



**UNIVERSITÉ KASDI MARBAH OUARGLA**

**Faculté Des Sciences Appliquées  
Département de Génie des Procédés**

**MÉMOIRE**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologies  
Filière : Génie des Procédés  
Spécialité : Génie de l'Environnement  
Présenté par : Berrais Amina et Boukhris Ibtissam**

**Thème**

**Cartographie de la Pollution chimique (Minérale)  
des eaux souterraines du complexe terminal (CT) de  
la région d'Ouargla**

**Soutenu le 22/05/2016  
Devant le jury composé de :**

Mr. ZERROUKI	HICHEM	MAA	Président
M <sup>elle</sup> . CHAOUCH	NOURA	MCB	Examinatrice
Mr. DJABARI	HACENE	MAA	Examineur
Mr. CHAOUKI	MOURAD	MAA	Rapporteur

**ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2015/2016**

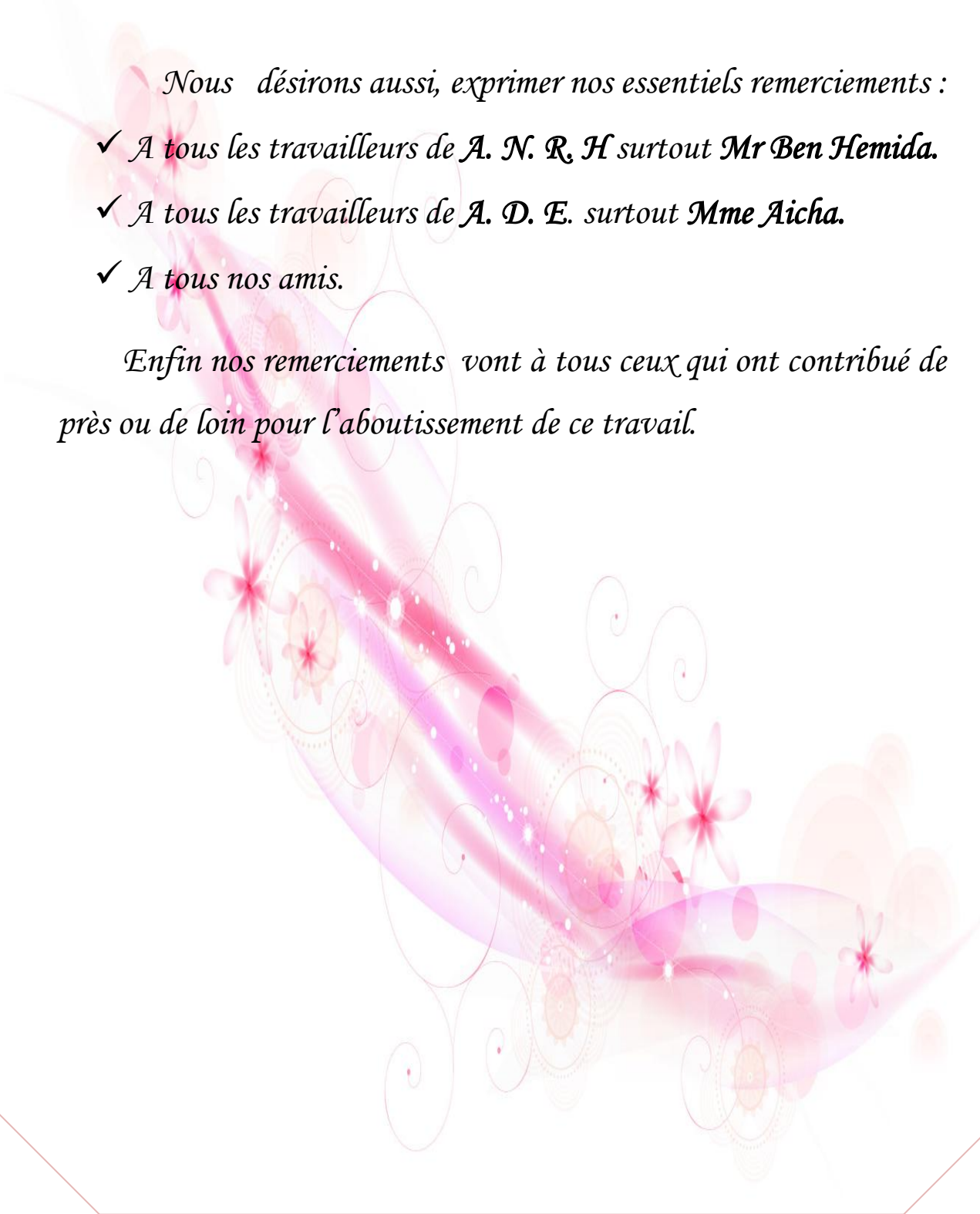
# Remerciements

*En premier lieu, nous remercions notre DIEU, notre Créateur pour m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nos chères familles.*

*Au terme de ce travail, Nous tenons à remercier avec gratitude : docteur **CHAOUKI MOURAD** qui a accepté de m'encadrer, de diriger ce travail, et pour tous ses conseils. ainsi que Mr **Hichem Zerrouki**.*

*Qu'ils trouvent ici toute notre gratitude et reconnaissance pour leur aide, leur encadrement dont nous avons bénéficié durant toute notre scolarité.*



*Nous désirons aussi, exprimer nos essentiels remerciements :*

- ✓ *A tous les travailleurs de A. N. R, H surtout Mr Ben Hemida.*
- ✓ *A tous les travailleurs de A. D. E. surtout Mme Aicha.*
- ✓ *A tous nos amis.*

*Enfin nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*

### **Résumé :**

Le principal objectif de cette étude est un diagnostic de la qualité d'eaux souterraines de la région de Ouargla. L'analyse de la qualité physico-chimique a porté sur 19 échantillons prélevés de forages de différentes nappes aquifères exploitées dans la région, utilisées pour la consommation humaine. nous avons présenté une méthode d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Pour cela, nous avons introduit un indice de pollution minérale (IPM)

nous avons procédé à l'échantillonnage puis à l'analyse sur site et au laboratoire de plusieurs forages de la région afin d'aboutir à une base de données pour résoudre ces problèmes qui caractérisent cette dernière, à l'aide d'un logiciel appelé SURFER 12.

**Mots clés :** pollution, IPM, nappe, région, Ouargla.

### **ملخص:**

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تقييم نوعية المياه الجوفية لمنطقة ورقلة, التحليل الفيزيوكيميائي لنوعية هذه المياه اعتمد على أخذ 19 عينة من مختلف طبقات الارض الموجودة في منطقة الدراسة والمستعملة من طرف الانسان.

ومنه قدمنا طريقة لمعرفة درجة التلوث و خطورة تعرض المنطقة للتلوث الكيميائي وتجسيدها بخرائط جيولوجية بواسطة برنامج يدعى السورفر12.

بعد اخذ العينات والتطرق الى التحليل على مستوى المختبر سنتحصل على قاعدة المعطيات التي تفيدها بدورها في حل المشكل الذي تطرقنا اليه من قبل.

الكلمات الدالة: التلوث, IPM, طبقة, منطقة, ورقلة

## **Abréviation**

BTPH	Bâtiment Travaux Publics et Hydraulique
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe terminal
LTPS	Laboratoire des Travaux Publics de Sud
ENA.GEO	Entreprise Nationale de Géophysique
IPM	Indice de Pollution Minérale
OMS	Organisation Mondiale de la Santé

## Sommaire

Introduction générale	01
<b>PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>CHAPITRE I : ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE</b>	
I-1 Localisation géographique et limites	03
I-2 Climatologie	04
I-3 Hydrogéologie	08
I-3-1 La nappe de Complexe Terminale (CT)	09
I-3-2 La nappe du Continentale Intercalaire (CI)	09
I-4 La nappe Phréatique	11
<b>CHAPITRE II : GENERALITE SUR L'EAU</b>	
II-1 Introduction	12
II.2-Connaissances sur l'eau	12
II-3 Les états de l'eau	13
II-4 Les propriétés physiques	14
II-4-1 Tension superficielle	14
II-4-2 Capillarité	14
II-4-3 Viscosité	14
II-4-3 Propriétés thermique de l'eau	15
II-5 Les propriétés chimiques	15
II-6 Les propriétés bactériologiques	15
II-7 Le cycle de l'eau	16
II-9 Les ressources hydriques	16
II-9-1 Les eaux courantes	16
II-9-2 Les eaux souterraines	18
II-9-3 Les aquifères	19
II-9-3-1 Les types d'aquifères	20
II-10 Les nappes d'eau souterraines	20
II-10-1 Les nappes libres	20
II-10-2 Les nappes captives	21
<b>CHAPITRE III : LA POLLUTION DES EAUX</b>	
III-1 Définition de la pollution	22
III-2 Type de pollution	22

III-2-1 Pollution ponctuelle	22
III-2-2 Pollution diffuse	22
III-3 Source de pollution	23
III-3-1 La pollution naturelle	23
III-3-2 La pollution urbaine	23
III-3-3 La pollution industrielle	24
III-3-4 La pollution agricole	24
III-4-2 Principaux polluants	25
III-4-2-1 Les matières en suspensions	25
III-4-2-2 Les sels minéraux	25
III-4-2-3 Les matières organiques	26
III-4-2-4 Les métaux lourds	26
III-4-2-5 Les pesticides	26
III-5 Contamination des eaux souterraines	26
III-6 Transfère des eaux polluées	27
III-6.1 Le temps de transfère des polluant	29

## PARTIE II : EXPERIMENTALE

### CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 Echantillonnage	30
IV.1.1 Matériel de prélèvement	31
IV.1.2 Mode de prélèvement	31
IV.2. But de l'étude	33
IV. 3. Etude de la qualité des eaux potables de la nappe	33
IV. 3. 1. Les points de prélèvements	33
IV. 3. 2. Qualité physico-chimique	33
IV-4 Aptitude des eaux à la potabilité	41
IV-5. Etude de la vulnérabilité de la nappe (CT) à la pollution minérale	44
IV-5.1 Classement des eaux potables	44
IV-6 Vulnérabilité des eaux d'Ouargla à la pollution	46
Conclusion	47

## Liste de figure

### PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Fig.I.1.Situation géographique de la région d'étude	03
Fig.I. 2.Délimitation géographique de la cuvette de Ouargla	04
Fig.I.3. Les températures moyennes mensuelles	05
Fig I.3. Humidité moyenne mensuelle	05
Fig I.05. Les vents moyens mensuels	06
Fig I-06. Les précipitations moyennes mensuelle	06
Fig I.07. L'évaporation moyennes mensuelles	07
Fig I.08. L'ensoleillement moyen mensuel	07
Fig.II.1. La molécule de l'eau	12
Fig.II.02 : Les états de l'eau	13
Fig.II.03 : Cycle de transformation physique de l'eau	13
Fig.II.4. Schéma du cycle de l'eau	17
Fig.II.05 : Les eaux souterraines	19
Fig.III.01: Pollution par un produit soluble n'atteignant pas la nappe	28
Fig.III.02: Pollution de la nappe par un produit plus lourd que l'eau	28
Fig.III.03: Pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe	27

### PARTIE II : EXERIMENTALE

Fig .IV.1 : Schéma des processus d'analyse physico-chimique	31
Fig.IV.2: La carte inventaire des points d'eau étudié	32
Fig IV.3.6. Evolution de la température	34
Fig IV.3.4.Evolution du pH	35
Fig IV.3.5. Evolution de la conductivité	35
Fig IV.3.6. Evolution de la turbidité	36
Fig IV.3.10. Evolution du Residu sec	37
Fig IV.3.7. Evolution de la salinité	37
Fig IV.3.8. Evolution de la dureté totale	38
Fig IV.3.9. Evolution de TAC	38
Fig. IV.3.10. Evolution des bicarbonates	38



Fig.IV.3.11. Evolution de calcium	38
Fig IV.3.12. Evolution du magnesium	39
Fig IV.3.14. Evolution des sulfates	39
	40
Figure IV.4.15. Evolution spatiale de calcium	41
Fig IV.4.16.Evolution spatiale de magnésium	42
Fig IV.4. 17. Evolution spatiale de bicarbonates	42
Fig IV.4. 18. Evolution spatiale de chlorure	43
Fig IV.4.19. Evolution spatiale de sulfates	43
Fig IV.5.24. Evolution de l'indice de pollution minérale	45
	45
Fig IV.5.21 Evolution Spatiale de degrés de la vulnérabilité a la pollution minérale	46

## Liste de tableau

### PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tab.I.01 : Les Communes ,Daïras et Superficie de Wilaya d'Ouargla	04
---	----

### PARTIE II : EXPERIMENTALE

Tab IV. 3. Les forages d'étude	33
Tab IV.5. Classement de l'indice de pollution (IPM)	45

# ***INTRODUCTION***

### Introduction Générale

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs .

L'eau est une substance unique parce qu'elle se renouvelle et se nettoie naturellement en permettant au polluants de s'infiltrer (par le processus de sédimentation) ou de se détruire, en diluant les polluants au point qu'ils aient des concentrations qui ne sont pas nuisibles. Cependant, Ce processus naturel prend du temps et devient très difficile lorsqu'il y a une quantité importante de polluants qui sont ajoutés à l'eau. Les gens utilisent de plus en plus des matières qui polluent nos sources d'eau potable.[01]

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement. Autrement dit, n'importe quelles matières ajoutées à l'eau qui est au-delà de sa capacité à le détruire est considérée comme de la pollution. La pollution peut, dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui a un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau.[02]

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigue et l'industrie.

La gestion des ressources en eau, en quantité et en qualité, reste au centre des préoccupations du pays compte tenu de l'insuffisance des ressources qui est souvent aggravée par la sécheresse.[01]

Le degré de qualité exigible des eaux dépend évidemment de ces usages, et on est particulièrement attentif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, elle-même dépendante de celle des ressources en eau disponibles .

Le choix de ce projet consiste à étudier la pollution chimique (minérale) des eaux souterraines de La région de Ouargla, Aptitude des eaux à la potabilité et étudier de la vulnérabilité de la nappe (CT) à la pollution minérale.

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

**Partie I : Etude bibliographique**, qui contient trois chapitres.

Chap I: Cadre général de la région d'étude.

Chap II: Généralité Sur L'eau.

Chap III: La Pollution Des Eaux.

**Partie II : Etude expérimentale**, qui contient deux chapitres.

Chap IV : Résultats et discussions.

Et enfin une conclusion générale.



# Chapitre I :

## Cadre général de la région d'étude

## Chapitre I- Cadre général de la région d'étude

### I-1 Localisation géographique et limites :

La Wilaya de Ouargla est située au sud est du pays couvrant une superficie de 163230Km<sup>2</sup>. Elle demeure une des collectivités administratives les plus étendues du pays. Elle a une population totale estimée à 653 358 habitants à fin 2015.[03]

Elle est limitée :

- au Nord par les wilayas de Djelfa, El Oued et Biskra ;
- à l'Est par la Tunisie ;
- à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa ;
- au Sud par les wilayas de Tamanrasset et Illizi.

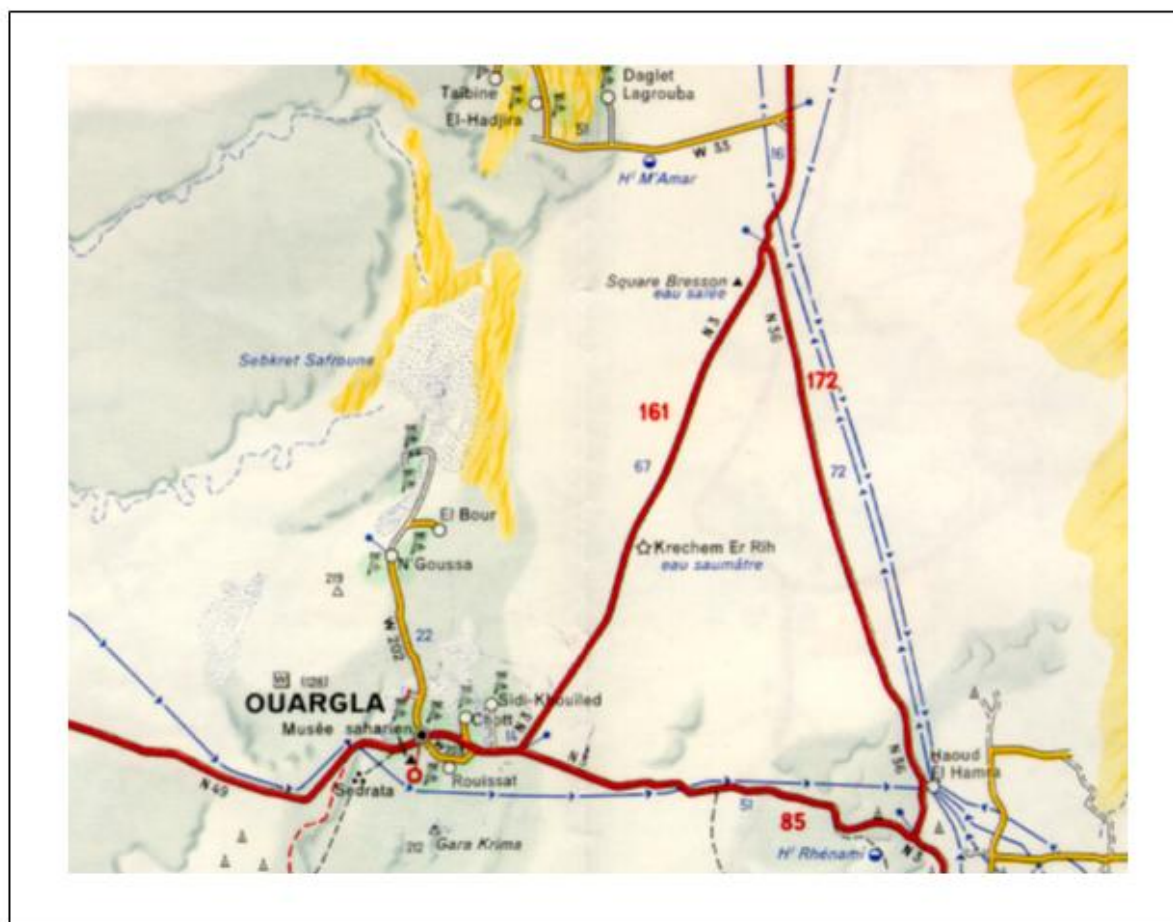


Fig.I.01. Situation géographique de la région d'étude

Elle compte actuellement 21 communes regroupées en 10 Daira [04]



Tab.I.01 : Les Communes ,Daïras et Superficie de Wilaya d'Ouargla [2]

daira	Communes	superficie (km <sup>2</sup> )
ouargla	Ouargla	2887
	Rouissat	7331
n'goussa	n'goussa	2907
sidi khouiled	sidi khouiled, aïn beïda	131
	hassi ben abdellah	3060
hassi messaoud	hassi messaoud	71237
el borma	el borma	47261
el-hadjira	el-hadjira,	2459
	el-alia	6589
temacine	temacine,	300
	blidet-amor	250
tougourt	Tougourt	216
	Nezla	132
	Tebesbest	26
	zaouia el-abidia	30
megarine	megarine,	285
	taïbet,	4562
taïbet	m'nagueur	8399
	bennaceur,	2593

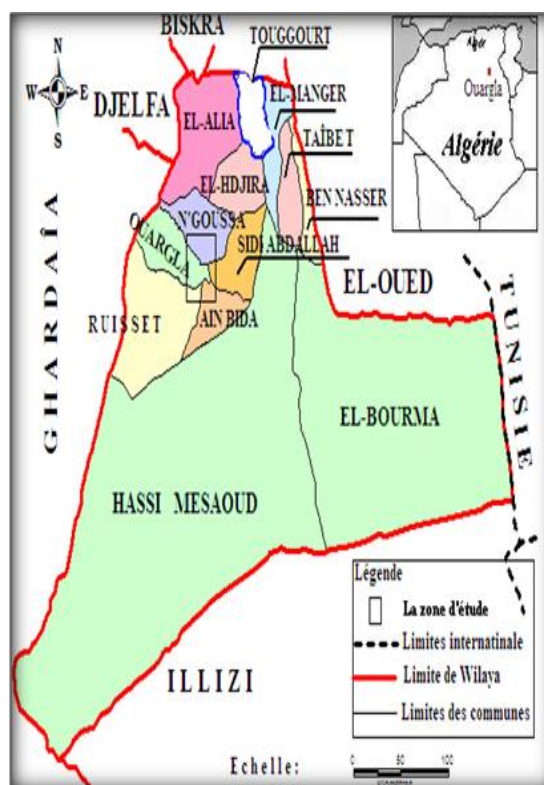


Fig.I. 02.Délimitation géographique de la cuvette de Ouargla[11]

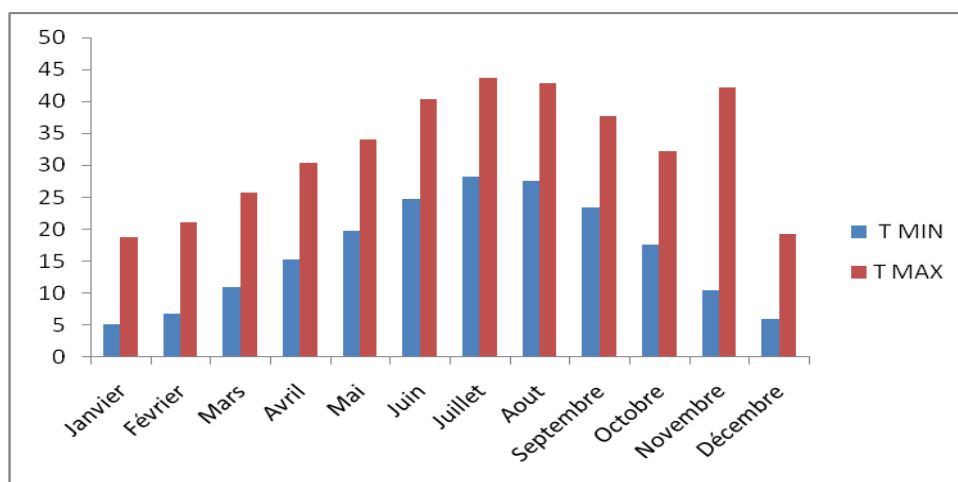
## I.2-Climatologie :

La wilaya de Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées.

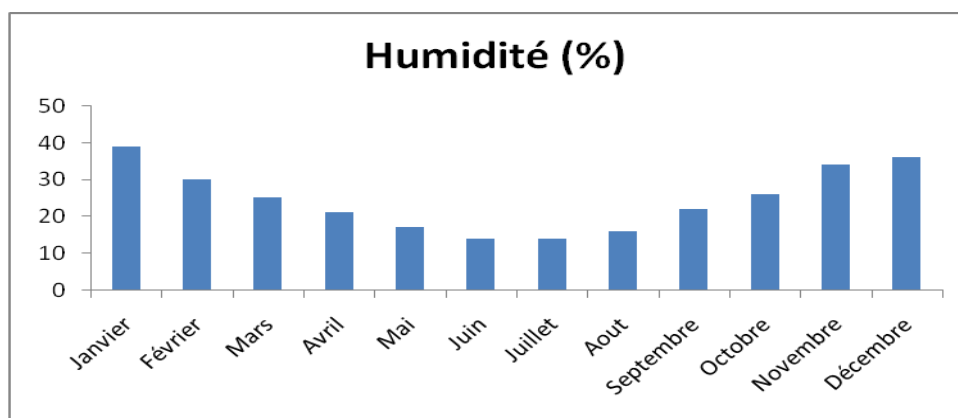
Une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème. Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 48° C Touggourt et de 50° C à Hassi Messaoud.

Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 9,7° C à Ouargla. Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 1 mm et 180 mm par année exceptionnelle. Les précipitations moyennes annuelles sont de 48.8 mm/an à Ouargla.

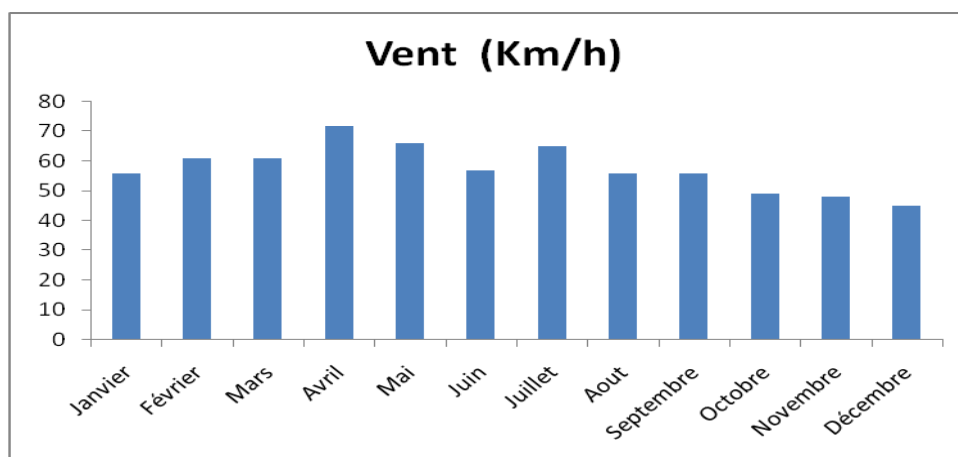
Le Sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année. L'humidité relative enregistre des taux tournant de 23 à 77 %.Alors que l'évaporation est très importante (513m m à Ouargla ).[03]

**I.2.1-Température:****Fig.I.03. Les températures moyennes mensuelles.**

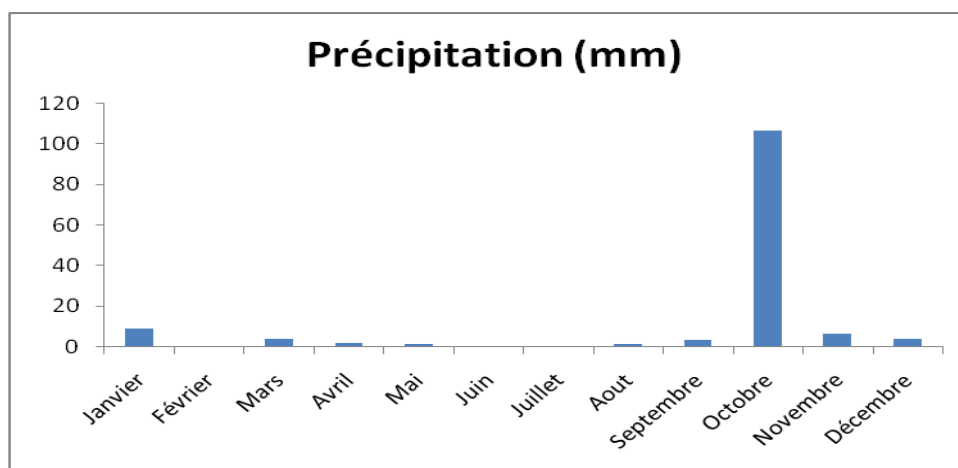
La température est le facteur principal qui conditionne le climat de la région. La température moyenne annuelle est de 23,03 °C, la température moyenne mensuelle enregistrée au mois le plus chaud (juillet) est de 43 °C alors que celle du mois le plus froid (décembre) est de 17,2°C.

**I.2.2-Humidité:****Fig I.04. Humidité moyenne mensuelle.**

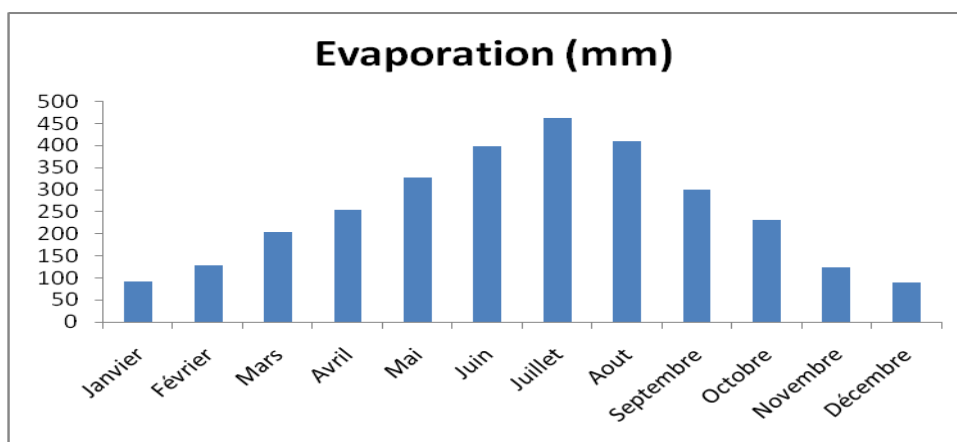
L'humidité relative enregistre des taux variant de 14 à 39 %.

**I.2.3-Force de vent:****Fig I.05. Les vents moyens mensuels.**

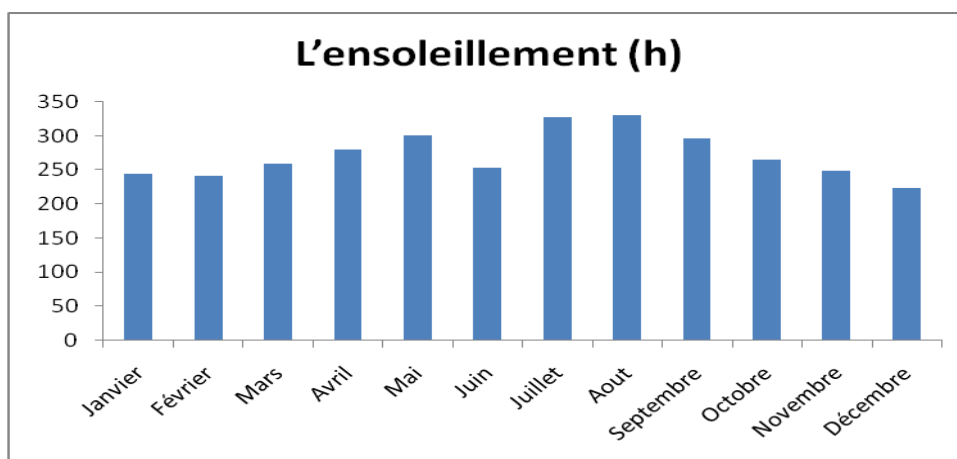
Les vents dominants dans la région de Ouargla sont ceux du N/NE et S/SE avec une vitesse pouvant atteindre 25 m/s.

**I.2.4-Pluviométrie:****Fig I-06. Les précipitations moyennes mensuelles.**

En plus de leurs raretés les précipitations au niveau de la région de Ouargla sont irrégulières, sècheresse presque absolue de Mai à Aout, Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 1.7 mm et 106.7 mm par année exceptionnelle.

**I.2.5-Evaporation:****Fig I.07. L'évaporation moyennes mensuelles.**

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 464.4 mm, ce qui correspond à 88.8 mm par jour

**I.2.6- L'ensoleillement:****Fig I.08. L'ensoleillement moyen mensuel.**

l'insolation mensuelle, la plus grande, correspondant au mois les plus chauds "Juillet-Août". Le minimum de Décembre correspondant la durée d'ensoleillement la plus basse de 223.3 h.

### I.3-Hydrogéologie:

Les ressources en eau souterraines du Sahara septentrional sont contenues dans trois grands aquifères, qui s'étendent au-delà des frontières algériennes: ceux du Continental Intercalaire, Complexe Terminal (CT) et Nappe Phréatique.[3]

Ces formations sont constituées par une série de dépôts alternativement marins et continentaux déposés dans un vaste bassin sédimentaire. Cette série renferme deux grands ensemble séparés par d'épaisses série évaporitiques ou argileuses soit :

- L'ensemble inférieur (antécénomanien) contient de puissantes série continentales argilo gréseuses d'âge du crétacé inférieur (continental Intercalaire) .

L'ensemble supérieur ( Sénonien inférieur) contient une série continentale sableuse d'âge Mio-Pliocène (Complexe Terminal) [05]

#### I.3.1-La nappe du complexe terminal (CT) :

La nappe du complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 km<sup>2</sup> avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m.

Cette nappe regroupe deux système aquifère , qui sot appelés nappe des sables et nappe des calcaires. [05]

Le complexe terminal est constitué, par des formations d'âge et de lithologie différents :

- **Le Mio-Pliocène :** La région de Ouargla est formée par des sables et des grès et parfois des calcaires et des argiles, l'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 75 m en moyenne au Sud (Berkaoui) et atteint les 250 m au Nord (Khechem Errih). Il peut y avoir des contacts entre les deux nappes sus-jacentes: Mio-Pliocène et Sénonien/Sénono-Eocène à cause de l'absence d'une limite imperméable claire, des changements d'eaux et des éléments chimiques peuvent être mis en place. [06]
- **L'Eocène :** Dans l'Eocène, on distingue deux formations lithologiques, comme dans le Sénonien : l'Eocène carbonaté à la base et l'Eocène évaporitique au sommet.[06]

#### 1-L'Eocène carbonaté

L'Eocène inférieur ou carbonaté a des caractéristiques lithologiques qui le rendent difficile à distinguer des calcaires et des dolomies sénoniennes; seule la présence ou l'absence de certains fossiles caractéristiques, permet de faire la différence.[06]

## 2-L'Eocène évaporitique

Au Nord de Ouargla, au-dessus de l'Eocène carbonaté, on trouve une formation lagunaire, constituée d'une alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites, surmontées par des argiles beiges pélitiques et sableuses à traces de silex.

A cette formation est associée une microfaune, d'âge éocène, constituée de nummulites, de milioles et de globigérine.[07]

**Sénonien** : subdivisé en trois sous étages, de bas en haut, on rencontre le Sénonien salifère, le Sénonien anhydritique et le Sénonien carbonaté, ce dernier est caractérisé par des formations carbonatées (calcaire dolomitique en majorité), son épaisseur varie au voisinage de 200 m. Le deuxième est anhydritique, mais cela n'empêche pas de trouver quelquefois des calcaires, des argiles, des dolomies...etc., son épaisseur moyenne est de l'ordre de 240 m. Le Sénonien salifère comme son nom l'indique est connu par le sel massif, on trouve parfois des argiles, des calcaires et de l'anhydrite. [06]

- **Le Turonien** se manifeste sous forme de bancs calcaires d'une épaisseur ne dépassant pas les 100 m dans la plupart des cas, parfois crayeux avec des marnes. [06]
- **Le Cénomaniens** : caractérisé surtout par des formations argileuses dolomitiques, on trouve parfois des calcaires, de l'anhydrite et rarement des sels, son épaisseur balance dans les environs de 200 m. [06]

La nappe du Complexe Terminal s'étend sur une superficie de 350 000 km<sup>2</sup>, la profondeur de la nappe est relativement faible allant de 100 à 400 mètres. L'eau de la nappe est de température peu élevée (23°C). Elle est très exploitée surtout dans le bas Sahara, son captage alimente les oasis de Oued Rhir et de Ouargla et de Touggourt.[06]

### I.3.2-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 gréseux, 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

600 000 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 600 m environ, d'une profondeur allant de 1200 à 1500 m.[07]

La nappe du continental Intercalaire est un réservoir à eau douce ; la plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du quaternaire.

Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par :

- Une température qui dépasse les 60°C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol.
- Une charge en H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub> qui lui donne un caractère corrosif.
- La minéralisation de l'eau oscille entre 1 et 2g/l de résidu sec et peut atteindre 5g/l (Gassi Touil).
- L'alimentation de la nappe, relativement faible, se fait par ruissellement à la périphérie du réservoir, tout au long et à l'extrémité des oueds, qui descendent des monts de l'Atlas saharien, du Dahar tunisien, du plateau de Tademaït et Tinhert et par les pluies exceptionnelles sur les grands ergs.
- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie) et du Sud vers le Nord.[07]

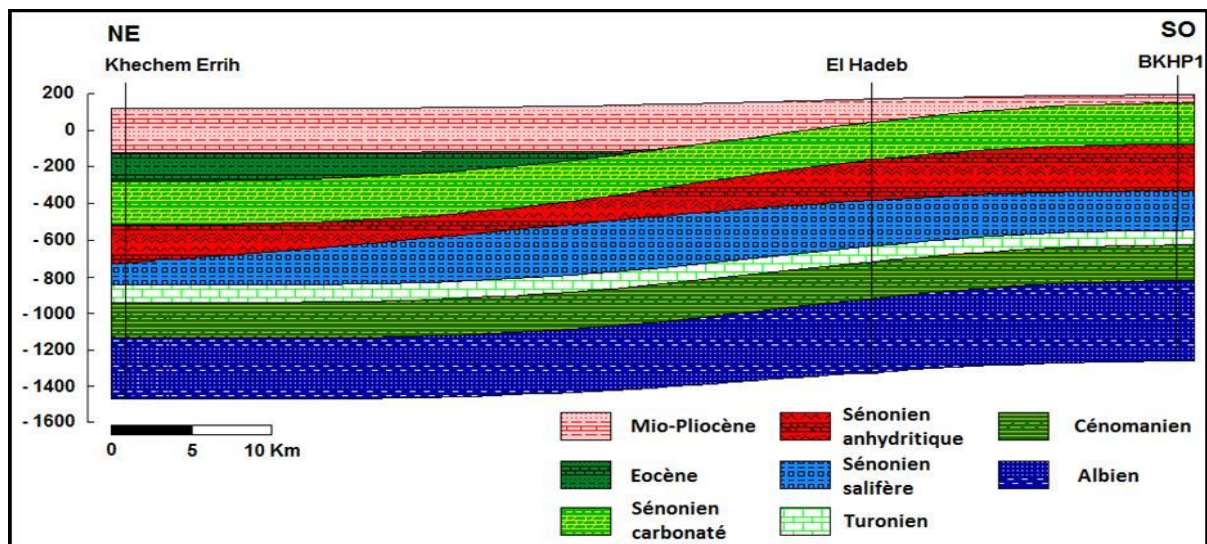


Fig.I.09 : Coupe géologique de la région d'Ouargla[7]

#### I.4-Nappe phréatique:

La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Les sondages carottés effectués par LTPS en plus des logs des piézomètres effectués par l'ENA.GEO, ont permis de relever la présence de trois classes de profils géologiques :

- **Classe A** : C'est la classe la plus répandue, elle représente  $\approx 75$  % des terrains.

On distingue:

- Une première couche dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m, constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux avec une consistance de moyenne compacité;

- Une deuxième couche constituée de sable argileux compacté, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.

- **Classe B** : Elle caractérise les chotts et les sebkhas où on distingue :
  - Des encroûtements gypseux très salés dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m;
  - Des sables limoneux avec un passage tufeux.
- **Classe C** : Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Mio-Pliocène. On distingue :
  - Un matériau détritique constitué de grès consolidé (glacis) et de sable limoneux pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure à 10 m
  - Du sable grossier compacté.

La nappe couvre pratiquement toute la cuvette d'Ouargla. Les mesures les plus récentes et les observations faites sur quelques piézométrique indiquent que le niveau piézométrique de la nappe est aujourd'hui situé entre 8 et 10 m, 50 et 100 cm dans les palmeraies limitrophes de la sebkha et inférieur à 50 cm dans la sebkha jusqu'à l'affleurement au centre.

Les eaux de drainage des palmeraies et les eaux usées maintiennent des niveaux piézométriques très élevés.[9]



# *Chapitre II*

## *Généralité sur L'eau*

## Chapitre II – Généralité sur L'eau

### II.1-Introduction:

L'eau est une partie intégrante du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et son économie, sont d'un intérêt général en vue d'un développement durable. L'usage de l'eau est un droit acquis pour tous dans le cadre des lois et des réglementations en vigueur.

L'hydrogène et l'oxygène, éléments chimiques abondamment présents dans l'Univers, se retrouvent sous leur forme combinée  $H_2O$ , l'eau, qui, au regard des connaissances actuelles, est fortement présente dans le cosmos à l'état de vapeur ou à l'état de solide (glace). Il semble qu'il n'y ait que sur Terre que l'eau se retrouve sous sa forme liquide et ce grande quantité.[10]

### II.2-Connaissances sur l'eau

L'eau ou l'hémioxyde d'hydrogène est un corps incolore, inodore, et insipide, de formule chimique  $H_2O$ .

Toutefois, il existe de très nombreuses combinaisons possibles de l'hydrogène et de l'oxygène qui comportent chacun trois isotopes. L'eau pure est donc un mélange de plusieurs molécules avec la prédominance de la forme  $^1H_2^{16}O$ .

La différence d'électronégativité entre l'oxygène (3.5) et l'hydrogène (2.1) confère à la molécule d'eau une structure dissymétrique (Figure 02).[11]

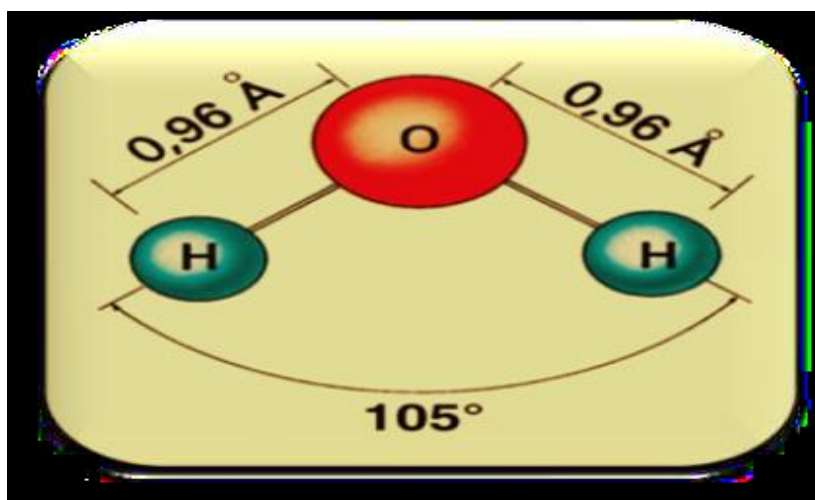


Fig.II.1. La molécule de l'eau[11]

II-3 Etats de l'eau :

L'état solide : à l'état solide les molécules d'eau sont serrées et même fortement liées entre elles de façon très géométrique et régulière : elles sont en ordre, à l'état solide, les molécules ne bougent pas.

L'état liquide : à l'état liquide les molécules ne sont plus que faiblement liées mais elles restent serrées. Elles sont en mouvement, elles sont en désordre.

L'état vapeur : à l'état gazeux les molécules sont très espacées. Elles sont en désordre, elles sont animées de mouvements rapides et incessants. [12]

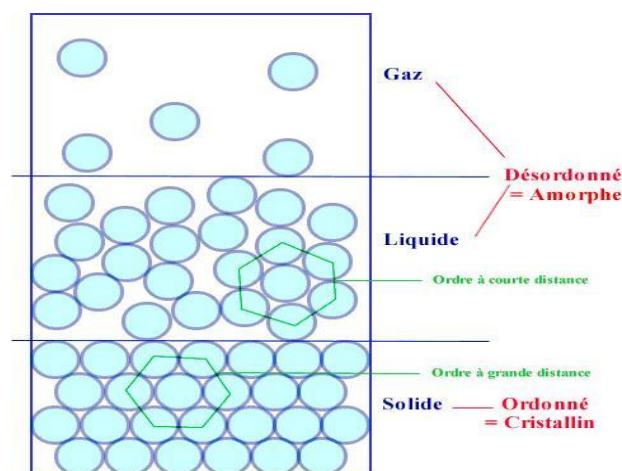


Fig.II.02 : Les états de l'eau

A une pression donnée, chaque changement d'état s'accompagne d'une variation de volume, cette variation peut être très importante lors des transformations liquide / gaz. Notons que le volume de l'eau, augmente lors de la solidification ainsi l'eau se dilate en se congelant. A 0 °C, sa masse volumique est de 916,8 kg/m<sup>3</sup> alors qu'à l'état liquide elle est de 1000 kg/m<sup>3</sup>. Cette dilatation, de l'ordre de 10 %. [13]



Fig.II.03 : Cycle de transformation physique de l'eau

## II-4 Propriétés physiques de l'eau [14]

### II-4-1 Tension superficielle

La tension superficielle de l'eau est très élevée elle est de l'ordre de 72.7 mN/m à 20°C, expliquée par la résistance qu'exercent les liaisons hydrogène entre les molécules d'eau. L'existence de ces liaisons hydrogène explique aussi cette tendance de l'eau à s'accrocher aux parois du récipient et la forme ronde des gouttes d'eau. La tension superficielle s'oppose à la pénétration des autres corps qui soit surnagent, soit tombent au fond du récipient.

### II-4-2 Capillarité

Adhérence et cohésion sont à la base de ce phénomène. En effet, grâce à la force de tension de surface, comme l'effet d'une couche pelliculaire, l'eau a tendance à monter, entraînée par l'adhésion avec la surface de contact et appuyée par la cohésion des molécules entre elles (ponts hydrogène). Cette circulation de l'eau se fait à l'encontre des lois de la pesanteur.

L'eau au centre du vaisseau est attirée vers le haut à cause de sa cohésion avec les molécules qui adhèrent aux parois. Plus le calibre est faible, plus la montée est rapide (débit capillaire des vaisseaux sanguins).

### II-4-3 Viscosité

La viscosité est une grandeur qui traduit la résistance d'un liquide au cisaillement, c'est-à-dire au glissement des couches du fluide les unes par rapport aux autres (caractérisé par la variation de la vitesse  $v$  dans une direction transverse à l'écoulement).

La viscosité diminue lorsque la température croît par contre elle augmente avec la teneur en sels dissous, quand à sa variation en fonction de la pression elle est si faible que d'habitude on n'en tient pas compte. [8]

### II-4-4 Propriétés thermique de l'eau [12]

- Chaleur massique isobare: la chaleur massique isobare (en J/kg/K), notée  $c_p$ , appelée aussi chaleur spécifique, est l'énergie qu'il faut fournir à une masse  $M$  d'un corps pour élever sa température de 1°C lorsque la pression est constante. La chaleur massique de l'eau à la pression atmosphérique est de 4,19 kJ/kg/K à 13°C.

- Enthalpie de vaporisation : Si l'on continue à chauffer notre masse d'eau à 100 °C sous la pression atmosphérique, on constate que sa température reste constante et égale à 100°C. Les premières fumerolles de vapeur apparaissent jusqu'à la disparition totale de l'eau à l'état liquide. La transformation du kilogramme d'eau liquide en gaz ou vapeur d'eau, appelée vaporisation, nécessite une quantité importante d'énergie appelée chaleur latente de vaporisation ou enthalpie de vaporisation. Cette valeur exprimée de 2257,0 kJ/kg à la pression atmosphérique pour l'eau.
- Enthalpie totale : L'enthalpie totale de la vapeur d'eau est l'énergie nécessaire pour vaporiser une masse d'eau de 0 °C à sa température de vaporisation. Elle est la somme de l'énergie nécessaire pour la faire passer à l'état liquide de 0 °C à sa température de vaporisation pour une pression donnée et de son enthalpie de vaporisation. Ainsi pour transformer, sous la pression atmosphérique, une masse de 1 kg d'eau pris à 20 °C en vapeur, l'énergie à fournir est égale à l'énergie fournie pour passer de 20 °C à 100 °C à l'état liquide soit 334 kJ puis à celle requise lors de la vaporisation à 100 °C soit 2256kJ donc au total 2590 kJ.

#### **II-4-5 Propriétés électriques**

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2  $\mu\text{S/m}$  à 20 °C. Elle augmente avec le taux de sels dissous. [8]

#### **II-4-6 Propriétés optiques**

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orange et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse.

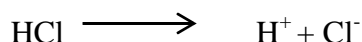
Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence, l'efficacité des traitements d'épurations. [8]

#### **II-5 Propriétés chimiques**

##### **II-5-1 Ionisation**

L'eau est dite liquide ionisant: elle favorise l'ionisation de certaines molécules par rupture de liaison covalente entre des atomes. L'acide chlorhydrique (HCl) est une molécule avec une liaison covalente très polarisée.

Si on dissout HCl dans l'eau, les atomes se séparent et chacun se retrouve sous la forme d'un ion



Les interactions électrostatiques entre les charges des dipôles de chaque molécule augmentent la polarisation de la molécule jusqu'à l'ionisation. Le pouvoir ionisant de l'eau revient de leur phénomènes de solvation, de liaisons hydrogène et la valeur élevée de la constante diélectrique (80 Debye). Lorsque plusieurs électrolytes se trouvent dans la même solution, chacun se dissocie dans une certaine proportion et les ions libérés peuvent se combiner entre eux pour former des composés nouveaux. [12]

### **II-5-2 Auto-dissociation de l'eau**

L'eau est une substance qui a une forte propension à dissoudre d'autres éléments. La première opération chimique réalisable avec l'eau est sa dissociation en protons  $\text{H}^+$  et en ions hydroxydes  $\text{OH}^-$ . La répartition entre les deux se mesure avec le pH (potentiel hydrogène). L'échelle va de 0 à 14 : plus l'eau est acide, plus on se rapproche de 14, plus elle est basique. L'eau est neutre lorsque son pH est à 7. L'eau joue un rôle très important dans toutes les réactions chimiques qui implique des matières chargées électriquement.

### **II-6 Propriétés bactériologiques**

La présence des gaz, de matières organiques et minérales dans l'eau constitue un milieu favorable pour la multiplication et la croissance de divers microorganismes (virus, champignons et bactéries), certains d'entre elles sont responsables de graves maladies alors que d'autres sont indispensables pour l'organisme humain.[12]

### **II-7 Résumé du 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]

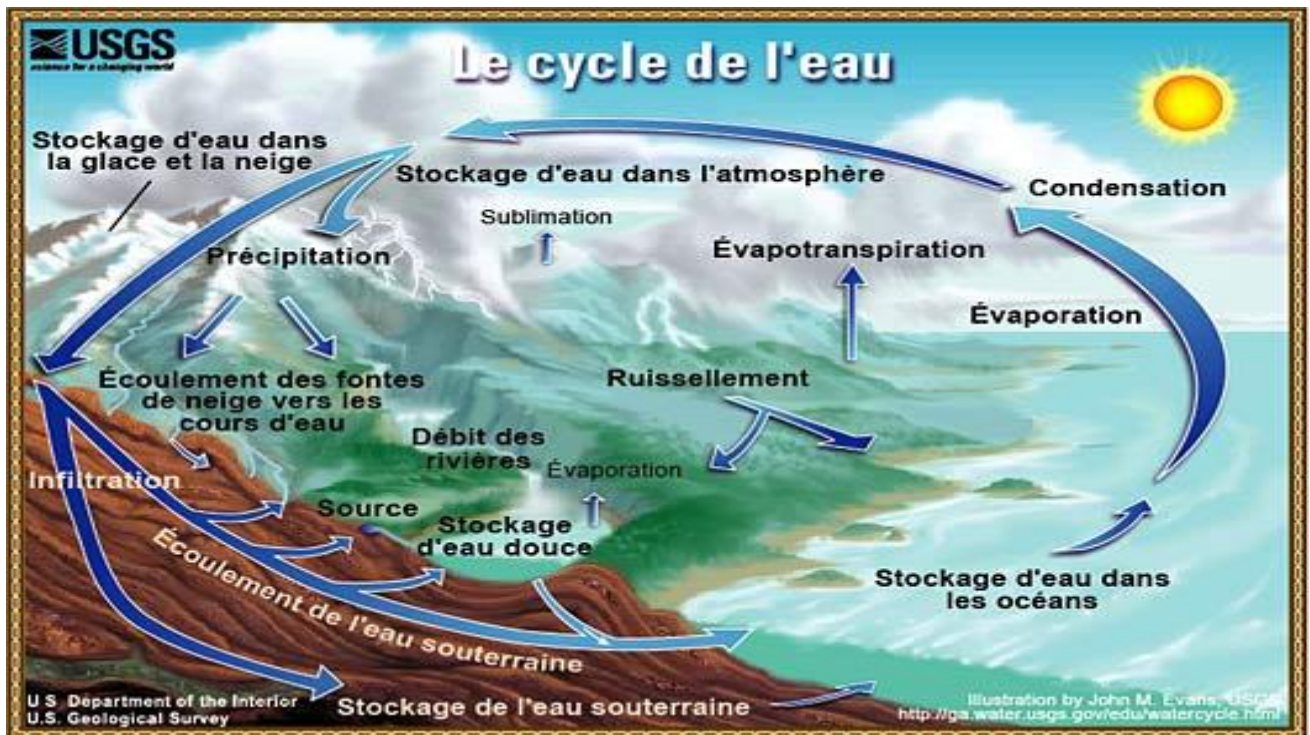


Fig.II.4. Schéma du cycle de l'eau

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.[15]

Cet échange se réalise par

**1.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.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.Précipitations :** quand l'air est saturé d'eau les nuages déversent leur contenu sur la terre, ces précipitations tombent sous différentes formes. Lorsque que 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.Les eaux de 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. 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... [16]

## **II-8 Ressources hydriques**

### **II-8-1 Eaux courantes:**

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.

### **II-8-2 Eaux souterraines:**

les eaux qui se trouvent en dessous de la surface du sol: les nappes phréatiques, les grottes,... L'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers.

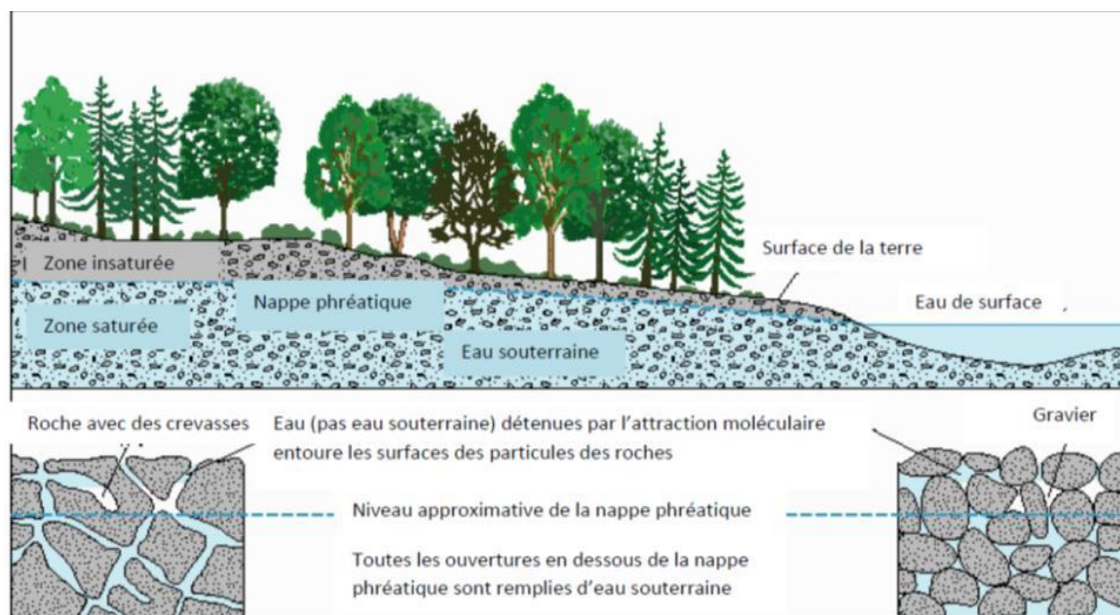


Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain. [17]

Ces formations géologiques appelées aquifères.

### II-8-3 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 peut garder les montants différent d'eau, cependant les régions poreux (ou les espaces). Quand 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. [18]



**Fig.II.05 : Les eaux souterraines. [18]**

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.

Le haut de la zone saturée est appelé la nappe phréatique, où l'eau descend lentement à travers le sable et le gravier, jusqu'à ce qu'elle arrive à un roc imperméable où elle ne peut plus descendre parce que le roc est étanche. Au-dessus de ce roc se trouve la réserve d'eau, la zone saturée, et la partie supérieure de cette réserve est la nappe phréatique. [19]

### **II-8-3-1 Les types d'aquifères**

Une grande variété de réservoirs d'eau souterraine. Les aquifères présentent des singularités liées à la nature géologique et à la géométrie des roches qui les constituent, mais aussi au mode de gisement et aux milieux avec lesquels ils échangent.

- **Les aquifères sédimentaires** sont composés de calcaire, sable, grès, craie (roches sédimentaires).
- **Les aquifères alluviaux** sont constitués de limons fins déposés par les cours d'eau lors des inondations ou des crues, intercalés avec des sables et des graviers. Vulnérables, ces nappes en relation avec les eaux de surface servent souvent de relais aux grandes nappes libres qui s'écoulent naturellement vers les points bas que sont les vallées.
- **Les aquifères de roches cristallines** (granite, gneiss,...) et volcaniques (laves) gardent l'eau dans les fissures et les zones altérées (arènes). Ils abritent de petites nappes. [19]

### **II-9 Les nappes d'eau souterraine [19]**

Ces 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-9-1 Les nappes libres :** 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 rechargés les cours d'eau proches, pendant les périodes de sécheresses. Les nappes phréatiques appartiennent à cette catégorie.

**II-9-2 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 de mètres voire plus.

Elles se renouvellent plus lentement. Leur alimentation provient pour partie de zones affleurant es. Lorsque moins de 5 % de ces eaux sont renouvelés à l'année, ces nappes sont dites fossiles.

# *Chapitre III*

## *La pollution de l'eau*

**Chapitre III : LA pollution de l'eau****III-1 Introduction :**

La pollution correspond au sens large à toute modification défavorable d'un état d'équilibre naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme produit de l'activité humaine à travers des effets directs ou indirects. Elle possède des spécificités propres une fois appliquée à l'eau. Une synthèse des connaissances sur la pollution des eaux est présentée dans ce qui suit.[11]

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est interface entre l'air et le sol, subit donc les dégradations de ces deux milieux.

La pollution de l'eau peut être observée à différents niveaux : Dans les nappes ou dans les sources d'eau par suite d'infiltration d'eau usées ( fosses, latrines) Dans les eaux de surface : les fleuves , les rivières et les oueds qui sont souillés par les déversements des eaux usées non traitées. [20]

**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 [21]. C'est une source fixe et généralement d'émission polluantes importantes. [22]

**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. [22]

Les pollutions par des sources ponctuelles sont souvent plus facilement localisées, alors que les émissions polluantes provenant de sources diffuses sont difficiles à recenser, à mesurer et donc à contrôler. [22]

**III-3 Source de pollution**

C'est une classification selon l'origine de la 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. [23]

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 irrptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures... peuvent aussi être à l'origine de pollutions. [24]

**III-3-2 Pollution atmosphérique**

En ce qui concerne l'eau de pluie, bien que longtemps considérée comme propre, l'eau d'origine pluviale est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière...) sont envoyés vers le sol à la moindre averse.

Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif: elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, cette pollution est déversée sur de courtes périodes et peut atteindre des valeurs très élevées ce qui provoque un effet de choc sur le milieu biologique. [25]

**III-3-3 Pollution urbaine**

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. [26]

Les eaux résiduaires urbaines peuvent être considérées comme la plus importante industrie en termes de masse de matériaux bruts à traiter ; Dans la communauté européenne il est produit quotidiennement un volume proche à 40 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour. [25]

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. [26]

### **III-3-4 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. [26]

### **III-3-5 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). Néanmoins, le problème de la pollution agricole est un peu différent, dans la mesure où cette source de pollution n'arrive qu'indirectement à la station. C'est le cas en particulier des engrais et pesticides qui passent d'abord à travers les milieux naturels (nappes phréatiques, rivières...). 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 (lisiers de porc, fientes des volailles...) par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; celles-ci, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique. [25]

**II-4-1. Pollution chimique :**

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, par exemple: les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autre sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses.

Ainsi résulte de la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire).

Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories: Les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autre éléments toxiques. [27]

**III-4-2 Types des polluants****III-4-2-1 Les matières en suspensions**

Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Les MES confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond ; elles diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent. Elles peuvent rendre les eaux très opaques et provoquer aussi une eutrophisation. [26]

**III-4-2-2 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. [8]

**III-4-2-3 Les matières organiques**

Ce sont tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre et le lactosérum des industries agroalimentaires ainsi que les hydrocarbures. A l'inverse de MES, ces matières constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les micro-organismes se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique. Lorsque le milieu se retrouve totalement vidé de son oxygène, les micro-organismes vont le chercher dans les sulfates dissous ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène en engendrant une odeur d'œufs pourris. Cette odeur nauséabonde est caractéristique d'une eau très polluée. [28]



**III-4-2-4 Les métaux lourds**

Les éléments possédant une masse volumique supérieure ou égale à  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ . Les métaux lourds constituent des polluants qui ne se dégradent pas dans l'environnement. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et peuvent contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Certains métaux lourds sont particulièrement toxiques comme le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le chrome (Cr), et à un degré moindre le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Le fer (Fe) et l'aluminium (Al) le sont moins. [28]

**III-4-2-5 Les pesticides**

Les pesticides constituent un problème majeur pour l'environnement. On inclut dans les pesticides toutes les substances avec lesquelles on combat les animaux et végétaux nuisibles à l'Homme et aux êtres vivants supérieurs. Sur le plan chimique, on distingue plusieurs groupes de pesticides qui sont caractérisés par des persistances différentes. Les plus persistants sont les hydrocarbures chlorés (*e.g.* le DDT (DichloroDiphénylTrichloroéthane), 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophényl)-éthane) qui s'accumulent dans les tissus graisseux. [29]

**III-4-2-6 Matières fertilisante**

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures. [8]

**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.

**III-6 Transfère des eaux polluées [30]**

Les sels solubles dans l'eau se déplacent par diffusion des points de forte aux zones de moindre concentration.

Les trajets, l'intensité du polluant, 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, en colloïdes minéraux et organiques etc. 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'intensité et la durée de la pollution : Le rapport de débits entre polluant et pollué. 4- 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.

**III-6.1. Le temps de transfère des polluants [31]**

Le temps de transfert d'un polluant chimique à la nappe varie de quelques jours à plusieurs années.

Il dépend principalement de:

- l'épaisseur de la zone non saturée, c'est à dire la profondeur de la surface piézométrique.
- la perméabilité du réservoir (fissuration) ou le pouvoir de filtration
- les caractères du polluant.

Dans la nappe, l'extension du panache de pollution dépend essentiellement de la direction et de la vitesse d'écoulement de l'eau, mais aussi des caractéristiques du polluant.

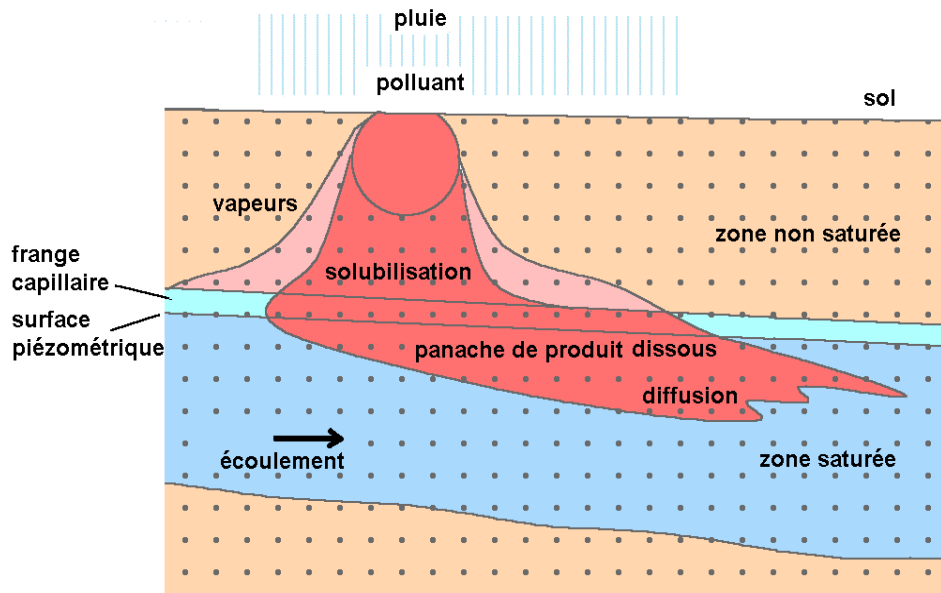


Fig.III.01 : Pollution par un produit soluble n'atteignant pas la nappe. [31]

Les polluants insolubles plus légers que l'eau restent à la surface de la nappe où ils s'étalent et pour les polluants insolubles et plus denses que l'eau comme les organochlorés migrent jusqu'à la nappe sans laisser de traces derrière eux .

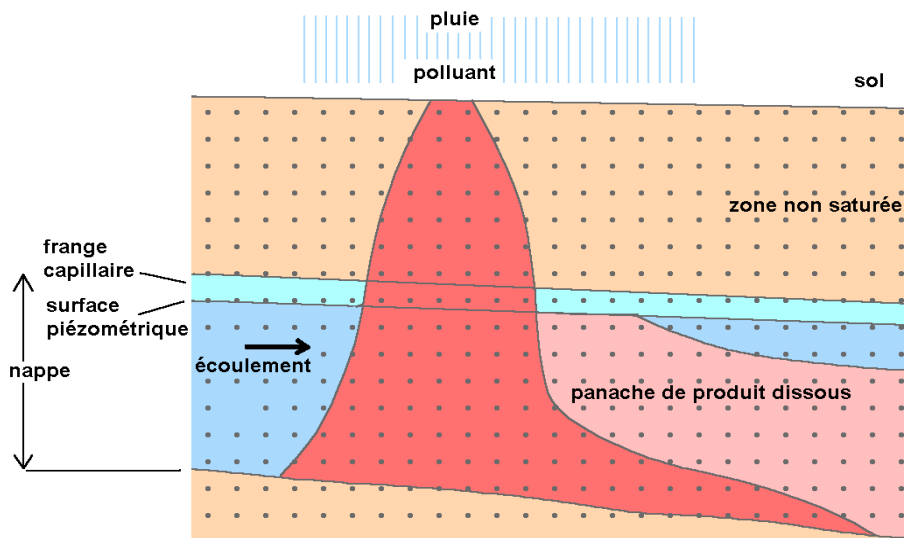


Fig.III.02 : Pollution de la nappe par un produit plus lourd que l'eau. [31]

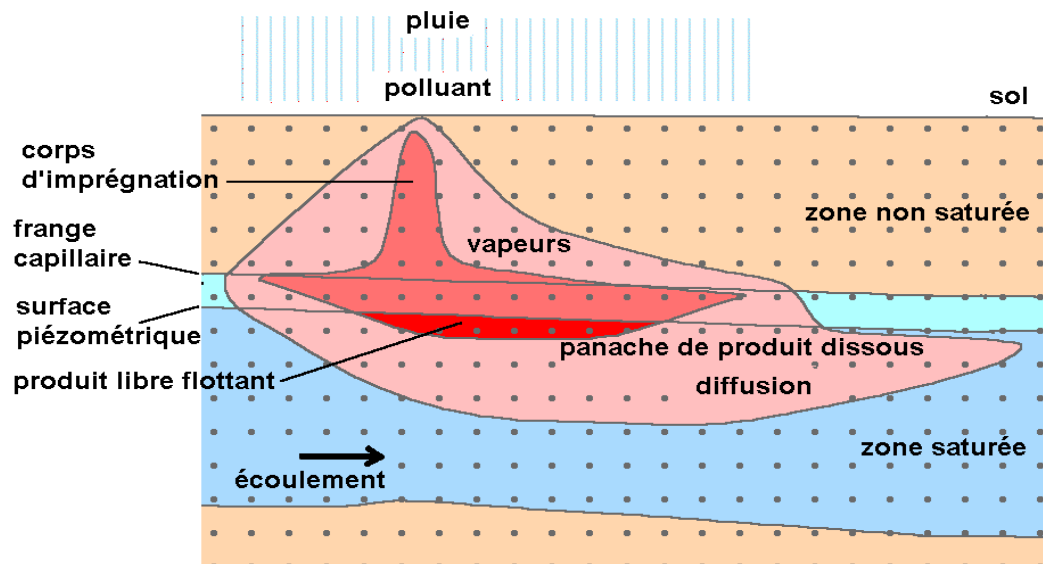


Fig.III.03: Pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe. [31]

# *Chapitre IV*

## *Resultats et discussions*

## **Chapitre IV : Résultats et discussions**

Une eau potable du point de vue chimique doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination ainsi que toute autre substance toxique. [32]

### **IV.1 Echantillonnage**

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 sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, il convient que le préleveur est une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytique.

Il est nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de disposer d'un personnel qualifié, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable.

Les résultats de l'analyse ne seront exploitables que si le prélèvement a un caractère représentatif. [32]

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. [33]

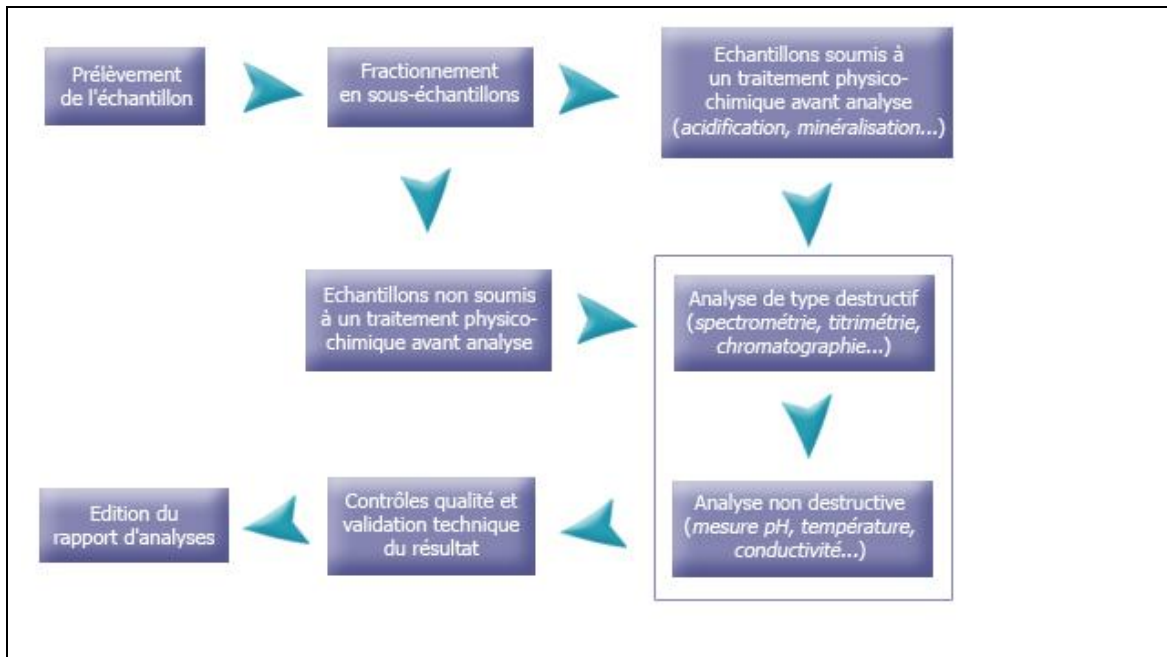


Figure .IV.1.- Schéma des processus d'analyse physico-chimique [34]

#### IV.1.1 Matériel de prélèvement

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière, l'emploi de flacons neufs en verre borosilicate de préférence bouché à l'émeri ou le cas échéant avec des bouchons en polyéthylène.

Les échantillons, conservés à 4°C, sont transportés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 4 heures selon les instructions de Rodier, 1996. [32]

#### 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.

Dans le cas d'un lac ou d'une retenue d'eau, il y'a lieu de choisir plusieurs points de prélèvement et, en chacun d'eux, de prélever plusieurs échantillons à différentes profondeurs pour tenir compte de l'hétérogénéité verticale et horizontale.

Dans le cas d'un robinet, il sera indispensable de faire couler l'eau pendant un certain temps qui ne sera jamais inférieur à 10 mn.

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. [32]

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 [32]

#### **IV.2. But de l'étude :**

L'objectif principal de ce travail consiste à étudier la qualité des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla à partir du calcul des indices de pollution.

- une campagne d'analyses physico- chimique des eaux souterraines.
- Interprétation des résultats d'analyses.
- Recommandations.



IV. 3. Etude de la qualité des eaux potables de la nappe

IV. 3. 1. Les points de prélèvements

Les prélèvements sont pris des points d'eau (forages) situés dans la cuvette de Ouargla

Tab IV. 3. Les forages d'étude

Les points	Les noms des forages
P4	Om Raneb
P5	Ifri
P6	Sidi khwiled2
P7	Sidi khwiled1
P8	Bour Elhaicha
P9	Ain baida
P10	Ouinet Moussa
P11	Hassi miloud
P12	M'khadma 3
P13	Nakhil
P14	Sokra
P15	Said Otba1
P16	Said Otba2
P17	Hdab1
P18	Hdab2
P19	Ziayna
P20	Hassi ben Abd'Allah1
P21	Hassi ben Abd'Allah2

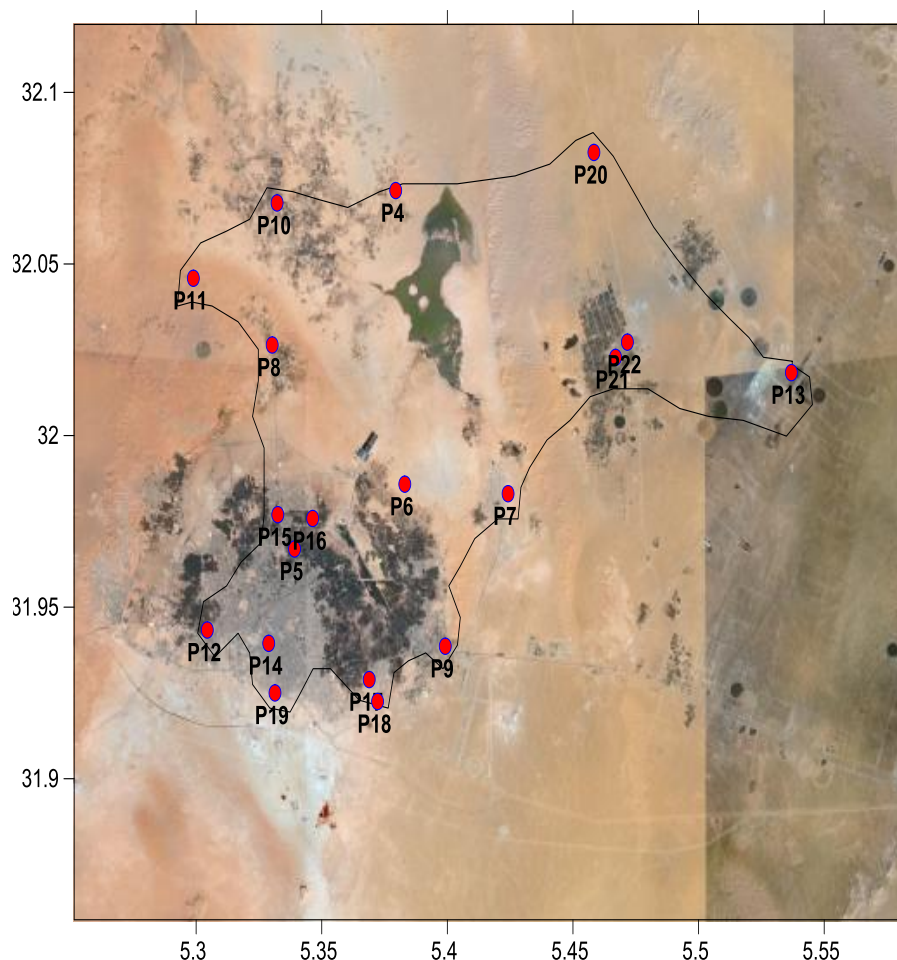


Fig IV.3.5 Carte d'inventaire des points d'eaux

IV. 3. 2. Qualité physico-chimique

L'étude hydro chimique des eaux a pour but d'identifier le degré de potabilité des eaux. Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine.

L'étude hydro chimique du secteur est basée sur l'analyse physico-chimique de 18 échantillons d'eau pris essentiellement au niveau des forages (Figure IV. 2.01) 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: pH, Conductivité, Résidu sec, Minéralisation, Dureté.

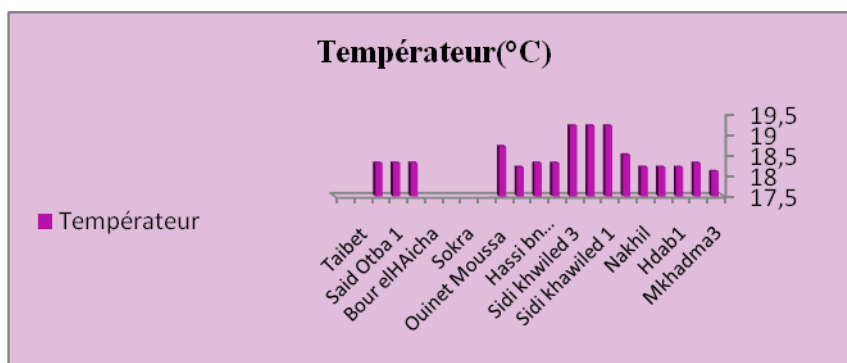
Les éléments majeurs: Anions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et Cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ).

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.

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

**Remarque :** Nous utilisons dans ce travail les normes Algérienne pour les résultats obtenus.

**Température :**



**Fig IV.3.6. Evolution de la température.**

La température est relativement élevée pour les eaux de la région, vu son climat, mais elle reste toujours dans les normes de potabilité. la température varie entre 18.1°C (P4) et 26.9°C (P7.P8.P9) qui correspond successivement à les régions de M'khadma3,Sidi khouiled1,2,3.

**Remarque :** manque des résultats pour Sokra,Bahmid,Hassi miloud,Taibat,TGT,Bour elhaicha.

Potentiel d'Hydrogène (pH) :

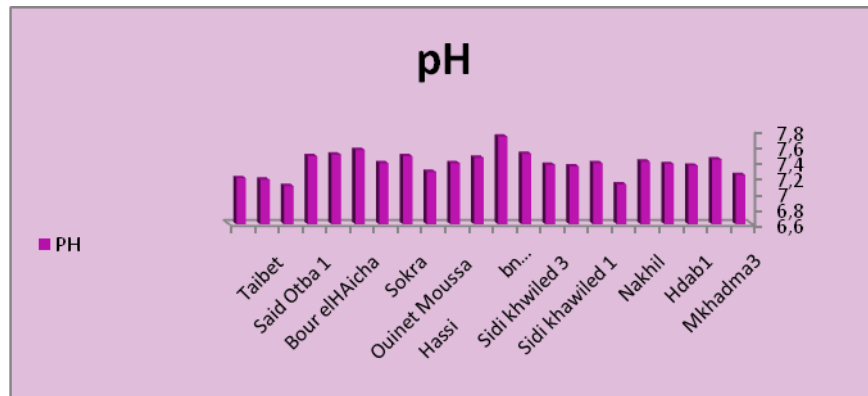


Fig IV.3.7.Evolution du pH.

Le pH est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

A partir de cette figure on peut remarquer les valeurs du pH obtenues, variés entre 7,09 et 7,55 pour les eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Ces valeurs sont acceptables d'après les normes OMS (6,5 à 8,5).

Conductivité électrique :

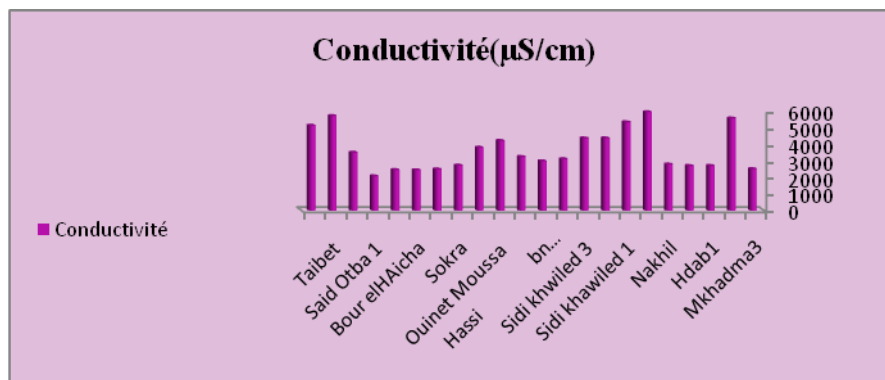
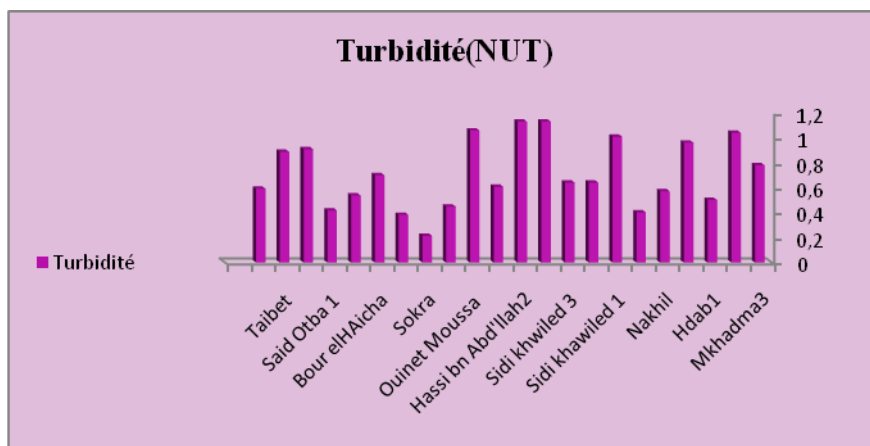


Fig IV.3.8. Evolution de la conductivité

La conductivité élevée traduit une salinité élevée.

Les teneurs en sels dissous sont moyennement élevées, exprimées à travers la conductivité, elles montrent des eaux chargées et conductrices, dépassants les normes de potabilité. Au mois de février la conductivité des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla varie entre 2080 µS/cm pour la région de Said otba 1 et 5710 µS/cm qui correspond au forage de Taibat.

**Turbidité :**

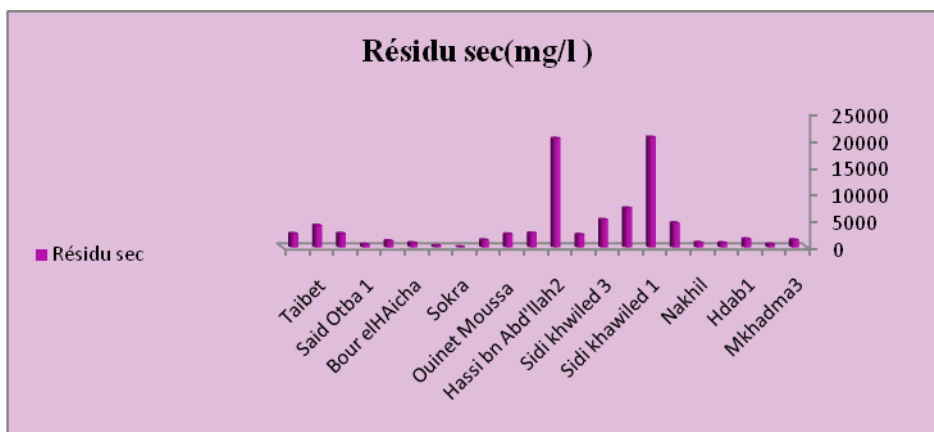


**Fig IV.3.9. Evolution de la turbidité.**

La turbidité traduit la présence de particules en suspension et de colloïdes dans l’eau, en relation avec la mesure, des matières en suspension, elle est la première indication sur la teneur en matières colloïdales d’origine minérale ou organique.

Les valeurs de la Turbidité varie entre 0.215 NUT (Sokra) et 1.13 NUT (Hassi ben abdallah1,2).

**Résidu Sec :**



**Fig IV.3.10. Evolution du Residu sec.**

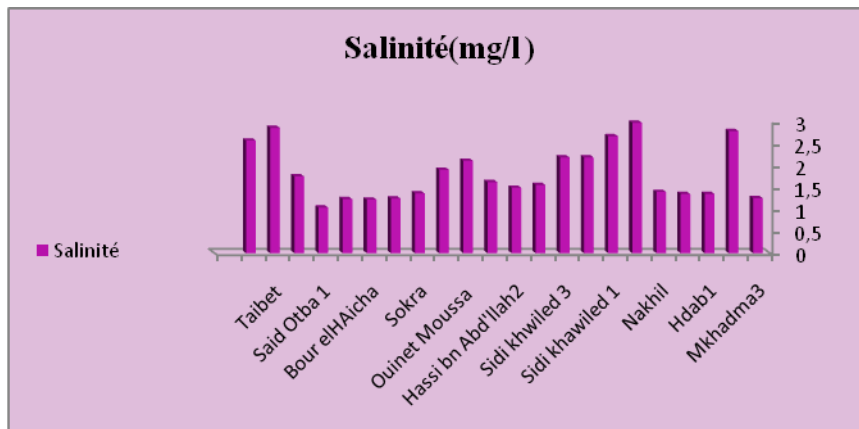
Il permet d’apprécier la minéralisation de l’eau. Les concentrations en :

- ✓ Résidus secs sont faibles : lorsqu’il s’agit de roches granitiques, de sables siliceux.
- ✓ Résidus secs élevés : roches sédimentaires.

Les concentrations en résidu sec sont très élevées, elles montrent des eaux assez chargées en roches sédimentaires.

Ils varient entre 52 mg/l (Sokra) et 20438 mg/l (Sidi khouiled1).

**Salinité:**

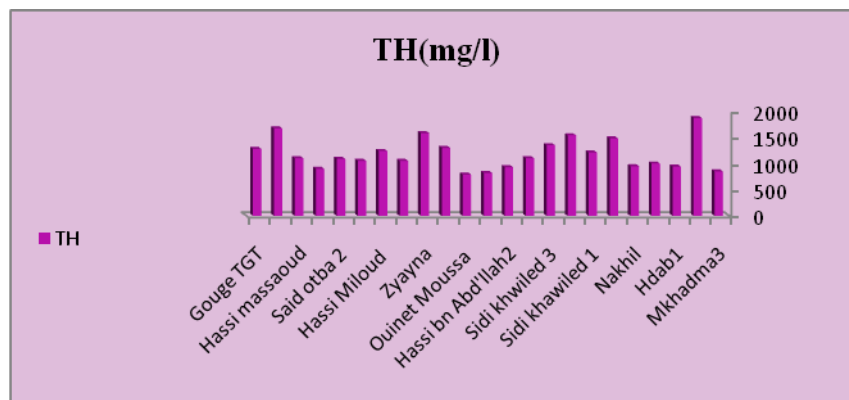


**Fig IV.3.11. Evolution de la salinité.**

D'une façon générale, les eaux de la cuvette de Ouargla montrent une salinité varie entre 1.04mg/l (Said otba1) et 2,97 mg/l (Ain baida).

**Eléments majeurs :**

**Dureté Totale (TH) :**



**Fig IV.3.12. Evolution de la dureté totale.**

Ce paramètre représente la teneur de l'eau en sels de métaux alcalino-terreux. D'une façon générale, les eaux de la cuvette de Ouargla montrent des valeurs qui varient entre 790 mg/l (Ouinet moussa) et 1870 mg/l (zyayna).

Dans les eaux étudiées, ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium.

**Titre alcalimétrique complet TAC :**

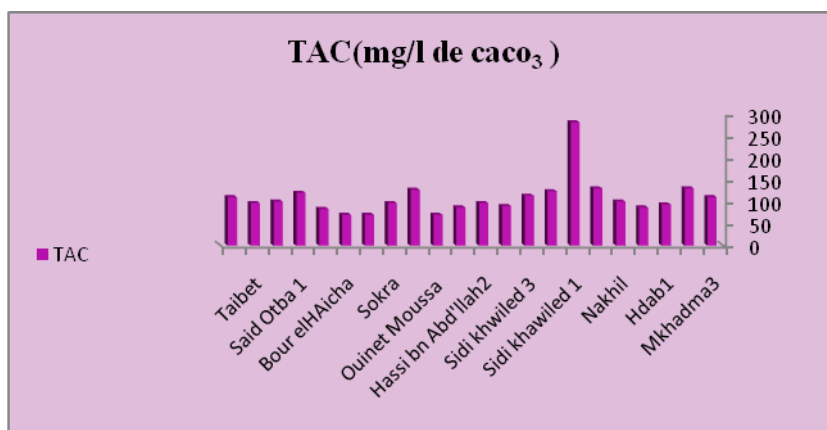


Fig IV.3.13. Evolution de TAC.

Les valeurs de TAC varient entre 69.993 mg/lCaCO<sub>3</sub> pour Ouinet moussa,Hassi miloud,Bour elhaïcha et 279.972 dans la région Ain baida.

**Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

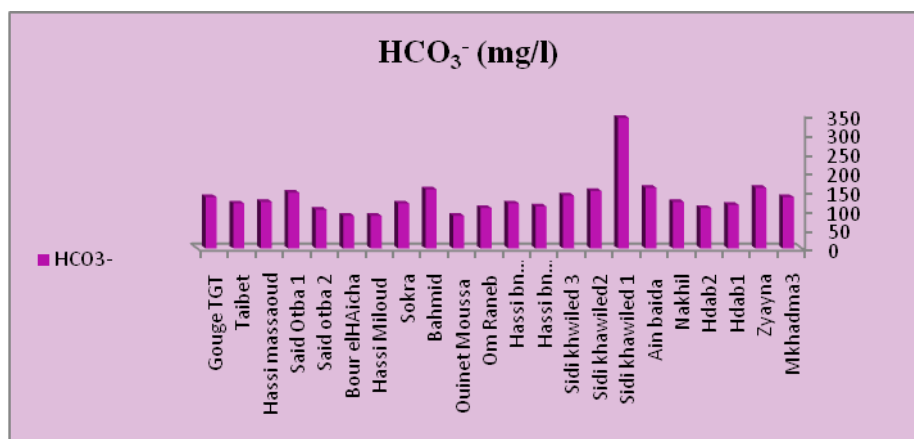


Fig. IV.3.14. Evolution des bicarbonates.

La présence des bicarbonates dans l'eau de la zone d'étude aurait la même origine que celles du calcium et magnésium, citées auparavant. Elle est due à la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique. Les concentrations en bicarbonates des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla varient entre 85.39146 mg/l (Ouinet moussa,Bour elhaïcha,Hassi miloud) et 341.56584 mg/l (Sidi khouiled1).

Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :

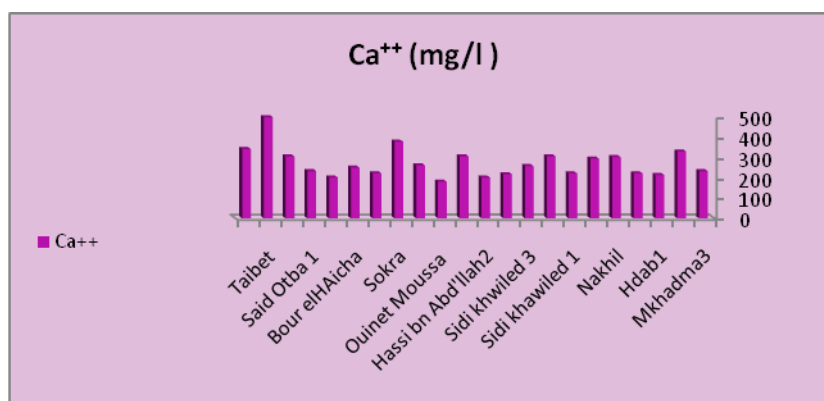


Fig.IV.3.15. Evolution de calcium.

Le calcium est un élément dominant dans les eaux potables. Composant majeur de la dureté de l'eau.

Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures...etc. Les analyses chimiques faites au niveau de la cuvette, montrent que les concentrations en calcium varient entre 180.36 mg/l (Ouinet moussa) et 496.99 mg/l (Taibat).

Magnésium (Mg<sup>2+</sup>) :

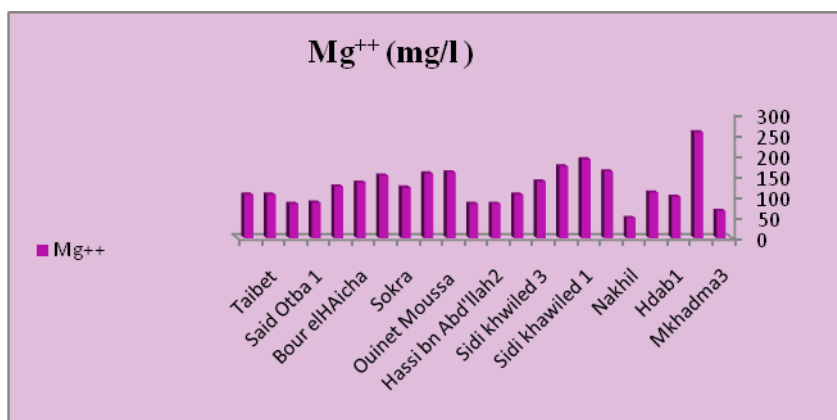


Fig IV.3.16. Evolution du magnésium

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance. A partir d'une concentration de 100 mg/L et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. Les concentrations en magnésium des eaux souterraines varient entre 48.25 mg/l pour la région de Nakhil et 255.15 mg/l dans la région de Zyayna.

Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) :

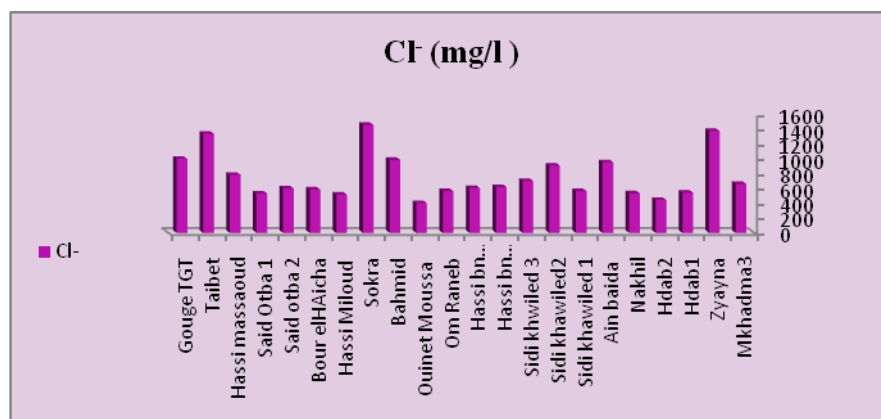


Fig IV.3.17. Evolution des chlorures.

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères, et aux rejets d'eau usée déversées dans le canal. Les concentrations en chlorures dans les eaux souterraines de la cuvette excèdent les normes de l'OMS varient entre 400.68336 mg/l (Ouinet Moussa) et 1458.34304 mg/l (Sokra).

Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :

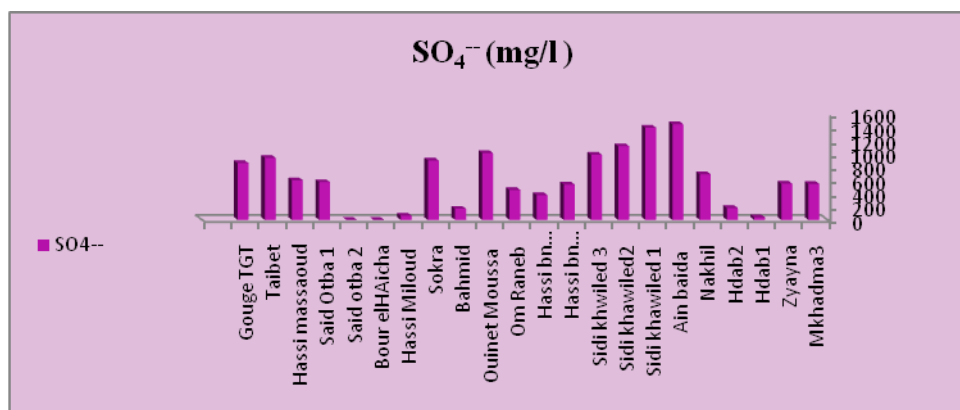


Fig IV.3.18. Evolution des sulfates.

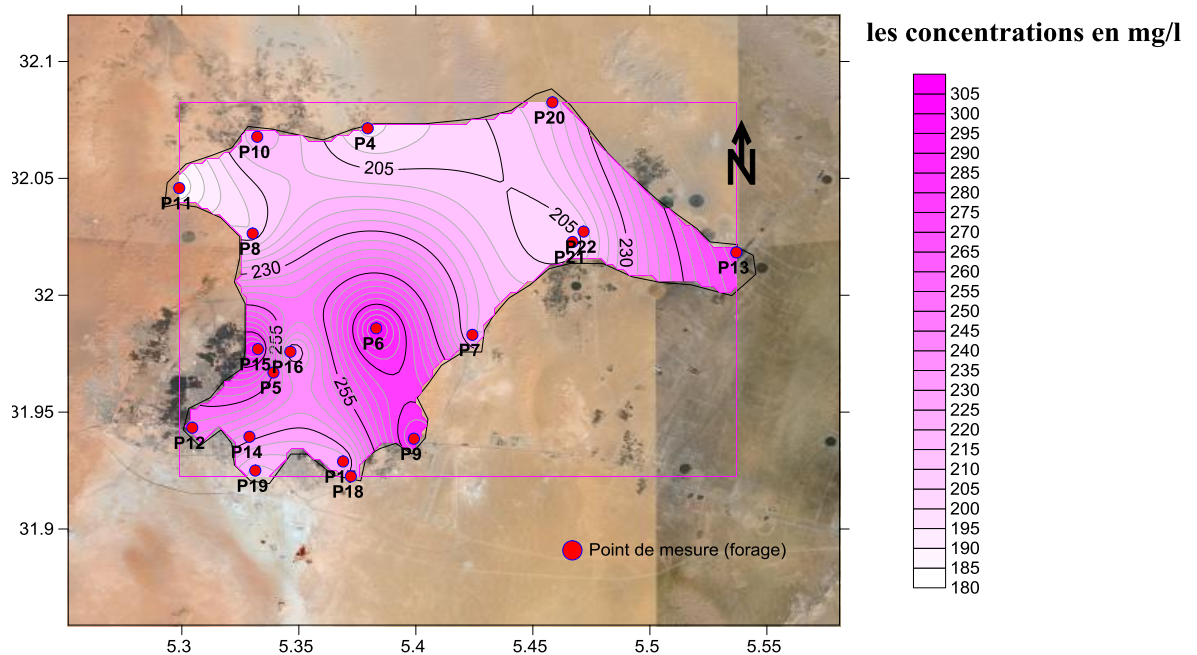
Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse, Et des pesticides provenant des eaux d'irrigation. Les concentrations en sulfates varient entre 0 mg/l (Hassi miloud, Bour elhaicha, said otba1) et 1448 excédents les normes de l'OMS (Ain Baida).



**IV.04.Aptitude des eaux à la potabilité :**

Dans les pays en voie de développement à climat aride. le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important parce que 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 risque, dont les plus répandus sont les nitrates et les pesticides.



**Figure IV.4.19. Evolution spatiale de calcium.**

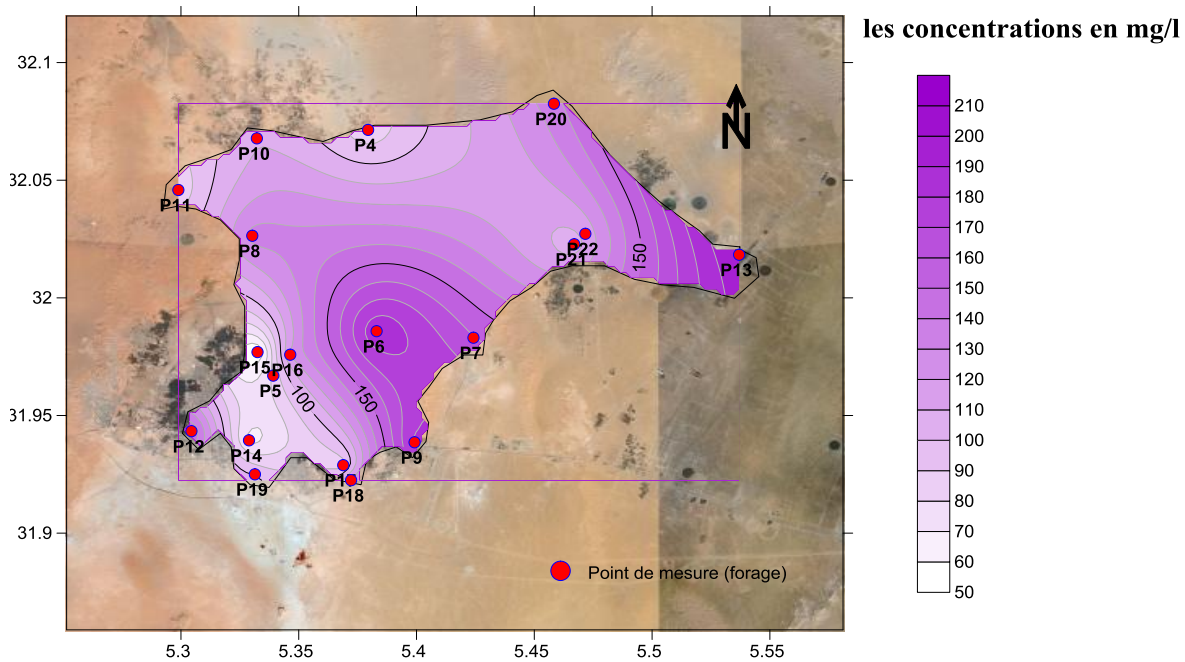


Fig IV.4.20. Evolution spatiale de magnésium.

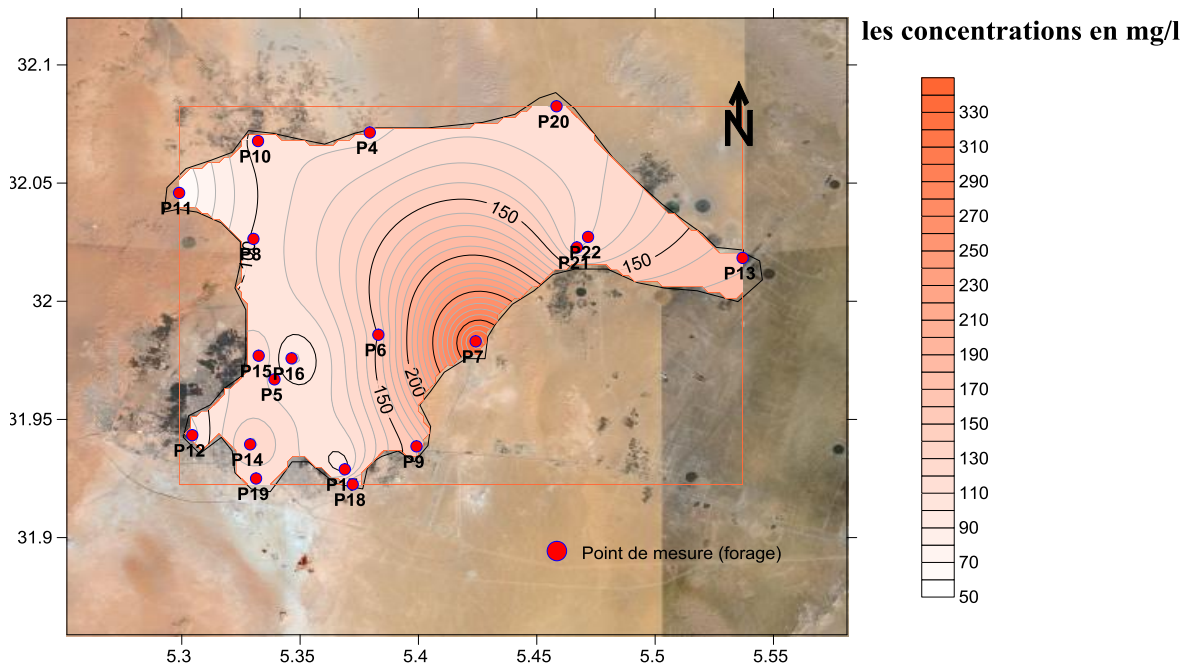


Fig IV.4. 21. Evolution spatiale de bicarbonates.

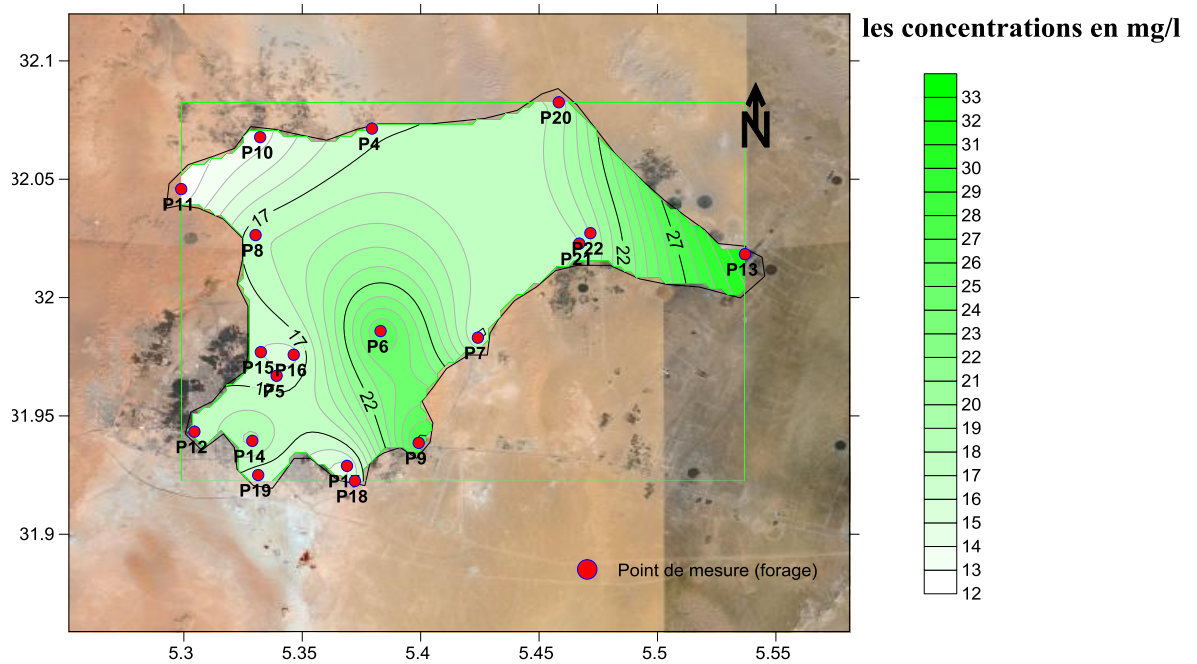


Fig IV.4. 22. Evolution spatiale de chlorure.

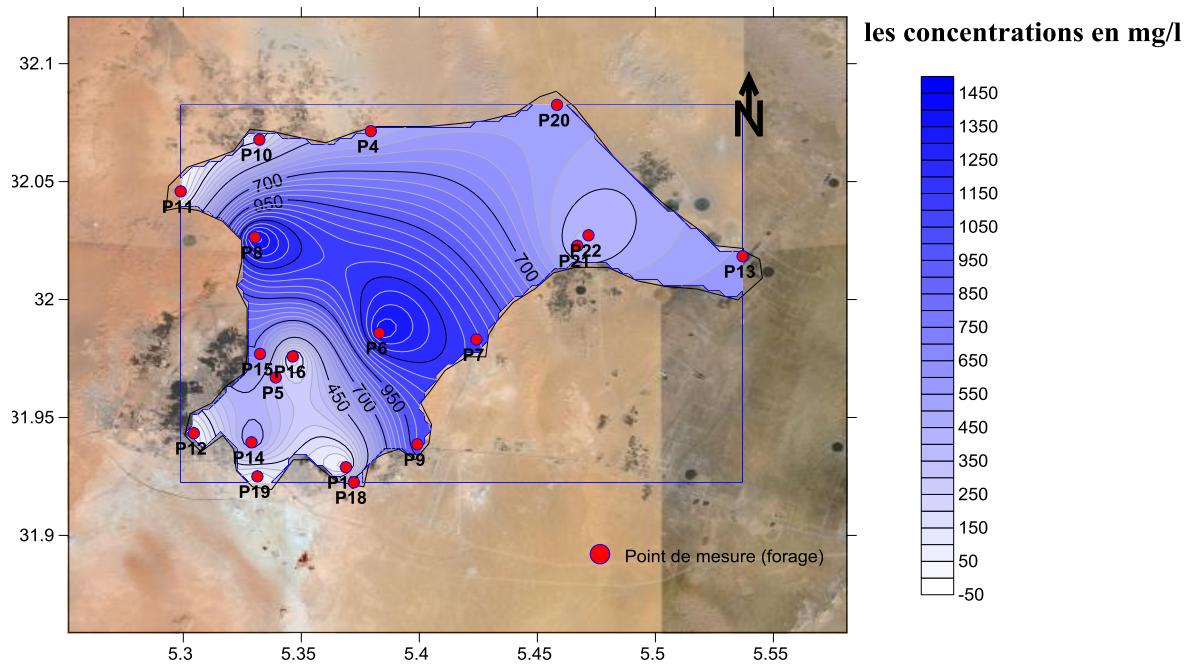


Fig IV.4.23. Evolution spatiale de sulfates.

D’après les évolution de parametres (  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Hco_3^-$ ,  $So_4^{2+}$  ) on constate que les eaux de région on qualité médiocre, spécialement à la région ( Ain baida , Sidi khuled ) .

**IV-5. Etude de la vulnérabilité de la nappe (CT) à la pollution minérale**

La protection des nappes d'eau souterraines nécessite au préalable la caractérisation du degré de leur vulnérabilité à la pollution. La migration d'un polluant est régie par deux parcours: l'un vertical, traversant les couches superficielles de la nappe (zone non saturée), l'autre horizontal suivant le sens d'écoulement de la nappe (zone saturée). La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution provenant de la surface du sol.

Plusieurs paramètres interviennent dans le transfert vertical de la pollution à partir de la surface du sol, notamment l'alimentation de la nappe (à partir des précipitations, cours d'eau, infiltration des eaux d'irrigation...), nature et épaisseur du sol, caractéristiques (lithologie, perméabilité..) de la zone non saturée, profondeur de l'eau par rapport au sol. Horizontalement la filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe; le polluant est dilué dans la masse d'eau.

D'après les résultats obtenus (calcul de l'Indice de pollution minérale IPM) on a pu dresser une carte (Figure IV.5.23), qui représente l'évolution de l'IPM. Ce dernier est d'une grande importance, pour lutter contre cette pollution minérale.

#### **IV- 5. 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 minérale se fait selon trois classes de qualité correspondant aux valeurs d'IPM calculées (Tableau VI-4). Le suivi des résultats d'analyse dans les différents points a fait l'objet d'un traitement des données par l'établissement d'une carte de pollution minérale des eaux naturelles de la région de Ouargla qui nous renseigne sur la qualité des eaux par le biais d'un indice de pollution minérale.

En vue d'apprécier la contamination des eaux de la nappe à la contamination minérale. On adopte chacun des éléments chimiques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) qui est déterminé pour chaque point de prélèvement. La somme de ces classes donne l'indice représentant la contamination minérale.



Tab IV.5. Classement de l'indice de pollution (IPM)

[Mg/l]	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	So <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	IPM	La pollution Minérale
Les classes						
Classe 1	0-100	0-50	0-50	0-100	<10	Faible
Classe 2	100-200	50-100	50-100	100-500	10-12	Moyenne
Classe 3	200-300	100-150	100-150	500-1000	12-14.5	Forte
Classe 4	>300	>150	>150	>1000	14.5-16	Plus forte

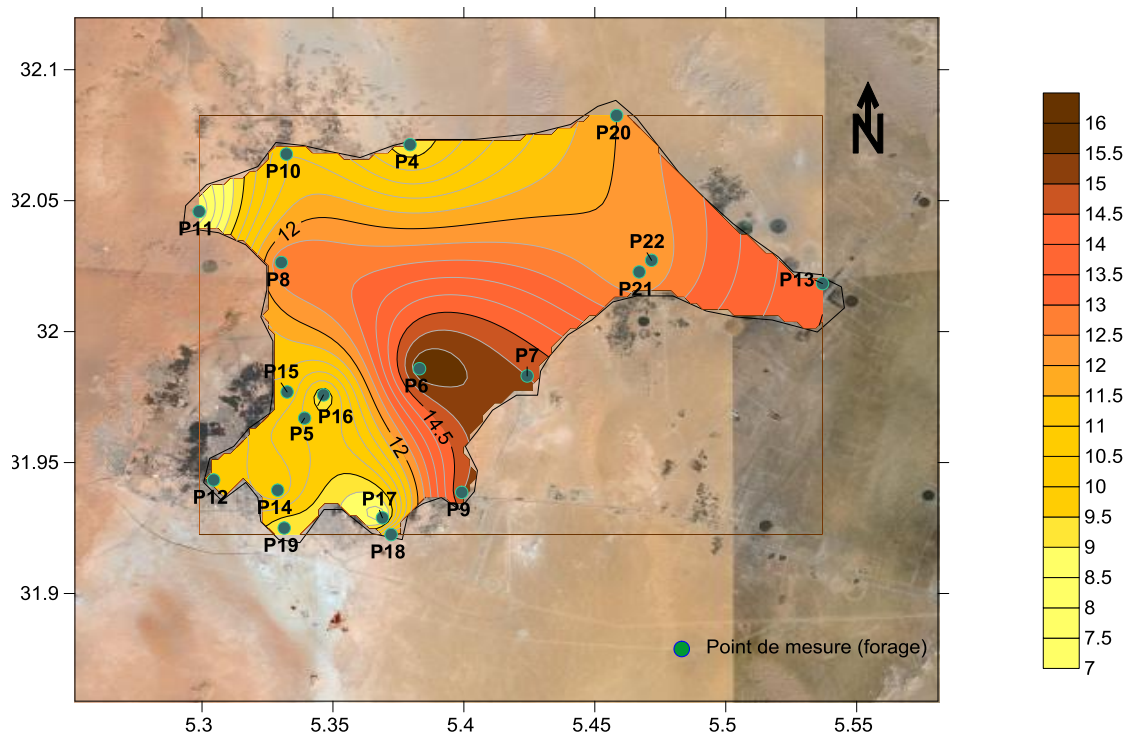


Fig IV.5.24. Evolution de l'indice de pollution minérale

D'après la figure IV.5.24, on peut remarquer que notre région d'étude est représentée par un **IPM<sub>min</sub>** qui correspond à Hassi Miloud et **IPM<sub>max</sub>** qui correspond a Sidi Khouiled.

## IV-6 Vulnérabilité des eaux d'Ouargla à la pollution :

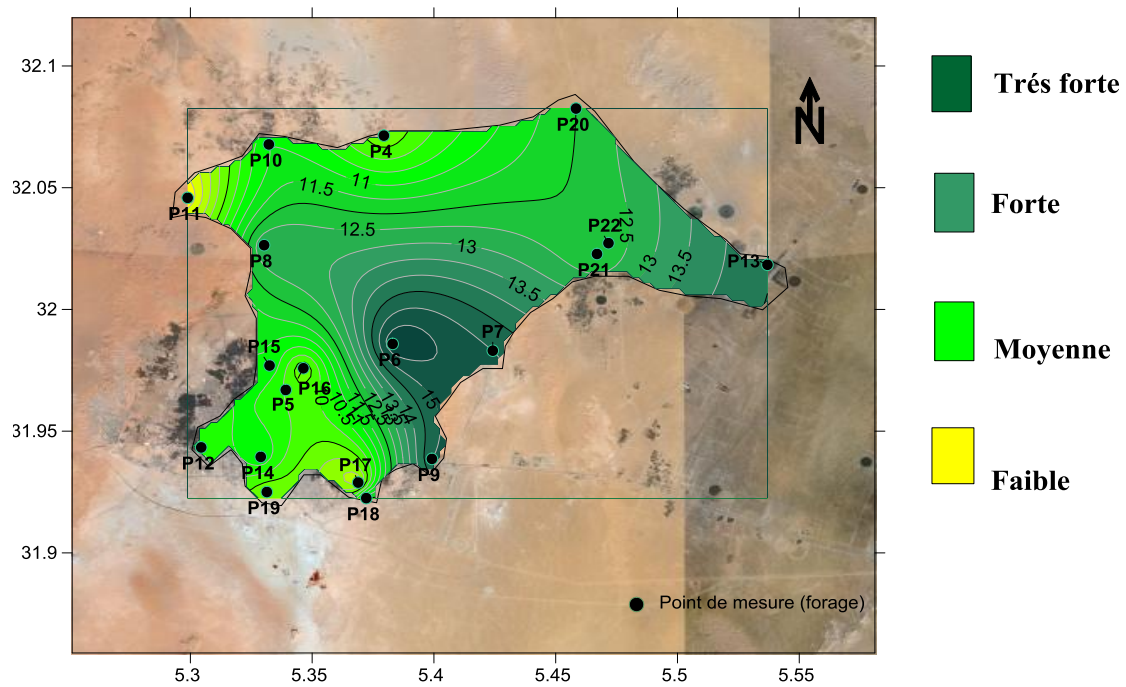


Fig IV.5.25 Evolution Spatiale de degrés de la vulnérabilité a la pollution minérale.

D'après la figure IV.5.25, on peut remarquer que notre région d'étude est représentée par :

- Une région de vulnérabilité faible à la pollution et correspond à P11 (Hassi miloud), P17(Hdab1) et P16(Said Otba2).
- Une région de vulnérabilité moyenne à la pollution qui correspond à P10 (Ouinet Moussa) et P4 (Oum Raneb).
- Une région à forte vulnérabilité à la pollution qui correspond à P13 (Nakhil).
- Une région très forte vulnérabilité à la pollution qui correspond à (P6, P7) Sidi khouiled, (P9) Ain baida.

On pense que cette grande vulnérabilité à la pollution de la région de Sidi Khouiled est du à l'utilisation excessive des fertilisations et des engrais en agriculture, ainsi que la contamination des eaux d'irrigation (région a vocation agricole).

**NB:** la carte de la vulnérabilité a la pollution est d une grande importance pour le lutter contre cette pollution minérale.

# *Conclusion*

### Conclusion

Dans la région de Ouargla , la pollution des eaux souterraines est le principal sujet qui inquiète les habitants et les autorités. Ce travail consiste à étudier les causes de la pollution minérale des eaux souterraines.

Les différentes analyses effectuées sur des échantillons d'eau souterraine d'une nappe complexe terminale pris au niveau des forages de l'ADE.

Le suivi des paramètres physico-chimiques a permis de détecter une évolution temporaire par une variation des concentrations de tous les éléments majeur .cette étude hydro chimique est basée sur l'analyse physico-chimique de 18 échantillons pris essentiellement des forages de la cuvette de Ouargla.

D'après les analyses des eaux souterraines nous avons traité la vulnérabilité des eaux de la cuvette à la pollution, la carte d'évolution de l'indice de pollution minérale est d'une importance capitale pour la protection contre la pollution

- Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux.
- Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium.
- Tous les résultats des paramètres de pollution organique ont été traités à l'aide d'un logiciel spécifique (surfer 12).
- Nous trouvons après ce travail que la pollution des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla engendrée par de la formation géologique des roches (pollution naturel).

L'utilisation de logiciel SURFER12 nous a permis d'établir des cartes qui vont nous permettre d'avoir des informations sur l'évolution et la dégradation de la pollution minérale, et ont mis en évidence les sites les plus vulnérable à la pollution.

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 doit que chacun d'entre nous 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.



# **BIBLIOGRAPHIE**

## EIHPARGOILBIB

- [01] **BOUCHEMAL F.1, ACHOUR S.** qualite physico-chimique et parametres de pollution des eaux souterraines de la region de biskra ; Université de Biskra, BP 145, RP, 07000, Biskra, Algérie.
- [02] Canadian Broadcasting Corporation, September 2004, Annual Checkup
- [03] [www.algeriantourism.com](http://www.algeriantourism.com)
- [04] [www.présentation-delawilaya-d'ouargla.com](http://www.présentation-delawilaya-d'ouargla.com)
- [05] **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).
- [06] **I. Nezli**, Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (OUARGLA), Thèse de Doctorat, Université Mohamed Kheider Biskra, 2009, P7, P27.
- [07] **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, P (14, 22, 24).
- [08] **S. Bencheikeh et M.Goudjil**, La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla Sud-Est Algérien, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011, P (16, 19, 24, 25).
- [09] **Y. Bakhaled**, etude de comportement minéreaux dans les eaux souterraines (cas des eaux potables ) à la cuvette d'ouargla UKMO, 2011, P8.
- [10] **Frédéc, Hoffmann Teddy Aulg et Anna** , Marie Meyer, L'eau, P5, Coll.les petits vocabulaires de géographies.

- [11] **N. Chaouch** , Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées, Thèse de Doctorat, UNIVERSITE HADJ LAKHDAR – BATNA,2014,( P5,P6).
- [12] **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 de KM Ouargla, 2014.
- [13] **C. Alleau**, La vapeur d’eau, Lycée Pilote Innovan international,P2.
- [14] M. Carmelle, Cours de Biophysique Moléculaire, Université d’Etat d’Haiti.
- [15] <http://water.usgs.gov/edu/watercyclefrench.html>
- [16] **www. ProfesseurPhix.net** .
- [17] **D. Myrand et all**, Guide technique, Captage d’eau souterraine pour des résidences isolées, 2008, P4.
- [18] [www.safewater.org](http://www.safewater.org)
- [19] [www.lesagencesl'eau.fr](http://www.lesagencesl'eau.fr)
- [20] **M. Bouzaini**, L’eau de la pénurie maladies , Ibn-khaldoun , Oran , 247 p
- [21] **P. Clément**, Synthèse des connaissances sur l’origine et la disponibilité du cadmium dans les eaux continentales, Synthèse documentaire, 2011, P (6, 7).
- [22] **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, P (4, 5)
- [23] **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.

[24] **S. ARRIS**, Etude Expérimentale de l'Élimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales, Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2008, P5.

[25] **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).

[26] **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).

[27] **M. Bennana**, Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi ben Abdellah, Mémoire de Master, Université Kasdi Marbah Ouargla, 2013, P (6, 7).

[28] **Drire**, Prévention de la pollution industrielle de l'eau dans les Pays de la Loire, guide, Analyse et connaissance, numéro 40, 2012, P41.

[29] **M. Haddou**, Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse, Thèse de doctorat, Université De Toulouse, 2010, P14.

[30] **J. Henri**, La pollution des eaux souterraines, Actes du Colloque de Moscou, 1971.

[31] **M. Chouki**, Evolution spatio-temporelle et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de ouargla., Thèse de doctorat, 2016.

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

[33] **Jean RODIER** : L'analyse de l'eau, Paris, 1984.

[34] **HAMDIAISSA Belhadj** (2000). Évaluation de l'état de surface de la cuvette d'Ouargla par les images satellites. Revue SE CHERSSE, 12p.

[35] **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 de K M Ouargla, 2010.

[36] **V.ALEXEEV** : Analyses quantitative, édition Mir .Moscour ,1980

**Annexe**

## **Annexe :**

### **Méthode d'analyse chimique**

#### **Méthode électrochimique**

Cette méthode est surtout utilisée pour des mesures précises. Elle est également appliquée dans de cas particuliers comme par exemple la mesure de pH des eaux très douces, des eaux contenant des protéines.

#### **La température**

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux souterraine ou superficielles.

La mesure de la température de l'eau et même de l'air sur le lieu du prélèvement de l'échantillon est une partie de l'analyse des eaux, car de cette température dépend la solubilité de gaz et les vitesses des réactions dans l'eau.

#### **Le pH (Potentiel hydrogène)**

C'est une échelle logarithmique qui varie de 0 à 14 et qui traduit l'acidité ou l'alcalinité d'une solution, la neutralité étant à ph 7.

Le ph des eaux naturelles varie entre 6,5 et 8,2 en moyenne .Les solutions de bases fortes comme la soude on un pH variant entre 12 (à 0,4 g /l) et 14 (à 40g/l).

Le pH est un des paramètres importants influençant la tendance entartrant ou agressive d'une eau naturelle : d'une manière générale une baisse du Ph favorisera la tendance agressive et une élévation du pH, le caractère entartrant. [35]

#### **Principe :**

Le Ph est en relation avec la concentration des ions hydrogène  $[H^+]$  présent dans l'eau ou les solutions.

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ .

## Réactifs :

- Tampon PH = 7
- Tampon PH = 4
- Tampon PH=9



**Figure. PH mètre avec l'électrode de verre**

## Mode opératoire :

### 1) Etalonnage de l'appareil :

- Allumer le pH Mètre.
- Prendre dans un petit bêcher, la solution tampon pH = 4
- Touche sur Read attendre quelque temps pour lire
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH = 7
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonné de la même manière avec les solutions tampon pH = 9.
- Le PH mètre il afficher la valeur de la ponte
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée. [34]

### 2) Dosage de l'échantillon :

- Prendre environ  $\approx 100$  ml d'eau à analyser.
- Rincer l'électrode dans l'échantillon on lie le pH avec une simple touche sur READ

## La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1 \text{ cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. [34]



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. [35]

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

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



**Fig.- Conductimètre**

**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  $\text{cm}^2$  et **l** sa longueur

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

La conductivité électrique en S/cm est :

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

$\frac{1}{S}$  Est appelé constante de l'élément de mesure

### **Mode opératoire :**

On rince l'électrode dans la solution de calibration. On tape 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 [34]

### **La salinité :**

Il n'existe pas une mais plusieurs définitions de la salinité : une définition purement théorique et plusieurs définitions pratiques, liées aux méthodes de mesure.

La salinité est la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1Kg d'eau.

Unité : la salinité est exprimée en ‰ ou en g/Kg ou en psu (practical salinity unit). [35]

### **Le TDS (sels totaux dissous)**

Principe : Le TDS exprime la minéralisation totale en sel dissout

$$\text{TDS} = \sum \text{Anion} + \sum \text{Cations} \text{ (mg/l)} \text{ [35]}$$

### **La turbidité :**

La turbidité de l'eau c'est-à-dire sa transparence, est un facteur prépondérant pour la consommation de l'eau (réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute).

Elle doit être contrôlée :

- Pour permettre une désinfection efficace de l'eau ;
- Pour enlever tous les polluants adsorbés par les solides en suspension tels que les métaux lourds ;



**Fig Turbidimètre**

**Principe :**

Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de formazine.

La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'œil nu (par exemple les eaux de boisson).

La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas.

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

**Appareillage :** HACH 2100N

**Mode opératoire :**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

**Expression des résultats :**

La mesure est obtenue directement en NTU.

Une calibration se fait par payer par CAL et entre  $S_0$ , (0.1NTU), après 1m, et entre  $S_1$  (20 NTU), on fait leur entre un par un jusqu'à la fin de l'opération.

## Méthode gravimétrique

En général, la teneur en élément (ion) à déterminer de la substance à étudier est définie au cours de l'analyse gravimétrique par le poids du précipité obtenu après précipitation de cet élément (ion) sous forme d'une combinaison difficilement soluble.

D'autres méthodes que celle de précipitation est également utilisée ainsi la méthode de distillation par chauffage ou calcination du corps est souvent appliquée pour déterminer les composants volatils ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , etc. ....). [36]

## Résidu sec

### Principe :

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes.

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

### Matériel :

Capsule en porcelaine.

Balance analytique.

Etuve réglable.

### Mode opératoire

- ✓ Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- ✓ Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule.
- ✓ Porter cette dernière à l'étuve à  $105^\circ C$  pendant 24 heures.
- ✓ Laisser refroidir pendant  $\frac{1}{4}$  d'heure au dessiccateur.
- ✓ Peser immédiatement et rapidement.

### Expression des résultats :

Les résultats sont donnés en mg/l

D'où PP: est le poids plein de la capsule.

PV: est le poids vide de la capsule.



## Méthode volumétrique

L'analyse volumétrique possède un grand avantage par rapport à l'analyse gravimétrique en ce qui concerne la rapidité d'exécution, l'accélération du dosage est obtenue dans ce cas parce qu'au lieu de peser le produit de la réaction, on mesure le volume de la solution de réactif utilisé, dont la concentration (ou, comme on dit, le titre) nous est exactement connue. [35]

### **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 %. [35]

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.

**Tab. la dureté de l'eau [35]**

<b>TH</b>	<b>Qualité de l'eau</b>
<b>0- 5</b>	<b>Eau très douce</b>
<b>5- 15</b>	<b>Eau douce</b>
<b>15- 25</b>	<b>Eau moyennement dure</b>
<b>25- 35</b>	<b>Eau dure</b>
<b>&gt; 35</b>	<b>Eau très dure</b>

**Tab. Les différents types de dureté [35]**

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

#### **Détermination de la dureté totale**

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

#### **Détermination de dureté calcique :**

#### **Principe :**

Le Ph est rendu supérieur à 10 par une solution d'hydroxyde de sodium. Dans ces conditions, l'indicateur de fin réaction, l'acide calcone carboxylique (HSN), forme un complexe avec les ions calcium de coloration rouge. Au fur et à mesure de L'EDTA, les ions calcium se séparent du complexe avec l'indicateur pour se complexer avec L'EDTA. La fin de réaction, lorsque tout le calcium est complexé avec L'EDTA, est visualisée devenu libre, de couleur bleu clair.

#### **Réactifs :**

- Solution de NaOH à 2mole/l.

-Solution de L'EDTA à 10mmole/l.

-Acide calcane carboxylique (HSN) indicateur.[35]

### **Détermination de l'alcalinité totale et composite (TAC, TA)**

L'alcalinité est causée par un nombre de différents ions mais elle est toujours liée à la présence des bicarbonates ; carbonates et hydroxydes.

#### **Principe :**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de Ph 8,1 et 4,5 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 :**

- Acide chlorhydrique.
- Solution hydroxyde de sodium à 0.02 mol /l.
- Indicateur méthyle orange.

#### **Appareillage :**

- PH-mètre

Une burette automatique. [35]

### **Dosage des chlorures (Cl)**

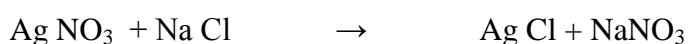
Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation à travers des terrains salés.
- Infiltration d'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. [32]

**Mode opératoire :**

On prendra trois fioles :

- 100 ml de l'eau distillé (blanc)
- 90 de l'eau distillé + 10 ml de NaCl (titre)
- 25 ml de l'eau à analyser complète à 100 ml de l'eau distillé (l'échantillon)
- Ajouter 1 ml dans chaque fiole de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (coloration jaunâtre).
- Titrer avec  $\text{AgNO}_3$  à 0.0282 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

**Expression des résultats :**

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

$V_a$  : Volume d' $\text{AgNO}_3$  nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

$V_s$  : Volume d' $\text{AgNO}_3$  nécessaire pour le dosage de titre

$V_b$  : Volume d' $\text{AgNO}_3$  nécessaire pour dosage le blanc

D : Facteur de dilutions.

F : Facteur de correction du titre d' $\text{AgNO}_3 = 35453 \cdot 10^3$

C: Concentration réel d' $\text{AgNO}_3$

**Détermination de  $\text{HCO}_3^-$  :**

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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) à N/50
- ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) à N/50 (0.5ml de ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 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  $H_2SO_4$  jusqu' au virage rouge brique

### Expression des résultats :

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

$V_a$ : volume de  $H_2SO_4$  pour titrer l'eau a analyse

$V_b$ : volume de  $H_2SO_4$  pour titrer blanc

T : (10/ volume de  $H_2SO_4$  pour titré le titre)

D : facteur de dilution

$$1F^\circ = 10 \text{ mg/l de } CaCO_3$$

$$\text{La concentration de } HCO_3^- = TAC * 12.2$$

### Détermination de $Ca^{+2}$ et $Mg^{+2}$

#### Principe :

Titration molaire des ions de calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide

(EDTA) à pH10. Le noir érichrome, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. [32]

#### 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 calcane carboxylique +100 g de Nacl
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N
- NaOH (pastilles) 80g
- Solution tampon ( $NH_4Cl$ ) pH = 10,1
- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- $NH_4OH$  (25%) 570 ml
- Sel disodique de magnésium E.D.T.A
- Noir eriochrome 0.5 g
- éthanol 25 ml
- Solution étalon de référence ( $CaCO_3$ )=0.01mol/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:

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

$V_1$  : 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.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

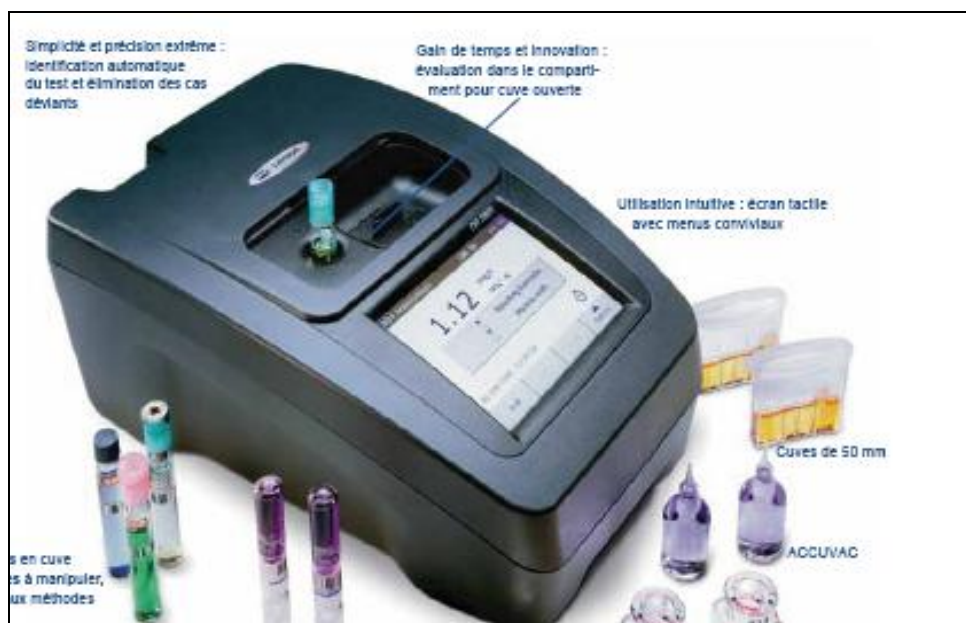
$$\text{Donc mg/Mg}^{+2} = (V_2 - V_1) * 0.001 * F * 24.3 * 1000 / 50$$

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

### Méthode Spectrophotométrique :

**Appareil utilise :** Spectrophotomètre UV-VIS : HACH (ODYSSEY) DR / 2500

C'est une appareil qui fonction avec la loi de berlambér on a deux programme : programme HACH et programme utilisateur ce dernier on a prépare une gamme des étanologie (absorption moléculaire) des étalonne avec des concentrations donne et on trouve leur absorbons.



**Spectrophotomètre UV-VIS : HACH (ODYSSEY) DR / 250**

**Dosage de sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

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

Le cycle du soufre débute par décomposition des divers déchets organiques par des bactéries hétérotrophes qui libèrent en dernier lieu dehydrogène sulfuré à partir des protéines restituées au sol