

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des sciences appliquées  
Département de génie des procédés**



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie des procédés de l'environnement**

**Présentée par : Benchoula Nour elhouda**

**Thème**

**Etude de l'évolution de la pollution minérale  
des eaux potables 'AEP' de la région de  
Ouargla**

**Soutenu publiquement**

**le : 26/06/2018**

**Devant le jury :**

<b>M<sup>me</sup>. GHIABA Zineb</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Présidente</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>M<sup>lle</sup>. CHAOUCH Noura</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>M<sup>r</sup>. CHAOUKI Mourad</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>UKM Ouargla</b>

**Année Universitaire : 2017/2018**

# REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je remercie le bon Dieu de m'avoir accordé la force et le courage, et de m'aider à réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de la filière Génie des procédés, université de Ouargla, auxquels je dois beaucoup pour ma formation.

Je remercie particulièrement mon promoteur

**Mr CHAOUKI Mourad**, qui m'a fait profiter de ses connaissances et pour tous les conseils et l'aide précieux qu'il m'a transmis.

Je tiens à remercier particulièrement **Dr. CHAOUCH Noura** pour ses précieux conseils durant ma scolarité.

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont aux membres des Entreprise suivant :

A tous les travailleurs de laboratoire d'A.D.E

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou loin, à la réalisation de ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus cordiaux.

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents ma mère*

*et mon père pour leur patience illimitée, leur amour, leur soutien, et n'ont  
jamais cessé de prier pour moi.*

*A mes chers frères : Houcin , Samir , Mihoub*

*A mes chers sœur : Aicha , Rihana , Samia*

*Et leurs enfants*

*A ma meilleures amie : Fatima Nouasria*

*Et toute personne qui m'a aidée à franchir un horizon dans ma vie...*

**BENCHOULA**

**NOUR ELHOUDA**

## ملخص

في هذا العمل نقدم دراسة هيدروكيميائية و المتمثلة في تحليل 10 عينات من الماء الماخوذة خاصة من منطقة الدراسة (ورقلة) . فنهتم بداية بتعرض المنطقة للتلوث الكيميائي (المعدني) في الطبقات الجوفية للماء . بعض العينات مأخوذة من مناطق التجارب (ابار) . حسب الدراسة الهيدروكيميائية صنفنا نوعية المياه الى 3 فئات , مستساغة (منطقة عين البيضة و بوعامر2 و سعيد عتبة2) و متوسطة الجودة (منطقة الجامعة, حاسي ميلود, الحدب 2, مخادمة 3, الخفجي ولاسيليس) و رديئة الجودة ( منطقة بني ثور ) . حسب هذه التحاليل لاحضنا المنطقة الاكثر عرضة للتلوث هي بني ثور . وجدنا هذا الخلل بواسطة بطاقة مؤشر التلوث المعدني بمساعدة برنامج (سرفر12).  
**الكلمات المفتاحية:** حوض, ورقلة, تلوث, مؤشر التلوث المعدني, الحساسية.

## Abstract

In this work we present a hydrochemical study based on the analysis of 10 water samples taken mainly from the study region (Ouargla). First, we are interested in vulnerability to chemical pollution (Mineral) . A number of samples were carried out at experimental sites on water points (boreholes). The hydrochemical study defined 3 classes of acceptable water quality (Ain Elbeida, Bouameur 2 and Said Otba 2 region), and medium quality (corresponds to the Université, Hassi Miloud, L'hdab 2, Mekhadma 3, Elkhafdi and La silice region), and bad quality (corresponds to the Benithour ). According to the analysis of the water we have treated the vulnerability to pollution, we use the map of evolution of the mineral pollution index using software (surfer 12). It has been found that the region the most vulnerable to mineral pollution corresponds to the Benithour region.

**Key words :** Bowl, Ouargla, Pollution, MPI, Vulnerability.

## Résumé

Dans ce travail nous présentons une étude hydrochimique qui est basée sur l'analyse de 10 échantillons d'eau pris essentiellement de la région d'étude (Ouargla), On s'intéresse en premier lieu à la vulnérabilité à la pollution chimique (minérale) dans les nappes. Un certain nombre d'échantillons ont été réalisés sur des sites expérimentaux portant sur des points d'eau (forages). D'après l'étude hydrochimique on a défini 3 classes de la qualité des eaux admissibles (correspondant à la région de Ain Elbeida, Bouameur 2 et Said Otba 2), médiocre (correspondant à la région de l'Université, Hassi Miloud, L'hdab 2, Mekhadma 3, Elkhafdi et La silice), et mauvaise (correspondant à la région de Benithour). D'après les analyses des eaux des nappes nous avons constaté la vulnérabilité à la pollution. On utilise pour cela la carte d'évolution de l'indice de pollution minérale à l'aide du logiciel (surfer 12). On a trouvé que la région la plus vulnérable à la pollution minérale correspond à la région de Benithour.

**Mots clés :** Cuvette, Ouargla, Pollution, IPM, Vulnérabilité.

# SOMMAIRE

Introduction	01
--------------	----

## **PARTIE THEORIQUE**

### **Chapitre I- Etude géomorphologique de la région d'étude**

I-1-Situation géographique	02
I-2-Démographie	04
I-3-Climatologie	04

### **Chapitre II- Etude hydrogéologique et hydro chimique des eaux**

II-1- Hydrogéologique	08
II-1-1- la nappe de complexe terminale (CT)	08
II-1-2- Nappe du continental intercalaire (CI)	08
II-2- Hydro chimique des eaux	10
II-2-1- Cycle de l'eau	10
II-2-2- Ressources hydriques	11
II-2-3- Les nappes d'eau souterraines	13

### **Chapitre III- Etude de la pollution des eaux**

III-1- Pollution de l'eau	14
III-2 -Type de pollution	14
III-3- Sources de pollution	14
III-3-1-Pollution Naturelle	14
III-3-2-Pollution Anthropique	15
III-4- Les principaux polluants des eaux	16
III-5- Contamination des eaux souterraines	16
III-6- Transfère des eaux polluées	16
III-7-Evolution de la pollution	17
III-7-1- Milieux traversés	17
III-7-2- Principaux types des milieux souterrains	18

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre IV- Résultats et discussions**

IV-1- Echantillonnage	20
IV-1-1- Généralités	20
IV-1-2- Mode de prélèvement	21
IV-1-3- Conservation des échantillons	21
IV-2- Etude de la qualité des eaux potables de la nappe	22
IV-2-1- Les points de prélèvements	22
IV-2-2- Qualité physico-chimique	23
IV-3- Etude du comportement de quelques polluants	27
IV-4- Evolution spatiale de quelques polluants minérales	32
IV-4- 1- Classement des eaux potables	35
IV-4-2- Vulnérabilité des eaux de Ouargla à la pollution minérale	36
Conclusion	37

## Liste des figures

N°	Titre de les figures	Page
<b>Chapitre I- Etude géomorphologique de la région d'étude</b>		
Figure I-01	Localisation géographique d'Ouargla	03
Figure I-02	Carte de découpage administratif d'Ouargla	03
Figure I-03	Les températures moyennes mensuelles	04
Figure I-04	Les précipitations moyennes mensuelles	05
Figure I-05	Les vents moyens mensuels	05
Figure I-06	L'ensoleillement moyen mensuel	06
Figure I-07	Humidité moyenne mensuelle	06
Figure I-08	Evaporation mensuelle	07
<b>Chapitre II- Etude hydrogéologique et hydro chimique des eaux</b>		
Figure II-01	Coupe géologique de la région d'Ouargla	09
Figure II-02	Cycle de l'eau dans la nature.	10
FigureII-03	L'eau souterraine et les différents ouvrages de captage	12
Figure II-04	Les eaux souterraines	12
Figure II-05	Nappe Captive	13
Figure II-06	Nappe Libre	13
<b>Chapitre III- Etude de la pollution des eaux</b>		
Figure III-07	Relations entre sol, sous-sol, zone non saturée et zone saturée	18

<b>Chapitre IV- Résultats et discussions</b>		
Figure IV-01	Schéma des processus d'analyse physico-chimique	20
Figure IV-02	Carte d'inventaire des points d'eaux	22
Figure IV-03	Variation spatiale de la conductivité	23
Figure IV-04	Variation spatiale de la dureté totale	24
Figure IV-05	Variation spatiale de calcium	24
Figure IV-06	Variation spatiale de magnésium	25
Figure IV-07	Variation spatiale de chlorure	25
Figure IV-08	Variation spatiale de bicarbonate	26
Figure IV-09	Evolution de la conductivité	27
Figure IV-10	Evolution de la dureté totale	28
Figure IV-11	Evolution de calcium	29
Figure IV-12	Evolution du magnésium	30
Figure IV-13	Evolution des chlorures	31
Figure IV-14	Evolution des bicarbonates	32
Figure IV-15	Evolution de calcium au niveau de la région de Ouargla	33
Figure IV-16	Evolution de magnésium au niveau de la région de Ouargla	33
Figure IV-17	Evolution de chlorure au niveau de la région de Ouargla	34
Figure IV-18	Evolution de bicarbonate au niveau de la région de Ouargla	34
Figure IV-19	Variation spatiale de l'indice de pollution minérale	35
Figure IV-20	Variation spatiale de degrés de vulnérabilité à la pollution minérale	36



## Liste des tableaux

N°	Titre des tableaux	Page
Tableau I-01	Communes et localités de la cuvette de Ouargla	02
Tableau IV-01	Les forages d'étude	22
Tableau IV-02	Classement de l'indice de pollution (IPM)	35

## Abréviation

AEP	Alimentation en Eau Potable
ADE	Algérienne des eaux
CI	Continental Intercalaie
CT	Complexe Terminal
ZNS	Zone non saturée
ZS	Zone saturée
BI	Balance Ionique
O.M.S	Organisation Mondiale de la Santé
IPM	Indice de Pollution Minérale
ONM	Office Nationale de Météorologie
UTM	Universal Transverse Mercator
NTU	Néphélométrique Turbidité Unité

# **INTRODUCTION**

# Introduction

L'eau est indispensable à la vie, sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre. Le constat est simple, tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour exister. Afin de préserver un écosystème sain et équilibré. L'eau doit constituer un patrimoine dont la gestion durable doit s'imposer comme une préoccupation essentielle.

De nos jours, vu l'accroissement remarquable de la pollution des eaux de Ouargla (Sud-Est Algérie), doit impliquer une nécessité absolue des eaux potables, et pour un développement adéquat dans des différents domaines. L'eau consommée ne disparaît pas ; elle est restituée d'une façon ou d'une autre au cycle de l'eau. Mais elle n'a plus forcément la même qualité qu'avant. Cette pollution a des conséquences sur le milieu naturel aquatique et les eaux des réserves souterraines.[1]

La plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. La contamination humaine des eaux souterraines peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eaux d'égout, élimination des déchets solides, eau usagée municipale, retenue d'eau usagée, élimination des eaux usées, les déchets radioactifs) ou de manière indirecte (certaines activités agricoles, exploitation, pluies acides, un mauvais entretien de matériel de forage et mauvais entretien de puits).[2]

En relation avec cette problématique, notre travail consiste à étudier l'évolution de la pollution minérale des eaux potables de la cuvette de Ouargla, ainsi que l'étude de la vulnérabilité de pollution minérale basée sur l'analyse physico-chimique de 10 échantillons pris essentiellement de cette cuvette (l'étude a concerné les années 2016, 2017 et 2018) et elle est suivie d'un traitement des données à l'aide du logiciel Surfer 12.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons devisé notre travail en deux parties :

## **Partie théorique**

- Chapitre I : Etude géomorphologique de la région d'étude.
- Chapitre II : Etude hydrogéologique et hydro chimique des eaux.
- Chapitre III : Etude de la pollution des eaux.

## **Partie expérimentale**

- Chapitre IV : Résultats et discussions.

# **CHAPITRE I**

**Etude géomorphologique**

**De la région d'étude**

## Chapitre I- Etude géomorphologique de la région d'étude

### I-1- Situation géographique

La cuvette de Ouargla est située au Nord-est du Grand Sahara algérien; elle est distante de 850 Km de la capitale Alger (Figure I-01).

Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Djelfa et d'El Oued
- Au Sud par les Wilayas d'Illizi et Tamanrasset
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa
- A l'Est par la Tunisie (Figure I-2).[3]

Géographiquement :

la cuvette d'Ouargla est repérée par les coordonnées (UTM, Clarke 1880) suivantes:

Xmin = 710 000;      Y min = 3 530 000

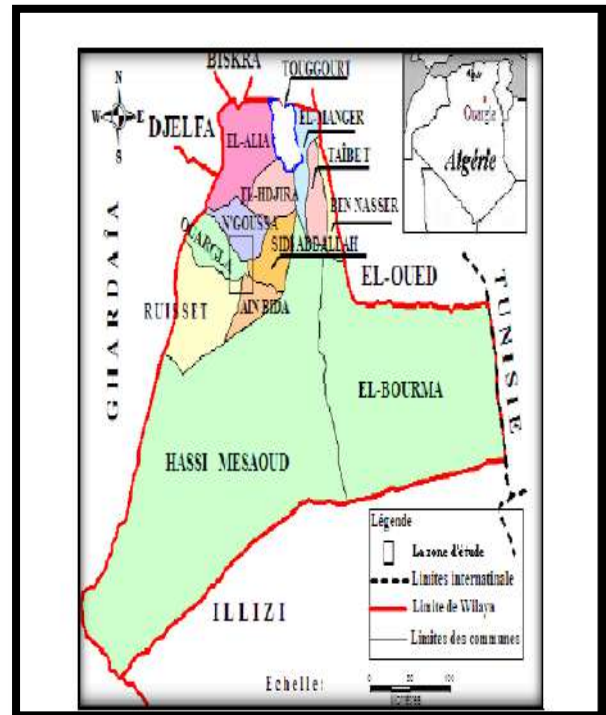
Xmax = 730 000;      Ymax= 3 600 000

**Tableau I-01- Communes et localités de la cuvette de Ouargla.[4]**

<b>Daira</b>	<b>Communes</b>	<b>Localités</b>
Ouargla	Ouargla	Said-Otba, Hassi Miloud, Ksar, Bamendil, Boure EL Haicha, Beni thour, Mekhadma, Sidi Amrane
	Rouissat	EL-Hedeb, Sokra, Boughoufala
Sidi-khouiled	Sidi-khouiled	Oum EL Raneb, Aouinet Moussa
	Ain Beida	Ain Beida, Choutt, Adjadja
N'goussa	Hassi Ben Abdalah	Hassi Ben Abdalah
	N'goussa	L'Arsaa, EL Bour, EL Koum, Ghers



**Figure I-01- localisation géographique de Ouargla**



**Figure I-02- Carte de découpage administratif de Ouargla**

La région de Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée des l'Oued M'ya. Cette dernière est caractérisée par une dissymétrie marquée par la présence d'une falaise occidentale particulièrement nette et continue tandis que la limite orientale est imprécise.

- A l'Ouest : Un plateau calcaireux surplombe la cuvette de Ouargla à environ 230 m d'Altitude confluence avec Oued Mzab et Oued N'sa.
- A l'Est : On constate un plateau, dont les limites ne sont pas nettes, avec une altitude ne dépasse pas 160 m. les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous le sables (Erg Touil, Erg Boukhezana, Erg Arifdji).
- Au Sud : Un massif dunaire recouvre les ruines de Sedrata, son altitude dépasse 155m.
- Au Nord : Zabret Bouaroua constitue en même temps la limite supérieure de Sebket Safioune et de la grande cuvette de Ouargla.[5]

## I-2- Démographie

En se basant sur les données statistiques de 2006 , on remarque que la population de Ouargla est de l'ordre 170 000 habitants avec une densité de 0,17 h/Km<sup>2</sup>. [6]

## I-3- Climatologie

Les données climatiques de la station météorologique de Ouargla montrent que la région est caractérisée par un climat Saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et une faiblesse de la vie biologique. [7]

L'analyse des données climatiques est faite à partir des données recueillies de l'ONM-Ouargla période (2007-2018).

### I-3-1- Température

La température joue un rôle primordial sur le climat, est un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique. [2]

On remarque que les températures hivernales sont très basses , au mois de janvier elles sont comme suit : elles sont de l'ordre de 5.22 °C minimum et 19.28°C maximum. Par contre les températures estivales sont très élevées au mois de juillet : 27.99 minimum et 43.8 maximum. Ceci nous amène à dire que la région de Ouargla a un Hiver doux et un Été très chaud (climat saharien).

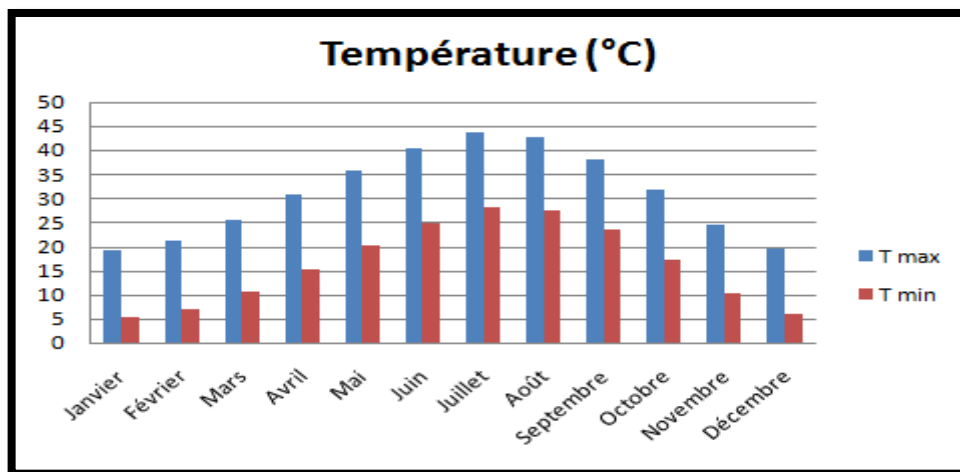


Figure I-03- Les températures moyennes mensuelles. [8]



### I-3-2- Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et très irrégulières. Elles sont insignifiantes pendant toute l'année, à nulles pendant le mois de Juin, Juillet, et Aout et ne se produisent par fois qu'en hiver et en automne.

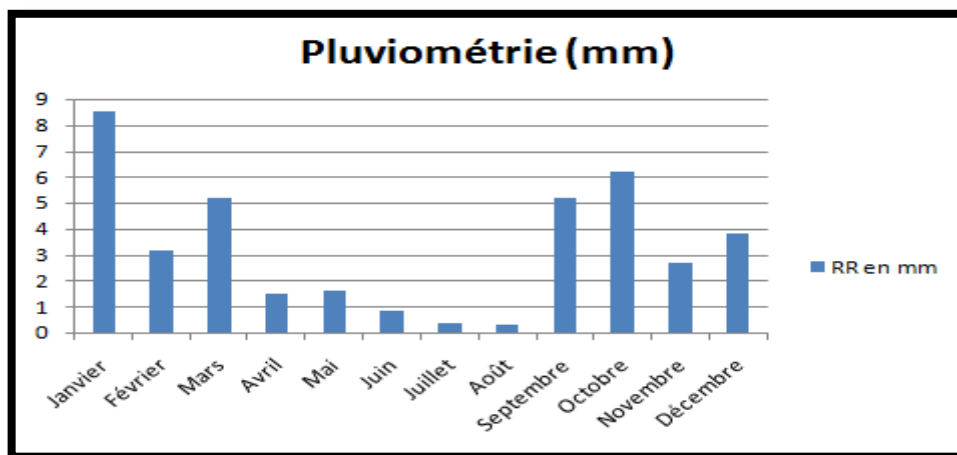


Figure I-04- Les précipitations moyennes mensuelles.[8]

### I-3-3- La vitesse du vent

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois de Mars à juin avec un maximum de 10,39 m/s en Mai, tandis que le reste des mois a une vitesse faible (< 7.06 m/s).

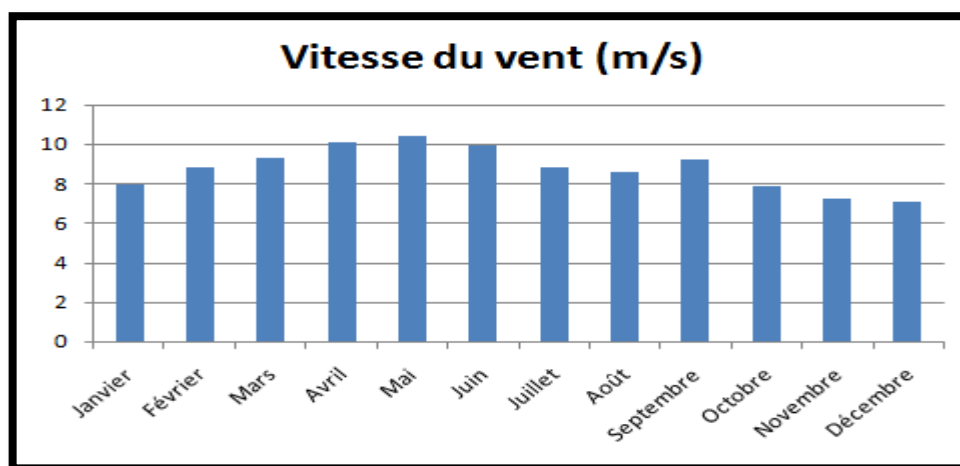


Figure I-05- Les vents moyens mensuels.[8]

**I-3-4- Ensoleillement**

Il s'agit de l'insolation effective c'est-à-dire de la période en heures durant laquelle le soleil a brillé. L'insolation mensuelle, la plus grande, correspondant aux mois les plus chauds "Mai -Août". Le minimum de Novembre à Février correspondant à une durée d'ensoleillement plus basse de 230.97h/mois.

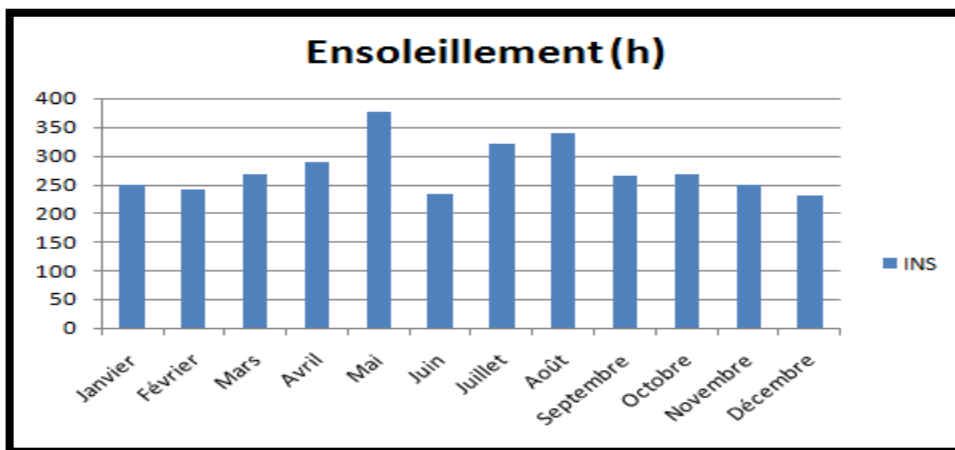


Figure I-06- L'ensoleillement moyen mensuel.[8]

**I-3-5- Humidité**

L'humidité moyenne minimale enregistre des taux variant de 13.3 à 36.7 % et L'humidité moyenne maximale enregistre des taux variant de 34.7 à 81.3 %.

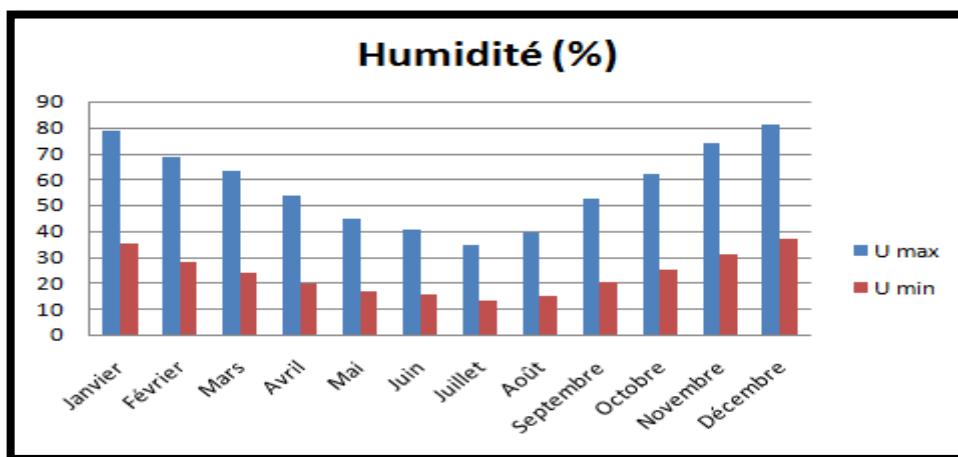


Figure I-07- Humidité moyenne mensuelle.[8]

**I-3-6- Evaporation**

L'évaporation atteint des valeurs très importantes, cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air notamment les vents desséchants au mois de juillet ou elle atteint 436.7 mm, ce qui correspond à 14 mm par jour.[2]

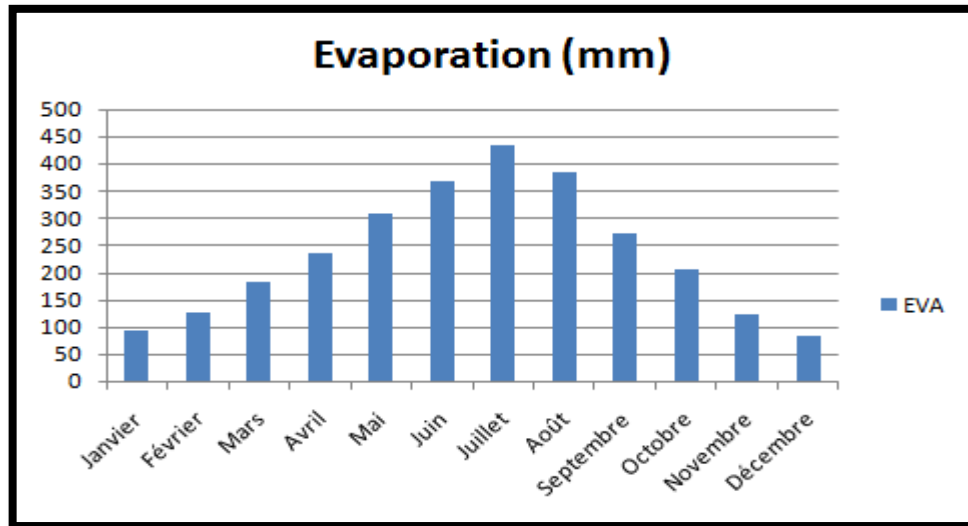


Figure I-08- Evaporation mensuelle.[8]

## **CHAPITRE II**

**Etude hydrogéologique et  
hydro chimique des eaux**

## Chapitre II- Etude hydrogéologique et hydro chimique des eaux

### II-1-Hydrogéologique

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).[9]

#### II-1-1- La nappe de complexe terminale (CT)

D'une superficie de 350 000 km<sup>2</sup> et d'une réserve de 1736,38 hm<sup>3</sup> /an. Elle regroupe les nappes du mio-pliocène et la nappe du sénonien. Les eaux de cette nappe sont du type chlorurésodique dont la température varie de 23 à 30°C, le pH de 8,5 à 9,5 et le résidu sec de 1,5 à 8 g/l.

##### II-1-1-1-La nappe mio-pliocène

L'exploitation de la nappe mio-pliocène est extrêmement ancienne, cette nappe se trouve à une profondeur de 60 à 200 m, sa salinité varie de 1,8 et 4,6 g/l. alors que sa température est de 25°C, elle s'écoule de Sud-Ouest vers le Nord-Est en direction du Chott Melrir.

##### II-1-1-2-La nappe du sénonien

Cette seconde nappe artésienne de la vallée de l'Oued Mya est connue par la salinité de ces eaux variant de 1,8 à 4,4 g/l ; et leur température de l'ordre de 30°C. Cette nappe se trouve à des profondeurs variant de 180-350 m.[10]

#### II-1-2- Nappe du continental intercalaire (CI)

En hydrogéologie la nappe du Continental Intercalaire, plus souvent dite nappe albienne correspond à un niveau plus réduit. La nappe est de nature gréseuse, sables et argiles. C'est le plus grand réservoir dans tout le Sahara, d'âge crétacé (Barrémien et albien), le réservoir s'étend sur une superficie d'environ 800 000 Km<sup>2</sup>, il s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, de la vallée de oued Saoura à l'ouest, en territoire Tunisien et Libyen à l'Est.

Au Nord-est de la dorsal du M'Zab, le toit de l'aquifère est constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomaniens, à une continuité sur tout le bassin de Ouargla et d'une épaisseur de 110 m environ, d'une profondeur allant de 1200 à 1500 m.[11]

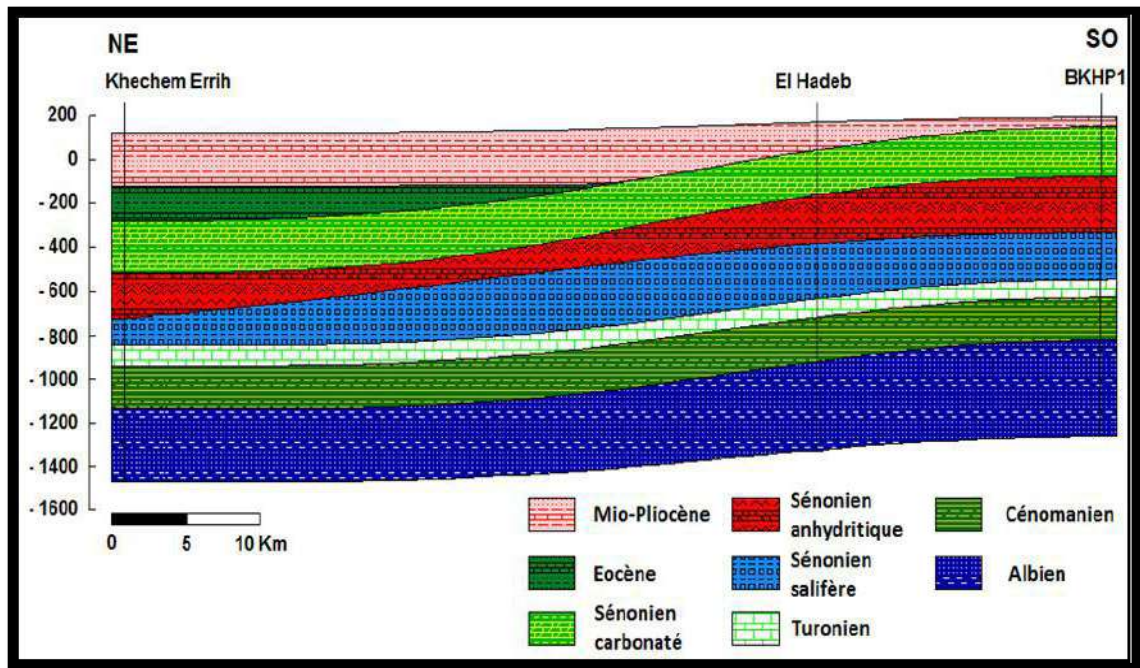


Figure II-01- Coupe géologique de la région de Ouargla.[12]

## II-2- Hydro chimique des eaux

### II-2-1- Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est l'échange permanent de l'eau entre les mers et les océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère et la biosphère.[15]

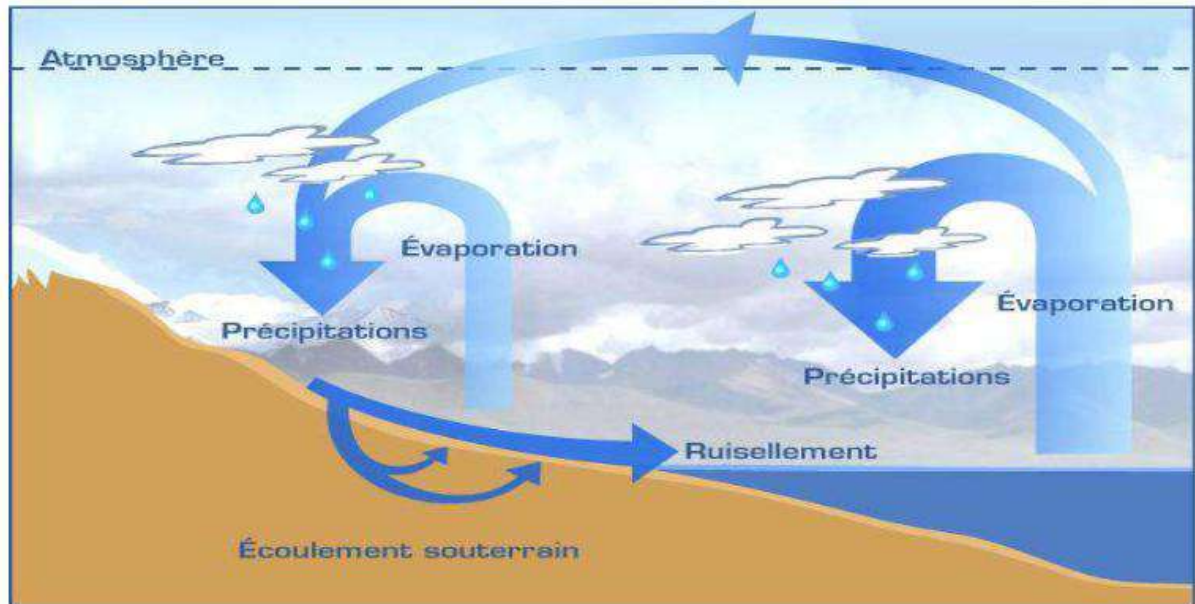


Figure II-02- Cycle de l'eau dans la nature.[4]

Le cycle de l'eau n'a pas de point de départ, mais les océans semblent un bon point de départ. Le soleil réchauffe l'eau des océans; celle-ci s'évapore dans l'air. Les courants d'air ascendants entraînent la vapeur dans l'atmosphère, où les températures plus basses provoquent la condensation de la vapeur en nuages. Les courants d'air entraînent les nuages autour de la Terre, les particules de nuage se heurtent, s'amoncellent et retombent en tant que précipitation.[13]

Cet échange se réalise par :

#### 1-L'évaporation

Chauffée par le soleil, l'eau des océans, des rivières et des lacs où s'évapore et monte dans l'atmosphère. L'évaporation totale (appelée évapotranspiration) comprend l'évaporation du sol et de la végétation. Cette évaporation dépend de la température de l'air, de la vitesse du vent, du type de sol et de végétation. L'évaporation est très faible près des pôles, mais elle est beaucoup plus importante près de l'équateur. Le phénomène de l'évaporation est essentiel car il permet à l'eau d'aller vers l'atmosphère pour former les nuages.

#### 2-La condensation

Au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui, poussées par les vents, se rassemblent et forment des nuages.

**3-Les précipitations**

Quand l'air est saturé d'eau les nuages déversent leur contenu sur la terre, ces précipitations tombent sous différentes formes. Lorsque les fines gouttelettes d'eau des nuages sont suffisamment grosses, il pleut. Si les nuages rencontrent des courants d'air froid, la vapeur d'eau des nuages se transforme en eau solide, il neige ou il grêle.

**4-Le ruissellement**

La plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. L'eau qui ruisselle à la surface de la Terre provient soit des eaux de pluie, soit des eaux de fonte des glaciers. Cette eau ruisselle en surface jusqu'aux rivières, qui vont toutes jusqu'aux océans.

**5-L'infiltration**

L'autre partie de précipitation s'infiltré dans le sol et ruisselle dans les roches de la Terre. Ce ruissellement dans le sous-sol alimente les nappes d'eau souterraines, appelées nappes phréatiques ou nappes aquifères. Celles-ci jouent un rôle essentiel pour l'homme, puisqu'elles constituent d'énormes réservoirs d'eau potable. L'eau peut être momentanément stockée dans quatre endroits :

- Dans les mers et les océans
- Dans le sous-sol, où les eaux sont souterraines
- Dans l'atmosphère, où l'eau se trouve sous forme de vapeur d'eau
- Dans les calottes polaires et les glaciers ou ruisselle pour aller grossir les rivières qui à leur tour, vont alimenter les océans. Et le cycle recommence.[14]

**II -2-2- Ressources hydriques****II -2-2-1- Eaux superficielle (ou les eaux de surface qui sont en mouvement)**

les torrents, les ruisseaux, les rivières et les fleuves. Sont d'origine naturelle (lac) et artificielle comme barrage. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains.[15]

**II -2-2-2- Eaux souterraines**

- L'eau souterraine est omniprésente dans le sous-sol. Elle y remplit les interstices entre les particules du sol ou encore les crevasses et les fissures du roche.
- Une relation étroite existe entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Les eaux de surface rechargent les réserves souterraines en période de crue, alors qu'en période sèche, l'eau souterraine contribue au maintien du niveau des lacs et aux débits de base des cours d'eau.



➤ Naturellement filtrée par le sol, l'eau souterraine est le plus souvent de bonne qualité. Celle-ci demeure cependant une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent engendrer sa détérioration.[2]

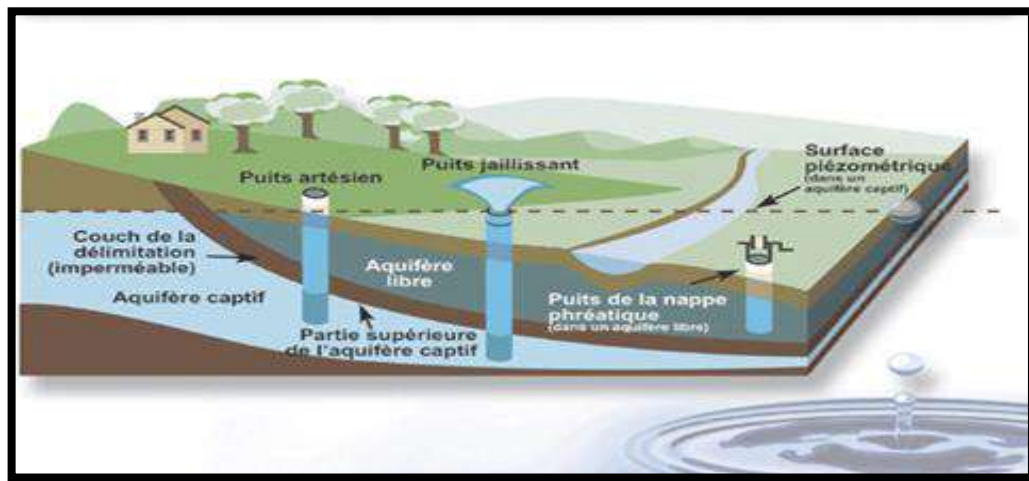


Figure II-03- L'eau souterraine et les différents ouvrages de captage.[2]

### II-2-2-3- Les aquifères

Les aquifères sont des couches de roches qui sont trouvés sous le sol et sont composés de roches perméables, du gravier, du sable ou d'argile d'où l'eau peut être extrait. Dans la figure, vous pouvez voir que les différents types de roches et du sol peuvent garder les montants différents d'eau.

Cependant les régions poreux ou les espaces sont assez grandes pour contenir des quantités utilisables d'eau, il est appelé une aquifère. Grands particules comme sable ou gravier grossier peuvent garder plus d'eau que sable ou argile fin, parce que les espaces entre les particules de gravier sont plus grandes que les espaces entre les particules du sable fin. Alors, on peut dire que gravier a plus de porosité, ou habilité de garder d'eau, qu'argile.[16]

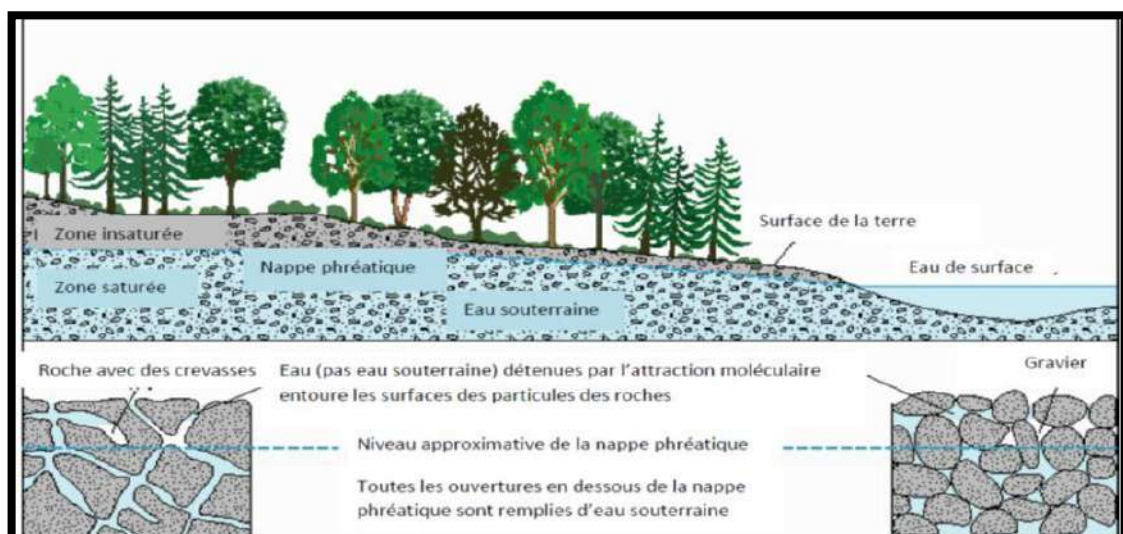


Figure II-04- Les eaux souterraines.[16]

Le sol est composé de deux parties:

- Une zone non saturée : l'eau ne remplit pas l'intégralité des pores et se trouve en mouvement permanent, vers la surface (la capillarité fait remonter l'eau vers la terre végétale comme un buvard), et vers les profondeurs (pesanteur).
- Une zone saturée : qui renferme la nappe. L'eau pénètre tous les pores et s'écoule dans le sous-sol sur la couche imperméable appelée aquiclude, en suivant la topographie sur plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres.

L'eau souterraine peut resurgir à la surface du sol en formant une source à l'origine d'un cours d'eau.[17]

### II-2-3- Les nappes d'eau souterraines

Ces nappes ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains, c'est de l'eau contenue dans les roches poreuses saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées.

#### II-2-3-1- Les nappes libres (Nappe phréatique)

Communiquent avec la surface car une couche perméable les recouvre ; les pores de la roche sont partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé et les eaux de pluies peuvent imprégner la nappe par toute la surface. Son niveau monte ou baisse en fonction des précipitations. Elle se renouvelle rapidement. Les aquifères libres peuvent recharger les cours d'eau proches, pendant les périodes de sécheresse. Les nappes phréatiques appartiennent à cette catégorie.

#### II-2-3-2- Les nappes captives

Sont recouvertes par au moins une couche géologique imperméable qui confine l'eau. Sous pression, celle-ci peut jaillir dans des forages dits artésiens. Les nappes captives sont souvent profondes, quelques centaines des mètres voire plus. Elles se renouvellent plus lentement.

Lorsque moins de 5 % de ces eaux sont renouvelées à l'année, ces nappes sont dites fossiles.[17]

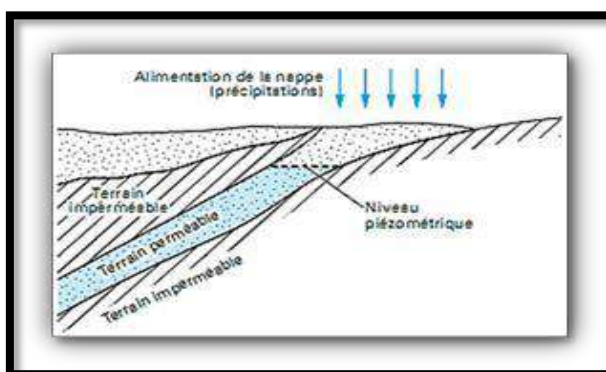


Figure II-05- Nappe Captive.[17]

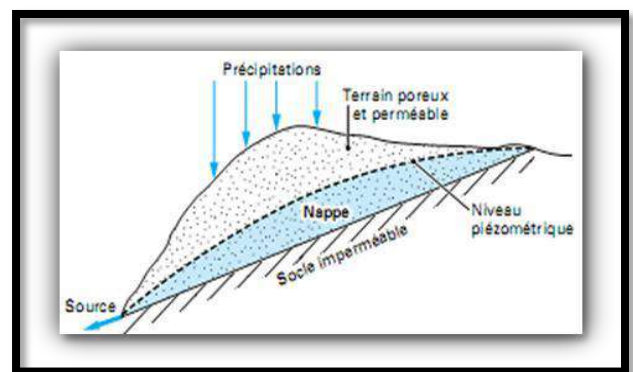


Figure II-06- Nappe Libre.[17]

**CHAPITRE III**  
**Etude de la pollution**  
**des eaux**

## Chapitre III- Etude de la pollution des eaux

### III-1- Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est une modification défavorable qui est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques.

L'ensemble des éléments perturbateurs parviennent au milieu naturel de deux façons différentes : par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout ou par des rejets diffus (les sillage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges, ...). L'introduction dans le sous-sol provoque une pollution des eaux souterraines qui est caractérisée par une propagation lente et durable (une nappe est contaminée pour plusieurs dizaines d'années) et une grande difficulté de résorption ou de traitement.[18]

### III-2 -Type de pollution (classification selon la répartition géographique)

On a deux types de pollution selon la répartition géographique : pollution diffuse et ponctuelle.

#### III-2-1 Pollution ponctuelle

Une pollution ponctuelle est une pollution provenant d'un site facile à localiser, et peut être par exemple le point de rejet d'un effluent ou une zone contaminée.[19]

C'est une source fixe et généralement d'émission polluantes importantes.[20]

#### III-2-2 Pollution diffuse

Sont des pollutions dues non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis à l'environnement de façon indirecte.

Les sources diffuses se caractérisent par des apports de substances émises par des sources mobiles, des sources couvrant de larges étendues ou un grand nombre de sources de pollution d'émission faible.

Les pollutions par des sources ponctuelles sont souvent plus faciles à localiser, alors que les émissions polluantes provenant de sources diffuses sont difficiles à recenser, à mesurer et donc à contrôler.[20]

### **III-3- Sources de pollution**

#### **III-3-1- Pollution Naturelle**

Cependant, et grâce notamment aux développements technologiques et analytiques qui ont permis des mesures de plus en plus fines pour de nombreux éléments polluants, il a été montré que certains polluants dans les eaux et les sols peuvent également avoir une origine naturelle.

On retrouve le plus souvent ces polluants dits géogéniques dans des zones où ils sont naturellement concentrés. Cette accumulation naturelle résulte de processus géologiques. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds (exp:arsenic...).

Des éruptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures... peuvent aussi être à l'origine de pollutions.[21][22]

#### **III-3-2- Pollution Anthropique**

##### **III-3-2-1- Pollution urbain (domestique)**

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité.

Le « tout -à- l'égout » est une expression significative ; elle exprime cette diversité. On trouve les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques. [23][24]

##### **III-3-2-2- La pollution industrielle**

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Devant l'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industrie est nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits.

Il est évident que les effluents déversés sans traitement approprié entraînent des changements indésirables dans le milieu récepteur et des pollutions très néfastes.[24]

**III-3-2-3- La pollution agricole**

Ce type de pollution s'intensifie depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins).

C'est aussi le cas des déchets solides issus des industries agro-alimentaires et des concentrations des élevages qui entraînent un excédent de déjections animales.[23]

**III-4- Les principaux polluants des eaux****III-4-1- Les matières en suspension**

Les matières en suspension sont de fines particules. Présente naturellement dans l'eau des rivières pour certains (planctons, débris végétaux fins, minéraux), elles sont aussi des polluants d'origine humaine pour d'autres (matières organiques et minérales).[25]

**III-4-2- Les polluants métalliques et les polluants chimiques persistants**

Certains polluants chimiques (des pesticides par exemple) sont particulièrement persistants : ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, cuivre, zinc, nickel, chrome...), ils forment une famille de polluants très dangereux : 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. [25]

**III-4-3- Les sels minéraux**

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique.[25]

**III-5- Contamination des eaux souterraines**

Les eaux souterraines représentent la source principale en eau potable. Leur qualité chimique naturelle dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que de la concentration en certains éléments chimiques.

Le sol et les roches sous-jacentes et la nappe, trois paramètres, provoquent la dégradation de qualité de réserve en eau de façon indirecte naturellement et de grande partie par l'activité humaine. [26]

**III-6- Transfert des eaux polluées**

Les sels solubles dans l'eau se déplacent par diffusion des points de forte concentration aux zones les plus moindres. Les trajets, la vitesse de propagation ont une influence capitale sur les caractères de la pollution. Il y a lieu de considérer:

### 1-La profondeur de l'entrée

La pollution peut entrer par la surface du terrain. La nature de cette surface joue un rôle capital. Le terrain peut avoir une couverture de terre végétale agissant comme purificateur par sa teneur en microorganismes. S'il n'y a pas de couverture de terre végétale, la contamination sera d'autant plus facile que l'on passe des terrains à perméabilité d'interstices aux terrains à perméabilité de fissures et de chenaux.

Un facteur important est la distance séparant la source de pollution de la surface de la nappe, car cette distance est à compter dans le cas d'épuration par filtration. Elle s'ajoute à la distance de filtration horizontale de la nappe. Cette distance peut être réduite à zéro, c'est-à-dire que le polluant arrive directement dans la nappe.

### 2-La vitesse de propagation

Car celle-ci entrera en ligne de compte dans le calcul de la décroissance de la pollution à partir du point de contamination. On aura donc à considérer la vitesse de filtration verticale dans la zone d'aération et la vitesse de propagation dans la nappe en tenant compte de la vitesse de diffusion.

### 3- L'amortissement du polluant

C'est-à-dire la diminution du polluant à partir du lieu de pollution. Diminution du polluant par rétention dans le terrain, et diminution par destruction, physique, chimique ou biologique.[26]

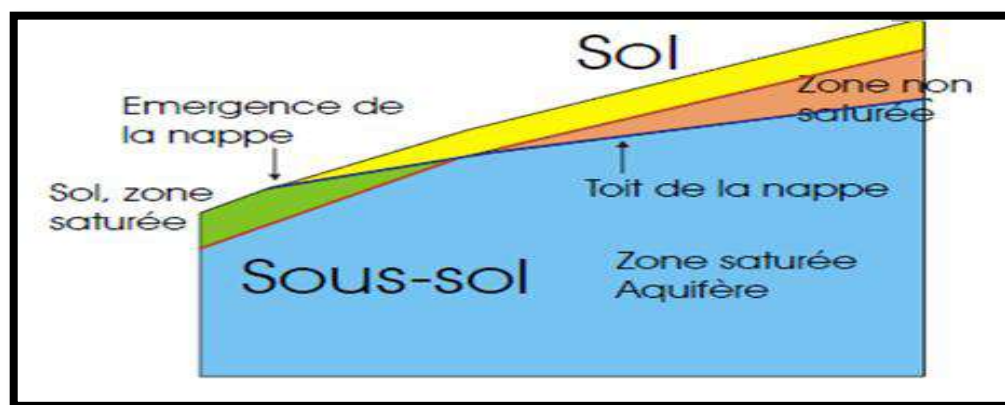
## III-7-Evolution de la pollution

Tout au long du trajet du polluant de la surface vers les nappes, des processus physiques et chimiques d'intensité variable selon la nature des milieux traversés et les caractéristiques du polluant contribueront à réduire les niveaux de concentration initiaux.[18]

### III-7-1- Milieux traversés

Selon qu'on aborde la question du point de vue du géologue ou de l'hydrogéologue, on définira deux coupures distinctes :

- le sol et le sous-sol, pour le premier, distingués par l'état physique des formations ;
- la zone non saturée et la zone saturée, pour le second, par référence à la position du toit de la nappe la plus superficielle. (Fig III-01)



**Figure III-01- Relations entre sol, sous-sol, zone non saturée et zone saturée.[18]**

Si ce toit se situe dans le sous-sol, le sol sera situé dans la zone non saturée (ZNS), et il existera des horizons du sous-sol appartenant à la ZNS, tout ou partie du sol appartient à la zone saturée.[18]

#### ➤ **Le sol**

Le sol est la couche la plus superficielle de la géosphère, il repose sur le sous-sol rocheux. Un sol est un milieu hétérogène, polyphasé, dispersé et poreux. C'est le substrat habituel de la croissance des plantes.

Le sol contient une quantité variable d'eau, issue des précipitations, de l'infiltration et du ruissellement. Cette eau est en interaction permanente avec l'atmosphère (infiltration des pluies, échanges avec les plantes, évaporation...) et avec l'eau souterraine (nappes).[18]

#### ➤ **Sous-sol**

Le sous-sol comprend le reste des couches de la géosphère, mais on ne s'intéressera ici qu'au sous sol rocheux contenant une nappe d'eau (appelée aquifère), et au sous-sol rocheux compris entre les aquifères et le sol.[18]

### **III-7-2- Principaux types des milieux souterrains**

le schéma général de contamination des eaux est le même : le point de départ est la surface du sol puis le transit vertical dans la zone dite non saturée (ZNS) surplombant la nappe, l'arrivée à la nappe puis le cheminement subhorizontal du polluant.[18]

#### **III-7-2-1- Zone non saturée**

La zone non saturée comprend l'ensemble des niveaux du sous-sol et du sol situés au-dessus de la nappe. Ces niveaux sont dits « non saturés » car leur porosité ne contient pas seulement de l'eau, mais également de l'air.



**Propriétés :**

- la grande complexité des processus physico-chimiques agissant sur le polluant en particulier dans la zone racinaire (les 30 à 40 premiers centimètres du sol). Dans cette zone, les mouvements de l'eau véhiculant le polluant (pour une pollution miscible).
- la teneur en eau. Celle-ci varie continûment au cours du temps sous l'influence des cycles pluviométriques et d'infiltration.[18]

**III-7-2-2-Zone saturée**

Sous la zone non saturée, on peut rencontrer trois grands types de milieux souterrains pouvant contenir des nappes, plus ou moins vulnérables à une pollution suivant leur profondeur et le degré de fissuration de la zone non saturée.[18]

**CHAPITRE IV**  
**Résultats et discussions**

## Chapitre IV- Résultats et discussions

### IV-1- Echantillonnage

#### IV-1-1- Généralités

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques.[27]

Afin d'avoir des analyses représentatives et fiables, la méthode d'échantillonnage exige une réflexion préalable et une précaution attentive de prélèvement, ainsi nous avons essayé de répondre aux critères suivants :

- Types des échantillons prélevés (eaux souterraines, eaux de surface ...).
- Lieux d'échantillonnage (piézomètres, chott, sebkha, drains...).
- Périodes d'échantillonnage (hautes eaux et basses eaux).
- Paramètres analysés sur terrain.
- Paramètres analysés au laboratoire.[15]

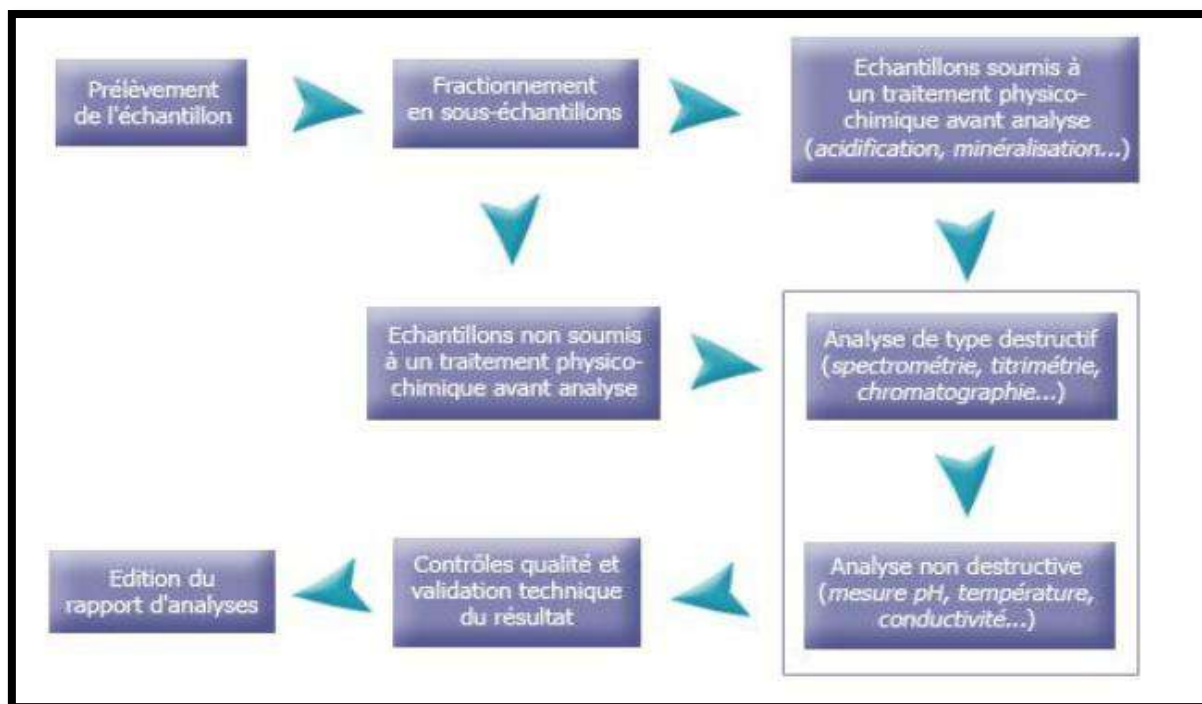


Figure IV-01- Schéma des processus d'analyse physico-chimique.[15]

**IV-1-2- Mode de prélèvement**

Le mode de prélèvement variera suivant l'origine de l'eau .dans le cas d'une rivière, d'une nappe ouverte ,d'un réservoir, la bouteille sera plongée à une certaine distance du fond (50cm) et de la surface assez loin des rives ou des bords ainsi que des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous, et en évitant la suspension des dépôts.

Au moment du prélèvement, pour l'analyse chimique, les flacons seront de nouveau rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.[28]

Pour faciliter le travail de l'analyse et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il convient d'étiqueter ou numéroter les prélèvements. Chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements au laboratoire et comportera les renseignements suivants :

- Identité du préleveur.
  - Date et heure de prélèvement.
  - Particulier ou autorité demandant l'analyse.
  - Motif de la demande d'analyse.
  - Ville ou établissement que l'eau alimente.
  - Nom du point d'eau et localisation précise.
  - Origine de l'eau (source, puits, etc....).
  - Température de l'eau à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment du prélèvement.
- Condition météo logiques.
- Débit approximatif à la minute ou à la seconde. Dans le cas d'une nappe souterraine, préciser la profondeur et l'épaisseur de cette nappe
  - Nature géologique des terrains traversés, aspect du milieu naturel.[25]

**IV-1-3- Conservation des échantillons**

Les prélèvements subiront obligatoirement un certain temps de transport et une attente au laboratoire avant la mise en route analytique. D'une façon générale, le transport à la température de 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante.[29]

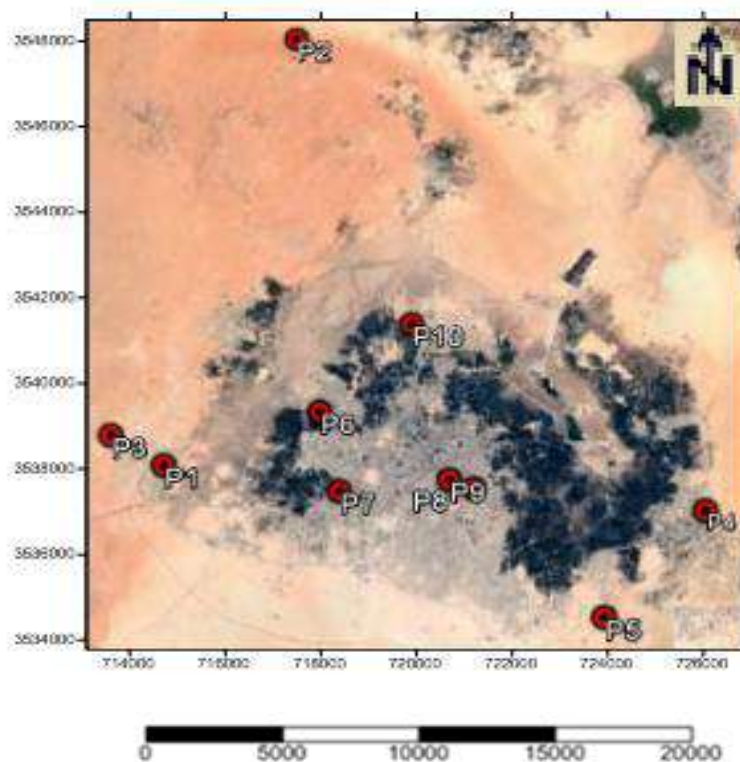
## IV-2- Etude de la qualité des eaux potables de la nappe

### IV-2-1- Les points de prélèvements

Les prélèvements sont prises des points d'eau (forages) situés dans la cuvette de Ouargla, nos échantillons ont été prélevés dans 10 puits.

**Tableau IV-01- Les forages d'étude**

N°	Nom du forage	Les nappes	Coordonnées	
			X	Y
P1	Université	mio-pliocène	714585,01	3537384,58
P2	Hassi Miloud	mio-pliocène	716955,01	3548249,85
P3	Elkhafdi	albien	713362,17	3538067,66
P4	Ain Elbeida	albien	726689,69	3536567,3
P5	L'hdab 2	albien	724485,56	3534022,74
P6	Bouameur 2	sénonien	717997,77	3538750,91
P7	Mekhadma 3	sénonien	718537,51	3536852,05
P8	Benithour	sénonien	721530,28	3536978,07
P9	La silice	sénonien	720974,08	3537181,73
P10	Said Otba 2	sénonien	719973,29	3540950,17



**Fig IV-02- Carte d'inventaire des points d'eaux.**

### IV-2-2- Qualité physico-chimique

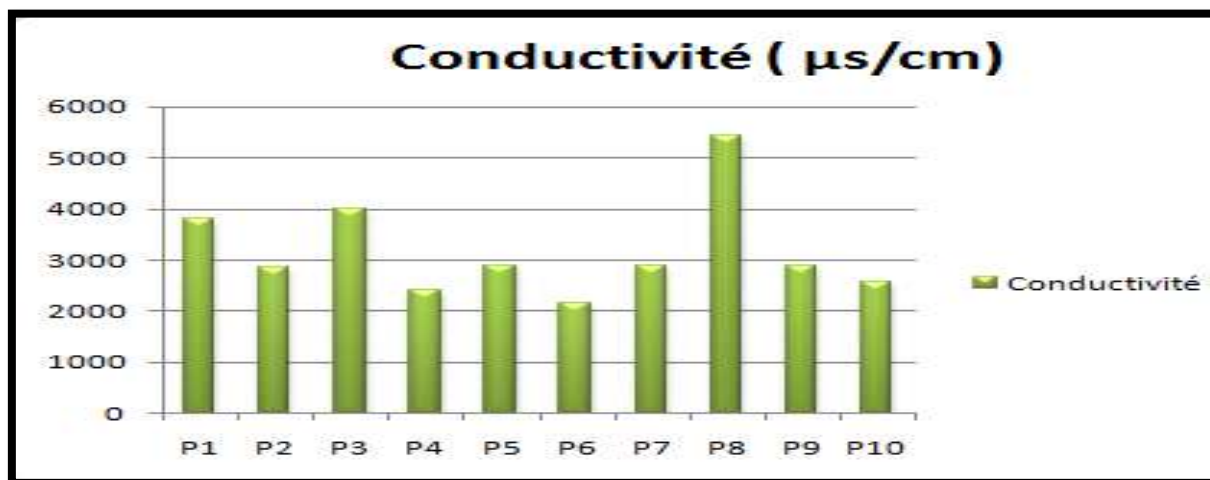
L'étude hydro chimique du secteur est basée sur l'analyse physico-chimique de 10 échantillons d'eau pris essentiellement au niveau des forages (Figure IV-2) et les résultats des analyses sont reportés sur les figures qui suivent.

Ces analyses sont effectuées au laboratoire de l'ADE. Elle ont porté sur:  
Les paramètres physico-chimiques généraux: Conductivité, Dureté.  
Les éléments majeurs: Anions ( $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ ) et Cations ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ).

La qualité des eaux dans notre étude est évaluée par rapport aux normes de potabilité exigées par l'OMS. Tous nos résultats d'analyse ont été contrôlés, à l'aide du calcul de balance ionique (BI), qui nous donne des résultats fiables.

$$\text{BI} = \left| \frac{\sum r(\text{cation}) - \sum r(\text{anion})}{\sum r(\text{cation}) + \sum r(\text{anion})} \right| \times 100 \leq 6\%$$

#### ➤ Conductivité électrique



**Figure IV-03- Variation spatiale de la conductivité.**

Au mois d'Avril la conductivité des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla varie entre 2150 µS/cm pour la région de Bouameur 2 qui correspond au point (P6) et 5440 µS/cm qui correspond au forage de Benithour (P8).

## ➤ Dureté totale (TH)

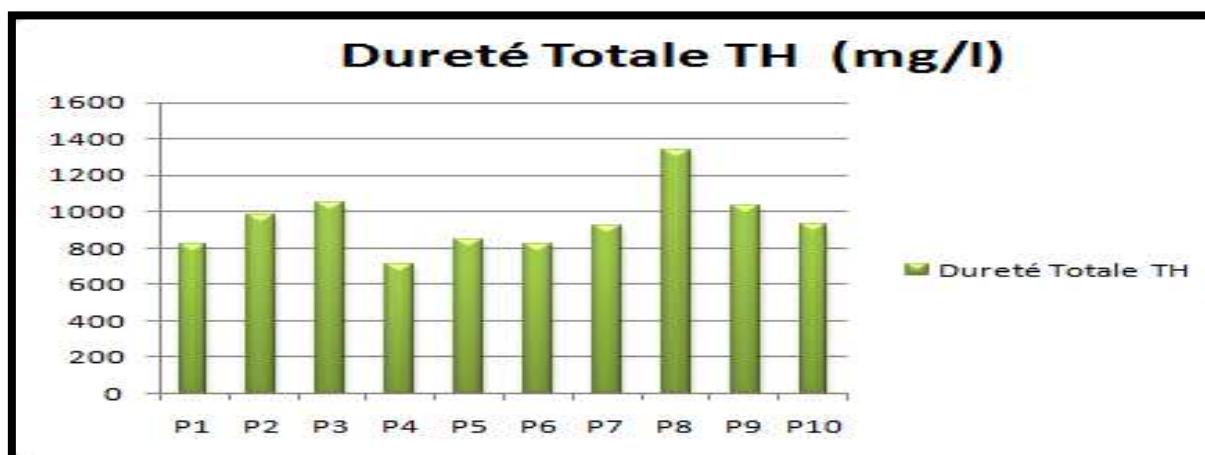


Figure IV-4- Variation spatiale de la dureté totale.

D'une façon générale, les eaux de la cuvette de Ouargla montrent des valeurs qui varient entre 710mg/l (P4) et 1340 mg/l (P8) qui correspond à la région Ain el-beida et Benithour successivement.

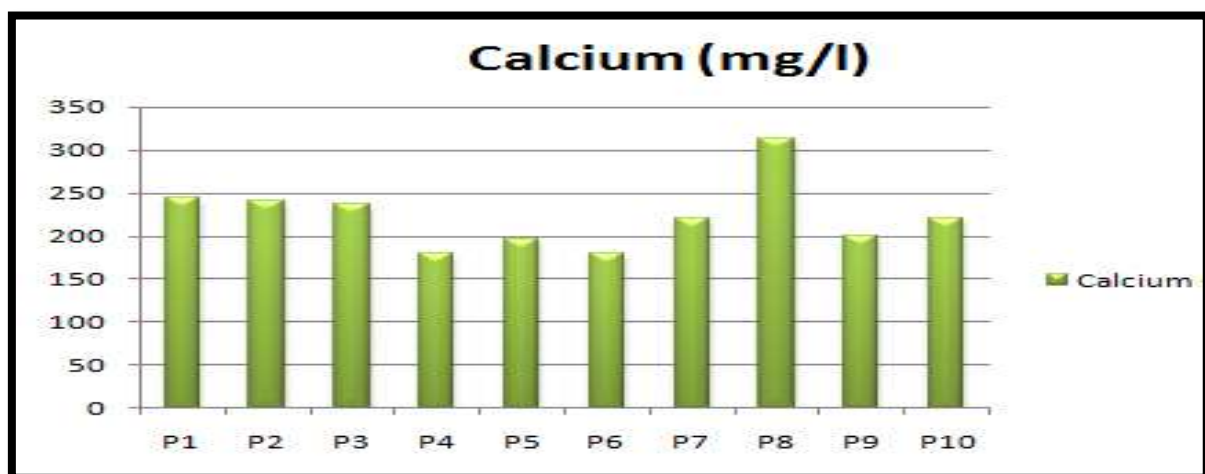
➤ Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Figure IV-05- Variation spatiale de calcium.

Les analyses chimiques faites au niveau de la cuvette, montrent que les concentrations en calcium varient entre 180,36 mg/l (Ain El Beida et Bouameur 2) et 312,6 mg/l (Benithour).

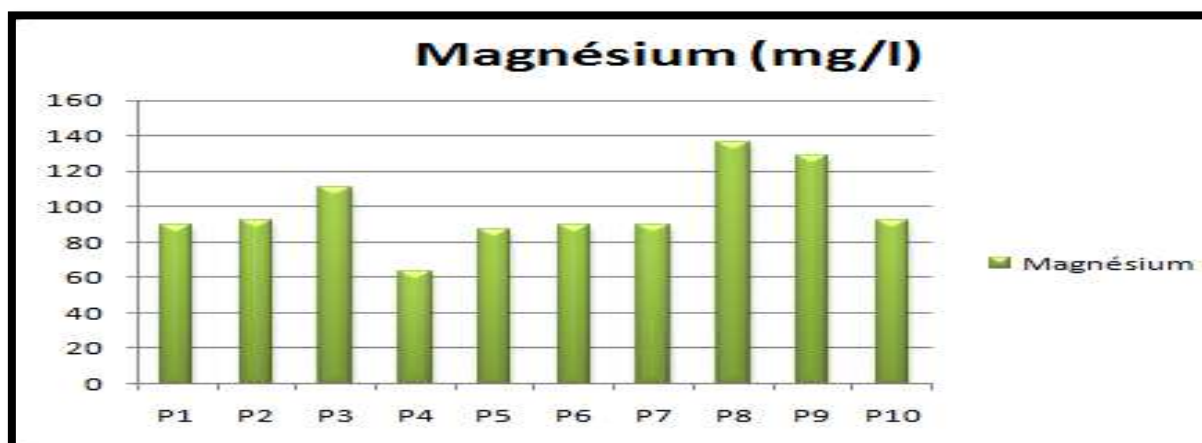
➤ Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Figure IV-06- Variation spatiale de magnésium.

Les concentrations en magnésium des eaux souterraines varient entre 63,19mg/l pour la région d' Ain el-beida qui correspond au (P4) et 128,81mg/l dans la région de Silice qui correspond au (P9).

## ➤ Chlorure (Cl)

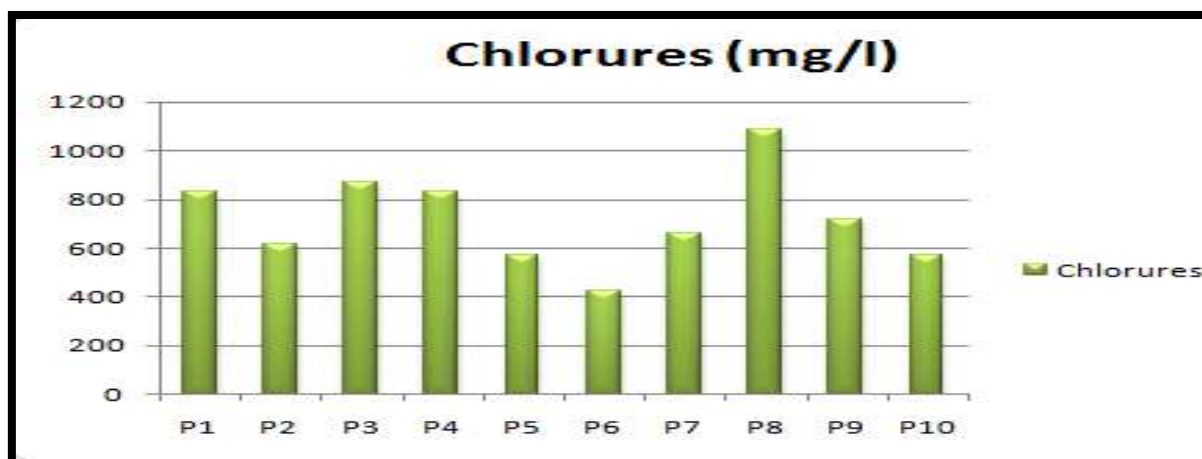
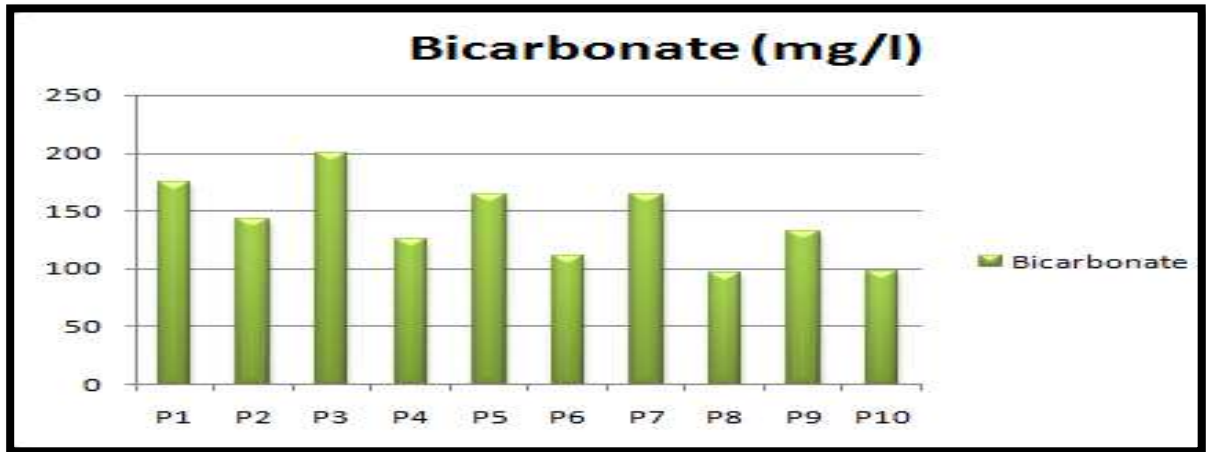


Figure IV-7- Variation spatiale de chlorure.

Les concentrations en chlorures dans les eaux souterraines de la cuvette qui excèdent les normes de l'OMS varient entre 423,23 mg/l (Bouameur 2) qui correspond au (P6) et 1083,1 mg/l (Benithour) qui correspond au (P8).



➤ Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

**Figure IV-08- Variation spatiale de bicarbonate.**

Les concentrations en bicarbonates des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla varient entre 96,16 mg/l (P8) et 200,33 mg/l (P3) qui correspond au Benithour et Elkhafdji successivement.

### IV-3- Etude du comportement de quelques polluants

Pour étudier le comportement des polluants, on procède au suivi des concentrations de chaque polluant pendant les trois années 2016, 2017 et 2018.

#### ➤ La conductivité

Au niveau de tous les puits d'eau on remarque une croissance de conductivité qui s'étale sur les années 2016, 2017 et 2018, On peut observer que la conductivité de l'eau du puits (P8) correspondant à benithour reste toujours élevée.

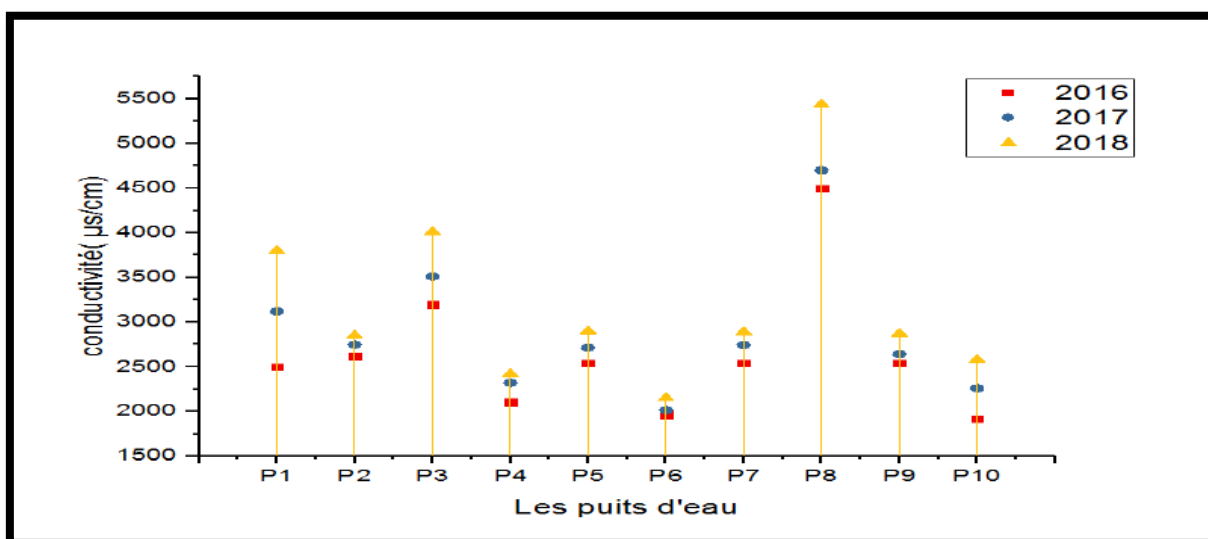
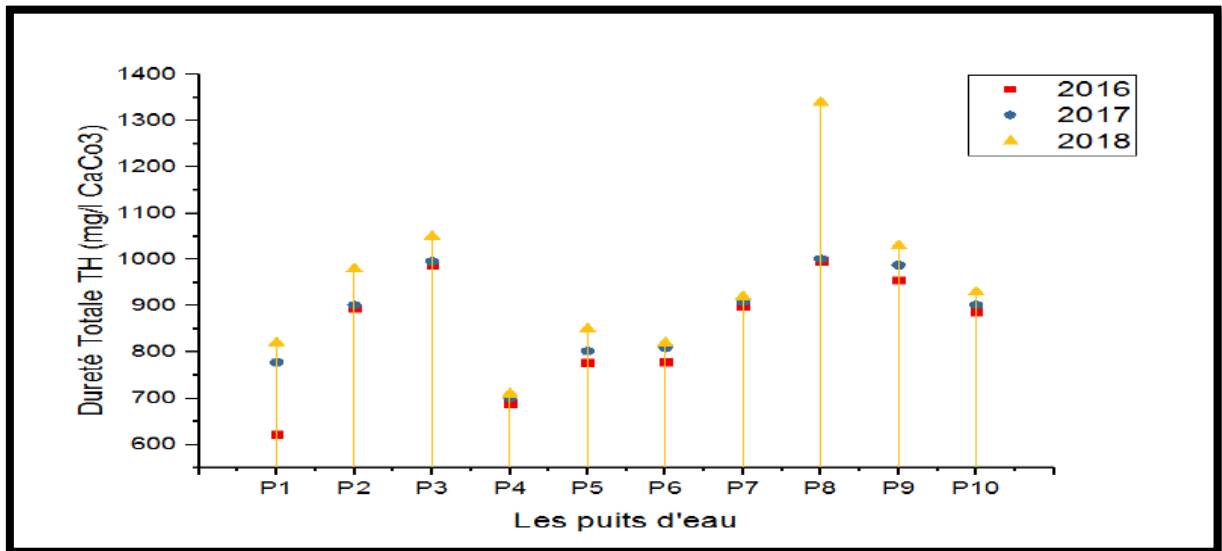


Figure IV-09- Evolution de la conductivité.

La conductivité traduit le degré de minéralisation d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. Elle est à ce titre un bon indicateur de l'Origine d'une eau.[18]

➤ **La dureté Totale TH**

La dureté des eaux de la région présente une variation plus élevée, s'étalant sur les années 2016, 2017 et 2018. On peut observer que la dureté de l'eau du puits (P8) correspondant à benithour reste toujours élevée.



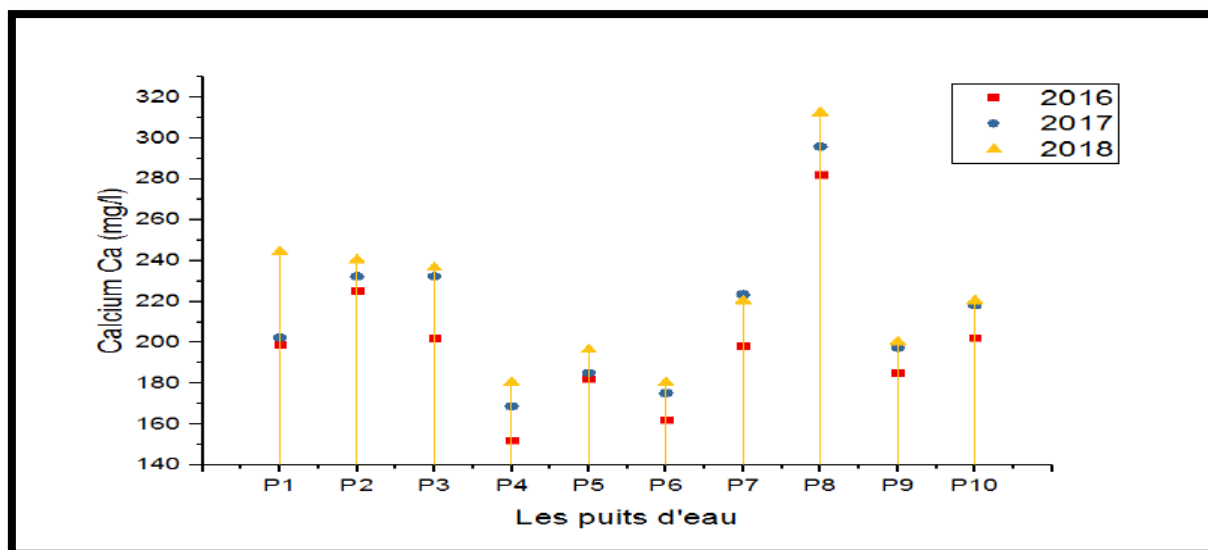
**Figure IV-10- Evolution de la dureté totale.**

Ce paramètre présente une grande variation qui liée à la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque du  $\text{CO}_2$  dissout par les roches calcaires ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse.[18]

➤ **Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

Au niveau de tous les puits d'eau on remarque une croissance de calcium qui s'étale sur les années 2016, 2017 et 2018. On constate ici que le puits (P8) correspondant à Benithur est très fourni en calcium.

Ainsi elle dépasse la norme recommandée par l'OMS (200 mg/l) et concerne ainsi certains puits en étude.



**Figure IV-11- Evolution de calcium.**

Le calcium est présent dans toutes les eaux naturelles et contribue de façon importante à leur dureté, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Leur concentration dépend du temps du séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. Il existe surtout à l'état d'hydrogencarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates. La présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées ( $\text{Ca CO}_3$ ), soit à la dissolution des formations gypseuses ( $\text{Ca SO}_4$ ).[18]

➤ Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Malgré que tous les puits possèdent une évolution en magnésium qui s'étale sur les années 2016, 2017 et 2018, mais qui n'atteignent pas la norme fixée par l'OMS (150 mg/l). On peut observer que la concentration de Magnésium du puits (P8) correspondant à benithour reste toujours élevée.

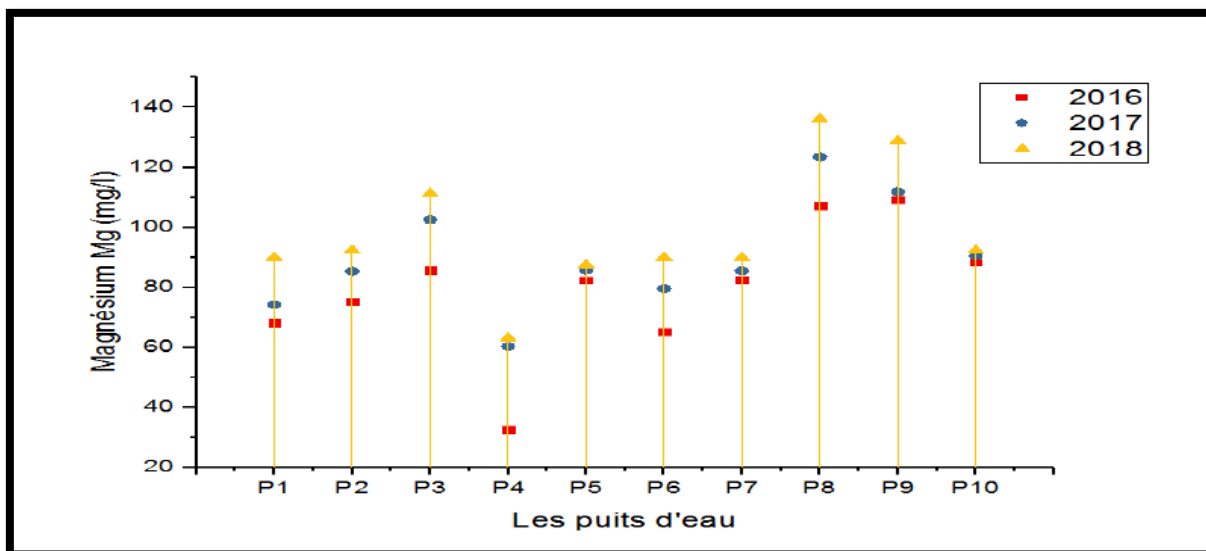
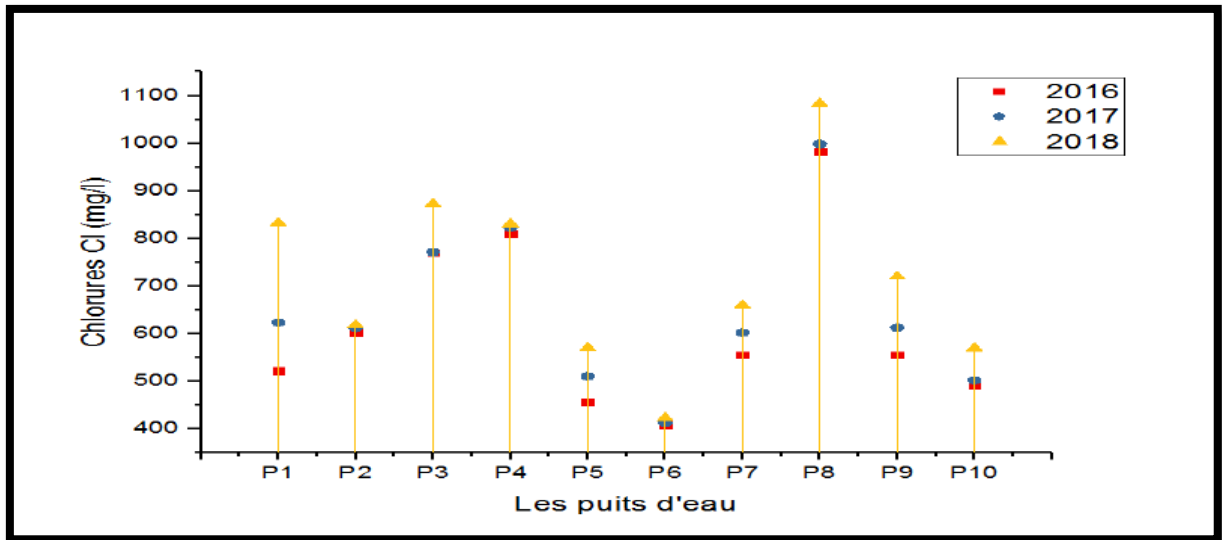


Figure IV-12- Evolution du magnésium.

Le magnésium est présent dans toutes les eaux naturelles. Il contribue de façon importante à la dureté de l'eau. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium : magnésite  $MgCO_3$  et dolomite  $Ca Mg (CO_3)_2$ . [18]

➤ **Chlorure (Cl)**

Au niveau de tous les puits d'eau on remarque une évolution de chlorure pour les années 2016, 2017 et 2018. Tous les puits dépassent la norme de l'OMS (200 mg/l), On observe ici que la concentration de chlorure du puits (P8) correspondant à benithour reste toujours dominant.

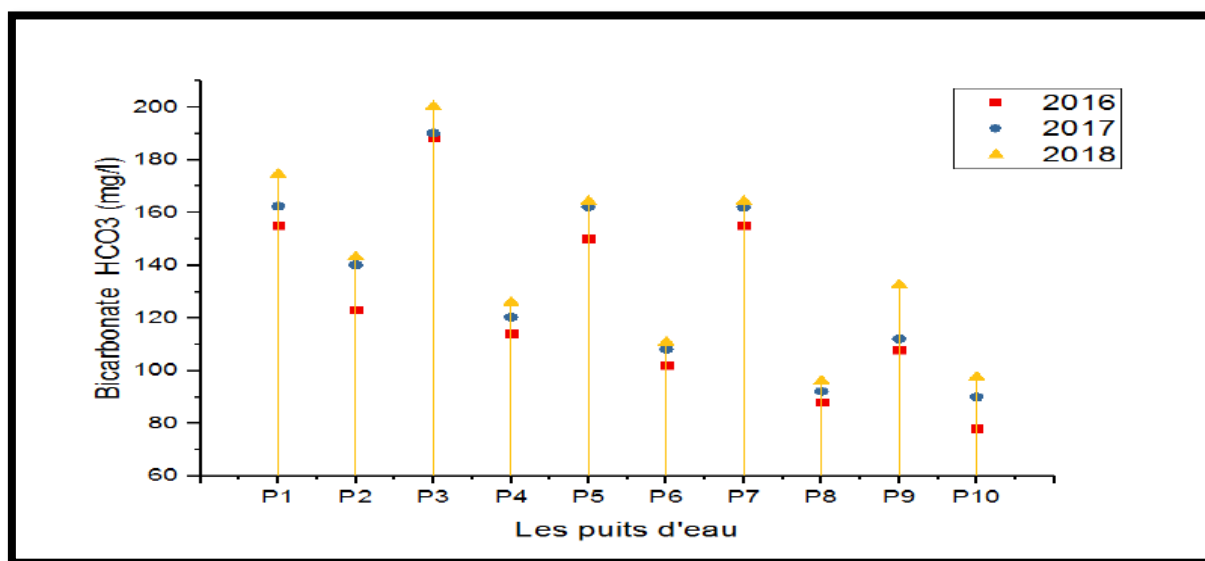


**Figure IV-13- Evolution des chlorures.**

La présence de cet élément est souvent le premier signe d'une détérioration de la qualité de l'eau souterraine. Sa concentration dans les eaux naturelles est variable, il se trouve généralement sous forme de sels de sodium NaCl et de potassium KCl. Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés par la dissolution des formations salifères NaCl. Ceci peut également indiquer une contamination par les eaux usées.[18]

### ➤ Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )

Au niveau de tous les puits d'eau on remarque une croissance de bicarbonate qui s'étale sur les années 2016, 2017 et 2018.



**Figure IV-14- Evolution des bicarbonates.**

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique.[18]

#### IV-4- Evolution spatio-temporelle de quelques polluants minéraux

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important parce qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays. Pour le Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines.

Les nappes souterraines constituent les plus grandes réserves d'eau potable, longtemps les eaux souterraines ont été considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, elles sont de nos jours souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à hauts risques.

Les résultats des analyses obtenus d'après l'ADE constituent une base de données. Le traitement de ces données est fait à l'aide d'un logiciel dénommé SURFER 12 qui nous révèle des cartes d'évolution de ces éléments dans notre cuvette d'étude, afin d'aboutir à une interprétation significative.

➤ Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

D'après la la figure IV-15 on remarque que la concentration de Calcium varie d'un point à un autre où la teneur maximale correspond à la région de Benithour (P8).

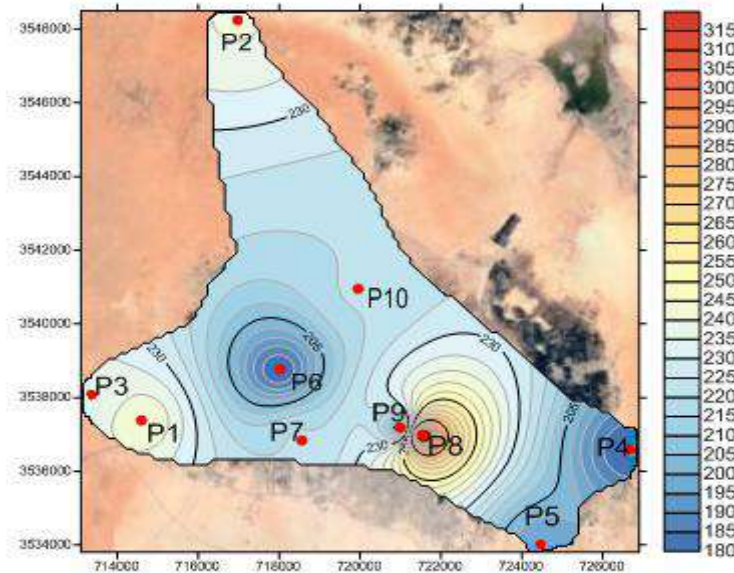


Figure IV-15- Evolution de calcium au niveau de la région de Ouargla.(2018)

➤ Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

D'après la la figure IV-16 on remarque que la concentration de Magnésium varie d'un point à un autre où la teneur maximale correspond à la région de Benithour (P8) et La silice (P9).

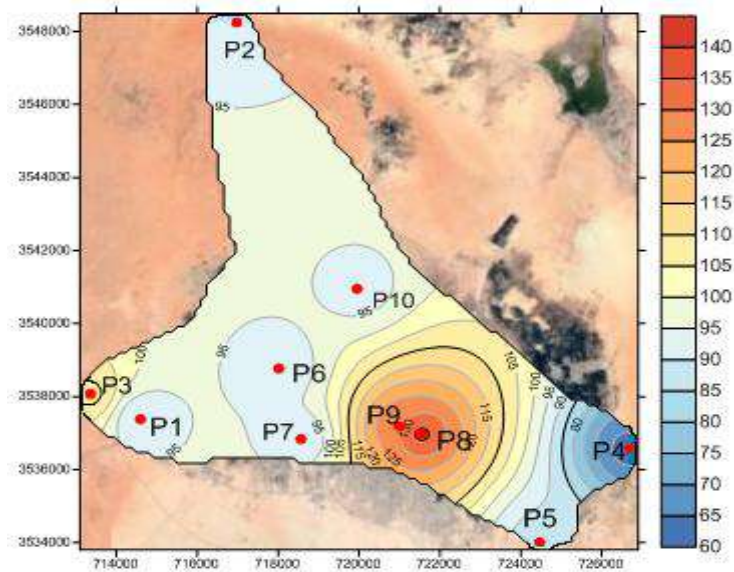


Figure IV-16- Evolution de magnésium au niveau de la région de Ouargla.(2018)



➤ Chlorure (Cl)

D'après la figure IV-17 on remarque que la concentration de Chlorure varie d'un point à un autre où la teneur maximale correspond à la région de Benithour (P8).

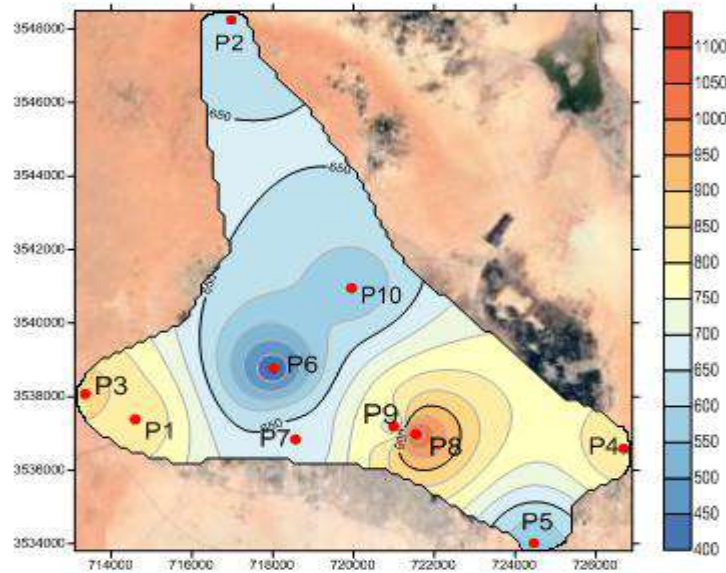


Figure IV -17- Evolution de chlorure au niveau de la région de Ouargla.(2018)

➤ Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )

D'après la la figure IV-18 on remarque que la concentration de Bicarbonate varie d'un point à un autre où la teneur maximale correspond à la région de Elkhafdji (P3).

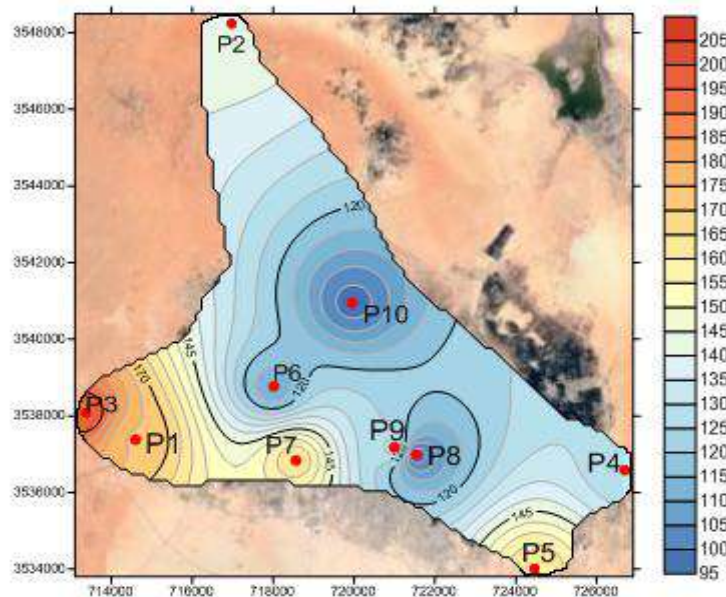


Figure IV-18- Evolution de bicarbonate au niveau de la région de Ouargla.(2018)

## IV-4-1- Classement des eaux potables

La méthode de traitement des données est basée sur la valeur de l'indice de pollution minérale IPM. La classification des paramètres minérales se fait selon quatre classes de qualité correspondant aux valeurs d'IPM calculées (Tableau IV-02).

En vue d'apprécier la contamination des eaux de la nappe à la contamination minérale, on adopte chacun des éléments chimiques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) qui est déterminé pour chaque point de prélèvement. La somme de ces classes donne l'indice représentant la contamination minérale.

Tableau IV-02- Classement de l'indice de pollution (IPM).[15]

Les classes	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	IPM	La pollution minérale
Classe 1	0-100	0-50	0-100	0-50	<10	Faible
Classe 2	100-200	50-100	100-250	50-100	10-12	Moyenne
Classe 3	200-300	100-150	250-500	100-150	12-14	Forte
Classe 4	>300	>150	>500	>150	14-16	tres forte

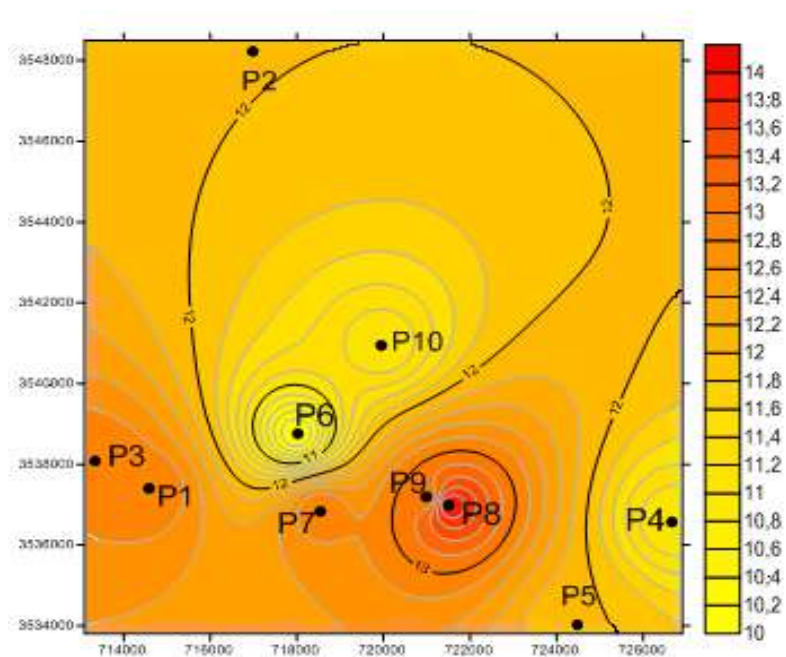


Figure IV-19- Variation spatiale de l'indice de pollution minérale

D'après la figure IV-19, on peut remarquer que notre région d'étude est représentée par un  $\text{IPM}_{\min} = 10$  qui correspond à Bouameur 2 et  $\text{IPM}_{\max} = 14$  qui correspond à Benithour.

## IV-4-2- Vulnérabilité des eaux de Ouargla à la pollution minérale

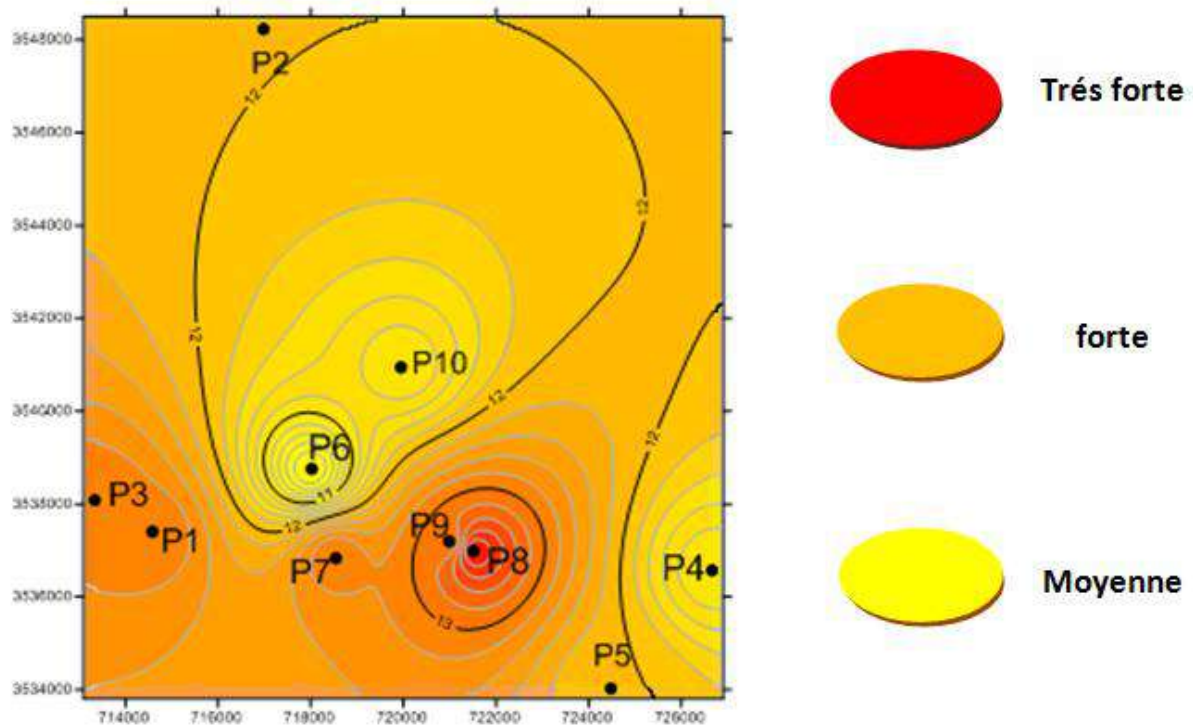


Figure IV-20- Variation spatiale de degrés de vulnérabilité à la pollution minérale.

### Commentaire

D'après la Figure IV-20, on peut remarquer que notre région d'étude est représentée par :

- Une région avec une vulnérabilité à la pollution moyenne, qui correspond à (Ain Elbeida, Bouameur 2 et Said Otba 2).
- Une région avec une vulnérabilité à la pollution forte, qui correspond à (Université, Hassi Miloud, L'hdab 2, Mekhadma 3, Elkhafdi et La silice).
- Une région avec une vulnérabilité à la pollution très forte, qui correspond à (Benithour).

# **CONCLUSION**

# Conclusion

Dans la cuvette de Ouargla, la pollution des eaux souterraines est le principal sujet qui inquiète les habitants et les autorités. Pour celà, nous devons étudier cette pollution afin la réduire ou de l'éliminer.

Le suivi des paramètres physico-chimiques a permis de détecter une évolution spatio-temporaire par une variation des concentrations de tous les éléments. L'étude hydrochimique est basée sur l'analyse physico-chimique de 10 échantillons pris essentiellement des forages de la cuvette de Ouargla.

Pour atteindre notre objectif nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage de certains minéraux. D'après les résultats obtenus on a trouvé que les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les bicarbonates ainsi que le calcium. D'après les résultats des analyses on a remarqué que la région la plus contaminée en pollution minérale dans la cuvette de Ouargla est la région de Benithour (pollution anthropique).

D'après l'étude hydrochimique qui est basée sur l'analyse physico-chimique de certains nombres d'échantillons on a trouvé que les eaux de la cuvette de Ouargla sont d'une qualité médiocre avec des valeurs non conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappe du complexe terminal et Nappe du continental intercalaire).

L'étude de la vulnérabilité à la pollution minérale des eaux de la cuvette de Ouargla montre que ces eaux présentent une pollution minérale très marquée, avec un indice de contamination maximale ( $IC_{max} = 14$ ) où le degré de la vulnérabilité est très fort et qui correspond à la région de Benithour. Ces résultats nous ont permis de dresser une carte de la vulnérabilité à la pollution minérale nous montrant les différentes zones de vulnérabilité. Cette dernière est d'une grande importance pour lutter contre cette pollution.

## **Recommandations :**

Pour les besoins de l'homme et l'équilibre des écosystèmes aquatiques, il faut que la qualité de l'eau soit bonne. Une pollution de l'eau peut générer une perturbation des activités humaines qui en dépendent et de l'équilibre qui s'est mis en place entre le milieu naturel et les espèces animales et végétales qui l'habitent. IL faut que chacun d'entre nous doit agir afin de prévenir la pollution. Il s'agit simplement de la réduire à la source en modifiant nos pratiques et nos habitudes de consommation.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références Bibliographiques

- [1] **M.Lakhdari**, Etude hydrochimique sur les eaux (CT) de la région de Ouargla et leur degré de pollution chimique, Mémoire de Master en Génie d'Environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016, P1.
- [2] **N.HMIDI et A.HAMZA**, Étude géochimique de la pollution organique et minérale des eaux souterraines du complexe Terminale (CT) de la cuvette de Ouargla, Mémoire master , Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [3] **M.Djidel**, La pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla, Mémoire de Doctorat en Hydrogéologie, Université Baji Mokhtar Annaba, 2008, P (3, 4).
- [4] **K.BOUQUETIT et N .BENHAMIDA**, Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire), Mémoire de Master en Génie d'Environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.
- [5] **M.LAOUAR**, Etudes de Comportements de quelques polluants minéraux dans les eaux souterraines (cas des eaux non potables) au niveau de la cuvette d'Ouargla, Mémoire de Master en Génie d'Environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [6] **Y.BAKHALED**, Etude de comportement de quelques polluants minéraux dans les eaux souterraines (cas des eaux potables) à la cuvette d'Ouargla, Mémoire de Master en Génie d'Environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [7] **I.GOURMI**, Etude de la contamination, et la vulnérabilité a la pollution chimique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla, Mémoire d'ingénieur en génie de l'environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.
- [8] **O.N.M** (office nationale de météorologie) de Ouargla.

- [9] **M.MEROUANI et A.BOUGUEDAH**, Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux Souterraines de la cuvette de Ouargla , Mémoire de Master en Génie d'Environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013.
- [10] **M.Goudjil et S.Bencheikh**, La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla Sud-Est Algérien, Mémoire Master en Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011, P (2 , 29).
- [11] **A.Berregui**, Les ressources en eaux et leurs conséquences sur l'environnement oasien: cas région de Ouargla, Mémoire Master en écologie, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013.
- [12] **A.SERRAOUI, A.SERRAYE**, Etude du potentiel hydraulique du continental intercalaire dans la région de Touggourt, Mémoire d'ingénieur d'Etat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011. P (30 , 31).
- [13] **<http://water.usgs.gov/edu/watercyclefrench.htm>** , 21/02/2018, 22 :49
- [14] **S.Ouali**, Etude géothermique du sud de l'Algérie, Mémoire de Magister En géophysique, Université M'hamed Bouguerra Boumerdes, 2006, P(29, 31).
- [15] **A.Berrais et I.Boukhris**, Cartographie de la Pollution chimique (Minérale) des eaux souterraines du complexe terminal (CT) de la région d'Ouargla, Mémoire Master , Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.
- [16] **[www.safewater.org](http://www.safewater.org)**
- [17] **[www.lesagencesl'eau.fr](http://www.lesagencesl'eau.fr)**
- [18] **M.CHAOUKI**, Evolution spatio-temporelle et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Ouargla , thèse Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.



- [19] **P.Clément**, Synthèse des connaissances sur l'origine et la disponibilité du cadmium dans les eaux continentales, Synthèse documentaire, 2011. P (6, 7).
- [20] **S.Bouchelaghem**, Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance, le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétal : blé dur (*Triticum durum* Desf), Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2012 , P (4, 5)
- [21] **Record**, Méthodes isotopiques d'identification de l'origine des polluants métalliques et organiques dans les milieux : état de l'art et approche critique, 2011, P4.
- [22] **S.ARRIS**, Etude Expérimentale de l'Elimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales, Thèse de Doctorat, Université de Constantine ,2008, P5.
- [23] **L.Graini**, Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique, Mémoire de Magistère en optique appliquée, Université Ferhat Abbas Sétif, 2011, P (4, 5, 6).
- [24] **N.Oubagha**, Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique, Mémoire de Magister en chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2011, P (6, 10, 11).
- [25] **B.Lakhdari**, Etude de la pollution chimique des eaux souterraines (cas des Nitrates) de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla, Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, 2008.
- [26] **R. MILOUDI**, Etude de la vulnérabilité a la pollution minérale, la potabilité et l'aptitude des eaux de la région d'Ouargla (CT) a l'irrigation, Mémoire de Master en génie de l'environnement, université Kasdi Merbah Ouargla, 2014.
- [27] **S.BIREECH et I. MESSAOUDI**, 'La contamination des eaux par les métaux cas de chott Ain Beida de la région de Ouargla', Mémoire d'ingénieur Université Kasdi Merbah Ouargla, 2007, P (14 , 27).

[28] **Mme F.Dermonch.** Traitement des eaux résiduaires dans l'industrie du pétrole.

[29] **J.rodier,** L'analyse de l'eau, Paris, 1984, P (3, 11).

# **ANNEXES**

## ANNEXES

### Annexe1-Les analyses physico-chimique

#### 1-Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Elle dépend de la concentration en sels dissous conducteurs, sa mesure qui est simple et rapide est très utile pour le suivi dans le temps d'une même eau car elle permet de déceler immédiatement une variation de sa composition, il est indispensable de préciser la température de référence à laquelle se rapporte la mesure, il augmentant avec la température.

La conductivité est généralement mesurée en micro-Siemens par cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ; approximativement la valeur en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  correspond à la salinité en mg / l.

On utilise également la résistivité, inverse de la conductivité, mesurée en ohms.cm

Résistivité (ohms.cm)= 1 000 000 / Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### Principe :

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

Si **R** est la résistance de la colonne d'eau en ohms.

**S** sa section en cm<sup>2</sup> et **l** sa longueur

$$P = R \frac{S}{l}$$

La conductivité électrique en S / cm est :

$$V = \frac{1}{P} = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S}$$

$\frac{l}{S}$  Est appelé constante de l'élément de mesure

#### Mode opératoire :

On rince l'électrode dans la solution de calibration. On taper sur READ, attendre la pipe.

Le résultat de la conductivité est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

On a la salinité et TDS



Conductimètre

## 2- Minéralisation Globale

### 2-1-Détermination de la dureté (Titre Hydrotimétrique)

Le TH indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau, dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90 %.

Initialement, la dureté d'une eau exprimait l'aptitude de cette eau à réagir et à faire mousser du savon. A l'heure actuelle on appelle dureté ou titre hydrométrique (TH) la somme des cations alcalinoterreux présents dans une eau.

#### La dureté de l'eau

TH	0- 5	5-15	15-25	25-35	> 35
Qualité de l'eau	Eau très douce	Eau douce	Eau moyennement dure	Eau dure	Eau très dure

#### Les différents types de dureté

TH	Type de dureté
TH total (TH <sub>t</sub> )	Totalité des sels de calcium et magnésium
TH calcique (TH <sub>Ca</sub> )	Totalité des sels de calcium
TH magnésienne (TH <sub>Mg</sub> )	Totalité des sels de magnésium
TH temporaire (carbonatée)	Dureté carbonatée correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium susceptibles de précipiter par ébullition
TH permanente (non carbonaté)	Dureté non carbonaté correspond aux sulfates et au chlorure de calcium stable, il est égal à la différence entre le TH et le TAC

#### Mode opératoire :

Ce dosage à un pH de 10 en présence de NET, L'EDTA va complexer d'abord les ions calcium du fait que le complexonate de calcium est plus stable que le complexonate de magnésium.

#### Réactifs :

- Solution tampon pH 10
- EDTA
- Noir ériochrome

### 3 -Les éléments majeurs

**Les anions** : Les ions  $\text{Cl}^-$  ,  $\text{HCO}_3^-$  , sont dosé par titrimétrie.

L'ion  $\text{SO}_4^{2-}$  analysés par le spectrophotomètre

**Les cations** : Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  ,  $\text{Mg}^{2+}$  , sont analysés par

le spectrophotomètre à flamme



**matériel de  
mesure par titrimétrie**

#### **Le spectrophotomètre à flamme**

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux.

Les éléments à analyser ( calcium, etc ...)  
sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de  
leurs solution



**Spectrophotomètre  
à flamme**

### 3-1-Dosage des chlorures (Cl<sup>-</sup>)

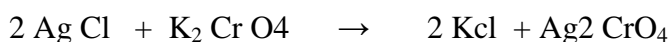
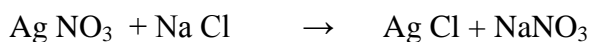
Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

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

Une présence excessive de chlorure dans l'eau, la rend corrosive pour les réseaux de distribution et nocive pour les plantes. Une forte fluctuation des chlorures dans le temps peut être considérée comme indice de pollution.

#### Principe :

La réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.



#### Réactifs :

- Chromate neutre de potassium : solution à 10%.
- Solution de nitrate d'argent à 0.02 mol/l.
- Solution de chlorure de sodium à 0.02 mol/l.

#### Mode opératoire :

On prendre trois fioles :

- 100 ml de l'eau distillé (blanc)
- 90 de l'eau distillé + 10 ml de NaCl (titre)
- 25 ml de l'eau a analyse complète à 100 ml de l'eau distillé (l'échantillon)
- Ajouter 1 ml dans chaque fiole de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (coloration jaunâtre).
- Titrer avec Ag NO<sub>3</sub> à 0.0282 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

**Expression des résultats :**

$$[\text{Cl}^-] = [(V_s - V_b)/V_a] * F * D$$

$V_a$  : Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

$V_s$  : Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de titre

$V_b$  : Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour dosage le blanc

D : Facteur de dilutions.

F : Facteur de correction du titre d'Ag NO<sub>3</sub> = 35453\*10<sup>3</sup>

C: Concentration réel d'AgNO<sub>3</sub>

**3-2-Détermination de (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

**Principe :**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

**Réactifs :**

- Solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à N/50
- (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à N/50 (0.5ml de (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dans 1000 ml de l'eau distillé)
- Solution de NaOH de N/50 (0.8 g dans 1000 ml de l'eau distillé)
- Méthyle orange (0.5 g dans 100 ml de l'eau distillé)

**Mode opératoire :**

- On prendre trois fioles
- La pris d'essais c'est 100 ml
- 100 ml de l'eau distillé (blanc)
- 90 de l'eau distillé + 10 ml de NaOH (titre)
- 25 ml de l'eau a analyse et complété à 100 ml d'eau à analyser, on titre les trous avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> jusqu' au virage rouge brique



### **Expression des résultats :**

$$\text{TAC} = [\text{Va} - \text{Vb}] * \text{T} * \text{D} \text{ en } (\text{F}^\circ)$$

Va: volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour titrer l'eau à analyser

Vb: volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour titrer blanc

T : (10/ volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour titrer le titre)

D : facteur de dilution

$$1\text{F}^\circ = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$$

$$\text{La concentration de HCO}_3^- = \text{TAC} * 12.2$$

### **3-3-Détermination de (Ca<sup>+2</sup> et Mg<sup>+2</sup>)**

#### **Principe :**

Titration molaire des ions de calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide (EDTA) à pH 10. Le noir érichrome, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

#### **Réactifs :**

- Solution d'E.D.T.A (0,02N ou 0,01M)  
EDTA (3,725 g) après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H S N : 0.2 g d'acide de calcone carboxylique + 100 g de NaCl
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N
- NaOH (pastilles) 80g
- Solution tampon (NH<sub>4</sub>Cl) pH = 10,1
- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- NH<sub>4</sub>OH (25%) 570 ml
- Sel disodique de magnésium E.D.T.A
- Noir eriochrome 0.5 g
- éthanol 25 ml
- Solution étalon de référence (CaCO<sub>3</sub>) = 0.01 mol/l

### Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.
- Ajouter du HSN 0.2 g.
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).
- pour calcule TH on Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de solution tompon
- Ajouter trois goûts de noir eriochrome.
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

### Expression des résultats :

La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante :

$$\text{mg/l Ca}^{+2} = V_1 * C_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Ca}^{+2}} * 1000 / \text{P.E}$$

$V_1$  : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

$C$  : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{\text{Ca}^{2+}}$  : Masse molaire du calcium en mg/l

$F$  : Facteur

$$\text{Donc mg/l / Ca}^{+2} = V_1 * F * 0.001 * 40.08 * 1000 / 50$$

$$\text{mg/l Ca}^{2+} = V_1 \times F \times 8.016$$

La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$\text{mg/Mg} = (V_2 - V_1) * C_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Mg}^{+2}} * 1000 / \text{P.E}$$

$V_2$ : Volume total d'E.D.T.A

$V_1$  : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

$C$  : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{\text{Mg}^{2+}}$  : Masse molaire du Magnésium en g.

$\text{P.E}$  : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

$F$  : Facteur

$$\text{Donc mg/Mg}^{+2} = (V_2 - V_1) * 0.001 * F * 24.3 * 1000 / 50$$

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = (V_2 - V_1) \times F \times 4.86$$

## Annexe 2- les normes OMS

Paramètre	Unité	OMS
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	-
TH	$\text{mg/l CaCO}_3$	-
Calcium	$\text{mg/l}$	200
Magnésium	$\text{mg/l}$	150
Chlorures	$\text{mg/l}$	200
Bicarbonate	$\text{mg/l}$	-