	-0,279	1,525
F8	0,221	2,279	-1,504
F9	0,158	0,942	1,050
F10	0,533	1,199	-1,687

L'application de l'ACP (Année 2018) montre les groupes suivants :

- **Groupe n° 01** : ce groupe renferme les forages M1 285/255, MII bis 214/255, MIII 262bis/255, M 233/255 et M 236 bis/255 ; ces forages captent les eaux sulfatées calciques.
- **Groupe n° 02** : ce groupe comporte les forages Maadher S. cheikh232, Maadher S. cheikh234, Maadher S. cheikh236 ; ces forages captent des eaux les sels minéraux.
- **Groupe n° 03**: ce groupe comporte les forages, MI BIS 248/255 et MII 246/255 ; ces forages captent des eaux carboniques.

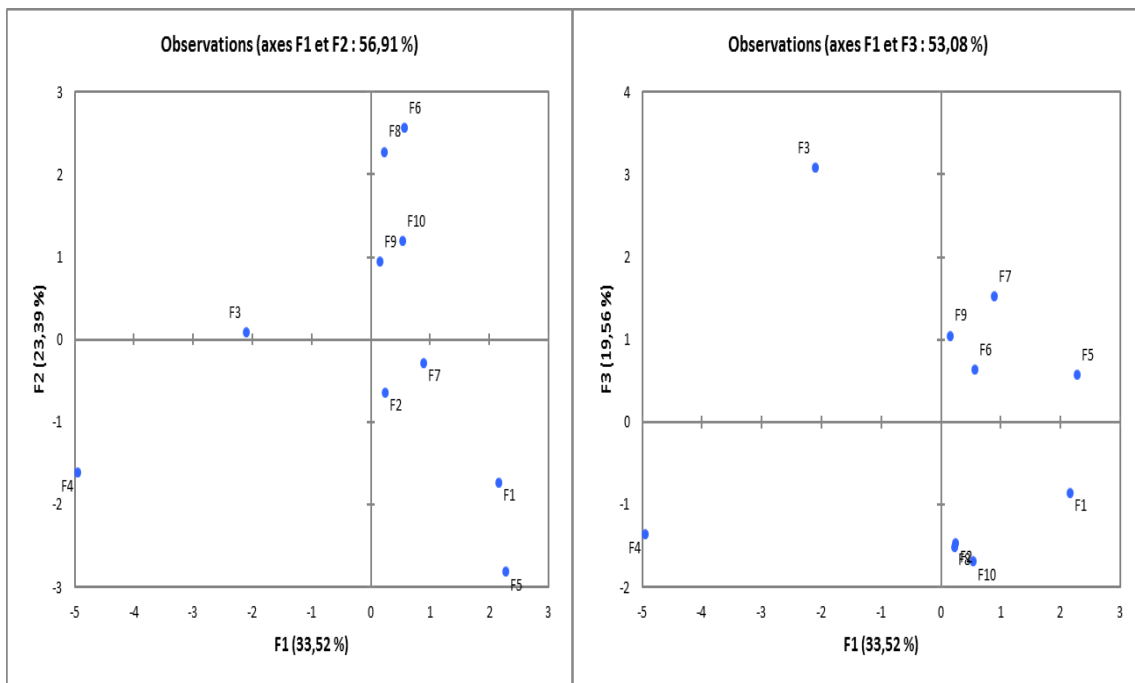


Figure.IV.6 Projection des observations sur le plan factoriel

IV.5 Résultat et discussion :

IV.5.1 Interaction eaux/sédiments :

D'après la figure IV.7, l'origine de cette élévation de la conductivité est fortement influencée par les sulfates que par les chlorures.

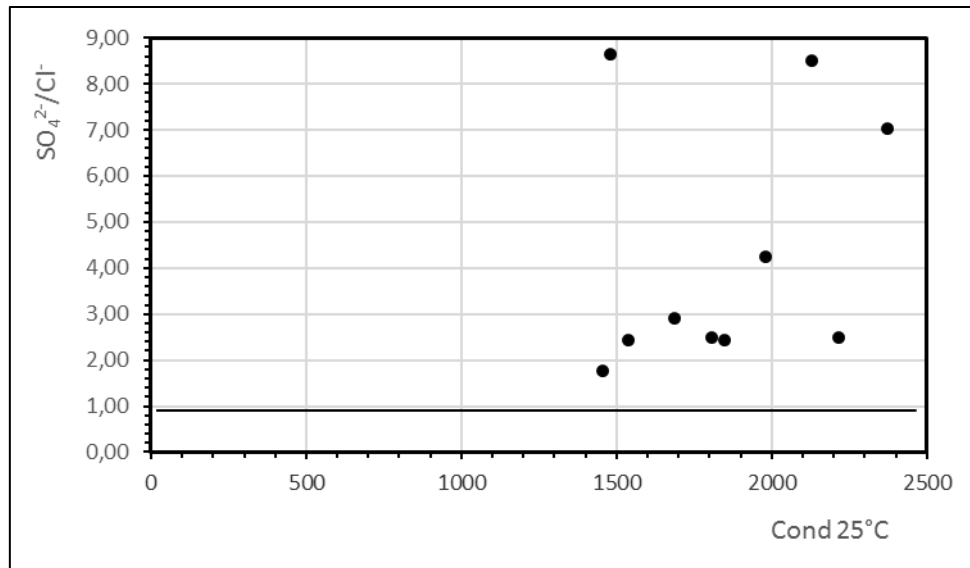


Figure.IV.7 Variation de la conductivité en fonction du rapport $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, (meq/l)

On a montré la variation du résidu sec en fonction des rapports des cations et anions, que les sulfates (SO_4^{2-}) avec les bicarbonates (HCO_3^-), le calcium (Ca^{2+}) et avec le magnésium (Mg^{2+}) sont supérieurs plus que deux fois au sodium et le potassium. **La figure 7-** a montre l'importance des SO_4^{2-} par rapport aux HCO_3^- sur le RC. Même chose pour le Ca^{2+} par rapport au Mg^{2+} sur le TH.

IV.5.2 Origine de la qualité :

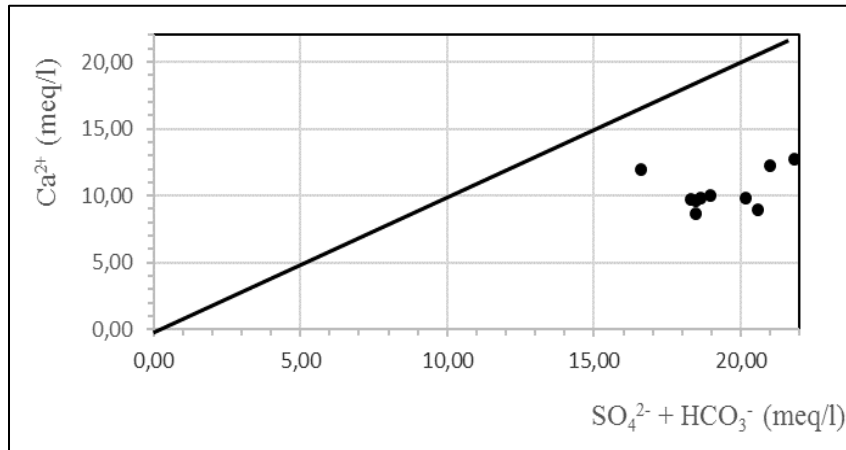
Dans la nature, les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées. Au cours de leur trajet dans l'aquifère, les eaux dissolvent en quantités variables, en fonction de certains paramètres (PH, T°, Pression, produits de solubilité, ...). L'étude montre une croissance des paramètres des sulfates, de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

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

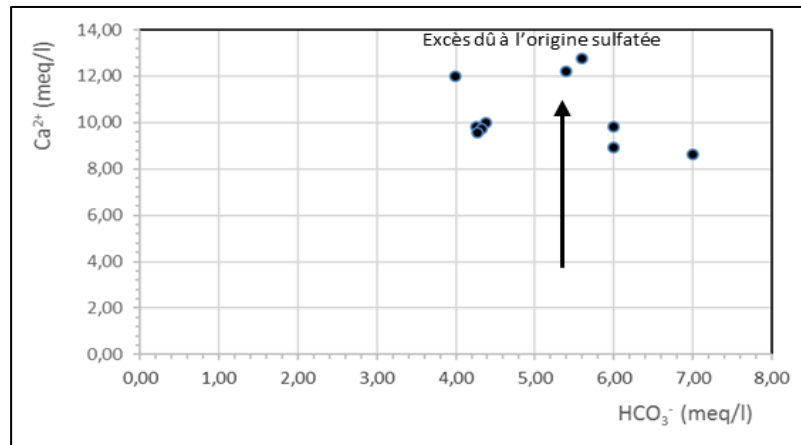
Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de l'aquifère.

Les eaux souterraines qui circulent dans les nappes proviennent des formations sédimentaires Quaternaire et Mio-pliocène et aussi des échanges par drainance.

a)



b)



c)

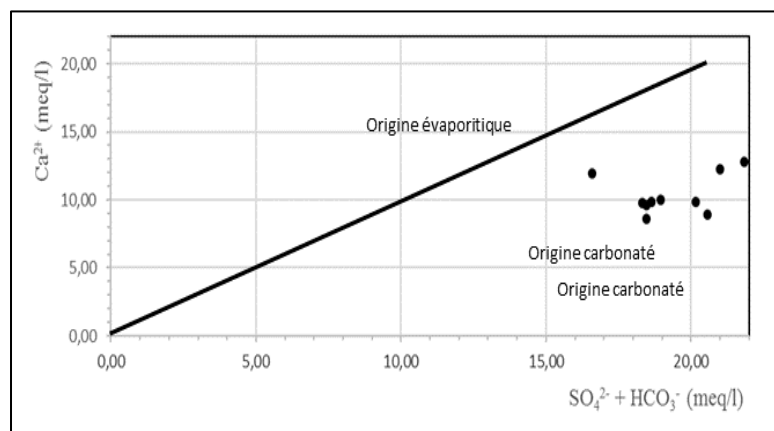
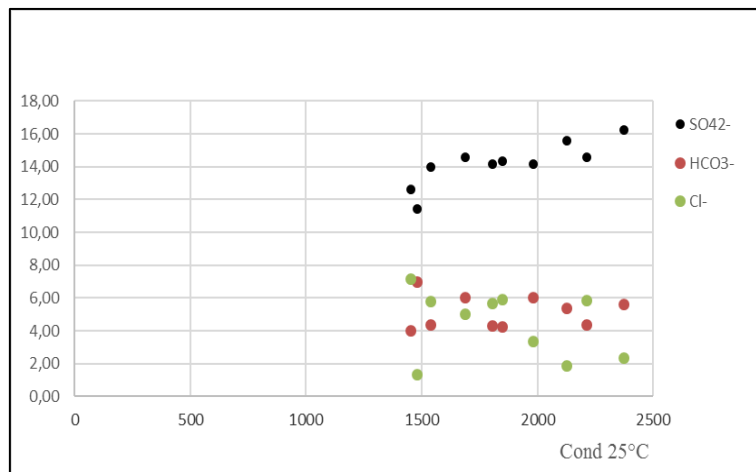


Figure. IV.8 Relation entre Ca^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^-

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)

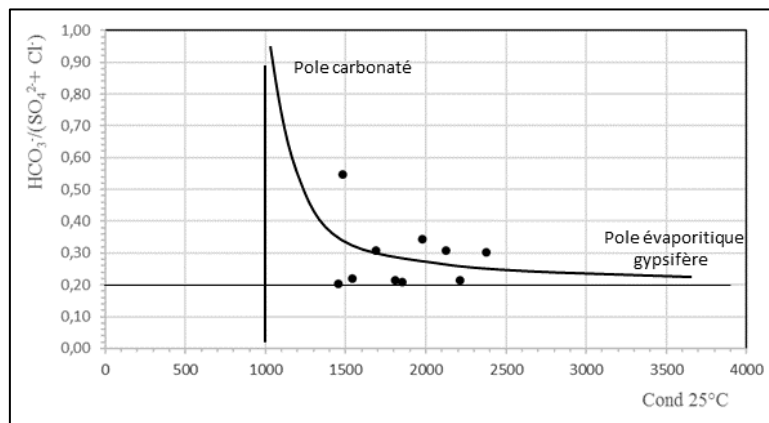


Figure. IV.9 Evolution de la conductivité électrique en fonction des anions.

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

Pour mieux comprendre les changements chimiques qui peuvent se produire dans l'eau lorsqu'elle se déplace à travers l'aquifère, l'interaction de la chimie des minéraux peut être examinée ([10], [17], [18]). Un aspect de ces interactions géochimiques est la dissolution ou la précipitation des minéraux le long de trajets d'écoulement dans l'aquifère. L'indice de saturation (IS) est un paramètre très important dans l'étude des équilibres eaux-minéraux [19], [20]. Il a indiqué que l'eau souterraine est sous-saturée en gypse (valeurs négatives 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 Ca^{2+} et 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.5.3 Pollution des nitrates :

Dans la figure IV.1, que les courbes d'évolution temporelle des valeurs moyennes de nitrates (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 solforestiers 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.

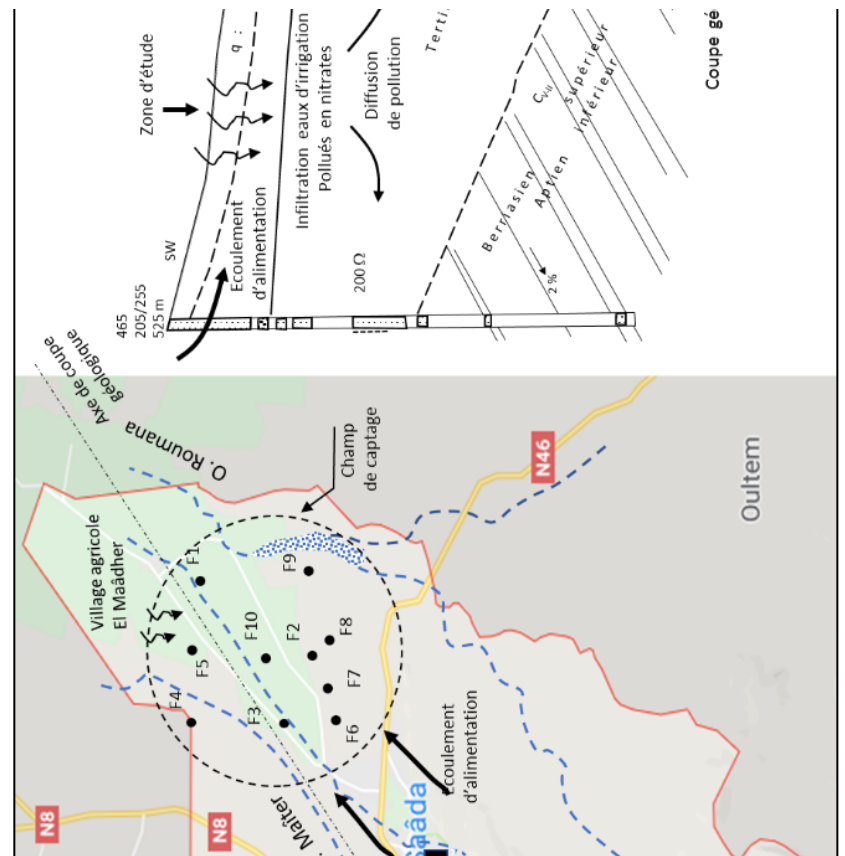


Figure IV.10 Schémas explicatifs de la situation des nitrates dans la zone d'étude

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

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

d'engrais et d'amendements organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements corrects, mais la fertilisation est empirique. Néanmoins, l'excès d'azote dans les sols irrigués suite aux amendements azotés pourrait constituer un problème environnemental pour les systèmes hydrologiques.

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

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

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

IV.5.3.1 Analyse des données de nitrate :

Les données d'archives des puits et des forages ont été collectées et de nouveaux forages ont été échantillonnés. Les données d'archives concernent principalement l'aquifère phréatique (profondeur inférieure à 100 m, années 1967 et 1996), et les forages qui 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. 9Données statistiques de nitrates de la zone d'étude (Zone de captage), années 1967 au 2018

No₃ Année	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

D'après le tableau IV.9, nous notons que les valeurs minimales de nitrate sont en augmentation, les écarts-types sont en diminution et les concentrations moyennes sont presque stables ; la pollution par les nitrates se répand de manière permanente dans l'aquifère et l'homogénéité rattrape le milieu physique année après année. Alors que les espaces à concentration inférieure se réduisent nettement au profit des espaces à concentration supérieure.

Il semble que les valeurs moyennes de 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.11 montre des fortes concentrations en nitrates observées même à des profondeurs supérieures à 150 m (années 2014 et 2018), ce qui montre la dégradation qualitative de l'aquifère profond.

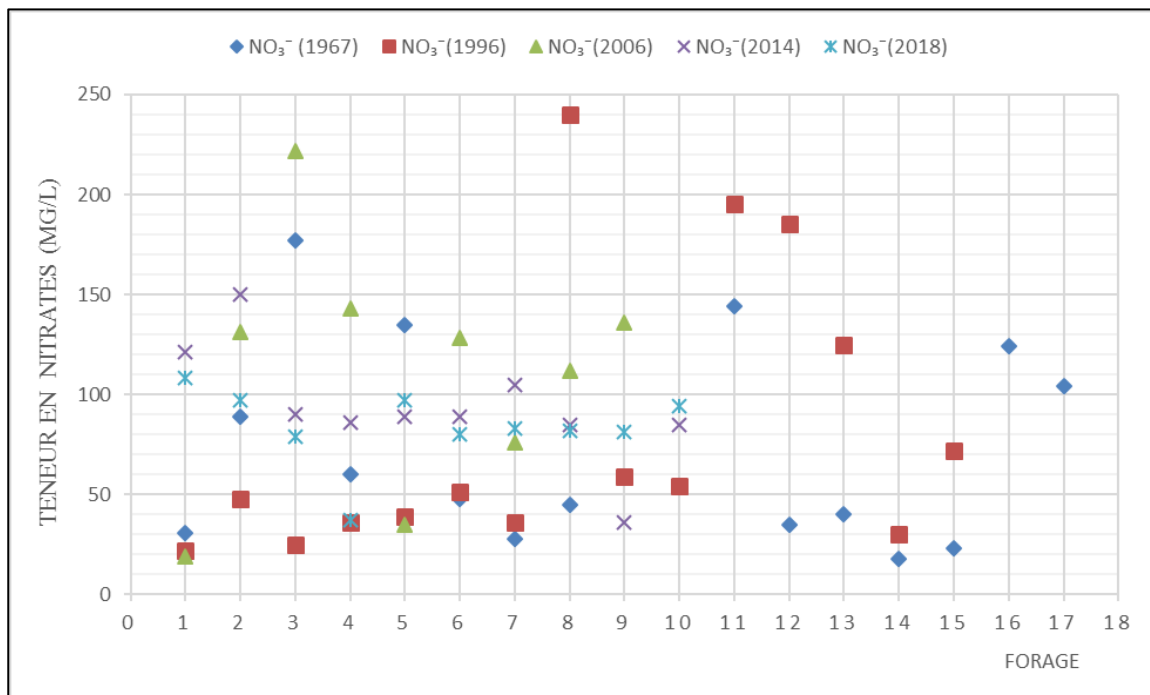


Figure IV.11 L'évolution temporelle des nitrates au cours des cinq périodes d'observation

Les données d'archives des puits année 1967 (FAO) montrent que 41 % des échantillons mesuraient déjà plus de 50 mg/l de NO_3^- et 29 %, plus de 100 mg/l de NO_3^- ; à l'inverse, 59 % mesuraient moins de 50 mg/l de 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 NO_3^- , 53.33 % des échantillons contenant plus de 50 mg/l de NO_3^- et 46.66 % moins de 50 mg/l de 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 2018. 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. 10 Répartition des échantillons en pourcentages de nitrates, années 1967 au 2018

NO_3^- Année	% des échantillons Inf. de 50 mg/l	% des échantillons sup. de 50 mg/l	% des échantillons sup. de 100 mg/l
1967	59	41	29
1996	47	53	27
2006	22	78	66
2014	10	90	30
2018	10	90	10

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

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

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

En conclusion, nous souhaitons que cette contribution 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.5.3.2 Analyse des facteurs explicatifs de la pollution nitrique des eaux souterraines :

- Facteur d'intensification des cultures (fertilisés par l'homme).

La figure suivante montre le sens de propagation des concentrations en nitrates suivant le chemin supposé pour montrer l'effet du facteur d'intensification des cultures dans la zone cultivée sur le champ potentiel de captage et qui est destiné aux agglomérations de la ville de Boussaâda.

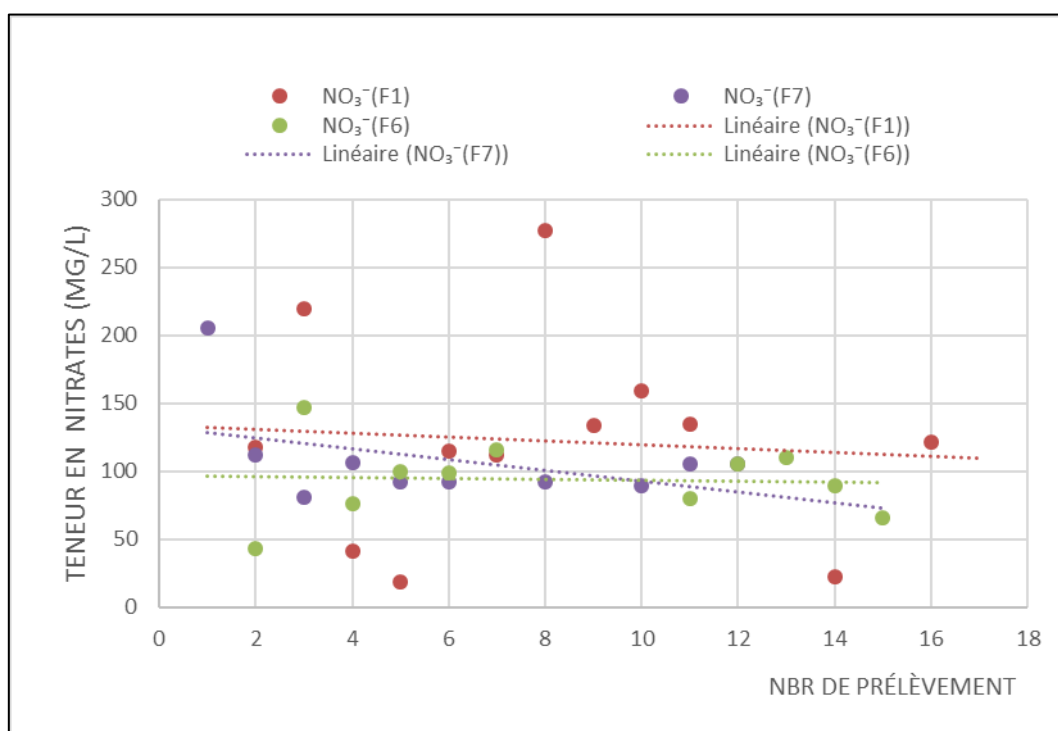


Figure IV.12 L'évolution temporelle des nitrates au cours des années d'observation 2004-2018 suivant le chemin sectionné entre les forages F1, F7, F6

Cette contamination anthropique pourrait être due à l'utilisation excessive de matières organiques animales et des engrais de synthèse, ou d'infiltration de l'eau des fosses septiques.

Ce danger est renforcé par la texture sableuse et l'irrigation directe par gravité, car l'irrigation est toujours excessive par rapport aux besoins de la plante et à la capacité de rétention d'eau. Au cours de la période d'observation 2004-2018 pour les forages de l'aquifère profond, nous notons que les concentrations de ces forages sont dans l'ordre suivant $F1 > F7 > F6$, ce qui peut expliquer la présence du facteur de fertilisés par l'homme.

- Facteur du réseau hydrographique (alimentation des aquifères)

Suivant la direction principale du courant souterrain qui alimentant les aquifères (des piémonts du sud vers le chott), les concentrations de nitrates devraient normalement être plus faibles du sud au nord, dans la direction du chott. Cette hypothèse renforce la présence de l'effet de la zone agricole, dans le cas contraire, la présence de fortes concentrations en nitrates en amont de la zone d'étude ouvre la possibilité de la présence d'une source des nitrates en amont du sous bassin de Boussaâda. Nous notons que les concentrations de ces forages sont dans l'ordre suivant $F6 < F3 < F5 < F1$, ce qui peut expliquer la présence du facteur.

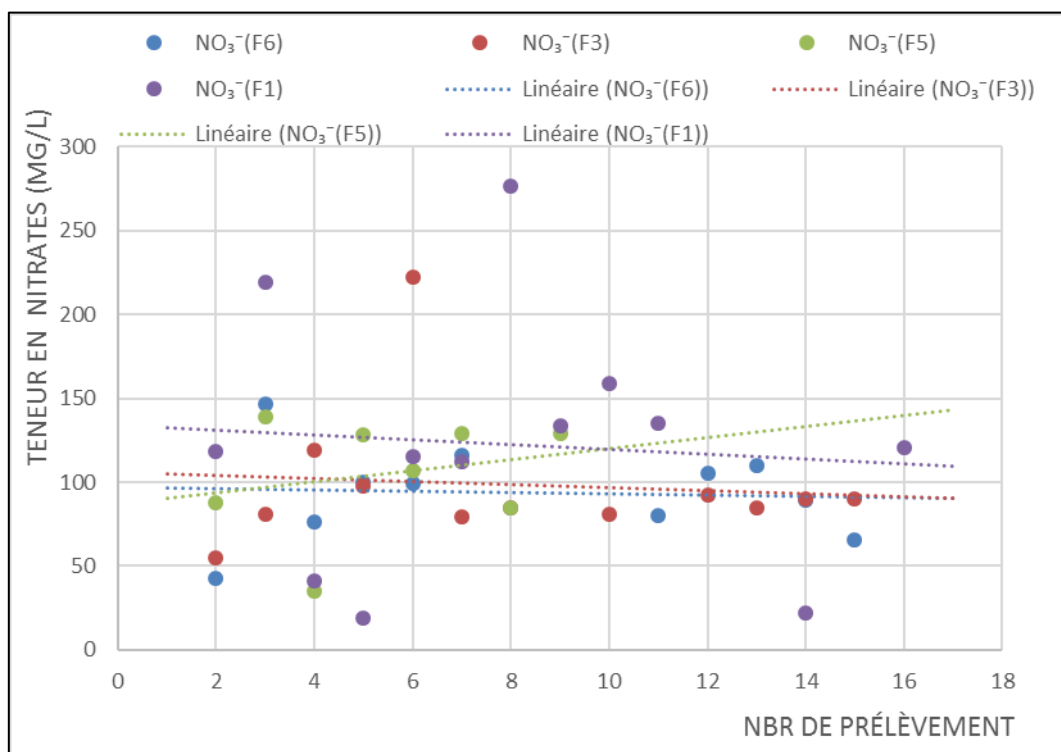


Figure IV.13 L'évolution temporelle des nitrates au cours des années d'observation 2004-2018 suivant le chemin sectionné entre les forages F6, F3, F5, F1

Cette étude descriptive, bien que la comparaison directe des valeurs ait révélée des faibles différences, l'analyse de distribution détaillée montre une extension de la contamination des eaux souterraines par les nitrates. Cette extension progresse verticalement et latéralement. Il est possible que des concentrations en nitrates observées dans l'aquifère profond en 2004 jusqu'au 2018 a une source en amont de la zone d'étude, comme il est possible d'avoir plusieurs sources de pollution (présence d'effet cumule). Cela indique une contamination qui nuit gravement à la santé publique.

IV.6.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 entreprise dans la région de Boussaâda, nous a permis d'approfondir les connaissances des différents paramètres hydrochimiques concernant les eaux souterraines de la nappe de Maadher ainsi 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 menaçant 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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-}) sont les éléments dominants donc les eaux souterraines de cette région fait 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.

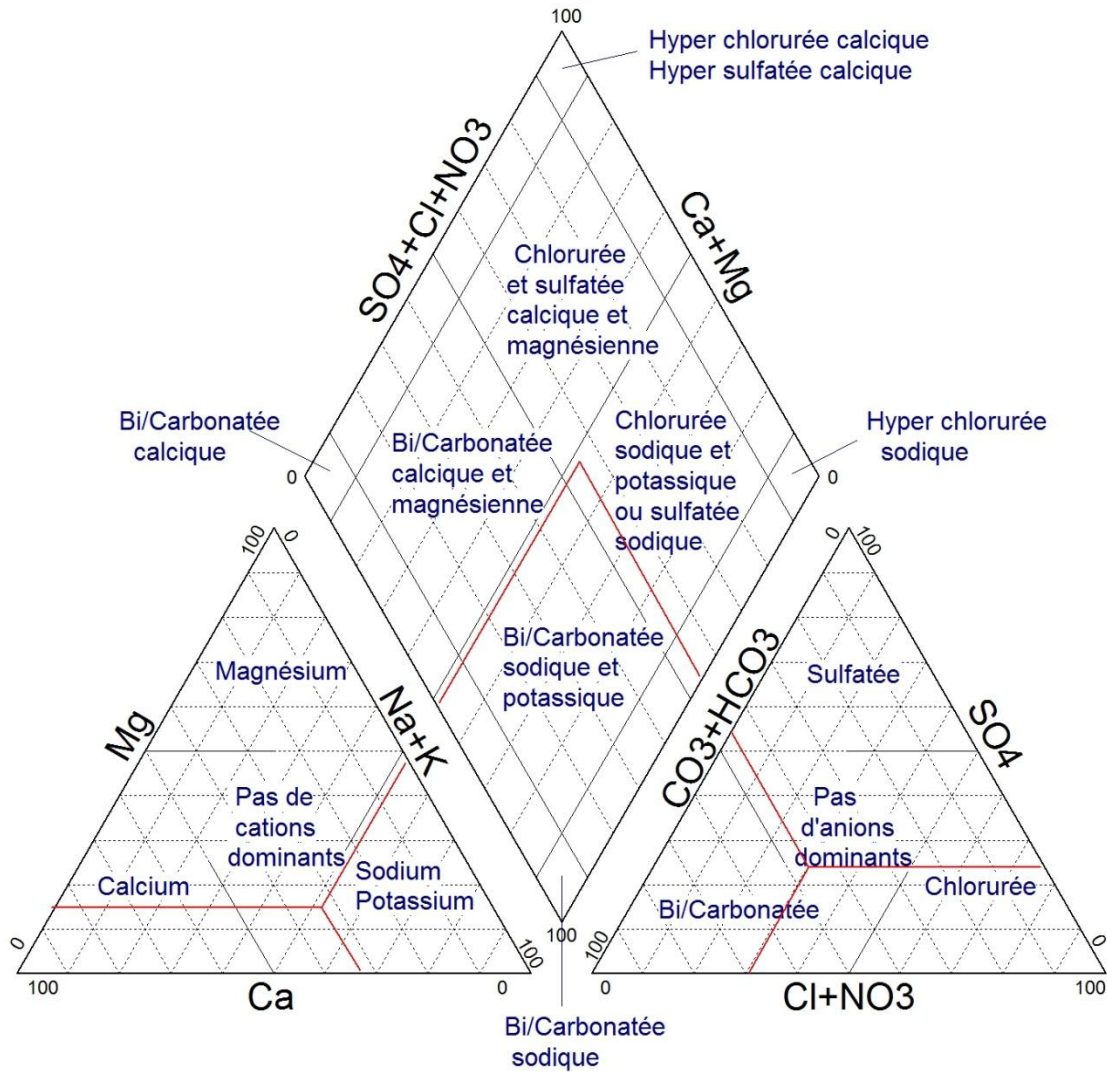
Donc Avant toutes consommation d'eau, il est indispensable de procéder au contrôle de sa qualité aussi bien physico-chimique que microbiologique. La négligence de ce contrôle provoquerait l'apparition de maladies à transmission hydrique chez la population en cas de consommation d'eau polluée. Pour limiter 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 01 :

Diagramme de Piper



Annexe n° 2

Matrice et Coefficients de corrélation :

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

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

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] analyse statistique multivariee des eaux souterraines de la région de Boussaâda Helali Nour El Houda.
- [2] APC de M'sila.
- [3] Station météo de Bou-Saâda 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] Allal hamza, Tahir Farid « Qualité des eaux souterraines du bassin EL HODNA (zone d'étude : Boussaâda et Sidi Aissa). Mémoire d'ingénieur 2008.
- [6] 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'sil (2012/2013).
- [7] Qualité des eaux souterraines de la zone Msila Melle Samia Aouina ; makri Fatima Zohra.
- [8] Direction générale de la forêt d'antenne M'sila
- [9] L'ANRH Agence nationale des ressources hydriques
- [10] Derekov A M (1973) Etudes hydrologiques dans le bassin du chott et Hodna. FAO
- [11] TARDAT Henry M (1992) Chimie des eaux, le griffon d'argile. Canada
- [12] RODIER .J, l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; édition dunod, 8^{eme} édition ; pages (945 à1075), 1976.
- [13] Journal officiel 2011.
- [13] Brech et Messaoud 2006.
- [14] Bouchenouk, 2013.
- [15] Miller et *al*, 1979.
- [17] Castany, G (1982) Principe et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris, 238 p.

[18] 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.

[19] Belkhiri L, Boudoukha A and Mouni L (2010) Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Ain Azel plain, Algeria. Journal of Geography and Regional Planning Vol. 3(6), pp. 151-157

[20] 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

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة تطور تلوث المياه الجوفية عن طريق النترات لمنطقة المعذر (بوسعادة). والتي تستخدم بشكل رئيسي من أجل الري و الشرب.

لتقييم تأثير النترات على المياه الجوفية لسهل بوسعادة، تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية من 15 عينة من هذه المياه خلال سنة و2018 الهدف من أخذ العينات هو تحديد البدني والبيانات الكيميائية والبكتريولوجية ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من حملة 2018 بالنتائج التي تم الحصول عليها من حملة الاعوام 2014. 2006. 1996 و1967 تظهر الدراسة أن تلوث المياه له عدة أصول من بينها الاصل الزراعي بسبب الاستخدام المكثف للأسمدة العضوية وغير العضوية للأغراض الزراعية.

الكلمات المفتاحية: بوسعادة ، المعذر ، التلوث ، النترات ، الجودة الفيزيائية ، المياه 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 principalement utilisés pour l'irrigation et la consommation.

Pour évaluer l'effet des nitrates sur les eaux souterraines afin de faciliter leur utilisation, des analyses physico-chimiques de 15 échantillons de ces eaux ont été effectuées au cours de l'année 2018. Le but de cet échantillonnage est d'identifier les données physiques, chimiques et bactériologiques et de comparer les résultats obtenus lors de la campagne 2018 avec ceux de la campagne 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.

Mots-clés: Bousaâda, Maadher, pollution, nitrates, qualité physique-chimique, eaux souterraines

Abstract

The purpose of this note is to study the evolution of groundwater contamination through nitrates to the area of Al-Maadher (Bousaada) which are mainly used for irrigation and drinking.

To evaluate the effect of nitrates on groundwater for easy operation, physiochemical analyzes of 15 samples of this water were conducted during the year 2018. The aim of the sampling is to identify physical, chemical and bacteriological data and compare the results obtained from the 2018 campaign with the results obtained from the 2014 campaign 2006. 1996 and 1967

The study shows that water pollution has several origins, including agricultural origin due to the intensive use of organic and inorganic fertilizers for agricultural purposes.

Keywords: Bousaada, Maadher, pollution, nitrates, physical quality, groundwater

