

UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA

Faculté des Sciences et de la Technologie et Sciences de la matière

Département de Génie des Procédés



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine Sciences et Techniques

Filière Génie des Procédés

Spécialité Génie de l'environnement

Présenté Par : MEROUANI Mahdi et BOUGUEDAH Abd el Baki

Thème

**Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à
la pollution des eaux Souterraines
de la cuvette de Ouargla**

Soutenu publiquement

Le : 15/06/2013

Devant le jury :

Mlle : CHAOUCH Noura

MAA UKM Ouargla

Présidente

M : SIBOUKER Hicham

MAB UKM Ouargla

Examineur

M : CHAOUKI Mourad

MAA UKM Ouargla

Encadreur

Année Universitaire : 2012 /2013

Dédicace

A ma chère famille du petit au grand

*A mes amis « Abd Allah, Abd El Baki, Amar, Amine, Hamza,
Hichem, Karim, Mahdi, Marou, Marzouk, Mouha, Okba,
Sofien ... »*

Et à toutes mes amies de l'université de Ouargla .

Je dédie ce modeste travail

Mahdi



Dédicace

A ma chère famille du petit au grand

*A mes amis « Abd Allah, Amine, Hichem, Karim, Mahdi,
Marzouk, Mouha, Okba ... »*

Et à toutes mes amies de l'université de Ouargla .

Je dédie ce modeste travail

Abd El Baki,



TABLEAU DE MATIERES

Introduction générale 01

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : CONTEXTE GENERALE DE LA REGION D'ETUDE

I.1. Situation géographique 02

I.2. Climatologie 03

 I.2.1. La température 03

 I.2.2. La pluviométrie 04

 I.2.3. Les gelées 04

 I.2.4. L'insolation 04

 I.2.5. Le vent 05

 I.2.6. L'évaporation 06

 I.2.7. L'humidité 06

I.3. Hydrogéologie 07

 I.3.3. La nappe phréatique 07

 I.3.1. La nappe du complexe terminal (CT) 08

I.3.1.1. La nappe mio-pliocène 08

I.3.1.2. La nappe du sénonien 08

 I.3.2. La nappe du continental intercalaire (CI) 08

I.4. L'hydrographie 09

 I.4.1. Oued N'sa 09

 I.4.2. Oued M'zab 09

CHAPITRE II : GENERALITE SUR L'EAU

II.1. Cycle de l'eau dans la nature 10

II.2. Ressources hydriques naturelles 11

 II.2.1. Eaux superficielles 11

 II.2.2. Eaux souterraines 11

II.2.2.1. Différents types de nappes 12

 II.2.2.1.1. Nappe active (ou nappe libre) 12

 II.2.2.1.2. Nappe captive 12

II.3. Structure de l'eau	14
II.3.1. Les états de l'eau	14
II.4. Propriétés Physiques	14
II.4.1. Masse volumique	14
II.4.2. Propriétés thermiques	14
II.4.3. Viscosité	15
II.4.4. Tension superficielle	15
II.4.5. Permittivité relative	15
II.4.6. Propriétés électriques	15
II.4.7. Propriétés optiques	15
II.5. Propriétés Chimiques	16
II.5.1. Auto-dissociation de l'eau	16
II.5.2. L'hydrophilisation	16
II.5.3. L'ionisation	16
II.5.4. L'oxydo-Réduction	16
II.6. Propriétés bactériologiques de l'eau	16

CHAPITRE III : LA POLLUTION DES EAUX

III.1. Définition	17
III.2. Types de pollution	17
III.2.1. La pollution ponctuelle	17
III.2.2. La pollution diffuse	17
III.3. Sources de la pollution	17
III.4. Les principaux polluants des eaux	17
III.4.1. Les matières en suspension	17
III.4.2. La pollution organique	17
III.4.3. Les matières fertilisantes	18
III.4.4. Les polluants métalliques et les polluants chimiques persistants	18
III.4.5. Les sels minéraux	18
III.4.6. La pollution microbiologique	18
III.5. Conséquences de la pollution	18
III.6. Généralité sur la pollution des eaux souterraines	19

III.6.1. Propriétés physiques et chimiques	19
III.7. Classement des eaux souterraines selon leur origine	20
III.8. Caractéristiques des eaux souterraines	21
III.9. Contamination des eaux souterraines.....	21
III.10. Facteur liés à la nature du sol et du sous-sol	22
III.10.1. Les milieux traversés	22
III.10.1.1. Le sol	22
III.10.1.2. Le sous-sol	22
III.11. Principaux types de milieux souterrains	23
III.11.1. La zone non saturée :	23
III.11.2. La zone saturée :	23

DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Echantillonnage.....	24
IV.2. Mode de prélèvement	25
IV.3. Conservation des échantillons	25
IV.4. Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau	25
IV.5. Résultats et discussions	26
IV.5.1. Interprétation des résultats	26
IV.5.1.1. Résultats des mesures et des analyses chimiques de l'eau	26
<i>Les paramètres physico-chimiques</i>	26
<i>Minéralisation Globale</i>	29
<i>Paramètres de pollution organique</i>	34
IV.6. Méthode de calcul d'IPM (Indice de pollution minérale)	35
IV.7. La vulnérabilité des eaux de la cuvette d'Ouargla à la pollution minérale.....	35
Conclusion générale.....	37
Références bibliographiques	
Annexe	

LISTE DES TABLEAUX

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau.II.01: Les principales différences entre les eaux de Surface et les eaux Souterraines 13

DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE

Tableau.IV.02:La classification de la pollution minérale35

Tableau IV.03. Évolution de IPM dans la région d'étude.....36

LISTE DES FIGURES

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure.I.01: Carte de Ouargla	02
Figure.I.02 : Les températures moyennes mensuelles	04
Figure.I.03 : Les pluviométries moyennes mensuelles.....	04
Figure.I.04 : Insolations moyenne mensuelle.....	05
Figure.I.05 : Les vitesses moyennes mensuelles de vents	05
Figure.I.06 : Evaporation mensuelle.....	06
Figure.I.07 : Humidité moyenne mensuelle.....	07
Figure.II.08: Cycle de l'eau dans la nature.....	10
Figure.III.09: Relation entre le sol,sous-sol, zone non saturée.....	23

DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE

Figure.IV.10 : Schéma des processus d'analyse physico-chimique	25
Figure.IV.11 : Variation du pH au niveau de la cuvette d'Ouargla.....	27
Figure.IV.12 : Variation de la conductivité au niveau de la cuvette d'Ouargla	27
Figure.IV.13 : Variation du résidu sec au niveau de la cuvette d'Ouargla.....	28
Figure.IV.14 : Variation du Ca^{+2} au niveau de la cuvette d'Ouargla.	29
Figure.IV.15 : Variation du Mg^{+2} au niveau de la cuvette d'Ouargla.....	30
Figure.IV.16 : Variation du Na^{+} au niveau de la cuvette d'Ouargla.....	30
Figure.IV.17 : Variation du K^{+} au niveau de la cuvette d'Ouargla.....	31
Figure.IV.18 : Variation du Cl^{-} au niveau de la cuvette d'Ouargla	32
Figure.IV.19 : Variation du SO_4^{2-} au niveau de la cuvette d'Ouargla	32
Figure.IV.20 : Variation du HCO_3^{-} au niveau de la cuvette d'Ouargla	33
Figure.IV.21 : Variation du NO_3^{-} au niveau de la cuvette d'Ouargla	34

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Par son rôle d'interface vitale entre la biosphère, l'homme et l'environnement, et de son caractère pratiquement non renouvelable à l'échelle des générations humaine, l'eau constitue un patrimoine dont la gestion durable doit s'imposer comme une préoccupation essentielle.

Les activités humaines sont à l'origine d'une contamination des eaux souterraines. L'estimation des émissions en polluant et leur répartition dans les eaux a fait l'objet des différentes études récentes.

Le choix de ce projet consiste à étudier la pollution chimique des eaux souterraines de la région d'Ouargla, Sud – Est Algérien. Cette région faisant état de contamination des eaux souterraines par les polluants anthropique anarchique et naturelles, la région est soumise à un degré de vulnérabilité assez important, encouragé par les rejets des eaux usée. Ces facteurs exposent les eaux souterraines à une pollution sévère.

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

Etude Bibliographique :

- ✓ un premier chapitre : Contexte générale de la région d'étude.
- ✓ un deuxième chapitre : Généralité sur l'eau.
- ✓ un troisième chapitre : la pollution des eaux.

Partie Pratique :

- ✓ un quatrième chapitre : résultats et discussions.
- Et enfin une conclusion.

I.1 Situation géographique:

Notre zone d'étude est la ville de Ouargla, capitale la plus importante des dix Wilayas du Sahara algérien économiquement (gisements pétrolier, ressources en eaux souterraines) l'eau étant le facteur limitant majeur de la mise en valeur des terres au Sahara. Elle est située au SUD- EST de l'Algérie. (Figure.I.01)

L'oasis de Ouargla est considérée comme l'une des plus grande oasis du Sahara algérien, elle occupe le centre d'une cuvette endoréique appelée (cuvette de Ouargla).s'étend sur une superficie de 99 000 hectare.

Ces coordonnées géographiques sont:

- ✓ Altitude moyenne : 157 m
- ✓ 32° de l'attitude Nord
- ✓ 5°20' de Longitude Ouest [1]

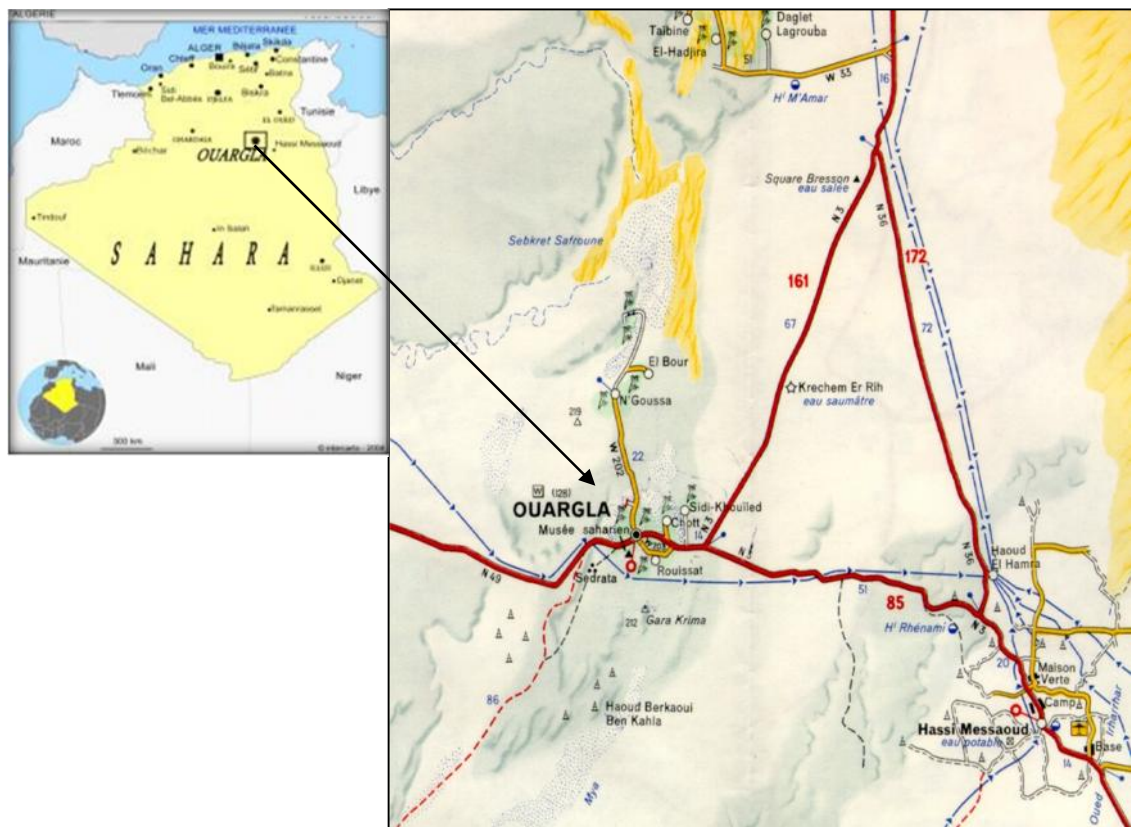


Figure.I.01. carte de Ouargla

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

* **A l'Ouest:** Un plateau calcaireux surplombe la cuvette d'Ouargla à environ 230m d'Altitude en confluence avec Oued Mzab et Oued N'sa.

* **A l'Est:** On constate un plateau, dont les limites ne sont pas nettes, avec une altitude ne dépassant pas 160 m. les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous les sables (Erg Touil, Erg Boukhezana).

* **Au Sud:** un massif dunaire recouvre les ruines de Sedrata, son altitude dépasse 155 m.

* **Au Nord:** Zabret Bouaroua constitue au même temps la limite supérieure de Sebket Safioune et de la grande cuvette d'Ouargla. [2]

.2. Climatologie :

Le climat de la région d'Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydro chimique car ils ont une influence sur le comportement des sols et sous-sols.

Pour cette étude, les séries des données, qui sont à base de la détermination de différents paramètres climatique, ont été enregistrées à la station météorologique d'Ouargla. [1][3]

.2.1. La température :

C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région, la température moyenne annuelle est de 23,03°C; avec 35,9°C pour le mois le plus chaud (Juillet).et 12.02 °C pour le mois le plus froid (Janvier).

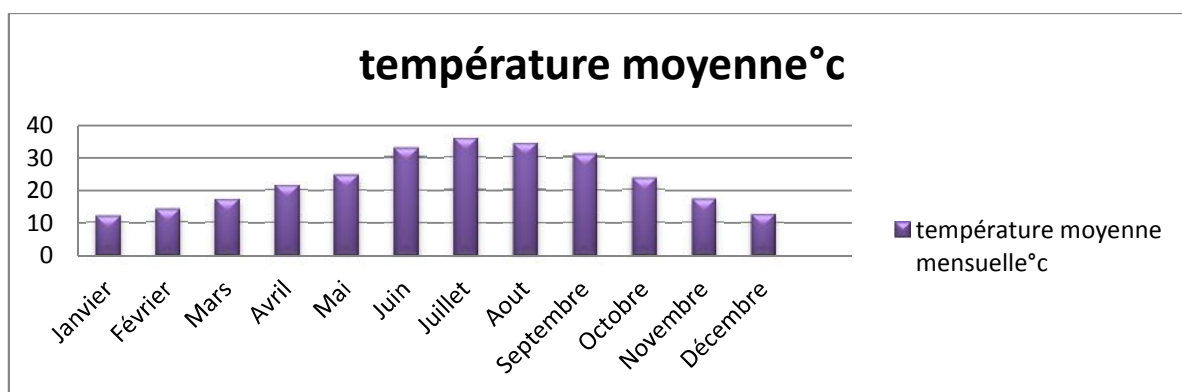


Figure.I.02. La température moyenne mensuelle (Station d'Ouargla ,1990-2007).

.2.2. La pluviométrie :

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien, les valeurs moyennes annuelles enregistrées depuis 1990 jusqu'à 2007 varient de 5 à 117 mm, ce qui explique l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre. Durant cette période, la valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de 35 mm/an.

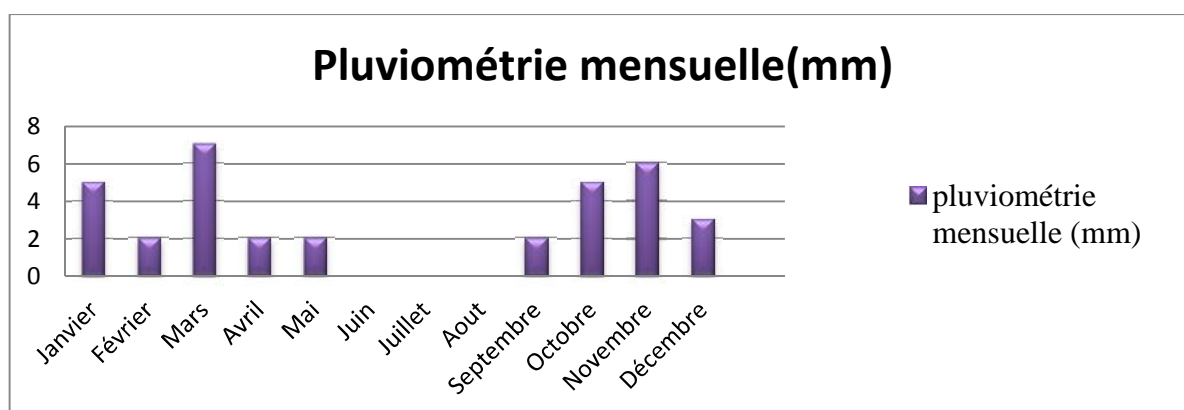


Figure.I.03. Pluviométrie mensuelle (Station d'Ouargla ,1990-2007)

On remarque une grande irrégularité de la pluie, faible pendant l'Hiver et presque nulle en été

I.2.3. Les gelées :

Les gelés sont rares avec un maximum de 5,3 jours par an. [3]

.2.4. L'insolation :

Il s'agit de l'insolation effective c'est -à-dire de la période en heures durant laquelle le soleil à briller.

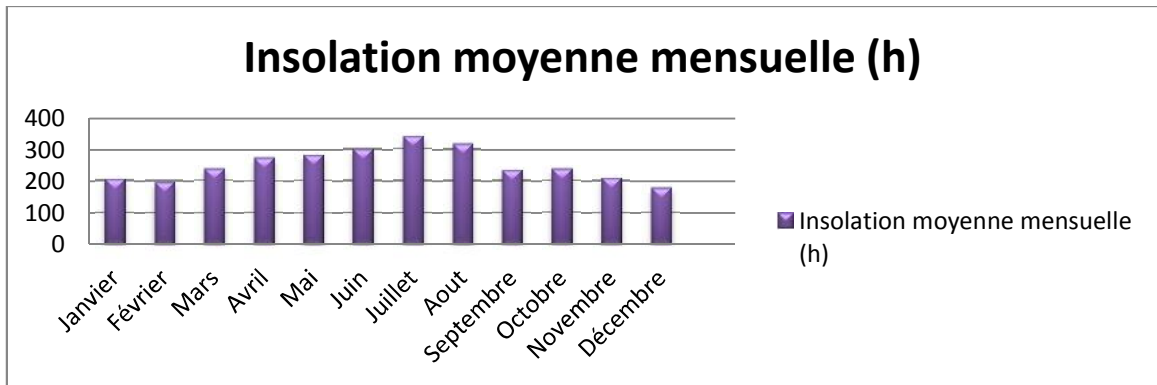


Figure.I.04. Insolation moyenne mensuelle (Station d’Ouargla, 1990-2007)

On n’estime que la durée moyenne d’ensoleillement journalière est supérieur à 8 h/j, elle peut dépasser légèrement 12 h/j en été tandis qu'elle ne dépasse pas 8 h en Hiver, alors que l’insolation mensuelle, la plus grande, correspondant au mois les plus chauds "Juin-Août". Le minimum en Novembre à Février correspondant à une durée d’ensoleillement plus basse de 176 h.

D'une manière générale, la durée moyenne est de l'ordre de 3008 h/an,

.2.5. Le vent :

Nous pouvons dire que le vent c'est le paramètre climatique le plus régulier dans la région de Ouargla. Il est déterminé par sa direction et sa vitesse.

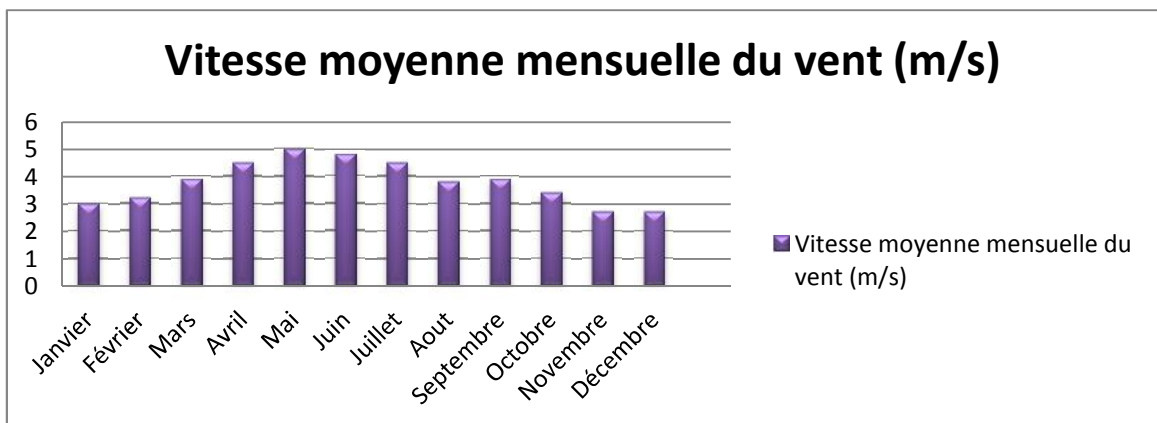


Figure.I.05. Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station d’Ouargla, 1990-2007)

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril à Juillet avec un maximum de 5 m/s en Mai, tandis que le reste des mois on a une vitesse faible (2 m/s).

On peut penser que l'orientation grossièrement N-S de la vallée joue un rôle dans la direction des vents. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3,8 m/s.

.2.6.L'évaporation :

L'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air (on sait par exemple que le linge sèche d'autant plus vite qu'il fait plus chaud et qu'il y a davantage de vent). Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur, à l'atmosphère et sous des conditions climatiques et physiographiques. [1]

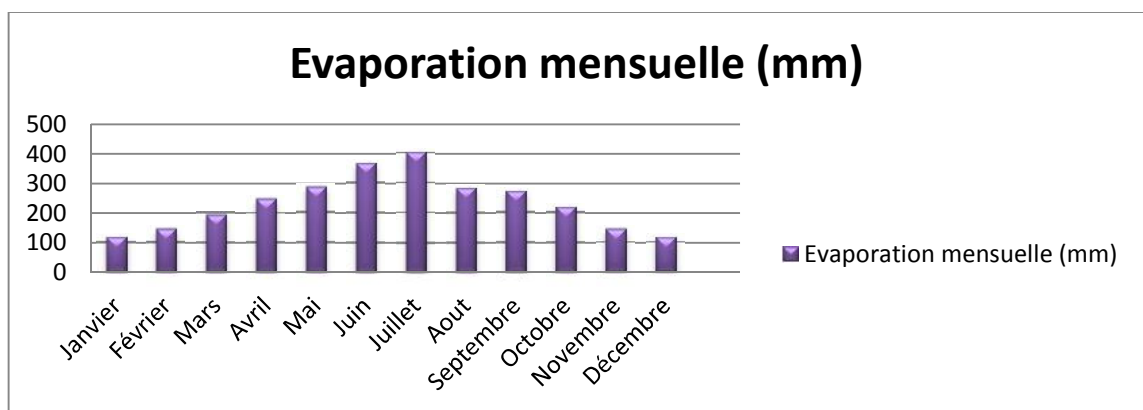


Figure.I.06. Evaporation mensuelle (Station d'Ouargla 1990-2007)

L'évaporation atteinte des valeurs très importantes, cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air et des vents desséchants au mois de Juillet, elle atteint 403 mm, ce qui correspond à 13 mm par jour environ pour une moyenne annuelle de 204.33mm.

.2.7.L'humidité :

Le degré hydrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

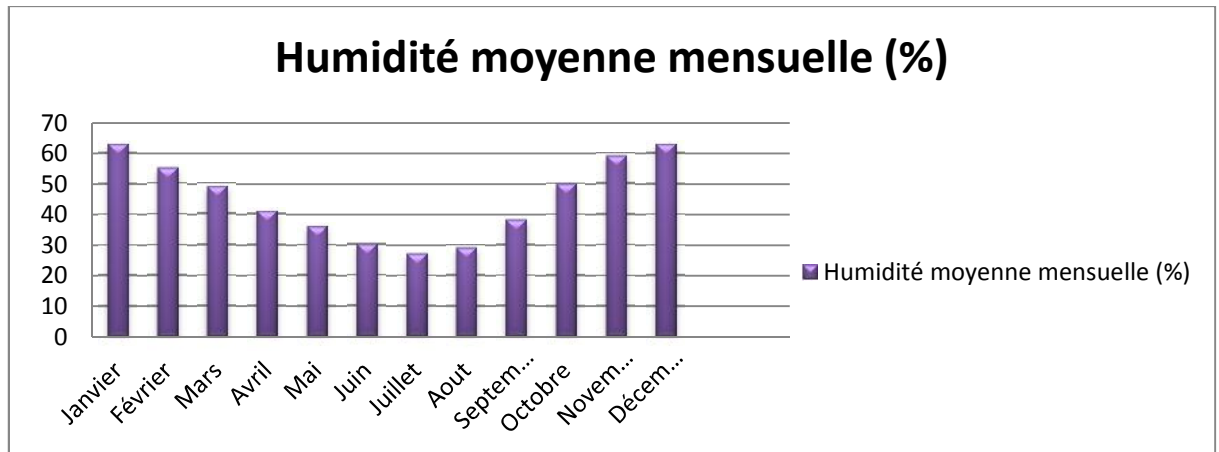


Figure.I.07. Humidité moyenne mensuelle (Station d'Ouargla, 1990-2007)

L'air à Ouargla est très sec. L'humidité moyenne annuelle est de 45 %. Le taux d'humidité varie d'une saison à une autre. Le maximum d'humidité étant de 63% pour les mois de Décembre et Janvier, tandis que le minimum est de 27 % au mois de Juillet.

I.3. Hydrogéologie:

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye.

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

I.3.1. La nappe phréatique:

La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. En plus des logs des piézomètres effectués par L'entreprise nationale géophysique (ENAGEO), ont permis de relever la présence de trois classes de profils géologiques :

- ✓ **Classe A** : C'est la classe la plus répandue, elle représente 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 de 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. [1]

I.3.2. La nappe du complexe terminal (CT) :

D'une superficie de 350 000 km² et d'une réserve de 1736,38 hm³ /an. Elle regroupe les nappes du mio-pliocène et la nappe du sénonien.

Les eaux de cette nappe sont du type chlorurésodique dont la température varie de 23 à 30°C, le pH de 8,5 à 9,5 et le résidu sec de 1,5 à 8 g/l.

I.3.2.1. La nappe mio-pliocène :

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

I.3.2.2. La nappe du sénonien :

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

I.3.3. La nappe du continental intercalaire (CI) :

D'une superficie de 800 000 km² et d'une réserve de 627,30 hm³ /an. Il s'agit de la nappe albienne. Les eaux de cette nappe, sont du type sulfaté-sodique dont la température varie de 51°C à 66°C, le pH de 7,7 à 8,8 et le résidu sec de 1,5 à 2,4 g/l. En rencontre cet aquifère a des profondeurs allant de 1000 à 1500 m. [1]

I.4. L'hydrographie:

La région de Ouargla se caractérise par un réseau hydrographique peu significatif. Parmi les Oueds les plus importants on peut citer:

I.4.1. Oued N'sa:

Le bassin du N'sa, présente une superficie de 7800 Km² environ; les limites orientales sont peu précises par suite de la nature géologique de la région. L'artère maîtresse, de 320 Km, de long s'étend part de la région de Tilrempt, vers 750 m d'altitude, à Sebkhet Safioune, au N d'Ouargla.

I.4.2. Oued M'zab:

La superficie du bassin du M'zab est de 5000 Km² environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. Limitée à Ghardaïa, point le plus bas généralement atteint par les crues, cette superficie se réduit à 1500 Km². L'Oued Mzab coule sensiblement d'Ouest en Est sur 320 Km de la région de Bohna Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El Abiod), jus qu'a Sebkhet Safioune. [4]

Introduction :

La terre est l'unique planète du système solaire, dont la surface est recouverte de grandes quantité d'eau à l'état liquide environ 70 % .L'eau existe dans les trois états, liquide, solide et gaz. [5]

L'eau est indispensable à la vie, elle constitue 70% du poids du corps humain et est utilisée pour de nombreux usages essentiels : les boissons, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, les loisirs, la fabrication dans l'industrie, l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail.

II.1. Cycle de l'eau dans la nature :

Sous l'effet du soleil, l'eau des océans s'évapore et monte dans l'atmosphère, à raison de $1000 \text{ km}^3/\text{jour}$, l'action du froid rencontré à haute altitude condense cette eau; les nuages ainsi formés se transforment en pluie, neige rosé ou gelés; une fois arrivées sur terre. 60 % de cette eau s'évaporent à nouveau. 15 % ruissellent et rejoignent les cours d'eau, les mers et les océans alors que 25 % s'infiltrent et alimentent les nappes souterraines.(Figure.II.08) [6]

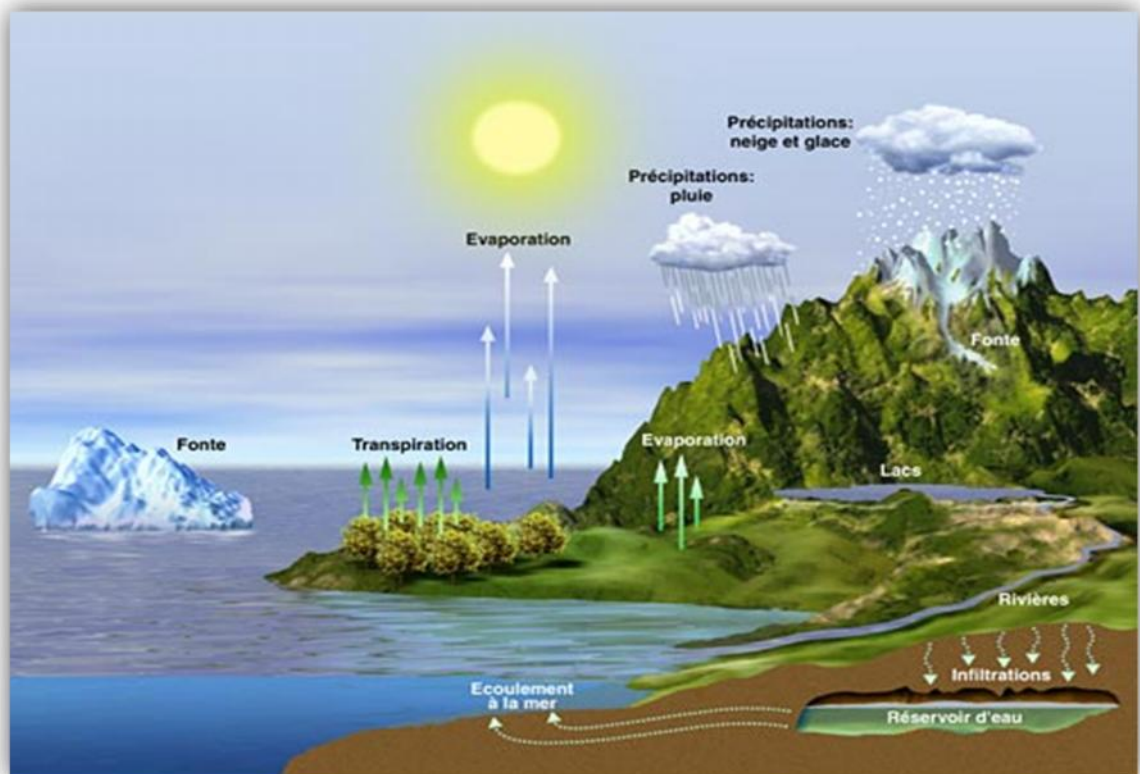


Figure.II.08: Cycle de l'eau dans la nature.

II.2. Ressources hydriques naturelles :

L'homme à recours généralement, pour satisfaire ses propres besoins (production d'eau pour la consommation humaine) et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à deux types de ressources naturelles :

- ✓ les eaux superficielles ou de surface (rivières, fleuves et lacs...)
- ✓ les eaux souterraines

L'eau à l'état naturel, superficielle ou souterraine, n'est jamais « pure » ; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle.

Ces éléments peuvent être présents dans l'eau sous les trois états (gaz, solide, liquide), posséder un caractère organique ou minéral et à l'état particulaire à voire des dimensions très variables.

II.2.1. Eaux superficielles :

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents

Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivière.

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable.

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable, la pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable.

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. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous (O_2 , N_2 , CO_2). [1]

II.2.2. Eaux souterraines :

Les eaux qui ne sont ni réévaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrent dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes.

La surface supérieure de la nappe est appelée surface piézométrique. L'altitude de chaque point de cette surface est appelé niveau piézométrique qu'il ne faut pas confondre avec le niveau hydrostatique d'une surface d'eau libre. La forme de la surface piézométrique peut être déterminée par des sondages. Cette forme est fonction du niveau et du débit de l'exutoire ainsi que de la perméabilité du terrain.

La pénétration, la circulation, le séjour de l'eau dans les terrains dépendent à la fois de leur nature, de leur structure élémentaire et des dispositions relatives des diverses couches géologiques. Parmi les paramètres de structure, citons : la répartition granulométrique, la porosité, la perméabilité. [1]

II.2.2.1. Différents types de nappes :

Selon les conditions géologiques, on peut distinguer deux types de nappes.

II.2.2.1.1. Nappe active (ou nappe libre) :

C'est une nappe due à la succession d'une couche imperméable surmontée d'une roche magasin. L'ensemble du dispositif peut être affecté d'une pente plus ou moins forte. La nappe est alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

L'équilibre hydraulique entre pluviométrie et réserve est assuré par le trop-plein qui constitue les sources. Celles-ci apparaissent en des points particuliers dus principalement à la topographie de la couche imperméable. Le niveau supérieur de la nappe piézométrique s'établit uniquement en fonction de la perméabilité du terrain à travers lequel pénètre l'eau d'infiltration.

II.2.2.1.2. Nappe captive :

Ce type de nappe est dû à l'enfoncement d'une roche-magasin par suite de la pente des couches géologiques. L'eau est enfouie dans le sol depuis des milliers ou des centaines de milliers d'années. Ces nappes sont exploitées par des forages profonds jusque 600 et même 1000 m. Toutefois, une nappe captive peut être alimentée en certains points là où le terrain aquifère affleure à la surface du sol ou vient se perdre dans une couche perméable. [1][7]

Tableau.II.01: Les principales différences entre les eaux de Surface et les eaux Souterraines. [8][9]

CARACTÉRISTIQUES	EAUX DE SURFACE	EAUX SOUTERRAINES
Température	Variable suivant saisons.	Relativement constante.
Turbidité, MES	Variable parfois élevée.	Faible ou nulle.
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides.	Liée surtout aux matières en solution (acides humique).
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations.	Sensiblement constante en générale nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fe ²⁺ et Mn ²⁺	Généralement absent, sauf en profondeur des pièces d'eaux en état d'eutrophisation.	Généralement présents.
CO ₂ agressif	Généralement absent.	Souvent présent en grande quantité.
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le lac d'eaux très polluées.	Absent la plupart du temps.
H ₂ S	Généralement présent.	Souvent présent.
NH ₄ ⁺	Présent seulement dans les eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne.
Nitrates, Nitrites	Peu abondant en général.	Teneur souvent élevée.
Silice	Peu abondant en général.	Teneur souvent élevée.
Micropolluant minéraux et organique	Présent dans les eaux de pays développés, mais susceptible de disparaître rapidement après suppression de la source.	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquents.

II.3. Structure de l'eau :

II.3.1. Les états de l'eau :

L'eau est un constituant fondamental de notre environnement. Elle se présente sous différents états : sous forme solide, liquide et gazeuse.

a).L'eau sous forme solide : L'eau est solide quand la température est inférieure à 0 °C. C'est la glace de la banquise au niveau des pôles, celle des glaciers alpins, la neige sur laquelle nous pouvons skier, le givre qui se forme par temps froid sur les arbres en hiver. Les calottes glaciaires et les glaciers représentent 2,1 % de l'eau présente sur la Terre.

b).L'eau sous forme liquide : Les plus grands réservoirs d'eau liquide sont les océans et les mers constitués d'eau salée ; ils représentent 97,2 % de l'eau de la Terre. Les autres réservoirs d'eau liquide sont les lacs, les rivières et les eaux souterraines. Ils sont constitués d'eau douce. Les lacs et les rivières correspondent à 0,01 % de l'eau présente sur Terre et les eaux souterraines à 0,06 % de cette eau.

c).L'eau sous forme de gaz : Dans l'atmosphère, l'eau existe sous forme de gaz. C'est la vapeur d'eau présente dans l'air humide. Elle ne correspond qu'à 0,001 % de l'eau de la Terre.

[10]

II.4. Propriétés physiques :

Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possible entre les molécules d'eau ; il donnera lieu à bien des anomalies physique que nous signalons brièvement. [3]

II.4.1. Masse volumique :

La masse volumique de l'eau dépend de la température, elle admet un maximum de 1000Kg /m³ à 3,98°C ; il est noté que pratiquement le changement de pression n'influe pas sur la masse volumique. [11]

II.4.2. Propriétés thermiques :

✓ *Chaleur massique :*

4,18 Kj /Kg.C° (1Kcal /kg.C°) à 20°C. Elle varie avec la température en présentant un minimum de 4,178KJ/ (kg.k) à 35°C.

✓ *Les chaleurs latentes de transformation :*

Sont pour la fusion de 334Kj/Kg (ou 6,01Kj /mol) à 0°C et pour la vaporisation 2259 Kj /kg (40,657Kj/mol) à la pression normale et à 100°C.

L'importance de la chaleur massique et de la chaleur latente de vaporisation fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur. [8]

✓ **Capacité calorifique :**

La plus grande capacité calorifique de tous les fluides (75,366 J/Kmol à 20°C). [5]

II.4.3. Viscosité :

La viscosité diminue lorsque la température croît par contre elle augmente avec la teneur en sels dissous, quant à sa variation en fonction de la pression elle est si faible que d'habitude on n'en tient pas compte (1,005 mPas.s/°C). [11]

II.4.4. Tension superficielle :

La plus grande tension superficielle de tous les liquide, excepté le mercure (eau /air humide : 72m N/m à 20°C).

Elle est extrêmement élevée ; égale à 73×10^{-3} N/m à 18°C et $52,5 \times 10^{-3}$ N/m à 100°C.

L'addition de sels dissous augment la tension superficielle, les tensioactifs par contre la diminuent.

II.4.5. Permittivité relative :

Elle est particulièrement élevée $\epsilon = 80$ (à 20 °C) par rapport à d'autres liquides. C'est ce qui explique le pouvoir ionisant très important de l'eau. [8]

II.4.6. Propriétés électriques :

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 μ S /m à 20 °C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température.

II.4.7. 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. 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 H^+ et en ions hydroxydes 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 impliquent des matières chargées électriquement.

II.5.2. L'hydrophilisation :

Un même corps présente des solubilités différentes vis-à-vis de divers solvants. Dans l'eau cette dernière dépend de la nature des groupements caractéristiques c'est-à-dire selon qu'il s'agit d'un groupement hydrophile ou hydrophobe. [3]

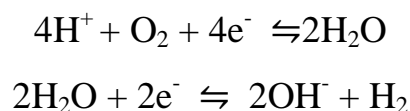
II.5.3. L'ionisation :

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec apparition d'anions et de cations. Le corps dissous appelé électrolyte; favorise le passage du courant électrique.

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. [8]

II.5.4. L'oxydo-Réduction :

L'eau peut participer, suivant les conditions expérimentales, à des réactions d'oxydoréductions comme réaction possible:



-Dans le premier cas, l'eau est donneur d'électrons, (réducteur).

-Dans le deuxième cas l'eau est accepteur d'électrons, (oxydante). [8]

II.6. Propriétés bactériologiques de l'eau :

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. [1]

III.1.Définition :

On appelle pollution de l'eau toute modification défavorable chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants qui consomment cette eau. Quand les êtres humains consomment de l'eau polluée, il y a en général des conséquences sérieuses sur leur santé. La pollution de l'eau peut aussi rendre l'eau inutilisable pour l'usage désiré. [12]

III.2.les sources de la pollution :

On distingue deux sources de pollutions :

III.2.1.La pollution ponctuelle :

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

III.2.2.La pollution diffuse :

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée des sols. Différentes substances sont entraînées vers les nappes et les rivières tel que les hydrocarbures, les métaux lourds, les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces. Elle est difficile à identifier et donc difficile à maîtriser. [6]

III.3.Les types de la pollution :

La pollution chimique : Les pesticides (produits phytosanitaires)

La pollution physique : telle que pollution radioactive.

La pollution biologique : Elle est liée à de micro-organismes (bactéries, virus...)

La pollution thermique : des usines utilisant l'eau comme liquide de refroidissement. [13]

III.4.Les principaux polluants des eaux :

III.4.1.Les matières en suspension :

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

III.4.2.La polluant organique :

Certains rejets contiennent des matières organiques, Ces polluants sont biodégradables : ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ par des micro-organismes (bactéries, algues).

Mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés...). C'est pourquoi l'on mesure souvent la pollution organique par la " demande biologique en oxygène" (DBO), autrement dit la quantité d'oxygène qui sera consommée par des micro-organismes pour sa biodégradation. On mesure également la " demande chimique en oxygène" (DCO), c'est à dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut l'être par voie chimique.

III.4.3. Les matières fertilisantes :

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.

III.4.4. Les polluants métalliques et les polluants chimiques persistants :

Certains polluants chimiques (des pesticides par exemple) sont particulièrement persistants : ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, cuivre, zinc, nickel, chrome...), ils forment une famille de polluants très dangereux : absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme.

III.4.5. Les sels minéraux :

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.

III.4.6. La pollution microbiologique :

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage). [7]

III.5. Conséquences de la pollution:

- ✓ Les matières organiques solubles abaissent la teneur en Oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à la réduction et à la mort de la faune aquatique.

- ✓ Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité.
- ✓ Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux.
- ✓ Les huiles et les graisses flottants conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable.
- ✓ Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique.
- ✓ Le phosphore et l'azote conduisent à l'eutrophisation des cours d'eau.
- ✓ Le phosphore est un élément limitant la croissance des plantes et du phytoplancton.
- ✓ Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau. [6]

III.6.Généralité sur la pollution des eaux souterraines :

La pollution des eaux souterraine, action d'autant plus nécessaire que la décontamination des nappes d'eaux souterraines polluées, est une entreprise longue et coûteuse, implique que soient élaborées et diffusées à l'attention des services publics responsables aussi bien que des particuliers, des informations décrivant l'existence ou l'absence de facteurs naturels protégeant les nappes d'eau souterraine contre les risques de pollution accidentelle ou due à des négligences, qu'elle soit d'origine atmosphérique ou superficielle, ponctuelle ou extensive.

La notion de vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution intègre les différents facteurs physiques et stables déterminant la mesure dans laquelle ces nappes se trouvent, dans les conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol.[3]

III.6.1.Propriétés physiques et chimiques :

Les eaux souterraines ont des propriétés étroitement liées à leur origine géologique, c'est-à-dire déterminées par la nature et structure des terrains. À tout instant, l'eau est au contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule : il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau.

Ainsi, les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique, sont acides et peu minéralisées. Par opposition, les eaux circulant dans les sols calcaires auront une forte minéralisation avec une composition bicarbonatée calcique.

-L'eau des nappes captives est une eau stagnante qui, de par son long contact avec les roches, est souvent très minéralisée avec la présence de fer et manganèse.

-L'eau des nappes actives : constituées de matières détritiques n'ayant pas terminées leur évolution géologique, contient très souvent des composés soufrés leur conférant saveur, odeur et goût très désagréables. Parmi les caractéristiques générales des eaux souterraines, il faut retenir une très faible turbidité, une température et une composition chimique sensiblement constante et l'absence presque générale d'oxygène dissous. Elles sont très souvent, mais pas toujours, d'une très grande pureté bactériologique ; c'est le cas lorsque l'eau s'infiltré dans des milieux à très fine granulométrie et de grand pouvoir filtrant (comme les grès triasiques), mais dans des milieux granitiques ou calcaires très fissurés et à grande vitesse de passage, l'eau ne sera pas épurée et peut même être dangereuse.

Sont vulnérables à la pollution domestique, industrielle et agricole ce qui peut expliquer la présence souvent à l'état de traces de micropolluants minéraux et organiques et de produits azotés à l'état ammoniacal et de nitrates.

Il est à noter que lorsqu'une nappe a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle. [7]

III.7. Classement des eaux souterraines selon leur origine :

Les eaux des nappes souterraines très profondes ont généralement une excellente qualité.

Leur composition est assez constante au sein d'une même nappe, elles sont moins vulnérables aux pollutions que les eaux des nappes peu profondes.

Des substances indésirables peuvent également s'y trouver, comme le gaz carbonique, le fer, le manganèse, l'ammonium ou l'acide humique et plus rarement un excès de nitrates ou de pesticides.

Les eaux souterraines peuvent être classées selon leur origine :

-Eau météorites : qui proviennent de l'infiltration des eaux de pluie. Elles traversent les formations perméables et s'accumulent dans les roches sous forme de nappes.

-Eau juvéniles : dont la formation est liée au métamorphisme des roches divers processus magmatiques.

-Eaux fossiles: eaux de mers originelles, dont les quelles les sédiments se sont déposés. [3]

III.8. Caractéristiques des eaux souterraines :

Toutes les formations souterraines du fait qu'elles ont été en contact avec les minéraux des roches, renferment des sels dissous.

Les propriétés particulières des eaux de formation dépendent de la concentration et de la nature de ces sels dissous.

Dans de nombreux bassins sédimentaires, la salinité des eaux de formation augmente avec la profondeur ou la compaction.

Ces eaux de gisement (de formation) renferment habituellement :

- 1- Des sels dissous tels que : Na Cl, KCl, MgCl₂, NaCO₃, etc.
- 2- Des colloïdes tels que : SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, etc.....
- 3- Des gaz dissous tels que : CO₂, H₂S
- 4- Des acides organiques.
- 5- Des métaux lourds tels que : Pb, Mn, Zn, etc...

Les compositions chimique des eaux souterraines change suivant la superficie des divers complexes aquifères (zones d'alimentation à intérieur du bassin et suivant la coupe du bassin).

Ce phénomène s'appelle (Zonalité hydrochimique du système d'eau).

On distingue :

- 1- Zone A : Eau douce ayant une minéralisation < 1g /l.
- 2- Zone B : Eau saumâtre ayant une minéralisation entre 1 à 10 g/l.
- 3- Zone C : Eau salée ayant une minéralisation entre 10 à 50 g/l.
- 4- Zone D : Eau saumure ayant une minéralisation > 50 g/l. [3]

III.9. Contamination des eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets volontaires d'effluents polluants, eaux usées ou eau de ruissellement pluvial en milieu urbanisé ou industriel. Les sources de contaminations des eaux souterraines sont multiples et sont liées à de nombreuses activités : [3]

- ✓ Les rejets urbains résultants de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des locaux recevant du public, des commerces, ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines, Les dysfonctionnements de la collecte des eaux usées urbaines (mauvais branchements des particuliers, fuites et saturations des réseaux).
- ✓ Les rejets agricoles résultants de la percolation des eaux de pluie dans les sols, de l'épandage de produits chimiques sur les sols (engrais, pesticides ...).
- ✓ Les rejets industriels dans le milieu naturel sans traitement, [1]

III.10. Facteur liés à la nature du sol et du sous-sol :

III.10.1. Les milieux traversés :

III.10.1.1. Le sol :

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

-Propriétés du sol :

Des propriétés du sol influant sur le transfert des contaminations vers les nappes sont la porosité, la texture, la composition chimico-minéralogique, l'acidité et la teneur en matière organique.

Le comportement d'un sol face à une infiltration de polluants sera affecté par ces propriétés. Il sera donc nécessaire de caractériser le sol pour prévoir ou comprendre le comportement des polluants et les conséquences possibles de la pollution.

III.10.1.2. Le sous-sol :

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

-Propriétés du sous-sol :

Les propriétés du sous-sol influant sur le transfert des contaminants vers les nappes sont la porosité, l'hétérogénéité, la fracturation et les discontinuités créant des voies de circulation préférentielle. [2]

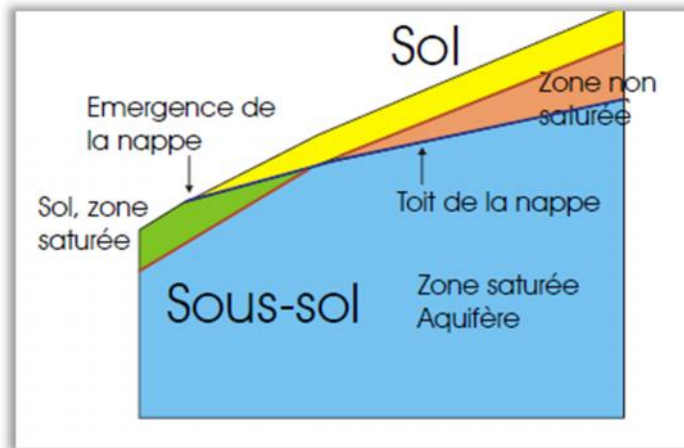


Figure.III.09: Relation entre le sol, sous-sol, zone non saturée.

III.11.Principaux types de milieux souterrains :

Qu'il s'agisse d'une pollution diffuse de type agricole (nitrates par exemple) ou d'une pollution accidentelle : le point de départ est la surface du sol puis le transit vertical dans la zone dite non saturée (ZNS) surplombant la nappe, l'arrivée à la nappe puis le cheminement subhorizontal du polluant dans celle-ci avec étalement progressif du panache de pollution.

III.11.1. La zone non saturée :

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

Dans cette zone, les mouvements de l'eau véhiculant le polluant (pour une pollution miscible) sont eux-mêmes complexes, dépendant de la teneur en eau. Celle-ci varie continûment au cours du temps sous l'influence des cycles pluviométriques et d'infiltration. Ils sont aussi affectés par le degré d'hétérogénéité et le degré de fissuration de la ZNS, ce qui déterminera la plus ou moins grande rapidité de la propagation du polluant jusqu'à la nappe.

III.11.2. La zone saturée :

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

Les milieux poreux

Les milieux fissurés

Les milieux karstiques. [3]

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. [12]

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. [1]

Concernant ce travail, les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques (11 échantillons) dont nous avons les prélevé dans des flacons en polyéthylène à partir des points d'eau pendant le mois d'Avril 2013.

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. [2]

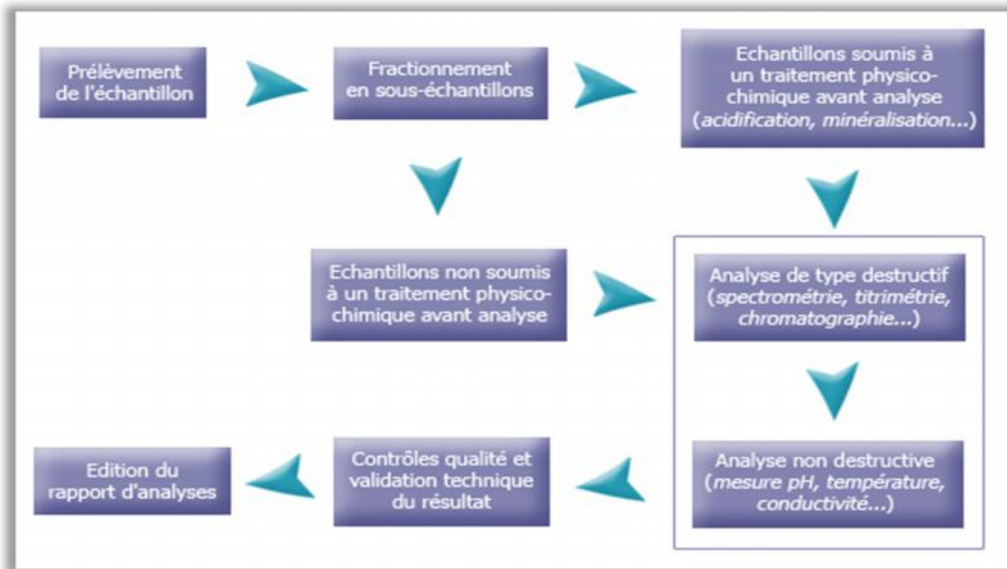


Figure.IV.10 : Schéma des processus d'analyse physico-chimique.

IV.2.Mode de prélèvement :

Le mode de prélèvement variera suivant l'origine de l'eau. Pour notre travail, les échantillons prélevés de robinets placés spécialement pour le prélèvement d'eau de forage, 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. [1]

IV.3.Conservation des échantillons :

Les prélèvements subiront obligatoirement un certain temps de transport et une attente au laboratoire avant la mise en route analytique. D'une façon générale, le transport à la température de 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante. (Annexe N°01) [14]

IV.4.Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :

Pour faciliter le travail de l'analyse, l'exploitation des résultats et pour éviter des 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 du prélèvement.
- ✓ 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 [12] [14]

IV.5.Résultats et discussions :

IV.5.1. Interprétation des résultats :

Nous utilisons dans ce travail des normes pour l'interprétation des résultats obtenus ; Les normes (OMS) pour les eaux de la cuvette de Ouargla (Annexe N°02).

IV.5.1.1. Résultats des mesures et des analyses chimiques de l'eau :

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla pendant la période d'Avril de l'année 2013.(Annexe N°03)

Les paramètres physico-chimiques :

Pour évaluer l'état chimique des eaux souterraines de la zone d'étude, nous avons utilisé des paramètres facilement mesurables et qui s'avère d'une grande utilité.

✓ Potentiel d'Hydrogène (pH) :

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans le diagramme pH.

Le pH de l'eau conditionne les équilibre physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). [3]

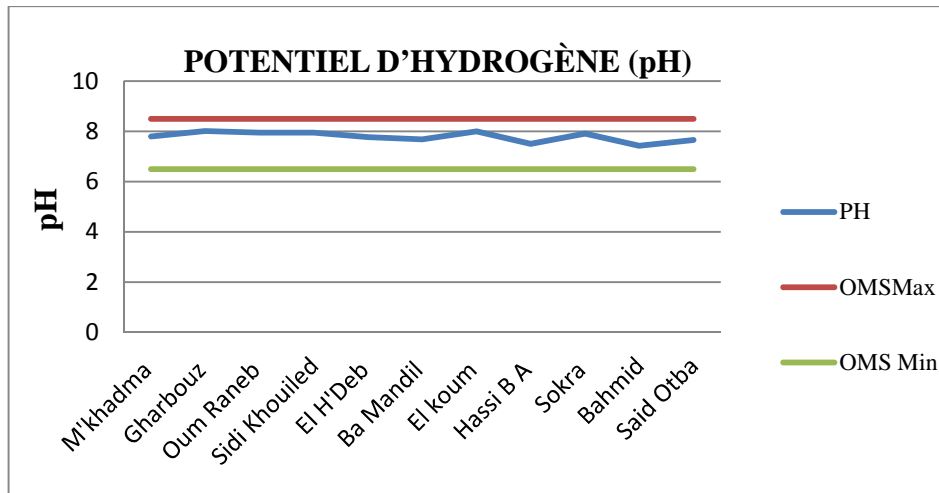


Figure.IV.11 : Variation du PH au niveau de la cuvette d'Ouargla.

Les valeurs du pH obtenu par analyse, variés entre 7,43 et 8,01 pour les eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Ces valeurs sont acceptables d'après les normes OMS.

✓ **La conductivité électrique :**

Toute eau est plus au moins conductrice de l'électricité. Cette conductivité est liée à la présence des ions dans l'eau. La mesure de la conductivité permet d'évaluer minéralisation globale de l'eau. La conductivité élevée traduit une salinité élevée.

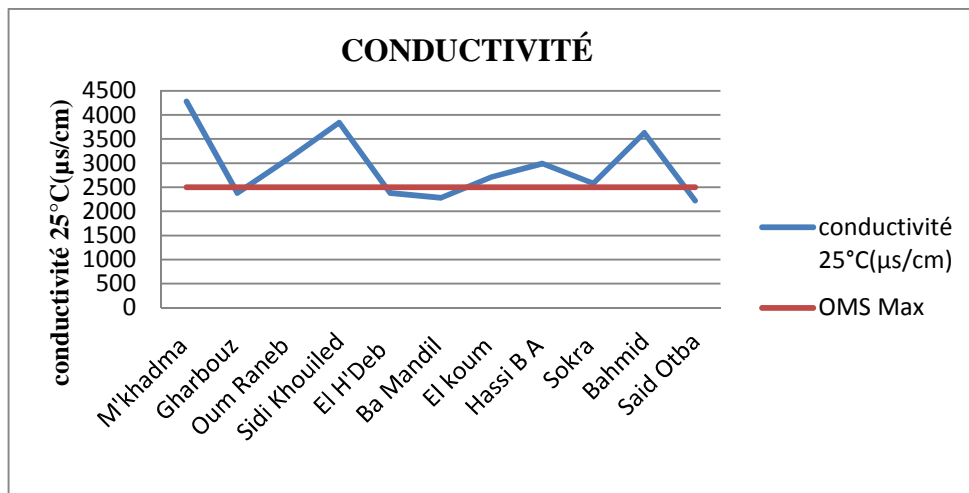


Figure.IV.12 : Variation de la conductivité au niveau de la cuvette d'Ouargla.

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 d'Avril 2013 la conductivité des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla varie entre 2220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la région de Saidi Otba et 4280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la région de M'khadma. La majorité des concentrations excèdent la norme de l'OMS appart les régions suivants : Gharbouz, El H'Deb, Ba Mandil et Saïd Otba.

Remarque : les valeurs de la conductivité mesurée en température ambiante de laboratoire (25°C).

✓ **Résidu sec à 105°C :**

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtré permet dévaluer la teneur en matière dissoutes et en suspension non volatiles ; la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes. [10]

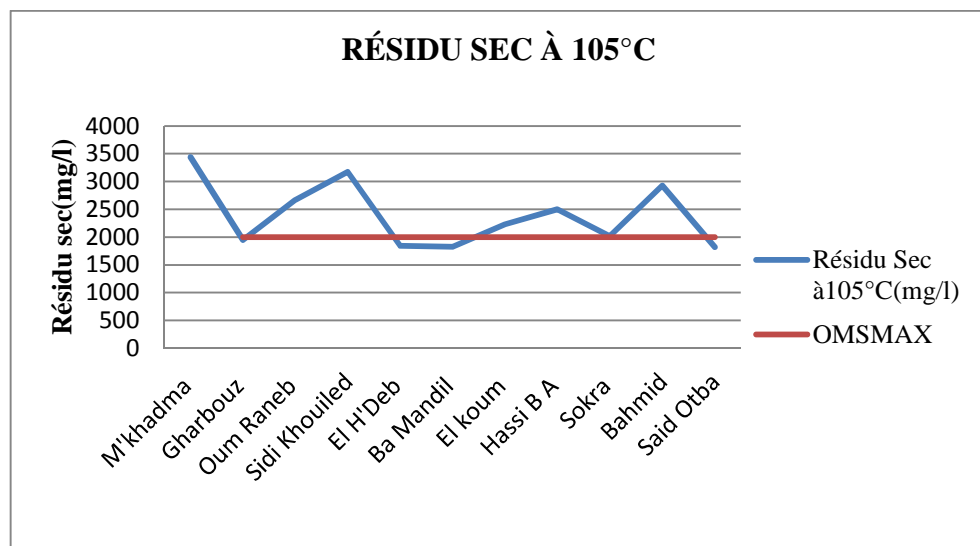


Figure.IV.13 : Variation du résidu sec au niveau de la cuvette d'Ouargla.

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 1820 mg/l (Said Otba) et 3438 mg/l (M'khadma).

Minéralisation Globale :✓ **Calcium (Ca^{2+}):**

Élément dominant dans les eaux potables. Composant majeur de la dureté de l'eau. Il existe surtout à l'état d'hydrogencarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures...etc. [10]

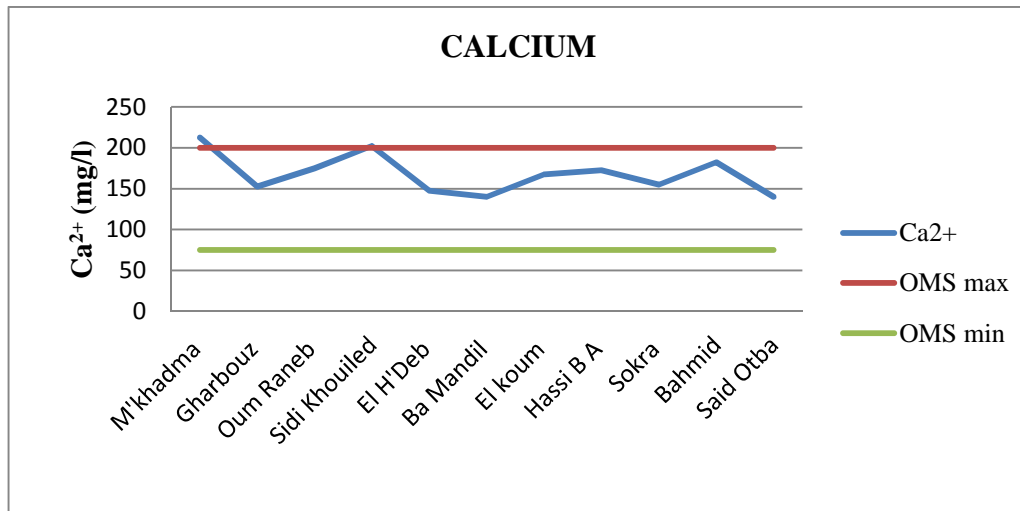


Figure.IV.14 : Variation du Ca^{2+} au niveau de la cuvette d'Ouargla.

Les concentrations en calcium des points de prélèvement de la cuvette de Ouargla varient entre les normes de l'OMS, sauf la région de M'khadma et la région de Sidi Khouiled qui excèdent la norme également.

Les valeurs varient entre (212.5 mg/l) dans la région de M'khadma et (140 mg/l) dans la région de Ba Mandil.

✓ **Magnésium (Mg^{2+}) :**

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. [2]

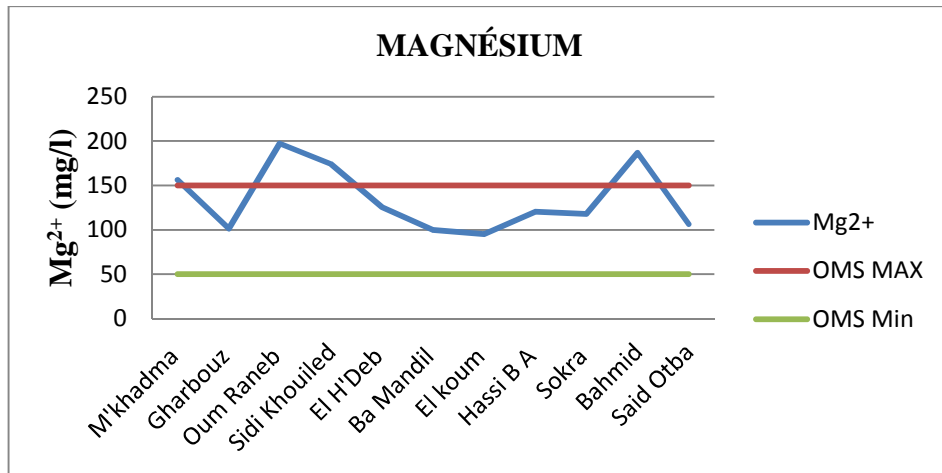


Figure.IV.15 : Variation du Mg²⁺ au niveau de la cuvette d’Ouargla.

Les concentrations en magnésium des eaux souterraines varient entre 95 mg/l pour la région de (El Koum) et 197.1 mg/l dans la région de (Oum Raneb).

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient:

- Soit de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).
- Soit des formations salifères riches en magnésium « MgSO₄ ».

Le diagramme montre qu’il y a quelques points de la cuvette de Ouargla dépassent les normes de l’OMS ; Ces points sont : M’khadma (156,2mg/l), Oum Raneb (197,1mg/l), Sidi Khouiled (174,1mg/l) et Bahmid (186,9mg/l).

✓ **Sodium (Na⁺):**

L’élément le plus dominant dans les analyses des cations, est le sodium. L’environnement climatique (climat semi-aride, température élevée, évaporation intense) semble être lié aux teneurs notables du sodium.

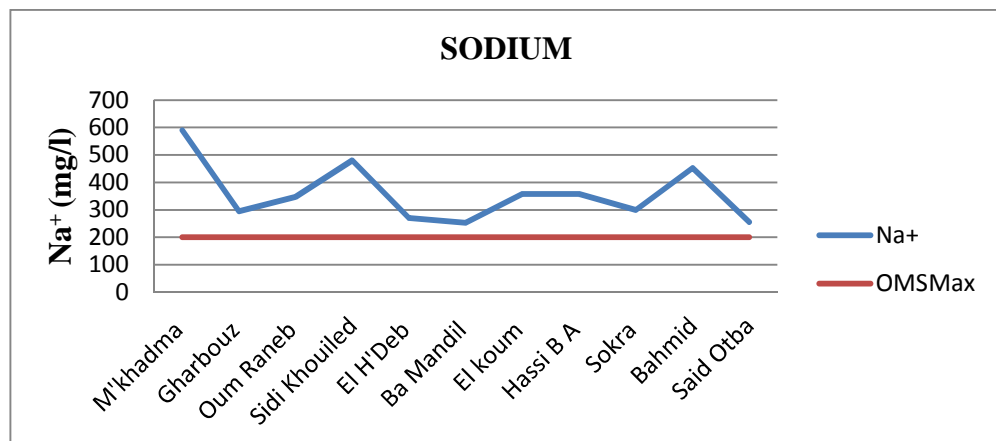


Figure.IV.16 : Variation du Na⁺ au niveau de la cuvette d’Ouargla.

Les concentrations en sodium des points de prélèvement de la cuvette de Ouargla dépassant les normes de l'OMS, Ces concentrations en sodium dans les eaux souterraines allant entre (252.5 mg/l) Ba Mandil et (590 mg/l) M'khadma.

Le sodium provient de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium. Peut aussi provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium.

✓ **Potassium (K⁺) :**

Le potassium est un métal alcalin de symbole (K⁺), il représente 2.59% des éléments de l'écorce terrestre, la source essentielle du potassium sont les roches ignées. [10]

Le potassium provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaires.

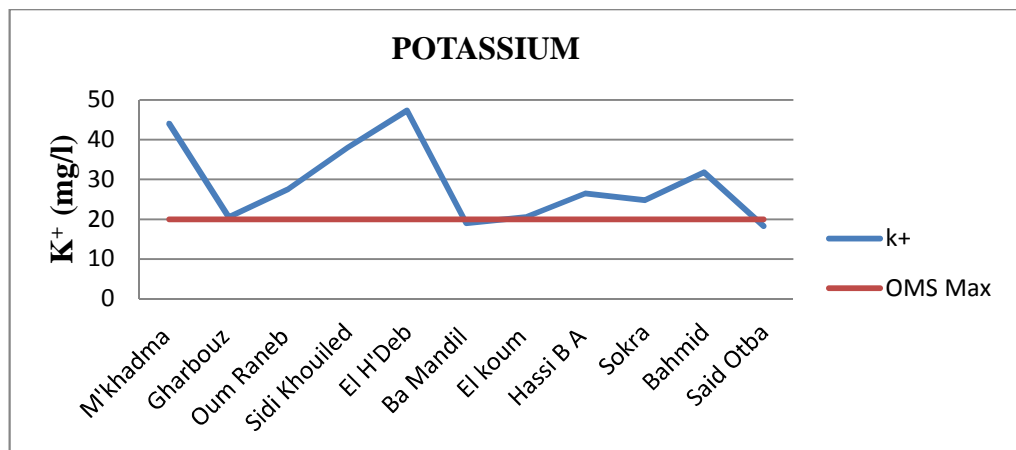


Figure.IV.17 : Variation du K⁺ au niveau de la cuvette d'Ouargla.

Les concentrations en potassium varient entre (18.3 mg/l) Said Otba et (47.3mg/l) El H'Deb .Ces concentrations dépassant les normes de l'OMS.

✓ **Chlorure (Cl⁻):**

Halogène symbole (Cl⁻), les Chlorures sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium(CaCl₂). [10]

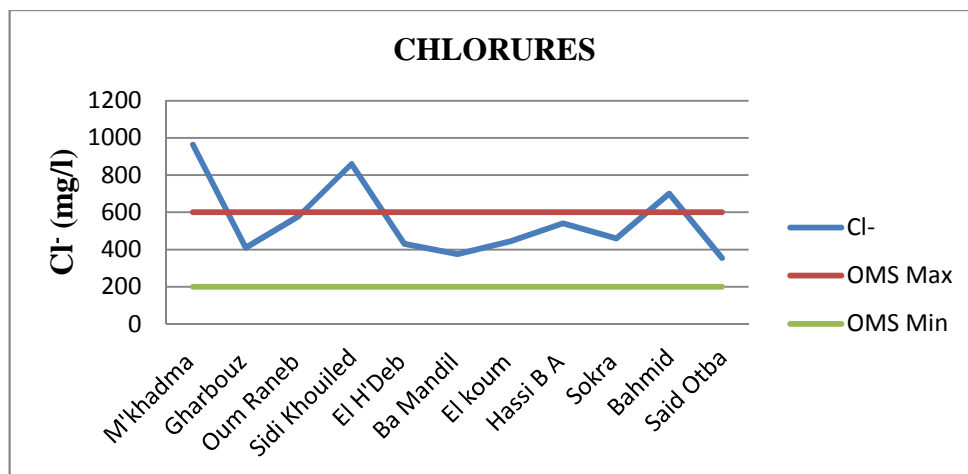


Figure.IV.18 : Variation du Cl⁻ au niveau de la cuvette d'Ouargla.

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères.

Les concentrations en chlorures dans les eaux souterraines de la cuvette varient entre (355mg/l) Said Otba et (963 mg/l) M'Khadma. Généralement la plupart des concentrations dans les normes de l'OMS. Sauf la région de M'Khadma, Sidi Khouiled et Bahmid.

✓ **Sulfates (SO₄²⁻) :**

La plupart sont hydrosolubles ; la teneur en sulfate dans l'eau est liée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation, ils proviennent essentiellement de la dissolution des gypses, ils sont intracellulaires. L'anion de sulfate n'a aucun rôle dans l'équilibre électrolyte des liquides corporels. [10]

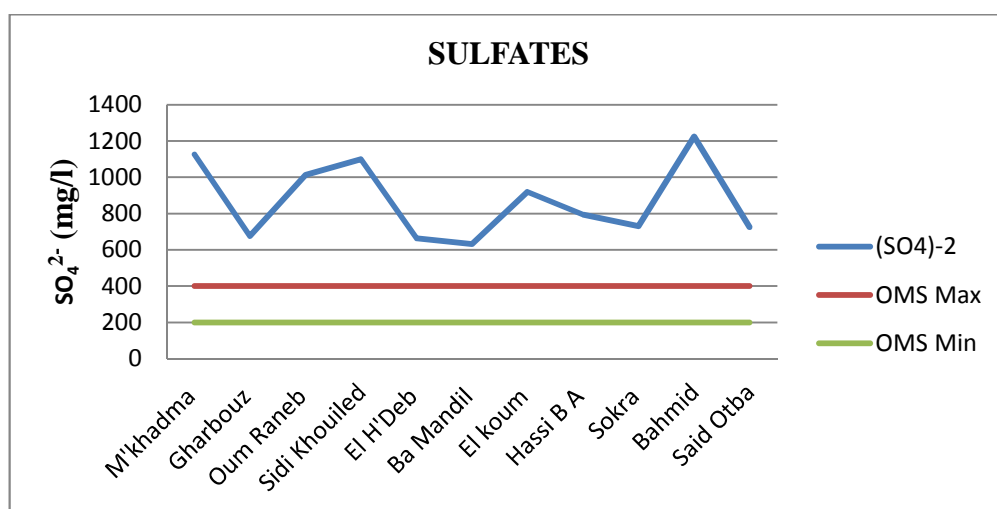


Figure.IV.19 : Variation du SO₄²⁻ au niveau de la cuvette d'Ouargla.

Les concentrations en sulfates varient entre 631 mg/l (Ba Mandil) et 1225 mg/l (Bahmid). Ces résultats montrent que les concentrations de sulfate dans les eaux de la cuvette ont dépassées la norme de l’OMS.

La présence des ions sulfates dans l’eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.

✓ **Bicarbonates (HCO_3^-) :**

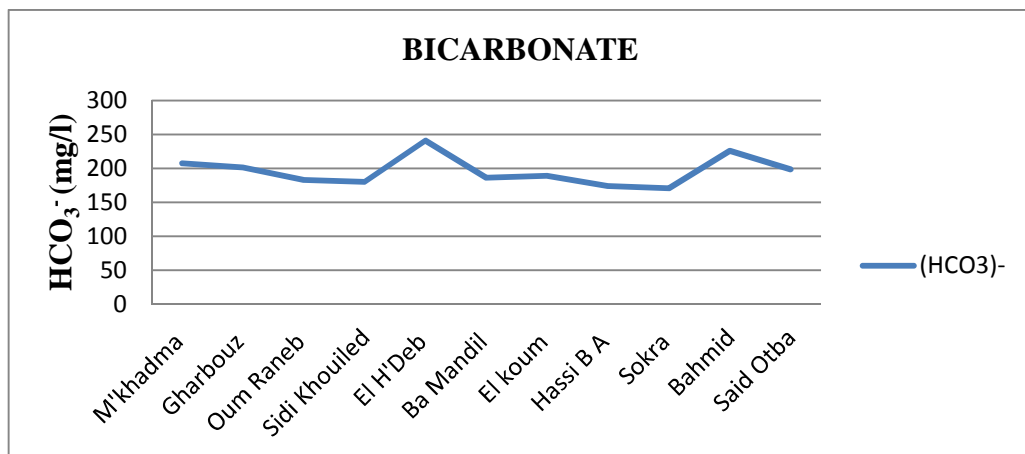


Figure.IV.20 : Variation du HCO_3^- au niveau de la cuvette d’Ouargla.

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 (170.8mg/l) Sokra et (240.95 mg/l) El H'Deb.

Paramètre de Pollution organique :**✓ les nitrates (NO_3^-) :**

dans les eaux souterraines les nitrates viennent du drainage des sols par minéralisation de la matière mnirale des êtres (humains ou animaux). Il est parmi les constituants principaux des organismes vivants (4 à 6% du poids sec de l'être). Il peut aussi provenir des eaux usées.[10]

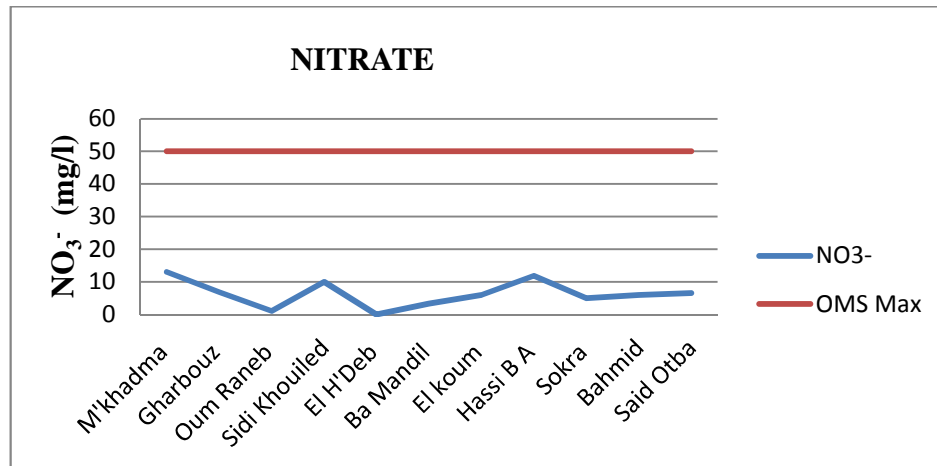


Figure.IV.21 : Variation du NO_3^- au niveau de la cuvette d'Ouargla.

Les valeurs obtenu les nitrates (NO_3^-) par analyse, variés entre 0 et 13 mg/l pour les eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Ces valeurs sont acceptables d'après les normes OMS.

IV.6. Méthode de calcul d'IPM (Indice de pollution minérale) :

Les indicateurs de pollution regroupent les sels minéraux (Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , SO_4^{-2} , Cl^-) qui proviennent des pollutions minérales.

Un indice de pollution minérale IPM, calculé à partir des concentrations de ces ions, permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 2 niveaux de pollution. Les classes ont été établies à partir des modifications induites par les polluants. L'indice le plus élevé correspond à une grande vulnérabilité à la pollution.

Tableau.IV.02 : La classification de la pollution minérale [15]

Les classes	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	IPM	Pollution minérale
Classe 1	252.5-352.5	95-120	18.3-23.3	355-505	631-781	0-5	Faible
Classe 2	352.5-452.5	120-145	23.3-28.3	505-655	781-931	5-10	Modérée
Classe 3	452.5-552.5	145-170	28.3-33.3	655-805	931-1081	10-15	Forte
Classe 4	>552.5	>170	>33.3	>805	>1081	15-20	Très forte

IV.7. La vulnérabilité des eaux de la cuvette d'Ouargla à la pollution minérale :

A l'échelle des mesures, 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 des nappes à ces diverses pollutions est conditionnée par plusieurs facteurs, parmi lesquels il y a le pouvoir filtrant, l'épaisseur de la zone non saturée et la nature du réservoir (captif ou libre). La vitesse d'écoulement des eaux souterraines joue aussi un certain rôle en favorisant cette vulnérabilité. [7]

Tableau IV.3. Évolution de IPM dans la région d'étude.

Points d'eau	X	Y	Pollution minérale	IPM
M'khadma	718644.308	3536405.57	Très forte	19
Gharbouz	717118	3557918	Faible	5
Oum Raneb	724638	3550577	Forte	13
Sidi Khouiled	728290	3540918	Très forte	19
El H'Deb			Modérée	9
Ba Mandil	715835	3540943	Faible	5
El koum	719046.867	3571326.48	Modérée	7
Hassi Ben Abdallah	732997	3545351	Modérée	10
Sokra			Modérée	6
Bahmid	720103	3538588	Très forte	17
Said Otba	720110	3540943	Faible	5

Commentaire :

On remarque 4 niveaux de l'indice de contamination :

- Un niveau faible où la valeur d'IPM est qui correspond à la région de Gharbouz, Said Otba, Ba Mandil.
- Un niveau modérée qui correspond à la région de El Koum, Sokra, Hassi ben Abd Allah et El H'Deb.
- La région dont la valeur d'IPM est forte située à la région de Oum Raneb.
- Un niveau très fort où la valeur d'IPM est qui correspond à la région de M'Khadma, Sidi Khouiled, Bahmid.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent travail a été effectué sur une période d'observation d'Avril 2013. Un certain nombre d'échantillon a été réalisée sur des sites expérimentaux portant sur des points d'eaux (forages), la région d'étude est une cuvette à sable gypseux, et sous climat hyperaride.

Le suivi des paramètres physico-chimiques et minérales a permis de détecter une évolution spatiale par une variation des concentrations de tous les éléments (chimiques et minérales).cette étude hydrochimique est basée sur l'analyse physico-chimique de 11 échantillons pris essentiellement des forages de la cuvette de Ouargla.

- Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux.
- Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures, le sodium et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium.
- D'après les analyses la région la plus vulnérable à la pollution minérale dans la cuvette de Ouargla est la région de M'Khadma.
- Nous trouvons que la pollution des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla engendrée par de la formation géologique des roches (pollution naturel).
- D'après les résultats des analyses et le calcul de IPM, on a trouvé que la région la plus vulnérable à la pollution correspond a les régions de Sidi Khouiled ainsi que M'khadma avec un IPM égale a 19.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement non-conformes aux normes de potabilité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. Goudjil et S. Bencheikeh 'La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla Sud-Est Algérien ', mémoire Master en Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.P 2-29.
- [2] M. DJIDEL 'Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional, Algérie)' thèse doctorat, Université badji Mokhtar d'Annaba 2008. P4-113.
- [3] I. GORMI 'Etude de la contamination et la vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla', mémoire d'ingénieur Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla. 2010. P 6-32.
- [4] N. BAYAZID et O. BERGUIGA. 'Aperçu sur l'état de l'environnement dans la région de Touggourt les principales pollutions et leurs impacts'. Mémoire d'ingénieur Ecologie Végétale et Environnement Université Kasdi Merbah Ouargla. 2003. P16-24.
- [5]B. Claus et P. Robert, chimie de l'environnement, Paris 2001, p 275
- [6] S. BIREECH et I. MESSAOUDI. 'La contamination des eaux par les métaux cas de chott Ain Beida de la région de Ouargla', mémoire d'ingénieur Université Kasdi Merbah Ouargla. 2007. p14-27.
- [7] M. LAOUAR. 'Etude du comportement des polluants dans les eaux souterraines (cas des eaux potables) de la région de Ouargla sud est algérien', mémoire master Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla 2012.p8-13
- [8] DEREMENT. 'Mémento technique de l'eau .Edition Degrement', Paris, 1989.p3-40.
- [9] Dr.A. KETTAB. 'Traitement des eaux, les eaux potables'.1992. p29.
- [10] M. HATI et K. MALKI. 'Etude de la qualité des eaux de la nappe Mio-pliocène dans la région de Ouargla'. Université Kasdi Merbah Ouargla. 2006.
- [11] V.ALEXEEV. 'Analyses quantitative', édition Mir .Moscour, 1980.
- [12] Dr.CRILLES Olive. 'Chimie industrielle Tome2-L'eau'. 2008. p48
- [13] JEAN-BERNARD Leroy. 'la pollution des eaux', Edition actualisée .1999. p25-35.
- [14] Jean RODIER. 'L'analyse de l'eau, Paris'. 1984. P10-241
- [15] N. KHERICI. 'Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines d'un système de nappe superposée en milieu industriel et agricole (Annaba-la Mafragh) N-E algérien'. thèse de doctorat Université Badji Mokhtar d'Annaba. 1993. p1.

Annexe N°01 :

CONSERVATION DES ECHANTILLONS

Caractéristique ou élément analysé	Récipient	Conservation	Volume min du prélèvement (ml)	T° de conservation (°C)	Temps de conservation
Ammonium	P ou V	Acide sulfurique (q.s.p pH<2)	200	4	48h (obscurité)
Chlorures	P ou V	-	100	-	1 mois
Conductivité	P ou V	Mesure in situ de préférence	100	4	24h (obscurité)
Fer, Cadmium, Chrome, Cuivre, Manganèse, Plomb, Zinc	P ou V	Acide nitrique (q.s.p. pH<2)	100à500	-	1 mois
Nitrate	P ou V	-	250	4	24h (obscurité)
Nitrite	P ou V	-	200	4	24h (obscurité)
pH	P ou V	Mesure in situ de préférence	100	4	6h (obscurité)
Phosphates	P ou V	-	250	4	24h (obscurité)
Sulfates	P ou V	-	200	4	1 mois
Silice	P	-	50	4	7 jours
Baryum, Calcium, Sodium, Magnésium, Potassium	P	-	-	-	-
Durée (TH)	P ou V	Acide Nitrique (q.s.p PH<2)	100	-	1 mois

P : Polyéthylène

V : Verre

Source : l'Analyse de l'eau, J.Rodier Bernard Legube, Nicole Merlet et coll. , 9^e édition 2009, p8-9.

Annexe N°02 :

Les concentrations admissibles aux approvisionnements publics en eau potable

Paramètres	Unité	OMS	CEE
Couleur	Pt-CO	5	5-20
Turbidité	mg/1 sio2	5	5-10
pH	-	6,5-9	6,5 - 9,5
Conductivité	(μ s/cm	-	2000
TH	mg/1	-	10-35
Ca	mg/1	200	100
Mg	mg/1	150	50
Na	mg/1	200	100
K	mg/1	-	12
Al	mg/1	-	0,2
S04	mg/1	400	250
Cl	mg/1	250	200
N03	mg/1	45	50
N02	mg/1	-	0,1
NH4	mg/1	-	0,5
N total	mg/1	-	0,5
Si02	mg/1	-	5
Ag	mg/1	-	0,01
As	mg/1	0,05	0,05
Cn	mg/1	0,05	0,05
Cr	mg/1	0,05	0,05
Cu	mg/1	1	0,05
F	mg/1	1,5	1,5
Fe	mg/1	0,3	0,3
Hg	mg/1	0,001	0,001
Mn	mg/1	0,1	0,05
NC3	mg/1	-	0,05
P04	mg/1	-	0,3
Pb	mg/1	0,05	0,05
Se	mg/1	0,01	0,01
Zn	mg/1	5	2
Cd	mg/1	5	0,005
détergents	mg/1	0,2	0,1
Pesticides	mg/1	0,002	0,0005
graisses/huiles	mg/1	-	0,0005
Hydrocarbures	mg/1	0,01	0,01
phénol	mg/1	0,02	0,0005

Sources : Degrement 1989.

J. Redier, 1984.

H.M.Raghunath et ail, 1982.

Annexe N°03 :**-Les paramètres d'analyse des eaux souterraines :****-Les paramètres physico-chimiques :****-LA TEMPERATURE :**

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.

-PH (POTENTIEL HYDROGENE) :

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.

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.

➤ 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

➤ Mode opératoire :**-Etalonnage de l'appareil :**

- Allumer le pH Mètre.
- Prendre dans un petit bûcher, 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

**pH mètre**

- 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.

-Dosage de l'échantillon :

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

-CONDUCTIVITE :

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

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

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

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

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

➤ **Principe :**

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

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

S sa section en cm^2 et **l** sa longueur

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

La conductivité électrique en S/cm est :

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

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



Conductimètre

-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 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

-RESIDU 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

-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°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.

$$(PP - PV) \times 1000 = \text{mg/l de RS}$$



Etuve

-DETERMINATION DE 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 (H_2SO_4) à N/50
- (H_2SO_4) à N /50 (0.5ml de (H_2SO_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 :

$$\text{TAC} = [\text{V}_a - \text{V}_b] * \text{T} * \text{D} \text{ en (F}^\circ\text{)}$$

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

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

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

-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.

Mode opératoire :

On prendre trois fioles :

- 100 ml de l'eau distillé (blanc)
- 90 de l'eau distillé + 10 ml de NaCl (titre)
- 25 ml de l'eau a analyse complète à 100 ml de l'eau distillé (l'échantillon)
- Ajouter 1 ml dans chaque fiole de $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (coloration jaunâtre).
- Titrer avec Ag NO_3 à 0.0282 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

Expression des résultats :

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

V_a : Volume d' AgNO_3 nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

V_s : Volume d' AgNO_3 nécessaire pour le dosage de titre

V_b : Volume d'AgNO₃ nécessaire pour dosage le blanc

D : Facteur de dilutions.

F : Facteur de correction du titre d'Ag NO₃ = 35453*10³

C: Concentration réel d'AgNO₃

-DOSAGE DE SULFATE (SO₄²⁻) :

-Principes :

Les ions de sulfates SO₄ sont précipités à l'état de sulfates de baryum et évalués gravimétriquement

-Réactifs :

-Solution d'acide chlorhydrique à 10%

-Solution de chlorure de baryum à 10%

-Solution de nitrate d'argent à 10%

-Acide nitrique pur

-Alcool éthylique pur

-Ether

-Mode opératoire :

- Introduire 100ml d'eau à analyser dans un bécher
- Ajouter 2 ml de HCl
- Vérifier le Ph qui doit être < à 4
- Chauffer jusqu'à ébullition modérée en agitant constamment
- Verser goutte à goutte 20 ml la solution de BaCl₂
- Prolonger l'ébullition pendant 10 mn sans interrompre l'agitation
- Laisser reposer
- Décanter le liquide surnageant encore chaud
- Laisser écouler au-dessus du filtre sans cendre
- Laver le précipité reste dans le bécher avec de l'eau bouillante
- Agiter
- Laisser se reposer 5 mn
- Décanter à nouveau sur le filtre
- Laver le précipité à l'eau distillée bouillante et refroidie jusqu'à ce les eaux de lavage ne contiennent plus de précipité
- Laver par l'alcool
- Laver par l'éther

- Sécher complètement l'entonnoir et le filtre à l'étuve à 110°C
- peser la capsule M1 et la portée au four jusqu'à coloration rouge
- Refroidir à l'air ambiant
- Transférer le contenu du filtre séché dans la capsule en tapotant légèrement
- Saisir le filtre et le calciner
- Ressortir avant que la flamme ne l'atteigne
- Laisser refroidir dans le desiccateur
- Ajouter 3 gouttes d'acide nitrique pur
- Evaporer sous la hotte
- Minéraliser
- Laisser refroidir
- Peser la capsule soit M2 le poids de la capsule
- $M = M1 + M2$ est la masse de sulfates de baryum trouvés.

Expression des résultats :

La teneur en sulfate exprimée en mg de H_2SO_4 / litre d'eau est : $M \cdot 10 \cdot 0.42016$

La teneur en sulfate exprimée en mg de SO_4^{2-} / litre d'eau est : $M \cdot 10 \cdot 0.41155$

La teneur en sulfate exprimée en mg de SO_3^{2-} / litre d'eau est : $M \cdot 10 \cdot 0.34301$

-DETERMINATION 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 pH=10. Le noir erichrome, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

Réactifs :

- Solution d'E.D.T.A (0,02N ou 0,01M)
EDTA (3,725 g) après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H S N : (0.2 g d'acide de calcine carboxylique +100 g de NaCl)
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N
- NaOH (pastilles) 80g
- Solution tampon (NH_4Cl) pH = 10
- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- NH_4OH (25%) 570 ml

- Sel disodique de magnésium E.D.T.A
- Noir erichrome 0.5 g
- éthanol 25 ml
- Solution étalon de référence (CaCO₃)=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 (violet).
- pour calcule TH on Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de solution tampon
- Ajouter trois goûts de noir erichrome.
- 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:

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

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

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

M_{ca}²⁺ : Masse molaire du calcium en mg/l

F : Facteur

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

$$Ca^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 * 8.016$$

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

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

V₂: Volume total d'E.D.T.A

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

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

M_{Mg}²⁺ : Masse molaire du Magnésium en g.

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

F : Facteur

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

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

-DOSAGE DE SODIUM (Na⁺) ET POTASSIUM (K⁺) :

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

Le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Certains rejets industriels peuvent augmenter la teneur en potassium dans les eaux ; on cite en particulier les mines de potasse et les usines d'engrais qui peuvent entraîner des quantités relativement importantes de potassium.

-Principe :

Les ions en solution sont portés au moyen d'une flamme de température convenable à niveau énergétique supérieur à la normale une fois libérée par la flamme, ils restituent l'énergie acquise en mettant une radiation caractéristique de l'élément. Mesure de l'intensité à une longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et de 766 pour le potassium.

-Réactifs:

-Solution fille de sodium (Na⁺) à 10 mg/l de la solution mère de Na Cl à 1000 mg/l dans 100 ml d'eau distillée.

(2,54 mg de Na Cl 1000ml d'eau distillée : solution mère de Na⁺ à 1 g/l).

-Solution fille de potassium (K⁺) à 10 mg/l : 1 ml de la solution mère de KCl à 1 g/l dans 100 ml d'eau distillée.

(1.91 g de KCl 1000 ml d'eau distillée : solution mère de K⁺ à 1 g/l).

-Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.



Spectro-photométrie à flamme

-Les paramètres de pollution organiques :**-LES NITRATES (NO₃⁻) :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h).
- 0.5 g de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.
- Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.
- 30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.
- H₂SO₄ concentré.
- Tartrate double de sodium et de potassium.
- Hydroxyde de sodium Na OH 400 g.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.

Nitrate de potassium anhydre 0.722 g.

Chloroforme 1 ml.

Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l.

Mode opératoire :

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.

(Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

- Reprendre le résidu avec 2 ml. H₂SO₄ laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

Sources :

J. rodier, L'analyse de l'eau, Paris, 1984.

M. ladel, document Contrôle des paramètres physico-chimiques et Bactériologique d'une eau de consommation, ADE.

Résumé :

Dans la cuvette de Ouargla, la pollution des eaux souterraines est le sujet qui inquiète les habitants et les autorités. Ce travail consiste à étudier les causes de pollution des eaux souterraines. D'après les résultats des analyses, on a trouvé qu'en générale, les eaux de la région d'étude ont une mauvaise qualité et dure.

D'après les analyses des eaux souterraines, nous avons traité la vulnérabilité des eaux de la cuvette à la pollution, qui est basée sur l'évolution de l'indice de pollution minérale. On a aussi dressé un tableau de la vulnérabilité à la pollution qui nous montre une région à forte vulnérabilité correspondant aux régions de M'Khadma et Sidi Khouiled. Ce tableau est d'une importance capitale pour la protection contre cette pollution.

Mots Clés : Pollution, eau, indice de pollution minérale, vulnérabilité, nappe, cuvette, Ouargla.

يشكل تلوث المياه الجوفية
تلوث المياه الجوفية
نسبة عالية من الأملاح المعدنية.
وفقا لاختبارات المياه الجوفية
لقابلية
خويلد. هذ
كلمات مفتاحية :

السلطات المحليين. ركز هذا العمل على دراسة أسباب
ه على العموم مياه المنطقة
نوعية رديئة
قابلية تلوث المياه في
ظهر فيه منطقتين شديديتي القابلية للتلوث و هما
لحمية من التلوث.
العرضة للتلوث، طبقة المياه الجوفية،

Abstract:

In the basin of Ouargla, groundwater pollution is the main concern of local population and authorities. This work focused on the study of the causes of groundwater pollution. According to test results, one found that waters of the region subject to our study are hard and of poor quality.

We studied, in accordance with groundwater tests, the vulnerability of water pollution in the basin, basing our study on the evolution of the index of mineral pollution. We also draw up a map of the vulnerability to pollution that shows an area of high vulnerability corresponding to the regions of M'Khadma and Sidi Khouiled. This map is of a great importance for the protection against pollution.

Keywords:

Pollution, water, Indication of mineral pollution, exposed to pollution, water table, Ouargla.