Université KASDI-MERBAH Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des Procèdes

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies.
Filière : Sciences de l'environnement
Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Présenté par :

REZEG Radia

Thème :

Étude Hydrogéochimique de la Pollution Minérale des Eaux Souterraines du Complexe Terminale (CT) de la Région de Ouargla Sud-Est Algérien.

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Mr.	MAA	Président	UKM Ouargla.
Mr.	Pr	Examinateur	UKM Ouargla.
Mr.	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

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

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de la filière Génie des procédées, université de Kasdi Merbah Ouargla.

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

Je remercie les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter le jugement de mon travail

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués

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

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents mon père

Et ma mère pour leur patience illimitée, leur amour, leur soutien, et n'ont jamais cessé de prier pour moi.

Surtout ma précieuse mère, qui est considérée comme mon plus grand héros dans la vie, je lui dédie ce travail en guise de remerciement pour tous ses sacrifices pour moi

A mes chers frères : Abdou et Hamadi

A ma meilleures amie et mon âme sœur : Gabouri Houda

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

REZEG RADIA

Résumé

Le principal objectif de cette étude est un diagnostic de la qualité d'eaux souterraines de la région d'Ouargla. L'analyse de la qualité physico-chimique a porté sur certains 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). D'après l'étude comparative qu'on fait on à trouver que les résultats de l'évolution de la pollution minérale converge à des résultats identiques ce qui confirme le risque d'une pollution naturelle.

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

Abstract :

The main objective of this study is to diagnose the quality of groundwater in Ouargla region. The analysis of the physicochemical quality focused on certain samples taken from boreholes of various aquifers exploited in the region, used for human consumption. We presented a method for assessing and mapping vulnerability to pollution of groundwater. For this, we have introduced a mineral pollution index (MPI). According to the comparative study that we do, we find that the results of the evolution of mineral pollution converge has identical results which confirms the risk of natural pollution.

Keywords: pollution, IPM, water table, region, Ouargla.

ملخص:

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تشخيص جودة المياه الجوفية في منطقة ورقلة. ركز تحليل الجودة الفيزيائية والكيميائية على عينات معينة مأخوذة من الآبار في طبقات المياه الجوفية المختلفة المستغلة في المنطقة، والمستخدمة للاستهلاك البشري. قدمنا طريقة لتقييم ورسم خرائط التعرض لتلوث المياه الجوفية. لهذا، أدخلنا مؤشر التلوث المعدني (MPI). وفقًا للدراسة المقارنة التي أجريناها، نجد أن نتائج تطور التلوث المعدني المتقاربة لها نتائج متطابقة تؤكد مخاطر التلوث الطبيعي.

الكلمات المفتاحية: التلوث، مؤشر التلوث، طبقة المياه الجوفية، منطقة، ورقلة.

Liste des tableaux

N°	Titre des tableaux	Page
Tableau I-01	Données climatiques d'Ouargla durant la période (2008/2018)	04
Tableau II-01	Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe du CI	17
Tableau II-02	Principe différences entre eaux de surface et eaux souterraines	27
Tableau III-1	comparaison entre la Pollution ponctuelle et diffuse	38
Tableau IV -01	Classement de l'indice de pollution (IPM)	47
Tableau IV-02	Classement de l'indice de pollution (IPM).	50

LISTE DES FIGURES

N°	Titre des figures	Page
	Chapitre I- CADRE GENERAL DE LA REGION D'ETUDE	
Figure 01	carte de la wilaya d'Ouargla	02
Figure 02	carte de situation géographique de la wilaya d'Ouargla	03
Figure 03	Variation mensuelles de la température (Max, Moy, Min.) au niveau de la région d'Ouargla	05
Figure 04	Variation mensuelles de la pluviosité au niveau de la région d'Ouargla	06
Figure 05	Variations mensuelles de la vitesse de vent de la cuvette d'Ouargla	07
Figure 06	Variation mensuelles de l'évaporation de la région d'Ouargla	08
Figure 07	Variations mensuelles d'humidités relatives de la cuvette d'Ouargla	09
Figure 08	Variation d'insolation annuelle de la cuvette d'Ouargla	10
	Chapitre II- Etude HYDROGEOLOGIQUE et GEOMORPHOLOGIQUE	
Figure 01	Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla	12
Figure 02	Carte géologique de la région d'Ouargla	13
Figure 03	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	14
Figure 04	Carte piézométrique de référence du CT	16
Figure 05	Log géologiques des formations de la nappe phréatique	19
Figure 06	Délimitation du "SASS"	20
Figure 07	Schéma représentant la zone saturée et la zone non saturée	21
Figure 08	Schéma représentant l'écoulement des nappes	23
Figure 09	les différents types des nappes	24
Figure 10	Les eaux souterraines	25
	Chapitre III- Généralité sur l'eau et la pollution des eaux	
Figure 01	La molécule d'eau	30
Figure 02	Les états d'eau	31
Figure 03	Le cycle d'eau	36
Figure 04	Pollution ponctuelle (point) et diffuse (non point)	38
Figure 05	Pollution domestique	39
Figure 06	la Pollution industrielle	40
Figure 07	pollution agricole	42

	CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	
Figure 01	Variation spatiale du calcium	52
Figure 02	Variation spatiale du magnésium	53
Figure 03	Variation spatiale du chlorure	53
Figure 04	Variation spatiale des sulfates	54
Figure 05	Variation spatiale de l'indice de pollution minérale	54
Figure 06	Variation spatiale de degrés de vulnérabilité à la pollution minérale	
Figure 07	Evolution de calcium	
Figure 08	Evolution du magnésium	
Figure 09	Evolution des chlorures	
Figure 10	Evolution des sulfates	
Figure 11	Evolution de l'indice de pollution minérale	
Figure 12	Evolution Spatiale de degrés de la vulnérabilité a la pollution minérale	

Symboles et abréviation

ONM	**O**ffice **N**ationale de **M**étéorologie
A.N.R.H	**A**gence **N**ationale des **R**essources **H**ydraulique
CI	**C**ontinental Intercalai
CT	**C**omplexe Terminal
SASS	**S**ystème **A**quifère du **S**ahara **S**eptentrional
ZS	**Z**one saturé
ZNS	**Z**one non saturé
IPM	**I**ndice pollution minérale
LTPS	**L**aboratoire **T**ravaux **P**ublique sud

Introduction générale

INTRODUCTION

Par son rôle d'interface vital entre l'homme, l'environnement et la biosphère, l'eau constitue un patrimoine dont la gestion durable doit être une préoccupation essentielle.

L'eau est la source de vie, elle est présentée sous diverses formes sur notre planète mais sa quantité globale n'évolue pas. En effet, elle se transforme d'une forme à l'autre lors du cycle de l'eau. Alors que l'eau utilisée provient en forte proportion des lacs, des cours d'eau et des nappes d'eau souterraine, la majorité de l'eau se retrouve à plus de 97 % dans les océans qui couvrent 71 % de la surface de la Terre (39 % dans l'hémisphère nord et 61 % dans l'hémisphère sud). L'océan représente ainsi une ressource quasi inépuisable en eau. Il est certain que les ressources naturelles en eau douce sont très limitées pour satisfaire le besoin humanitaire croissant. **[1]**

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

De nos jours, vu le croissement remarquable de la pollution des eaux de Ouargla (Sud-Est Algérie), implique une nécessité absolue des eaux potables, et pour un développement adéquat dans des différents domaines. L'eau consommée ne disparait pas ; elle est restituée d'une façon ou d'une autre au cycle de l'eau. Mais elle n'a plus forcément la méme qualité qu'avant. Cette pollution a des conséquences sur le milieu naturel aquatique et les eaux des réserves souterraines. **[2]**

La plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. La contamination humaine des eaux souterraines peut être liée à l'évacuation des déchets d'un manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eaux d'égout, élimination des déchets solides, eau usagée municipale, retenu d'eau usagée, formation de saumure dû à certaines industries de pétrole, élimination des eaux usées, les déchets radioactifs) ou de manière indirecte (accidents, certaines activités agricoles, exploitation, pluies acides, un mauvais entretien des matériel de forage et mouvais entretient de puits).

Dans le cas de la cuvette d'Ouargla, la pollution engendrée par le rejet des eaux a atteint un seuil inquiétant en raison de la diversité des matières polluantes et de la quantité importante en eau usées (40906 m3/j). **[3]**

Afin de connaître la qualité des eaux souterraines de la zone d'Ouargla, le degré de sa pollution minérale et déterminer les différentes raisons qui ont exposé la région à la gravité de la pollution minérale, nous préparerons une étude hydrogéochimique qui est représentée dans l'analyse en laboratoire de divers échantillons prélevés sur plusieurs endroits dans la zone d'étude. (Covid 19)

Pour atteindre notre objectif, on a divisé notre travail en 04 chapitres

Comme suit :

- **Le premier chapitre :** Cadre générale de la région d'étude
- **Le deuxième chapitre :** Etude géomorphologique et hydrogéologique.
- **Le troisième chapitre :** Généralité sur l'eau et la pollution des eaux.
- **Le quatrième chapitre :** Résultats et discussions**.**

Et enfin une conclusion générale, pour cette raison on a remplacez notre objectif de départ par une étude comparative de la pollution minéral **(Cas master Hamidi 2017 Et Boukhris 2018).**

Chapitre I : Cadre Général sur la région d'étude

Chapitre I : CADRE GENERAL DE LA REGION D'ETUDE

I-1. Introduction :

La ville De Ouargla, installée avec ces palmeraies au fond d'une cuvette en zone désertique, constitue un lieu idéal à l'accumulation et à la stagnation des eaux, sous l'influence des conditions climatiques, caractérisées par une aridité extrême et une sécheresse permanente, et d'une nappe superficielle à faible profondeur, le milieu naturel évolue ainsi rapidement vers des conditions de salinité excessives. La cuvette d'Ouargla représente donc un contexte écologique particulièrement fragile, où la gestion des ressources hydriques doit être menée avec un maximum de soins. **[4]**

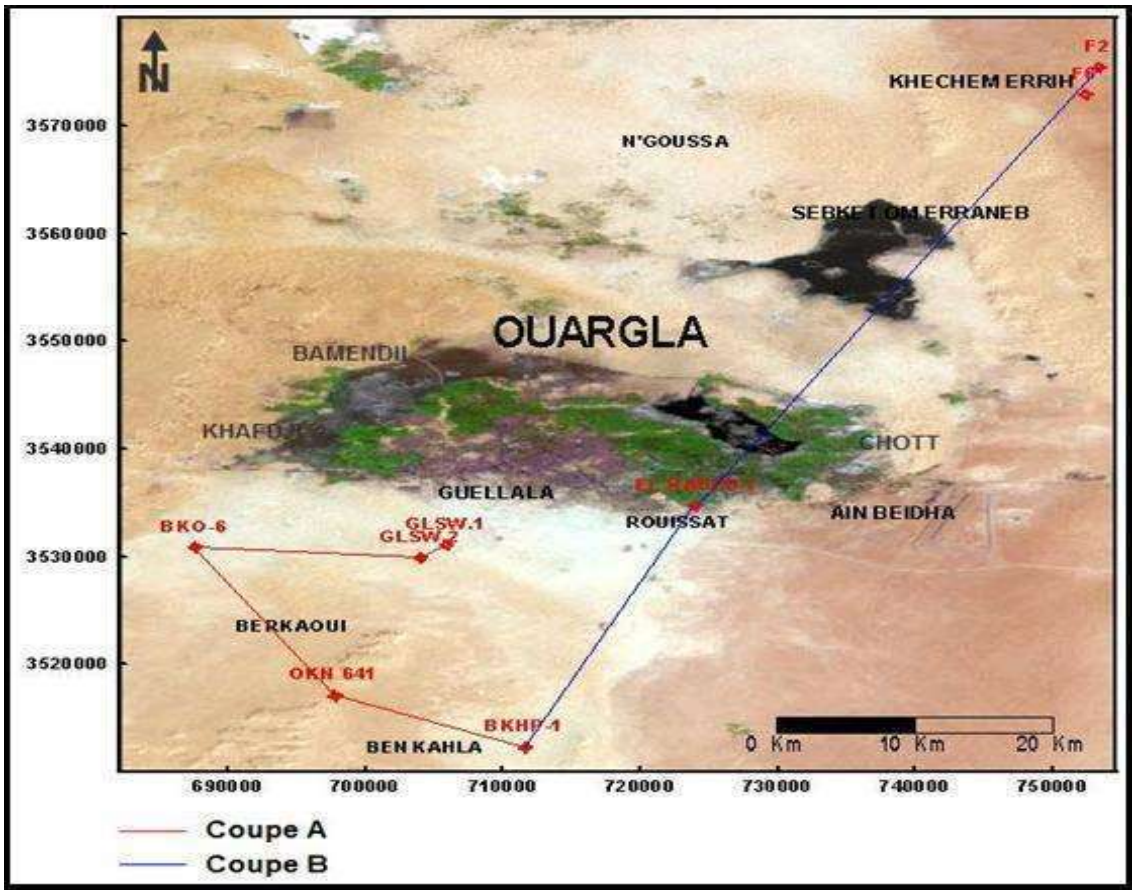

Figure. I.01 : carte de la wilaya d'Ouargla. [5]

I-2. Situation géographique :

La wilaya d'Ouargla fait partie du Sahara septentrional, elle est située au sud-est Algérien.

Elle est limitée au Nord par Biskra, au Sud par Tamanrasset et Illizi au nord-ouest par Djelfa, à l'Ouest par Ghardaïa, à l'Est par la wilaya d'El Oued et la Tunisie. Elle occupe une superficie de 361 980 km^2.

La ville de Ouargla est située dans une dépression (cuvette) qui inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Aïn El Beïda et Sidi Khouiled.

Géographiquement :

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

$$X_{min} = 710\,000; \qquad Y_{min} = 3\,530\,000$$

$$X_{max} = 730\,000; \qquad Y_{max} = 3\,600\,0000$$

Elle s'étend ainsi sur une longueur d'environ 55 km orientée sud-ouest / nord-est sur une superficie de l'ordre de 95 000 ha, elle est limitée par Sebkhet Safioune au Nord, les ergs de Touil et Arifdji à l'Est, par les dunes de Sedrata au Sud et par le versant Est de la dorsale du M'Zab A l'Ouest. **[6]**

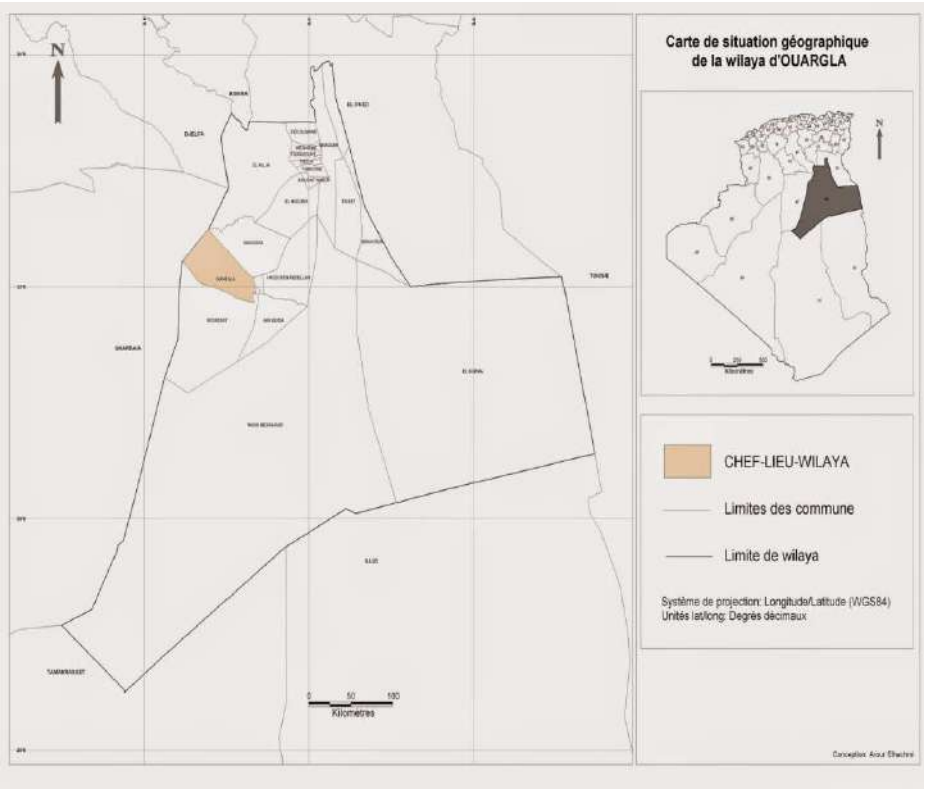

Figure. I.02 : carte de situation géographique de la wilaya d'Ouargla. [7]

I-4.Analyse des paramètres climatique :

La Wilaya de Ouargla est caractérisée par un climat Saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et une faiblesse de la vie biologique.
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 basse de la détermination de différents paramètres climatique, ont été enregistrées à la station météorologique d'Ouargla **[8].**

Tableau.I.01 : Données climatiques d'Ouargla durant la période (2008_/_2018). [9]

Mois	Température °C			Pluviométre (mm)	Humidité		vent moy (m/s)	Insolation (heures)
	T max	T min	T moy		H en% max	H en% min		
Janvier	19,1	4,5	11,8	7,1	73,52	32,8	14,3	236,6
Février	21,2	6,3	13,7	2	63,84	30,21	15,6	243,15
Mars	26	10,3	18,2	4,1	61,5	22,1	16,1	271,25
Avril	31	14,9	23	1,5	54,14	20,1	19	288,47
Mai	35,8	20,1	28	3,8	46,23	15,63	18,6	301,66
Juin	40,6	24,7	32,6	0,5	42,74	17,52	14,9	271
Juillet	43,8	27,8	35,8	0,2	32,6	15,1	16,8	313
Août	42,9	27,4	35,2	1,1	38,8	15,99	16,2	312,9
Septembre	38,2	23,3	30,8	3,1	53,5	28,2	15,5	255,2
Octobre	32,4	17,3	24,9	6,7	66,8	24,59	13,8	251,3
Novembre	24,4	10,1	17,2	5,7	75,2	33,86	13,1	230,1
Décembre	19,4	5,8	12,6	3,1	83,7	37,92	12,3	202,6

Sources : O.N.M Ouargla 2018

I-4.1 La température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissolution des sels dissous donc sur la conductivité, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels **[10].**

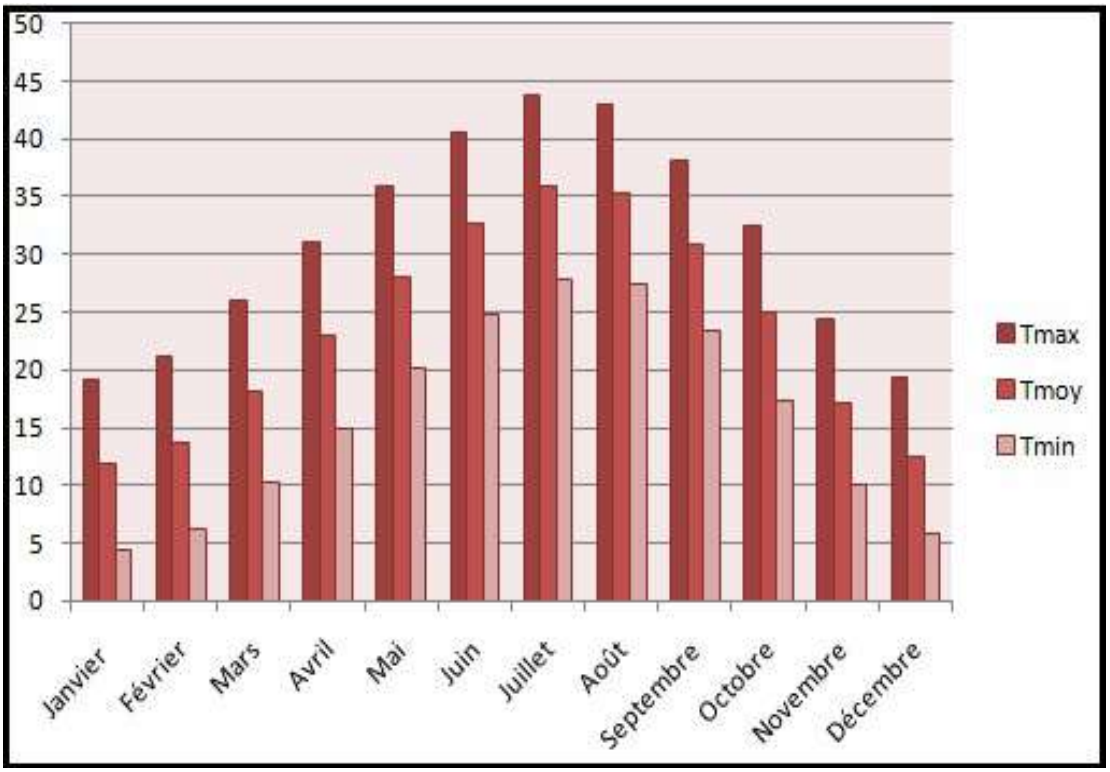

Figure. I.03 : Variation mensuelles de la température (Max, Moy, Min.) Au niveau de la région d'Ouargla.

La figure I.03 montre que la température moyenne minimale du mois le plus froid (Janvier) est de 11.8°C, et que la température moyenne maximale de mois le plus chaud (Juillet) est de 35,8°C. La température moyenne annuelle se calcule de la façon suivant :

$$T = (T_{max} + T_{min})/2 \ (°C) \ (Tab\ 01).$$

I-4.2 Pluviométrie :

Généralement, à Ouargla, les précipitations sont irrégulières entre les saisons et les années.

Lecumul moyen annuel de (2008-2018) est de 38,9 mm. La période pluviale de l'année est très

Étroite, elle est de 2 à 3 mois, par contre la période sèche s'étend sur le reste de l'année.

La valeur maximale est en Janvier de 7,1 mm et la valeur minimale est en Juillet de 0,2 mm

[11].

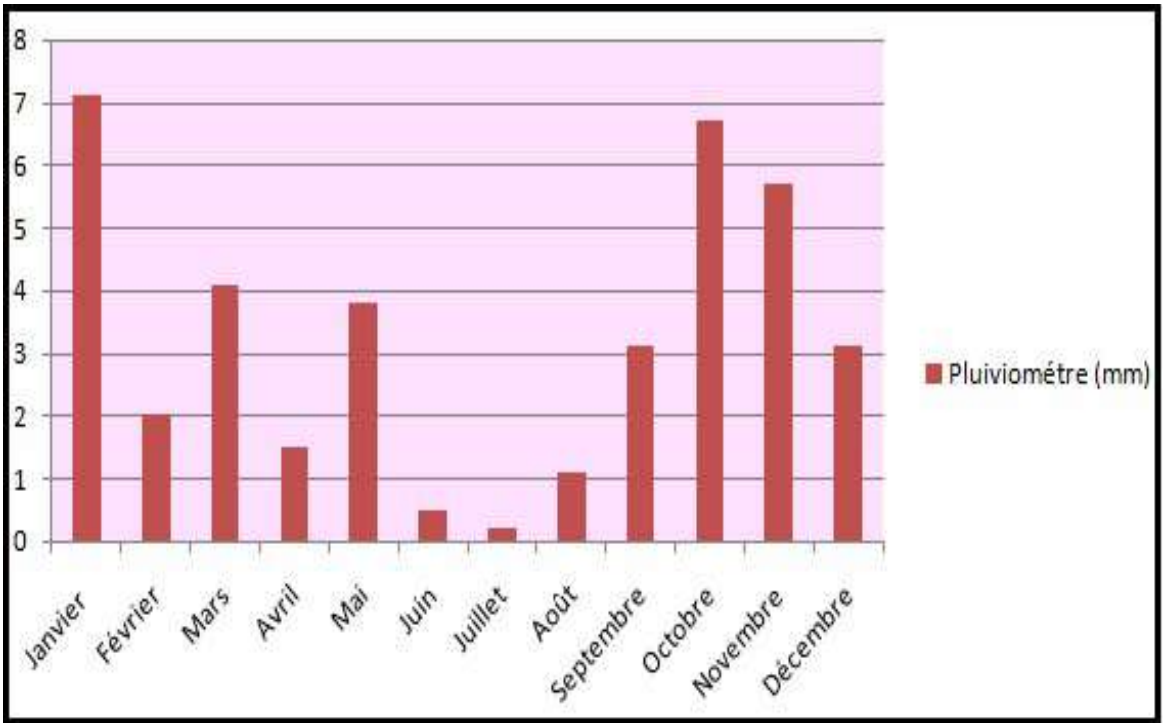

Figure. I.04 : Variation mensuelles de la pluviosité au niveau de la région d'Ouargla.

I-4.3 Vent :

Le vent est un phénomène continuel au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense à cause des particules sableuses qu'il transporte, et contrepartie une sédimentation également importante, qui se traduit par la formation de dunes.

Des vents atteignant 100 Km/h sont un phénomène normal, l'air reste obscurci des journées entières par le vent de sable et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à 1 500 mètres de haut par des trombes.

Indépendamment de l'action mécanique, que le vent exerce sur les végétaux, dont il déchire les parties aériennes.

Il agit surtout en accentuant l'évaporation. Dans la wilaya d'Ouargla les vents soufflent du Nord-est et Sud.

Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest tandis qu'au Printemps les vents du Nord-est et de l'Ouest dominent en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud-ouest**. [12]**

En hiver, les vents froids dominants sont ceux des secteurs Ouest (Nord Ouest et Sud Ouest). Au printemps et en été, ils viennent uniquement de l'Est (Nord Est et Sud Est), en automne, ils sont Nord Est ou Sud Ouest **[13]**

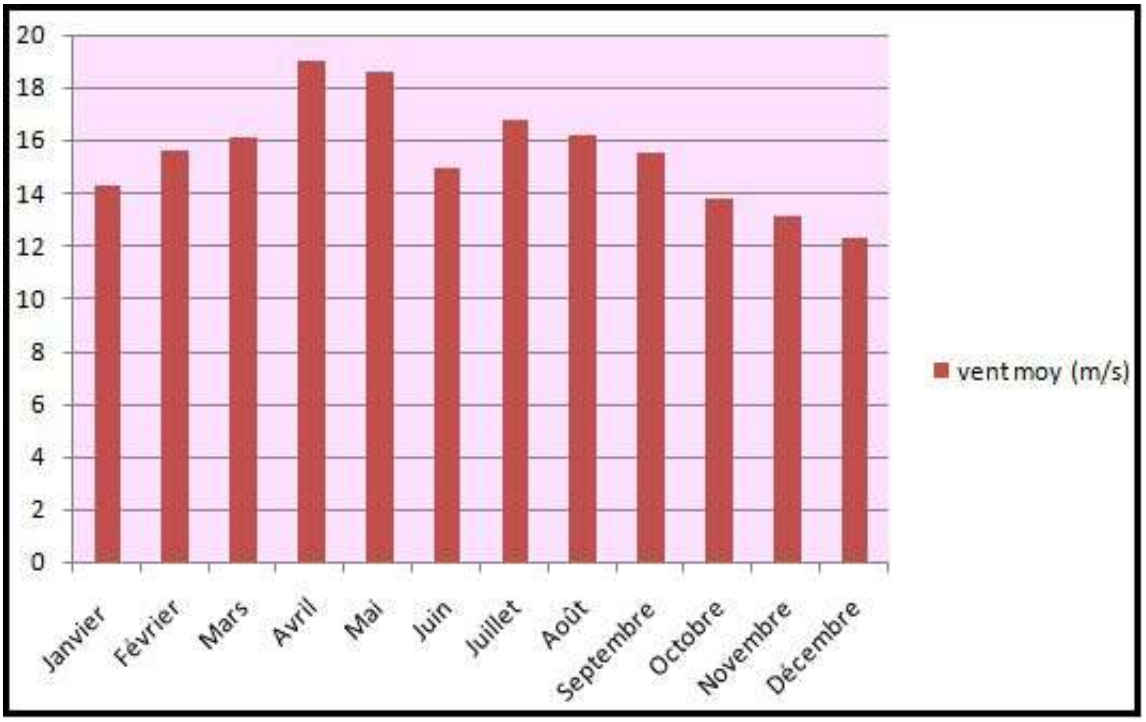

Figure.I.05 : Variations mensuelles de la vitesse de vent de la cuvette d'Ouargla.

I-4.4 Évaporation :

L'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sècheresse 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 **[14].**

Le cumul de l'évaporation est de l'ordre 2806,59 mm avec un maximum de 430,2 mm au mois de Juillet, et un minimum de 82,6 mm au mois de Décembre (Fig.06) (Tab 01).

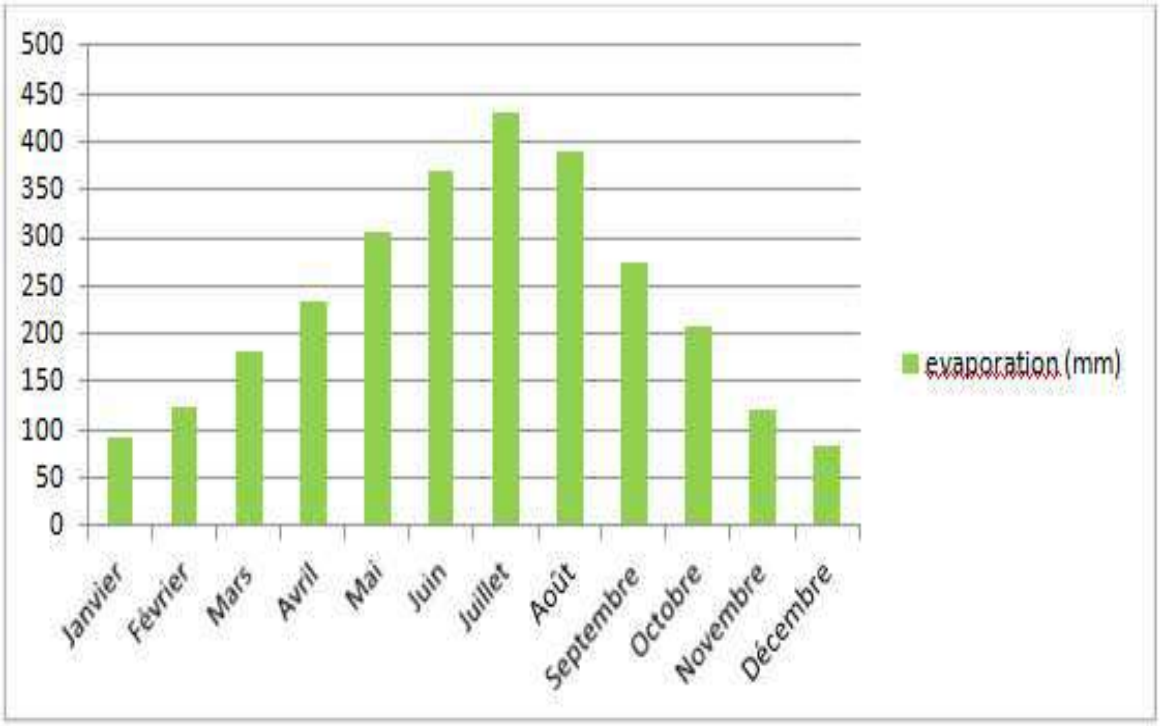

Figure. I.06: Variation mensuelles de l'évaporation de la région d'Ouargla.

I-4.5. Humidité :

D'après la figure I.07, l'humidité relative de l'air est faible, la moyenne annuelle est de 43,5%, le minimum est de 15,1% en Juillet et le maximum est de 83,7% au mois de Décembre (Tableau 01)

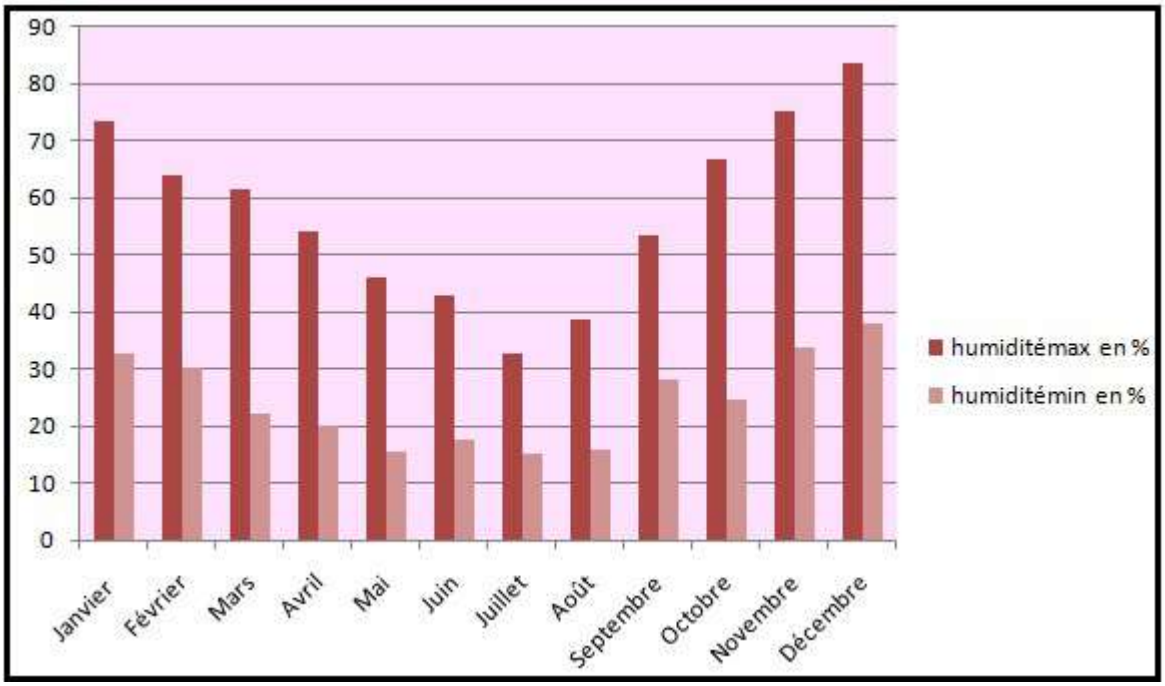

Figure. I.07: Variations mensuelles d'humidités relatives de la cuvette d'Ouargla.

I-4.6. Insolation :

La durée annuelle moyenne d'insolation est de 2877.23 heures, la durée moyenne d'ensoleillement journalière est supérieure 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 de Novembre à Février correspondant la durée d'ensoleillement la plus basse de 214 h **[15].**

Selon la figure I.08, la cuvette d'Ouargla présente une durée d'insolation maximale de 31

Heures au mois de Juillet et Août un minimal de 202,6 heures au mois de Décembre (Tableau01).

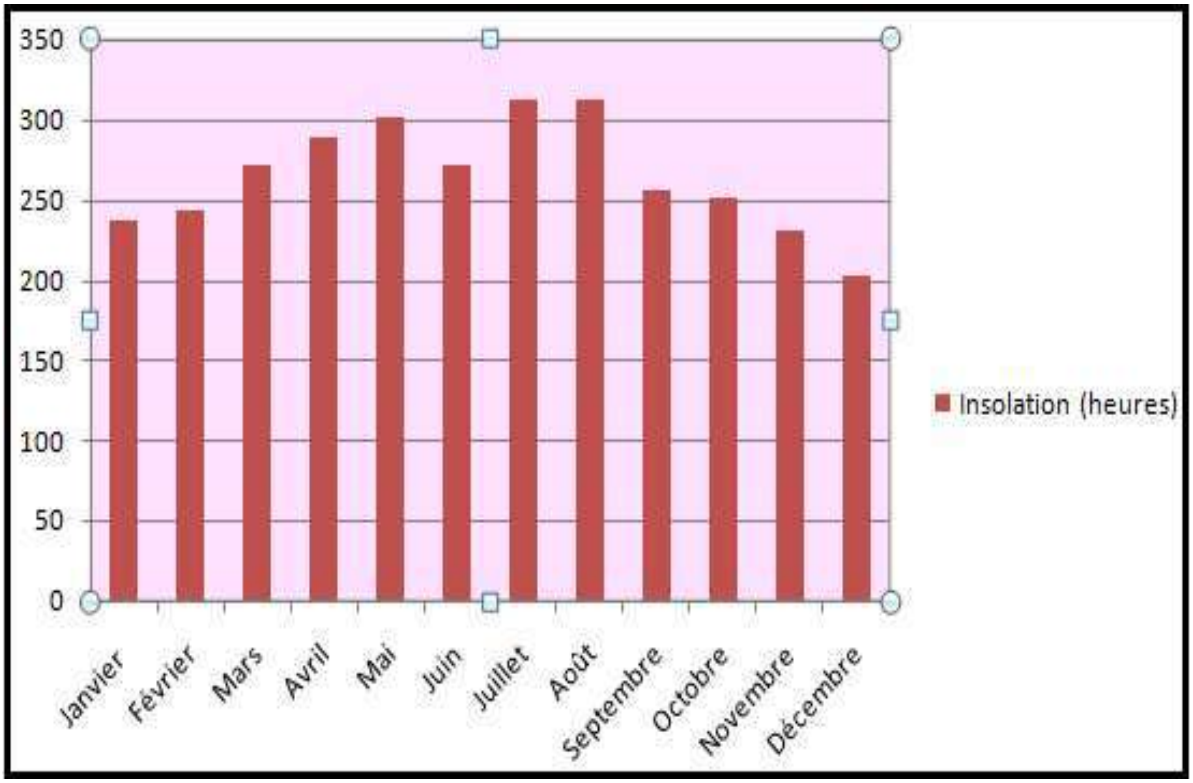

Figure. I.08 : Variation d'insolation annuelle de la cuvette d'Ouargla.

Chapitre II : Etude géomorphologique et hydrogéologique

Chapitre II : ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

II-1. Géomorphologique de la cuvette d'Ouargla :

On distingue d'après l'étude géomorphologiques de la région d'Ouargla dont les principaux sont les suivants:

- **La Hamada :**

  Se présente comme un plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses. C'est une formation continentale détritique dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé et ne laissant que quelques buttes témoins appelées "goure".

- **La série des glacis ouest :**

  Les glacis sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude. **[16]**

- **Le chott et la sebkha :**

  Constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspondons à la bordure de la sebkha est constitué de sable siliceux et / ou gypseux et de sols gypseux à croûte gypseuse de surface et de subsurface. Le bas-fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente, très peu profonde (1 à 5 m) dans le chott, qui affleure en surface au centre de la sebkha. **[17]**

  En aval d'Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région. **[16]**

- **Les dunes :**

  Formations éoliennes récentes en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent l'Est et le Nord-Est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued Mya. **[17]**

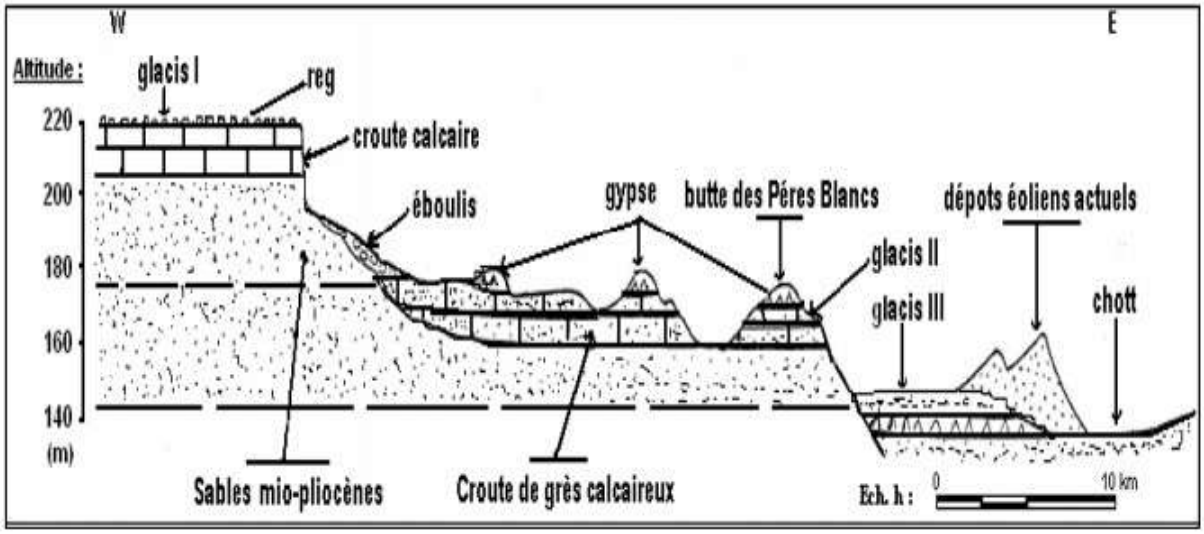

Figure. II.1: Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla. [16]

II-2. Géologie de la cuvette d'Ouargla :

La cuvette d'Ouargla fait du Bas Sahara qui se présente en cuvette synclinale dissymétrique, caractérisé par un remplissage sédimentaire constitué d'une alternance de terrains perméables et imperméable. De haut en bas, nous distinguons :

- **Quaternaire :** Formé de dépôts sableux de 15 m d'épaisseur, en moyenne.
- **Miopliocéne :** Il est formé alternance de sables et d'argiles et repose en discordance sur le Sénonien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 150 m.
- **Sénonien Eocène :** Formé de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des Intercalations de marnes et d'argiles, reconnu sur une épaisseur de 360 mètres et repose sur la série imperméable du Sénonien lagunaire.
- **Turonien :** Formé de calcaires fissurés et constitue un aquifère captif dans la région de Hassi Messaoud. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 60 m et repose sur un substratum imperméable du Cénomanien anhydritique et argileux.
- **Albien :** Il correspond à la série supérieure du Continental Intercalaire, il est essentiellement gréseux formant un important aquifère captif reconnu sur une épaisseur de 400 m, reposant sur substratum imperméable.
- **Barrémien :** Il est essentiellement sablo-gréseux. **[17]**

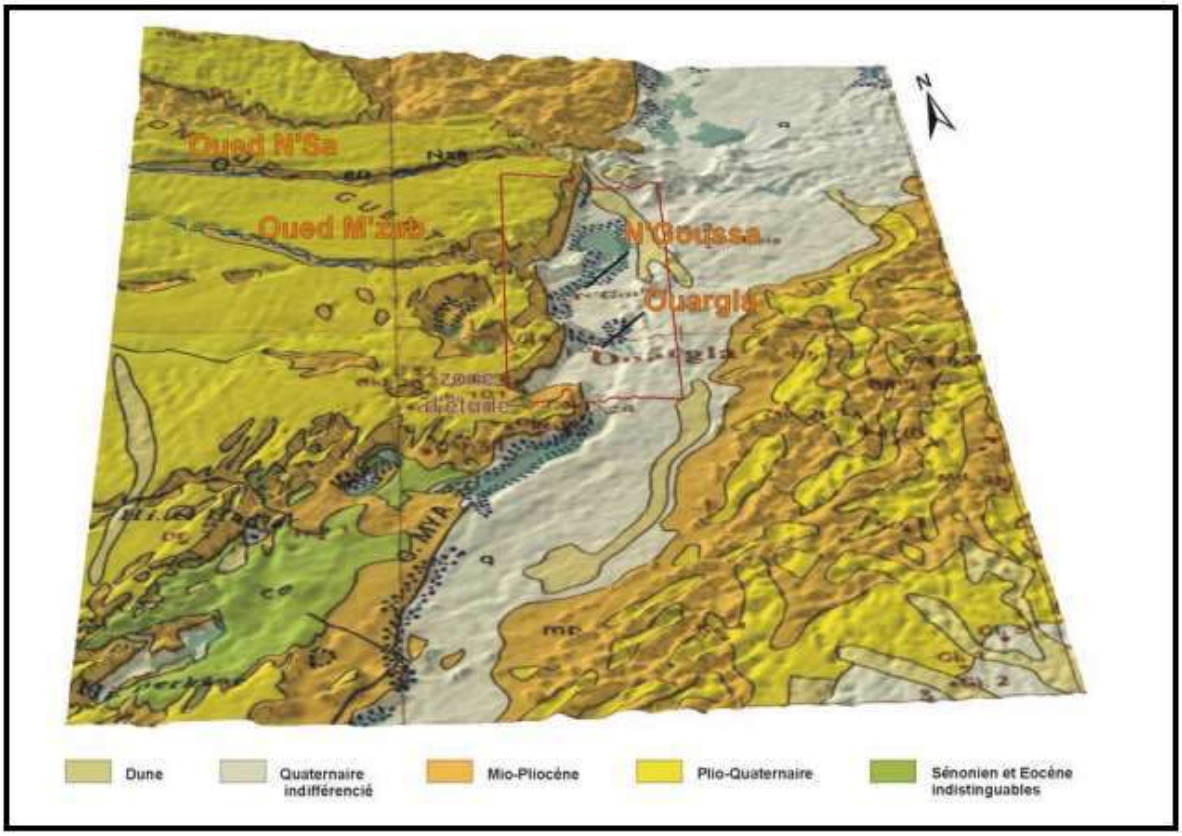

Figure. II.2: Carte géologique de la région d'Ouargla. [18]

II-3. Hydrogéologie de la région :

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

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui on été regroupées en deux réservoirs appelés: le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie (Fig. III.1), sa réserve est estimée à 31.000×109 m 3 (Ould Baba Sy, 2005). il s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guir-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie. En Algérie, ce système aquifère couvre une surface de 700 000 Km2 et est d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres. **[19]**

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, les nappes artésiennes du

Continental terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles. **[20]**

Le "Complexe Terminal" est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène. **[21]**

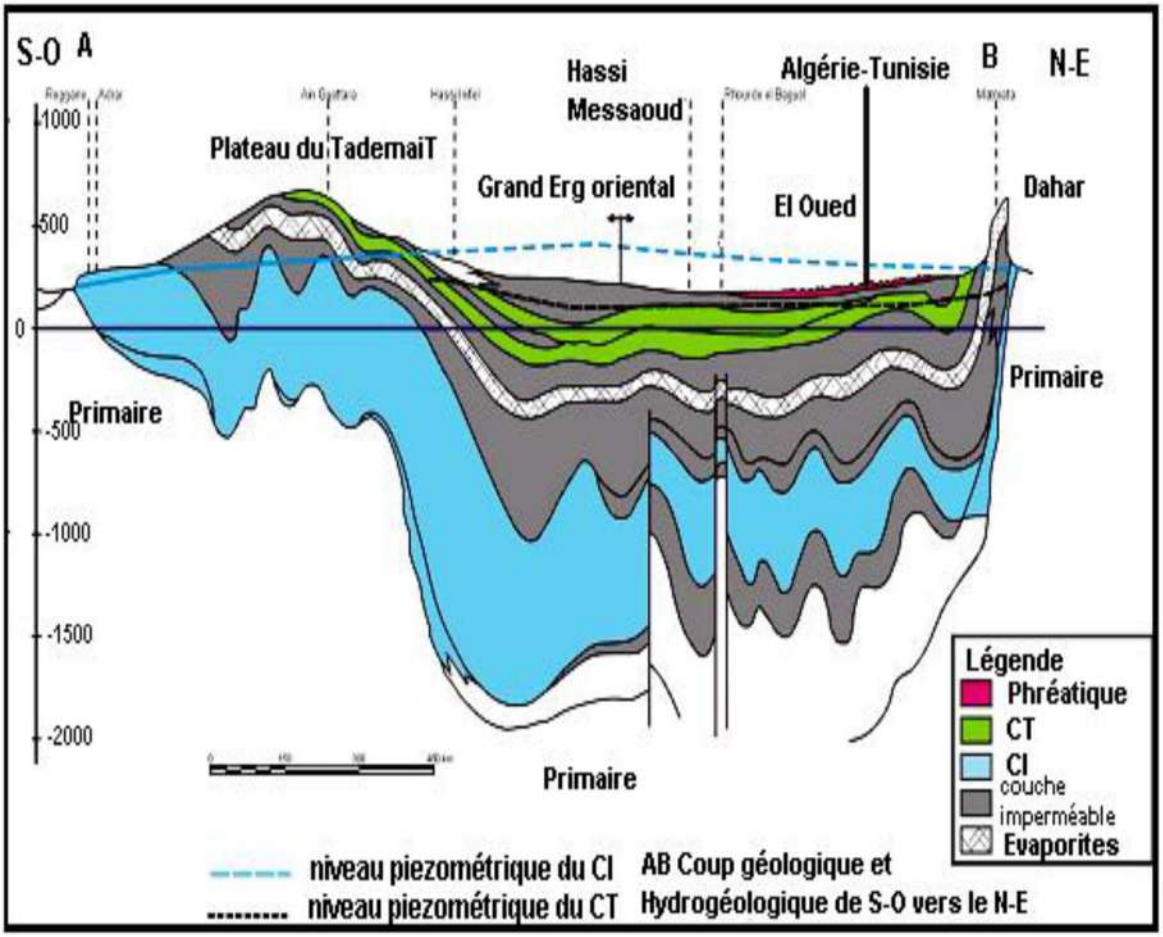

Figure. II.3 Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) [20]

II-3.1 Nappe du complexe terminal (CT) :

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables.

Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. **[22]**

D'une superficie de 350 000 km2 et d'une réserve de 1736,38 hm3 /an. Elle regroupe les nappes du mio-pliocéne 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/1. **[11]**

II-3.1.1 La nappe mio-pliocéne :

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

II-3.1.2 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. **[11]**

II-3.1.3 L'alimentation de la nappe (CT) :

La première carte piézométrique de la nappe du complexe terminal établie et publiée par A. CORNET en 1960, reprise et complétée par G. AILAIRE à l'aide des renseignements fournis par les forages pétroliers lors de l'étude de l'ERESS 1972, indique les axes et les directions d'écoulement des eaux de cette nappe. L'allure des isopièzes montre que la nappe peut être alimentée par les zones suivantes :

- **Alimentation à partir de l'atlas saharien :** entre Biskra et la frontière tunisienne,les courbes isopièzes sont parallèles à l'Atlas, l'alimentation peut avoir deux origines :
  - A travers la flexure sud
  - Atlasique; par infiltration des crues des oueds à l'aval de l'accident atlasique.

- **Alimentation par le plateau du Tadmait et Tinhert :** Les eaux qui s'infiltrent sur le plateau de Tadmait et du Tinhert, s'écoulent vers le Nord et convergent vers l'exutoire principal : la zone des chotts Marouane et Milrhir.

- **Alimentation par les monts du M'zab :** Le réseau très dense des Oueds du versant oriental du M'Zab joue un rôle important dans l'alimentation de la nappe des sables Mio- pliocène lors des crues exceptionnels (crues des Oueds N'sa et M'Zab qui atteignent sebkhat Safioune au Nord de la cuvette).

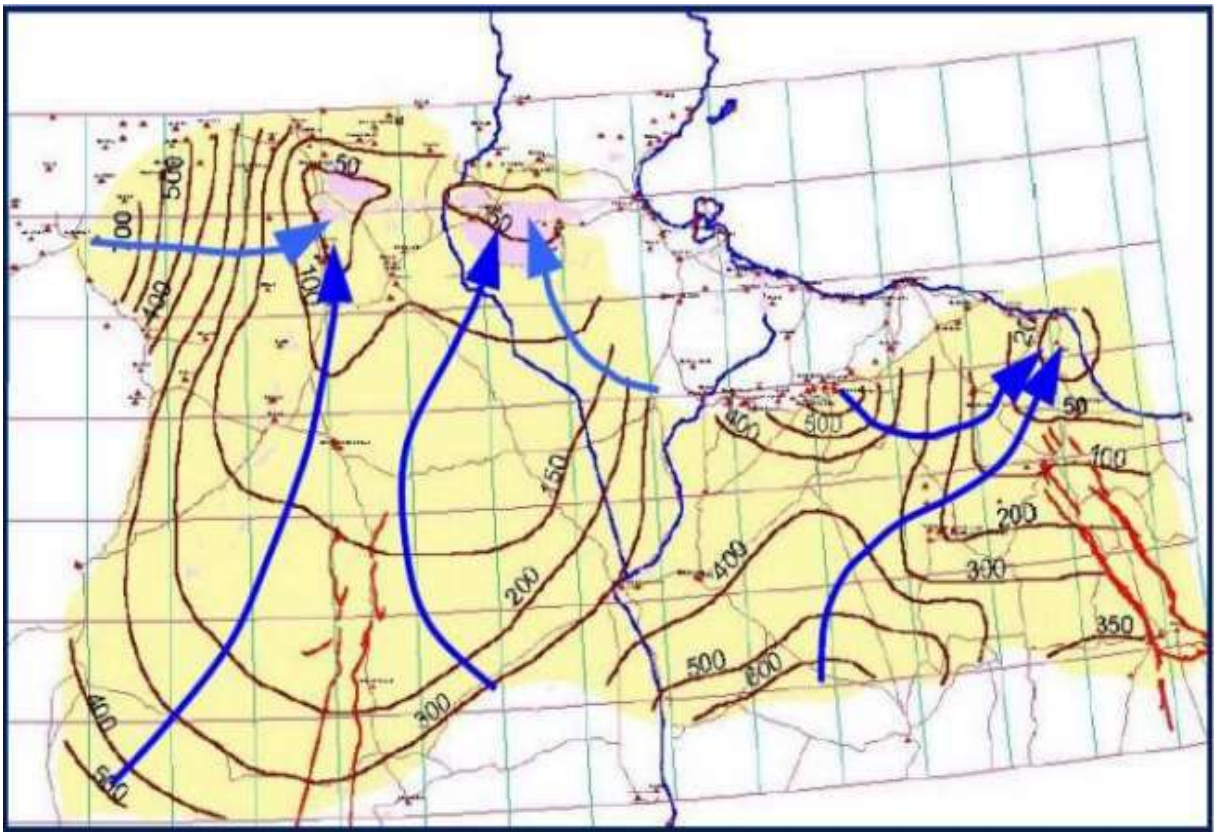

Figure II-4 Carte piézométrique de référence du CT [23]

II-3.2. Nappe du continental intercalaire (CI) :

Le réservoir du C.I. est contenu dans les formations continentales du crétacé inférieur (Barrémien et Albien), Composé essentiellement de grès, sables et argiles, il est continu du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili et le Hoggar, d'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert libyen. Au Nord-Est de la dorsale du M'Zab, le toit de l'aquifère,constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomanien, est continu sur tout le bassin. **[24]**

La profondeur augmente du Sud au Nord, de 1000 m au bas Sahara, à 2000 m sous les chotts, provoquant ainsi une forte charge de la nappe sur tout le bassin oriental. **[25]**

D'une superficie de 800000 km^2 et d'une réserve de 627,30 hm^3 /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. On rencontre cet aquifère à des profondeurs allant de 1000 à 1500 m. **[26]**

II-3.2.1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe C.I.

Depuis la mise en exploitation à l'échelle de la région d'Ouargla, les forages captant le C.I ont fait l'objet de plusieurs prélèvements et d'analyses chimiques afin de suivre l'évolution de la qualité chimique des eaux. Nous présentons dans le tableau suivant les résultats d'analyse effectuée par l'ANRH (nov 1998) sur six forages de CI :

Tableau II.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe du CI [27]

Paramètres	Valeurs moyennes
PH	7,34 – 7,64
Température	47,4 –54,5 °C
Conductivité	2000 – 2900 ms/cm
Faciès chimiques	Sulfate. Chlorure Alcalin SO4 2- > Cl - > HCO- et Na+ > Ca2+> Mg2+
La minéralisation totale	1,8 - 2,5 g/l

II-3.3 La Nappe phréatique:

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou les vallées. Elles sont alimentées par les pluies, les crues, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles (sources) en provenance des aquifères plus profondes ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitants ces dernières, Elle affleure dans les zones basses (sebkha et chott) et dans certaines palmeraies.

Elle est située à une dizaine de mètres de profondeur dans certaines zones urbaines. Cette nappe n'est pas exploitée à cause de sa grande salinité (plus de 15 g/l). En outre elle est polluée car elle se mélange aux eaux dans certains points et elle reçoit aussi les eaux de drainage de la palmeraie. **[28]**

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 effectuées 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 ≈ 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 au niveau de la haute zone (Ksar), 50 et 100 cm dans les palmeraies limitrophes de la sebkha (Aine Elbeida et Bamendil) 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. **[26]**

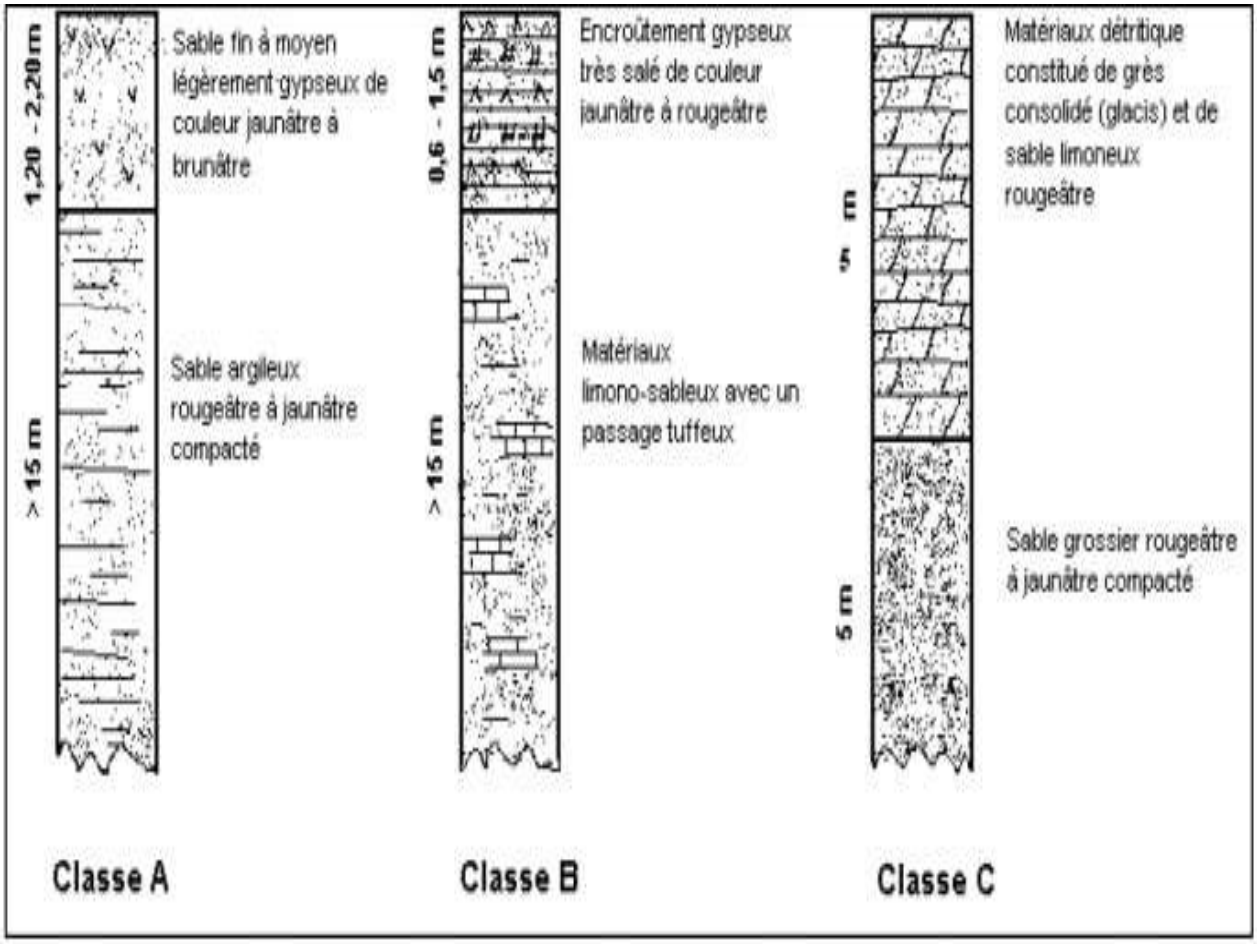

Figure II-5 Log géologiques des formations de la nappe phréatique [6]

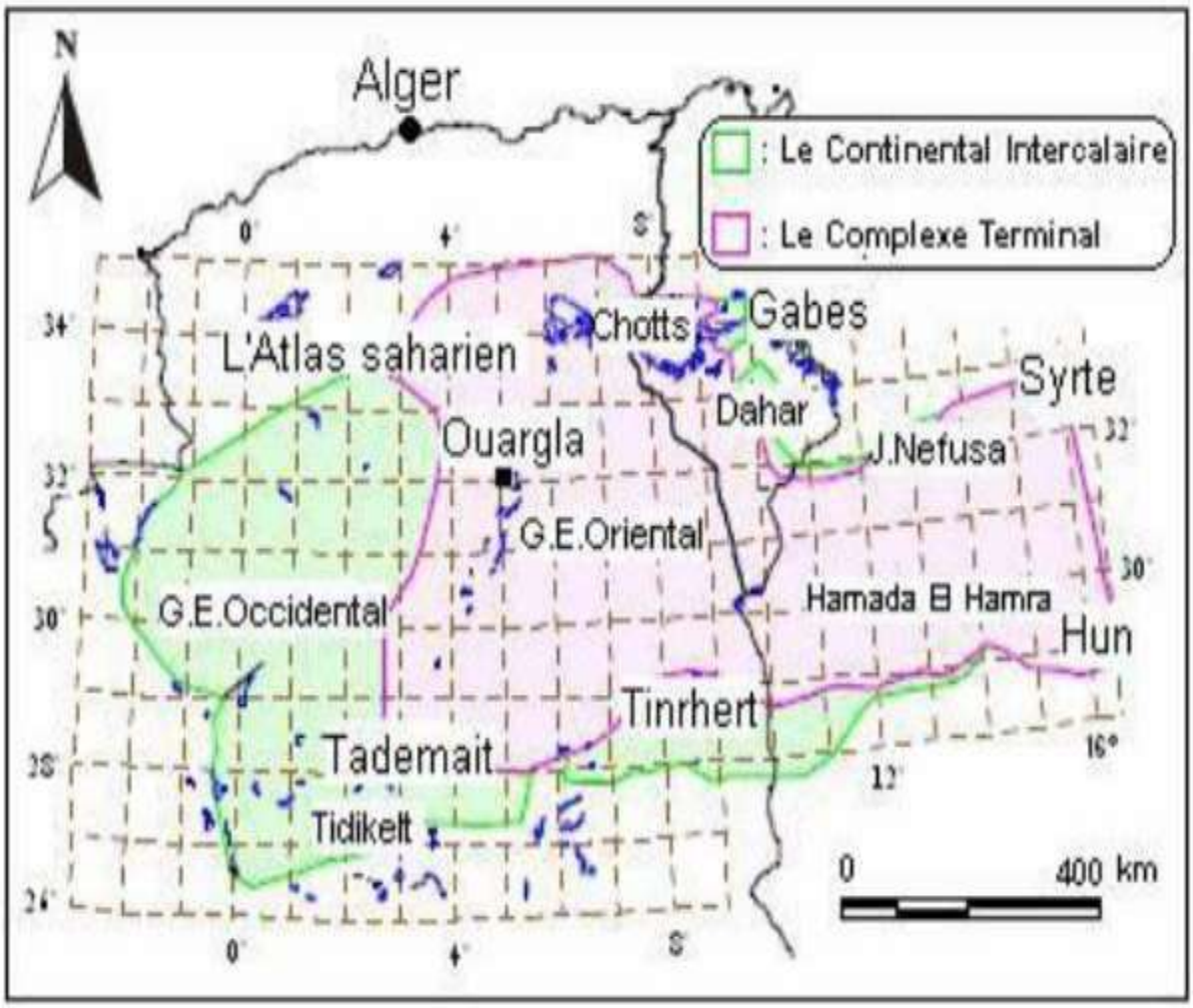

Figure II-6 Délimitation du "SASS" [23]

II-3.4 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, 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. **[26]**

Le sol est Compose 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.

- 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. **[11]**

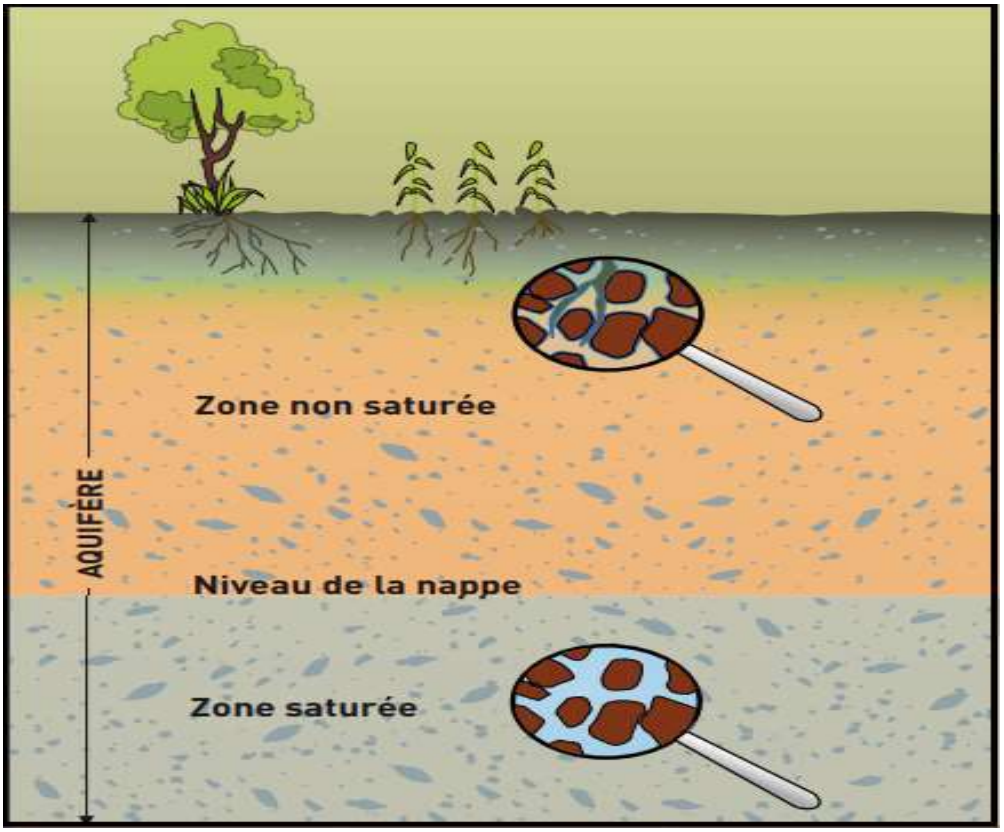

Figure II-7 Schéma représentant la zone saturée et la zone non saturée [29]

Remarque : Dans la zone non saturée, l'eau n'est présente que sous forme d'humidité. Dans la zone saturée, l'eau occupe la totalité des vides disponibles (fissures, pores des sédiments ou des roches).

II-3.4.1 Types d'aquifères :

Les aquifères présentent des particularités liées à la nature géologique et à la géométrie des formations rocheuses qui les constituent, mais aussi à leur caractère libre ou captif et aux autres milieux aquatiques avec lesquels ils échangent.

- **Les aquifères de roches sédimentaires :** composés de roches sédimentaires (calcaire, sable, grès, craie), ils caractérisent les dépôts en couches (comme dans les grands bassins), dépôts qui peuvent avoir été morcelés voire déformés dans les chaînes de montagne.
- **Les aquifères alluviaux :** ils sont constitués de matériaux déposés par les cours d'eau dans leurs vallées (sables et graviers, intercalés dans des limons fins). Ces nappes en relation avec les eaux de surface servent souvent de relais aux grandes nappes libres qui s'écoulent vers les points bas que sont les vallées.
- **Les aquifères de roches cristallines (granite, gneiss,...) et volcaniques (laves, cendres)** : ils stockent l'eau dans les fissures et les sables issus de l'altération du granit (arènes). Ils abritent de petites nappes et sont fréquents en Bretagne, dans les Alpes, le Massif central, les Pyrénées, la Corse.

II-3.4.2 caractéristique des milieux aquifères :

Leurs deux propriétés, la porosité (pourcentage de vides dans la roche) et la perméabilité (capacité à laisser circuler l'eau) les répartissent en trois types :

- **Poreux :** l'eau s'accumule et s'écoule dans les interstices de la roche, meuble (sable, graviers) ou consolidée (grès, craie).
- **Fissuré :** les roches cristallines, les laves, les calcaires non karstifiés... sont très peu poreux. L'eau est contenue et circule dans les failles ou les fissures de la roche.
- **Karstique :** les terrains calcaires ou crayeux sont organisés en un réseau de drainage souterrain dont une partie des vides, élargis par la dissolution, peut atteindre la taille de gouffres et de cavernes.

La vitesse d'écoulement est liée à la perméabilité de l'aquifère Un même volume d'eau peut parcourir une même distance en quelques années en alluvions et en milieu poreux, en quelques mois en milieu fissuré et en quelques jours, voire quelques heures, en milieu karstique.

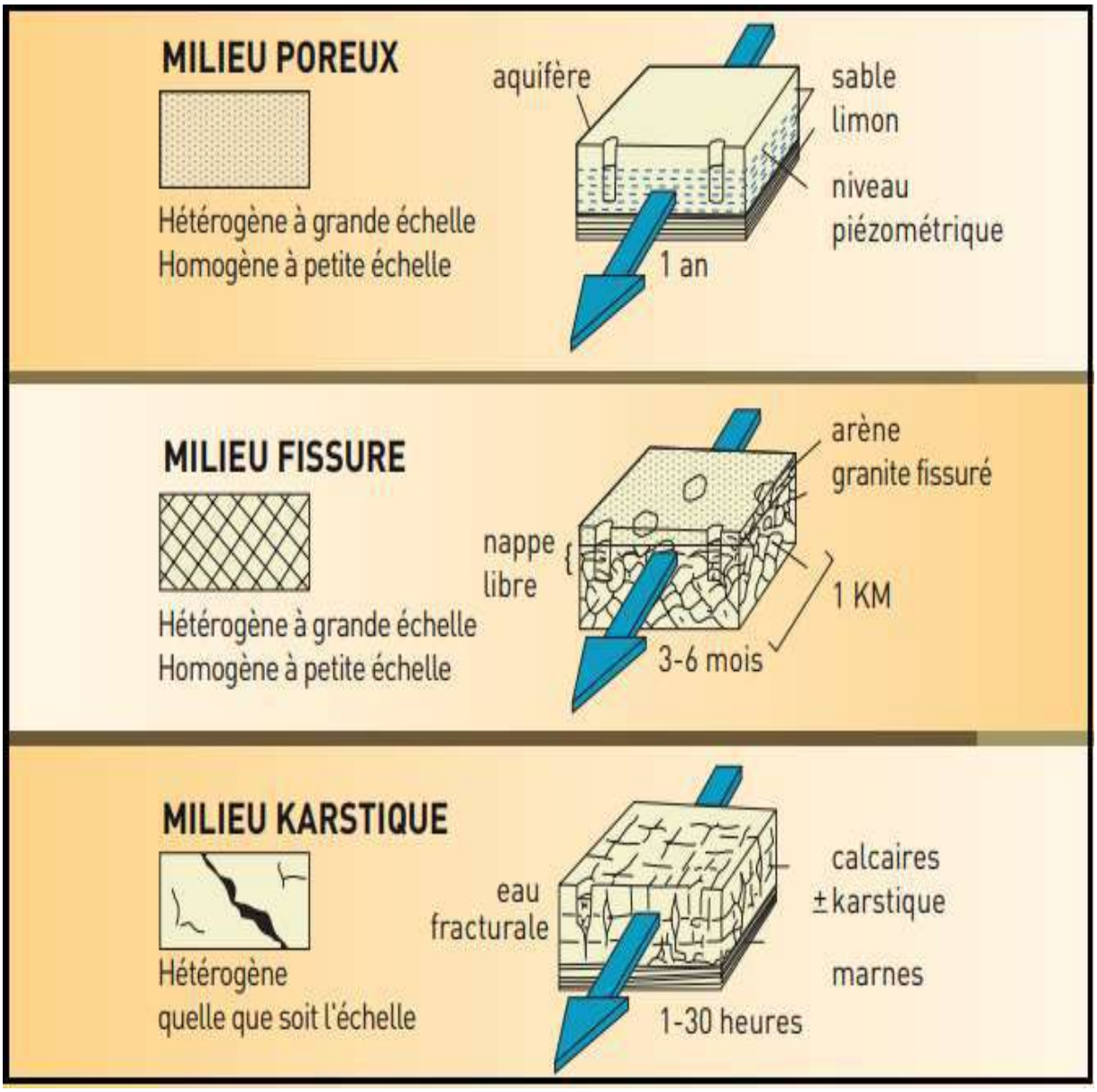

Figure II-8 Schéma représentant l'écoulement des nappes [29]

II-3.5 Les nappes d'eau souterraines :

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

II-3.5.1 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 recharger les cours d'eau proches, pendant les périodes de sécheresse. Les nappes phréatiques appartiennent à cette catégorie.

II-3.5.2 Les nappes captives :

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

Lorsque moins de 5 % de ces eaux sont renouvelées à l'année, ces nappes sont dites fossiles. **[30]**

(Nappe Captive) **(Nappe Libre)**

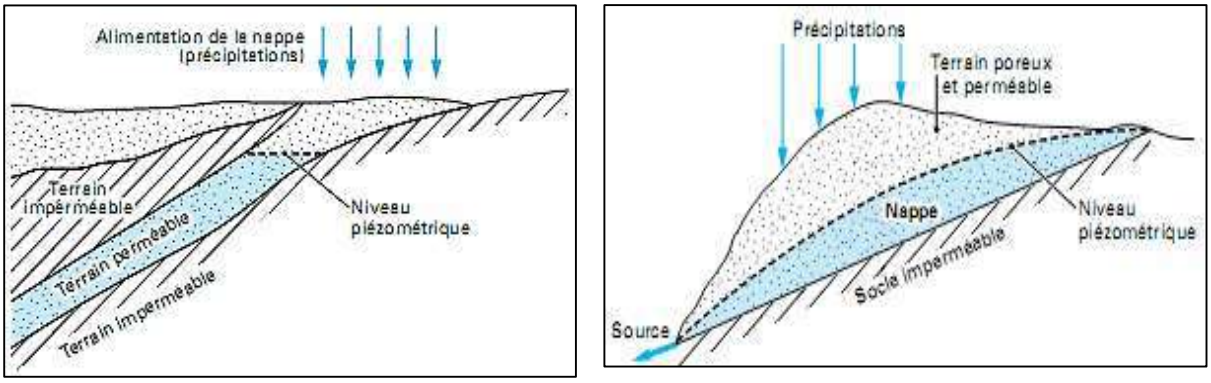

Figure II-9 les différentes types des nappes [31]

II-3.6 Ressources hydriques :

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 :

II-3.6.1 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. **[8]**

II-3.6.2 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. Ces formations géologiques appelées aquifères. **[32]**

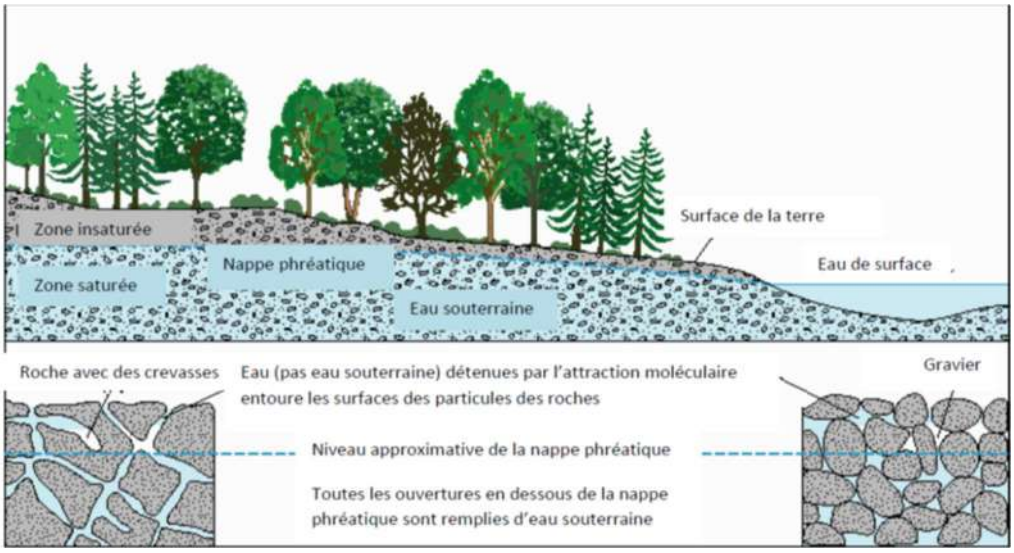

Figure II-10 Les eaux souterraines [26]

II-3.6.1 les principales caractéristiques des eaux Souterraines :

- **Turbidité faible :** Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol.
- **Contamination bactérienne faible :** Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de la matière organique ne favorisent pas la croissance des bactéries.
- **Température constant :** Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- **Indice de couleur faible :** Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales.
- **Débit constant :** Contrairement à celles des eaux de rivière, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
- **Dureté souvent élevée :** Les eaux peuvent être en contact avec des formation rocheuses contenant des métaux (Mg++, Ca++...etc.) **[33]**

II-3.7 Principale différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Les eaux de surface sont plus chargées de matières en suspension que les eaux de souterraines, ainsi que des colloïdes, plancton animal et végétal. Les eaux souterraines sont souvent considérées comme des eaux naturellement pure ce qui est une erreur, car souvent elles contiennent du fer, manganèse, ammoniaque, et matières organiques sans parler de la teneur excessive en fluor et nitrates.

Tableau II.2. Principe différences entre eaux de surface et eaux souterraines [34]

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 (argiles, algues…) sauf dans les eaux très douce et acide (acide humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques par exemple)
Minéralisation	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets…	Sensiblement constante en général nettement plus élevée de surface de la même région
Fer et Mn divalents	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
CO_2	Généralement absents	Souvent présent en grande quantité
H_2S	Généralement absent	Souvent présent
O_2 dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation, absent dans le cas d'eaux très polluées.	Absent la plus par du temps
NH_4	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée

Silices	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développées, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquentes
Solvants chlorés	Rarement présents	Souvent présent
Caractère eutrophe	Fréquente accentué par les températures élevées	Non

Chapitre III : Généralité sur l'eau et la pollution des eaux

CHAPITRE III – GENERALITE SUR L'EAU ET LA POLLUTION DES EAUX

III -1. Généralité sur l'eau :

L'eau est de toutes les matières la plus importante pour l'existence de l'homme.
Elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne.

Dans la nature, l'eau se trouve partout et sous de multiples aspects : la pluie, les nuages, les glaces, les lacs, les nappes souterraines …etc. L'eau de pluie, la neige et la glace sont presque similaires à l'eau distillée. **[35]**

III -2.L'eau :

L'eau ou l'hémioxyde d'hydrogène est un corps incolore, inodore, et insipidel, de formule chimique H2O. En 1781 Henry Cavendish a réalisé sa synthèse par l'inflammation explosive de l'hydrogène dans l'air. Cependant les résultats de ses expériences ne furent clairement interprétés qu'après 1783 lorsque Antoine Lavoisier et Meusnier affirment que l'eau n'est pas un élément de formule H2O mais plutôt un corps composé d'hydrogène et d'oxygène. En 1805 Joseph Louis Gray Lussac et Alexander Von Humboldt ont montré en réalisant la synthèse eudiométrique de l'eau, qu'il est composé d`un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène. 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 1H216O comme le montre le tableau 01 en annexe. La différence d'électronégativité entre l'oxygène (3.5) et l'hydrogène (2.1) confère à la molécule d'eau une structure dissymétrique. **[36]**

III -2.1 La molécule d'eau :

L'eau est un corps dont l'unité de base est une molécule, notée H2O, formée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogène par des liaisons covalentes: chaque atome d'hydrogène partage ainsi avec l'atome d'oxygène une paire d'électrons.

L'assemblage d'atomes obtenu est non linéaire, formant un coude dans l'assemblage de H2O : c'est la raison de la polarité de la molécule d'eau. **[37]**

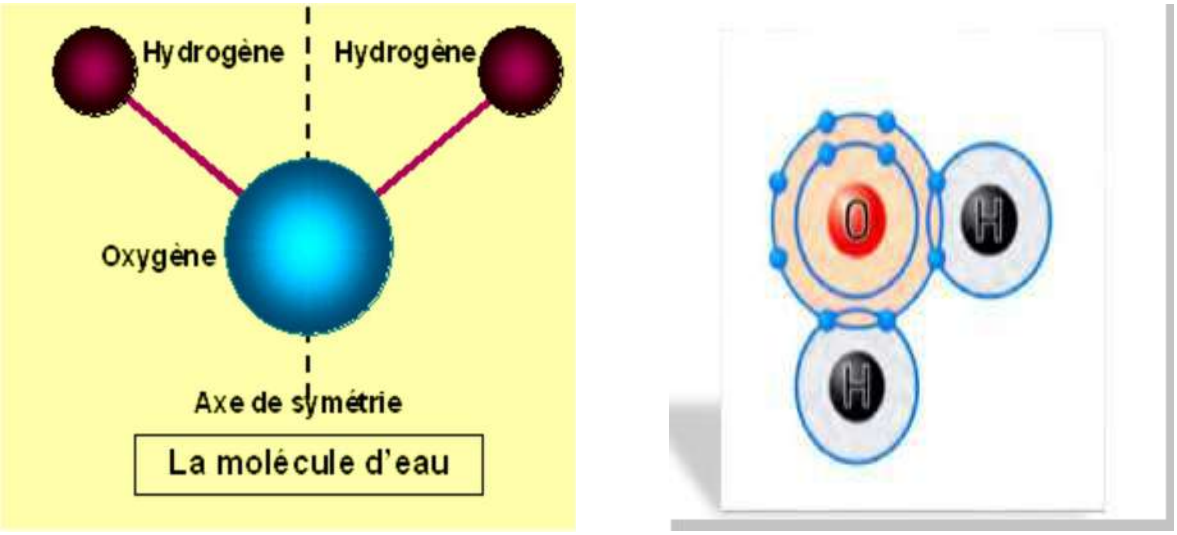

Figure III -01 : La molécule d'eau. [37]

III -2.2 Les états de l'eau :

L'eau peut exister à l'état :

- Solide : c'est la glace, le verglas… Les molécules d'eau sont parfaitement organisées de façon à former quelque chose de dure et solide.

- Liquide : c'est l'eau des rivières, de l'océan, du robinet, même des nuages, Les molécules d'eau sont un peu dans tous les sens, mais assez proches les unes des autres.

- Gazeux : c'est de l'eau qui n'est pas visible à l'oeil nu. Il y en a partout dans l'air que l'on respire. Les molécules d'eau sont désordonnées et très espacées les unes des autres.

(L'eau à l'état gazeux) **(L'eau à l'état liquide)** **(L'eau a l'état solide)**

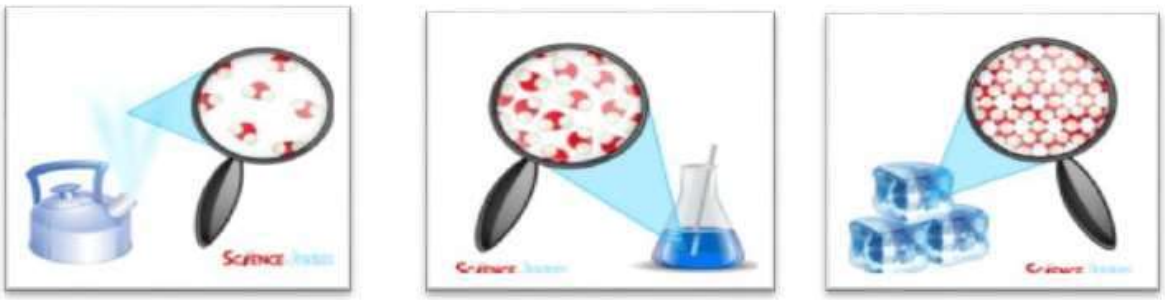

Figure III -02 Les états d'eau. [38]

III -2.3 Les propriétés de l'eau :

III -2.3.1 Les paramètres physico-chimiques de l'eau :

- **Le pH :**

Le pH représente la quantité de proton (H+) présents dans une solution, est compris entre 6.5 et 8.5 dans la plupart des eaux brutes et exprime si l'eau à réaction acide ou alcalin. **[39]**

L'intérêt de la mesure du pH, qui est un indicateur important dans la détermination de l'agressivité de l'eau vis à vis du ciment et des métaux, ainsi que pour la stérilisation de l'eau par le chlore. **[40]**

- **La dureté :**

La dureté de l'eau ou l'hydrométrie, c'est la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium, elle est exprimée par le titre hydrométrique.

- **La température :**

La température de l'eau de consommation dont l'optimum est entre 9 à 12 C° ne devrait pas dépasser 15 C°.une température supérieur à 15 C° favorise le développement des microorganismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs.

Par contre à 10 C° ralentit les réactions chimiques dans différents traitements des eaux. **[41]**

- **La conductivité électrique :**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart de matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

dans le cas de distribution d'eau potable l'intérêt de cette méthode ne réside pas dans une seule mesure mais dans une série de détermination qui permettront de déceler les variations de composition peuvent survenir du fait d'infiltration des eaux superficielles de minéralisation différents et assez souvent polluée.

- **L'oxygène dissous :**

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier : la T°, la pression atmosphérique et la salinité, l'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau ; les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre.

- **La turbidité :**

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau.

- **Les matières en suspension**

Ce sont des particules solides dont la taille est supérieur à 10 µm, dispersées dans l'eau sans être chimiquement liées avec elle, de ce fait, leur élimination est assez simple. **[39]**

III -2.3.2 Les éléments majeurs :

- **Le calcium :**

Calcium, qui est l'élément de la dureté, est généralement l'élément dominant des eaux potables les eaux minérales en contiennent plusieurs centaines de milligrammes par litre.

Les eaux qui dépassent 200mg/l de calcium présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières.

- **Le magnésium :**

Le magnésium est un élément de la dureté de l'eau, dont la teneur, qui dépend de terrains traversé. En raison de son influence sur le goût et d'un éventuel effet laxatif, des taux maximal de magnésium de 50 mg /l (pour un teneur en sulfate de 250 mg SO4 --/l).

Lorsque la teneur en sulfate est plus baisse, des concentrations plus élevées en magnésium peuvent être tolérés.

- **Le sodium :**

  Le sodium est le plus abondant des éléments alcalins, c'est un élément constant de l'eau, toutes fois les concentrations peuvent être extrêmement variable en fonction de ressources disponibles et des habitudes alimentaires Les eaux souterraines contiennent par fois beaucoup, ce qui, dans certains cas, peut accroître la salinité des cours d'eau.

- **Le potassium :**

  La teneur du potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg / l.

  certains rejets industriels peuvent augmenter la teneur en potassium dans les eaux. , la source essentielle du potassium est les roches ignées.

- **Les Chlorures :**

  Les teneurs en chlorure des eaux sont excréments variés et liées principalement à la nature de terrain traversé. Habituellement, la teneur en ion chlore des eaux naturelles est inférieure à50 mg/l.

  Mais elle peut subir des variations provoqué : dans les zones arides par un lessivage superficiel en cas de fortes pluies ; dans les zones industrielles par dessus infiltration d'eau de mer dans les nappes en particulier lors des pompages excessifs. **[41]**

- **Les sulfates :**

  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.

- **Les nitrates :**

  Les nitrates (NO3 -) naturellement présents dans l'eau, proviennent de la

  dégradation de la matière organique. Par ailleurs, les activités agricoles, industrielles ou domestiques (rejets non traités) sont une autre source de pollution des eaux de consommation.

  L'OMS, le directif européen ainsi que la réglementation algérienne fixe à 50 mg/l la concentration maximale admissible en nitrate dan l'eau destinée à la consommation humaine. **[42]**

III -2.3.3 Les éléments traces :

- **Le Fer :**

  Les eaux de surfaces peuvent contenir jusqu'à 0.5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversée, ou les pollutions industrielles; dans les eaux de distribution à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau; il précipite à la suite du départ de l'anhydride carbonique et par oxydation à l'air.

- **L'Aluminium :**

  En général l'aluminium susceptible d'être retrouvé dans l'eau de distribution lorsqu'il est en milieu acide, il existe sous forme d'Al+++; dans une solution dont on élevés le pH progressivement, il précipite sous forme de tri hydroxyde AL (OH) 3 qui se dissous sous forme d'aluminate AlO2.

  L'O.M.S retient cette même valeur limite de 0,2 mg/l. **[41]**

- **Le Manganèse :**

  Le manganèse est assez répandu dans la nature, présent dans l'eau peut s'y trouver, à des valences différentes (II, III et IV), à l'état soluble ou en suspension ou soue forme de complexes; sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous, de la présence d'agents complexant. **[39]**

III -2.4 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.

Dans la plupart des cas, les eaux souterraines sont de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont moins directement exposées aux pollutions. Cependant, si les pollutions sont en général plus discrètes, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est très difficile de remédier à la contamination. Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées

pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des pollutions est un enjeu majeur. **[43]**

III -2.5 Le cycle de l'eau :

L'eau des océans et des mers, chauffée par le soleil, s'évapore : c'est ce que l'on appelle l'évaporation. Les lacs, cours d'eau ainsi que la plupart des terrains et leur végétation rejettent également de l'eau par évapo-transpiration. Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. L'air chaud et humide s'élève.

En s'élevant, il se refroidit : les gouttes d'eau se regroupent pour former des nuages, c'est l'effet de la condensation. Cette eau, contenue dans les nuages, retombe sur les océans et les continents lors des pluies et des tombées de neige (précipitations).
Environ les trois quarts des précipitations se font sur les océans et les mers. Dans ce cas, le cycle de l'eau est très court.

Quand l'eau tombe sur les continents, elle ruisselle ou s'infiltre à travers les roches (infiltration ou écoulement souterrain). Une partie de cette eau tombée est utilisée par les plantes et ne s'écoule pas de cette façon. L'eau rejoint, dans un temps plus ou moins long, un cours d'eau. L'eau va de nouveau aller dans l'océan, les lacs et va reprendre le même chemin, ainsi c'est un cycle qui recommence à chaque fois. **[44]**

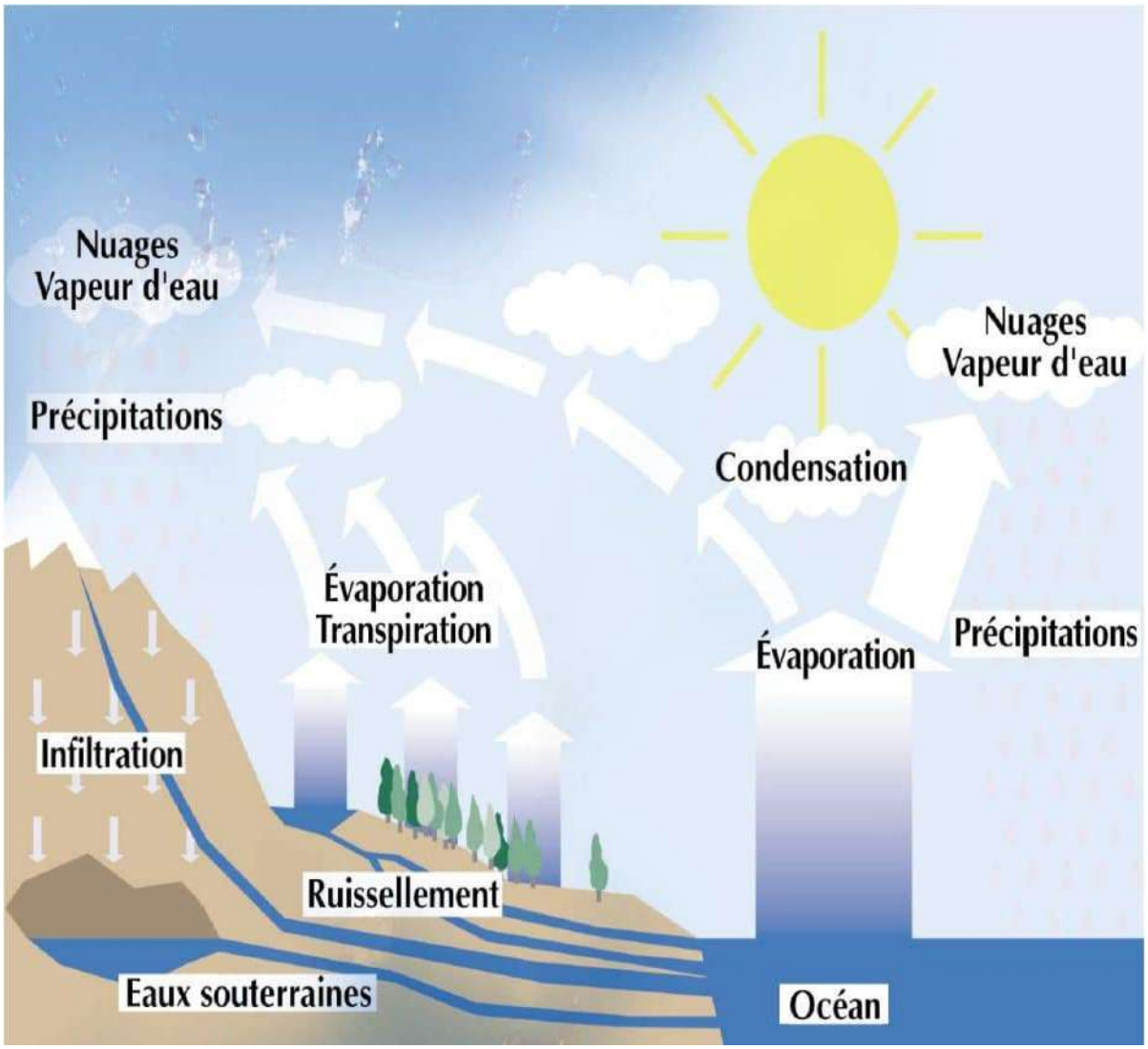

Figure III -03 Le cycle d'eau. [45]

III-3. La pollution des eaux :

III-3.1 Définition de la pollution :

Aujourd'hui, cette notion évolue une nouvelle définition de la pollution des eaux serait plutôt : toute substance qui interdit un usage de l'eau peut être considérée pour cet usage précis comme une pollution. En ce qui concerne l'eau destinée à la consommation humaine, une eau naturellement riche en arsenic devient donc une eau polluée. **[46]**

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. **[14]**

III-3.2 Type de pollution des eaux :

(Classification selon la répartition géographique)
On a deux types de pollution selon la répartition géographique :

III-3.2.1 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-3.2.2 Pollution diffuse :

Sont des pollutions dues non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis à l'environnement de façon indirecte. Les sources diffuses se caractérisent par des apports de substances émises par des sources mobiles, des sources couvrant de larges étendues ou un grand nombre de sources de pollution d'émission faible.
Les pollutions par des sources ponctuelles sont souvent plus faciles à traiter (en installant par exemple un filtre au niveau du tuyau par lequel les produits polluants sont rejetés dans le milieu naturel), alors que les émissions polluantes provenant de sources diffuses sont difficiles à recenser, à mesurer et donc à contrôler. **[47]**

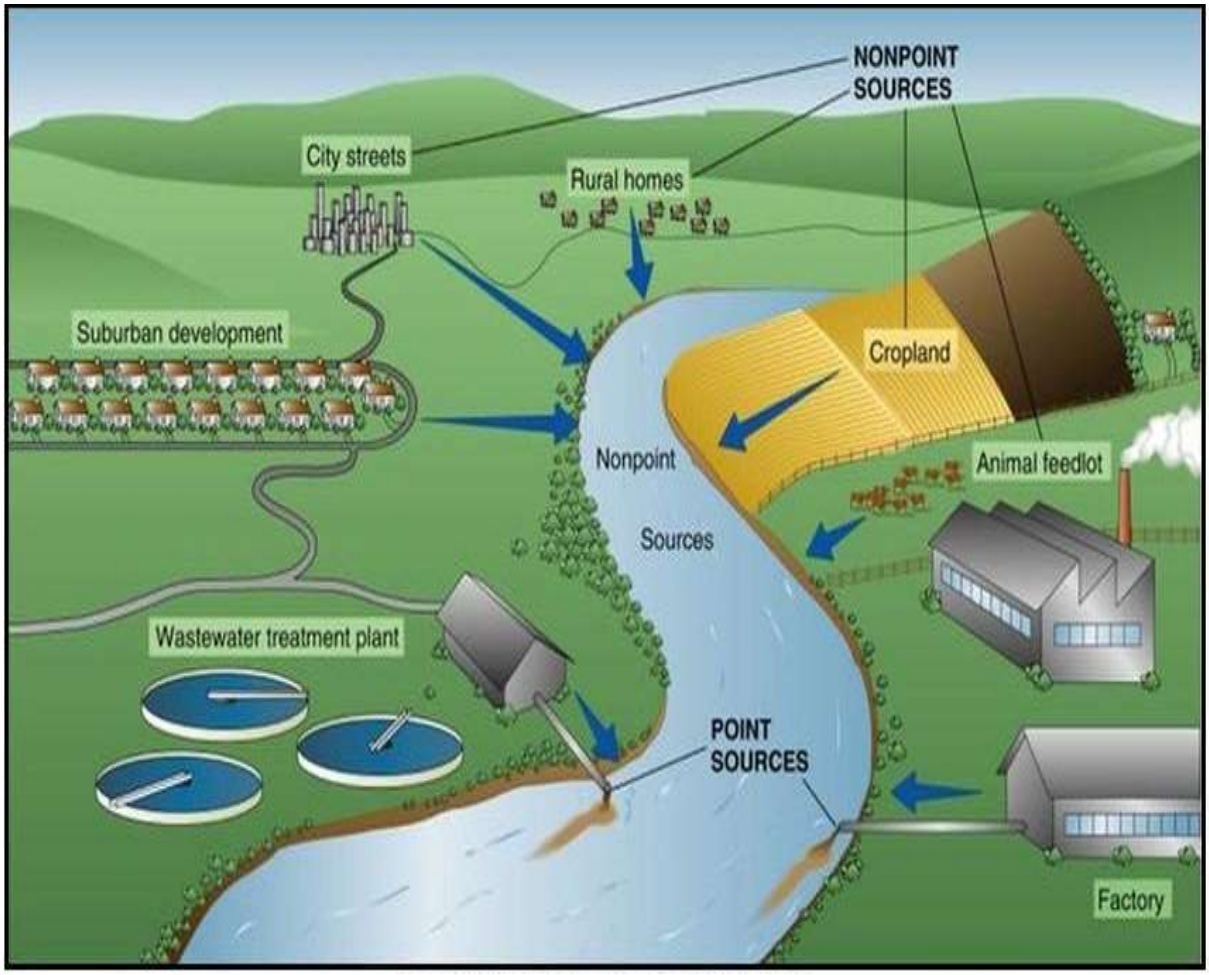

Figure III -04 Pollution ponctuelle (point) et diffuse (non point). [48]

III-3.2.3 comparaison entre la Pollution ponctuelle et diffuse :

Tableau III-1 comparaison entre la Pollution ponctuelle et diffuse. [49]

Pollution diffuse	Pollution ponctuelle

_ Concentrations faibles	_ Concentrations très élevées
_ Surfaces élevées	_Surfaces affectées faibles
_ Origine mal définie	_Origine bien définie
_ Risque à court et long terme…	_Risque à court terme

III-3.3 Origine des sources de la pollution des eaux:

III-3.3.1 Pollution naturelle :

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines se déplaçant à travers les roches et les sols sédimentaires, peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux souterraines dépend du type du contaminant et de ses concentrations. **[50]**

III-3.3.2 La pollution urbaine (domestique) :

Résulte des usages de l'eau par les ménages. Elle comprend les eaux vannes (toilettes) et les eaux ménagères et se compose surtout de pollution organique (matières fécales, urines, graisses, déchets organiques, papier, …), microbiologique ('microbes' dans les eaux vannes principalement) et chimique (détergents, produits domestiques divers, …). **[51]**

Figure III -05 Pollution domestique. [52]

III-3.3.2.1 les impacts des déchets domestiques sur l'eau :

La pollution de l'eau par les déchets ménagers sont classée dans les catégories des déchets biodégradables, des polluants chimiques dangereux et les Produits pharmaceutiques et produits de soins personnels (PPCPS). Généralement, les équipements de traitements des eaux usées sont capables de traiter les déchets biodégradables. Les produits chimiques dangereux sont plus difficiles à traiter lorsqu'ils sont dans l'environnement, ils sont plus dangereux et sont évitables. Les produits chimiques comme les nettoyeurs, les teintures, de la peinture, des pesticides et des solvants lorsqu'ils sont utilisés sont des formes substantielles et dangereuse de pollution. Les équipements de traitement d'eaux usées ne sont pas équipés pour traiter le PPCPS dans l'eau. La pollution par le PPCPS est une forme de pollution en croissance. **[53]**

III-3.3.3 La pollution industrielle :

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un processus) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas particulier est celui des

exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels. **[50]**

Figure III -06 la Pollution industrielle. [54]

III-3.3.3.1 l'impact de l'activité industrielle sur l'eau :

La pollution industrielle peut prendre plusieurs formes. Plusieurs règlements fédéraux existent par rapport aux quantités de polluants qui peuvent être émient par les industries. Dans certains pays, les sociétés peuvent, lorsqu'ils atteignent les quantités maximales de polluants, acheter des ''crédit de pollution''. La pollution thermique est généralement causée par les industries, mais beaucoup de régions ont imposées une législation concernant les centrales électriques et leur système de refroidissement de l'eau. La construction, les mines et les opérations d'extraction peuvent polluer un grand nombre de lacs et cours d'eau dû aux dépôts de sédiments. Tandis que les pratiques agricoles sont les principaux responsables de la pollution par le dépôt de sédiment les activités de constructions et les mines perdent jusqu'à 70 tonnes de sédiments par acre par année, qui est 15 fois plus élevé que le taux normal. **[53]**

III-3.3.3.2 Les effets de la pollution industrielle sur la santé humaine :

- **L'effet direct :**

Sur la santé humaine peuvent être dus à la toxicité élevée de polluants déversés dans les ressources en eau potable ou les eaux de baignade : métaux (mercure, chrome, plomb, cadmium, nickel), nitrates, pesticides.

- **L'effet indirect :**

  Sur la santé humaine sont liés à la contamination des milieux aquatiques par des polluants peu biodégradables qui peuvent se stocker dans certains compartiments des écosystèmes et se concentrer ensuite dans les organismes vivants tout au long de la chaîne alimentaire : pollutions métalliques, produits phytosanitaires, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ces phénomènes s'observent pour des pollutions à faible dose se développant sur des durées importantes ou se cumulant sur des bassins importants. **[55]**

III-3.3.4 la pollution agricole :

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux.

L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines', alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires.

La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture. **[50]**

Figure III -07 pollution agricole [56]

III-3.3.4.1 l'impact de la pollution agricole sur l'eau :

Les activités agricoles contribuent à la pollution de l'eau surtout par le dépôt de sédiment et de substance nutritive. L'engrais et le bétail contiennent de l'azote et du phosphore. Quand ces produits sont déversés dans les lacs lors de l'écoulement ils peuvent créer de graves problèmes à ceux-ci comme le développement d'algues.

Les pratiques agricoles sont la cause principale de pollution par dépôt de sédiment. Beaucoup de pays sont susceptibles à cette pollution dû à leur grande quantité d'érosion. L'érosion cause des problèmes autant aux sources d'eaux et aux terres cultivables. **[53]**

III-3.4 Les principaux polluants des eaux :

III-3.4.1 Les matières en suspension :

Les matières en suspension (MES) constituent les matières insolubles, minérales ou organiques, biodégradables ou non. Elles provoquent une diminution de la production photosynthétique, le colmatage du lit des cours d'eau et des frayères ainsi
Que le colmatage des branchies des poissons. L'élimination de MES se fait en général par décantation et filtration des Effluents afin de piéger les particules insolubles. Il s'agit du traitement primaire.
Ce polluant se retrouve de façon plus Marquée dans la filière agroalimentaire, l'industrie papetière, l'industrie du cuir, l'industrie pétrolière et chimique. **[47]**

III-3.4.2 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. **[57]**

III-3.4.3 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 (SO4-2), 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. **[57]**

III-3.4.4 Les métaux lourds (ETM) :

Les éléments possédant une masse volumique supérieure ou égale à 5 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 chaine

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.

III-3.4.5 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. **[47]**

III-3.4.6 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-3.4.6 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). **[58]**

III.3.5. 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 bactériologiques des cours d'eau. **[59]**

III.3.6. Comment peut-on prévenir la pollution de l'eau?

- Économiser de l'eau; moins vous utilisez de l'eau moins il y aura d'évacuations d'eau par les gouttières et les drains ce qui réduira le risque de transporter des polluants.
- Dégager votre gouttière de tout détritus.
- Utiliser des pesticides avec modération; habituellement les gens ont tendance à utiliser de 10 à 50 fois plus de pesticides pour leurs pelouses et jardins que ce qu'il est nécessaire pour la santé des plantes.
- Utiliser du composte pour fertiliser votre jardin.
- Utiliser du détergent qui contient le moins de phosphate possible; les stations d'épurations peuvent enlever seulement 30% des phosphates dans les déchets. **[53]**

Chapitre IV : Résultats et discussions

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV-1 Etude comparative de l'évolution de la pollution minérale

(Cas master Hmidi 2017 Et Boukhris 2018):

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.

IV-1.1 La pollution minérale :

D'après les résultats des analyses **(Cas Master Hmidi)** ,la région a pris une nouvelle tendance dans l'activité agricole et sort d'une culture était pratiquées. L'intensité des pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont provoqué un impact sur la qualité des eaux souterraines. Les résultats des analyses obtenus d'après l'ANRH constituent une base de données. Le traitement de ces données est fait à l'aide d'un logiciel dénommé SURFER 12 qui nous révèle des cartes d'évolution de ces éléments dans notre région d'étude, afin d'aboutir à une interprétation significative.

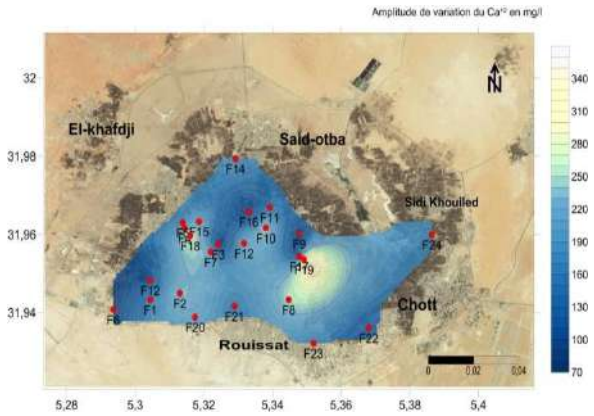

Figure IV-1. Variation spatiale du calcium

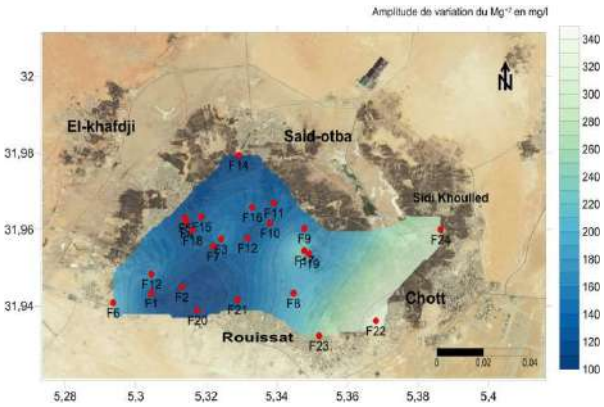

Figure IV-2. Variation spatiale du magnésium

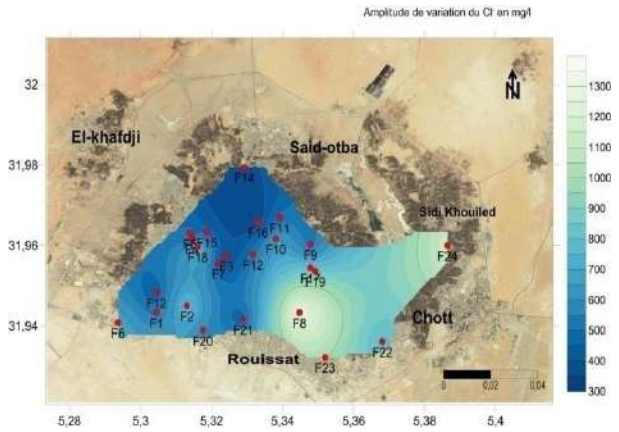

Figure IV-3. Variation spatiale du chlorure

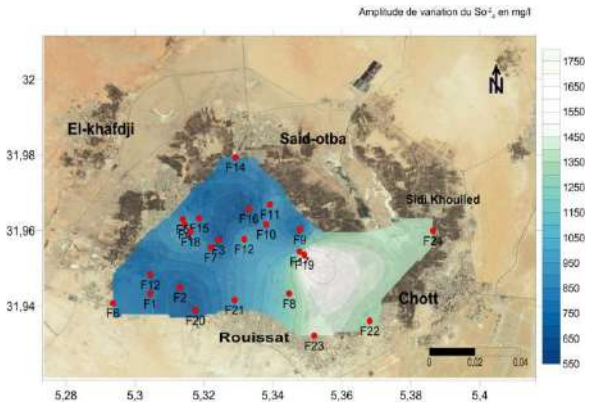

Figure IV-4. Variation spatiale des sulfates

IV-1.2Classement 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 quatre classes de qualité correspondant aux valeurs d'IPM calculées (Tableau IV.3). En vue d'apprécier la contamination des eaux de la nappe à la contamination minérale. On adopte chacun des éléments chimiques (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, $SO4^{2-}$) qui est déterminé pour chaque point de prélèvement. La somme de ces classes donne l'indice représentant la contamination minérale.

Tableau IV-01 : Classement de l'indice de pollution (IPM)

Les classes	Ca^{+2}(mg /l)	Mg^{+2}(mg /l)	Cl^{-}(mg/l)	SO_4^{-2}(mg/l)	IPM	La pollution minérale
Classe 1	70-150	101-120	<100	< 200	8-10	faible
Classe 2	150-200	120-150	< 250	200-400	10-12	Moyenne
Classe 3	200-300	150-200	250-500	400-1000	12-14	Forte
Classe 4	> 300	> 200	> 500	> 1000	14-16	Très forte

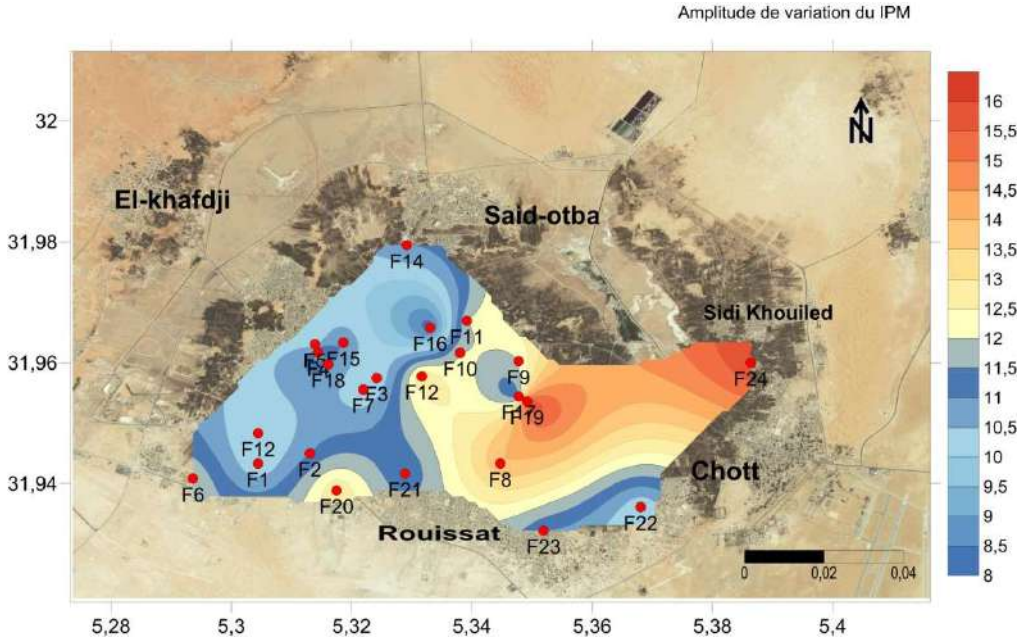

Figure IV-05. Variation spatiale de l'indice de pollution minérale

D'après la figure IV-02, on peut remarquer que notre région d'étude est représentée par un **IPM** $_{min}$ qui correspond à Mekhdma et **IPM** $_{max}$ qui correspond à Sokra.

IV-1.3 Vulnérabilité des eaux d'Ouargla à la pollution minérale :

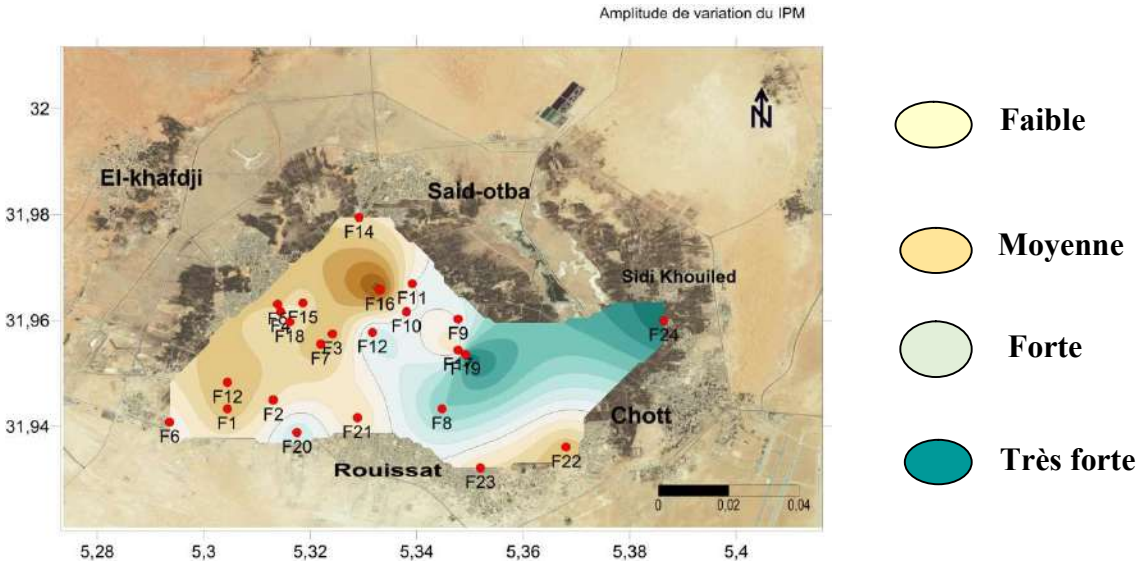

Figure IV-06.Variation spatiale de degrés de vulnérabilité à la pollution minérale

D'après la Figure IV-03, on peut marquer que notre région d'étude est représentée par :

- Une région de vulnérabilité faible à la pollution et correspond à F21 et F23 (Sokra, Rouissat)
- Une région de vulnérabilité moyenne à la pollution et correspond à F9 et F13 (Beni Thour
- , Mekhadma).
- Une région de vulnérabilité forte à la pollution et correspond à F8 (Beni Thour).
- Une région de vulnérabilité très forte à la pollution et correspond à F19 et F24 (Rouissat, Chott).

IV-1.3 Vulnérabilité des eaux d'Ouargla à la pollution minérale : (Cas Master boukhris)

D'après les résultats des analyses **(Etude 02) :**

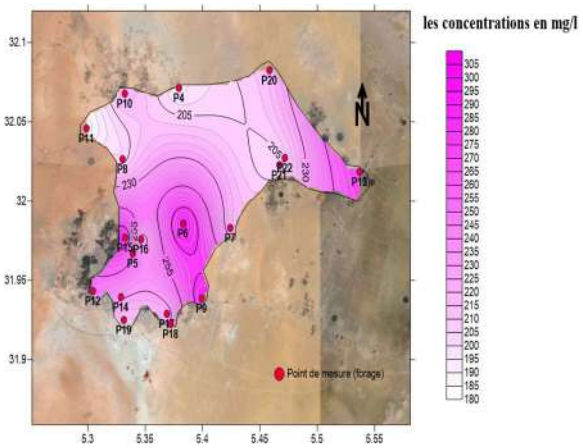

Figure IV-07. Evolution de calcium.

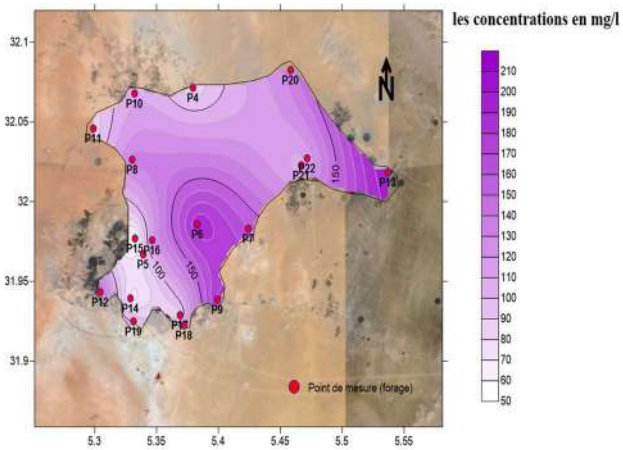

Figure IV-08. Evolution du magnésium.

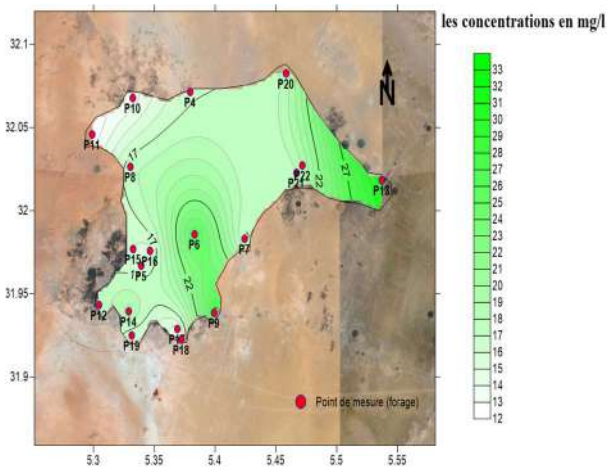

Figure IV-09. Evolution des chlorures.

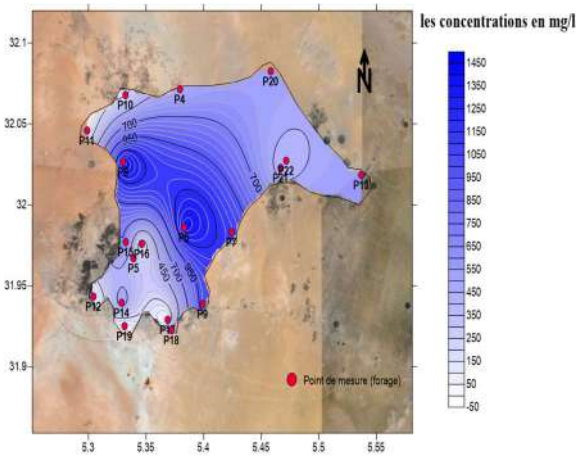

Figure IV-10. Evolution des sulfates.

IV-1.3 Etude de la vulnérabilité de la nappe (CT) à la pollution minérale : (cas bouhmidi)

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.

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

[Mg/l] **Les classes**	Ca^{+2}	Mg^{2+}	HCO^{-}_{3}	So_4^{-2}	IPM	La pollution Minérale
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

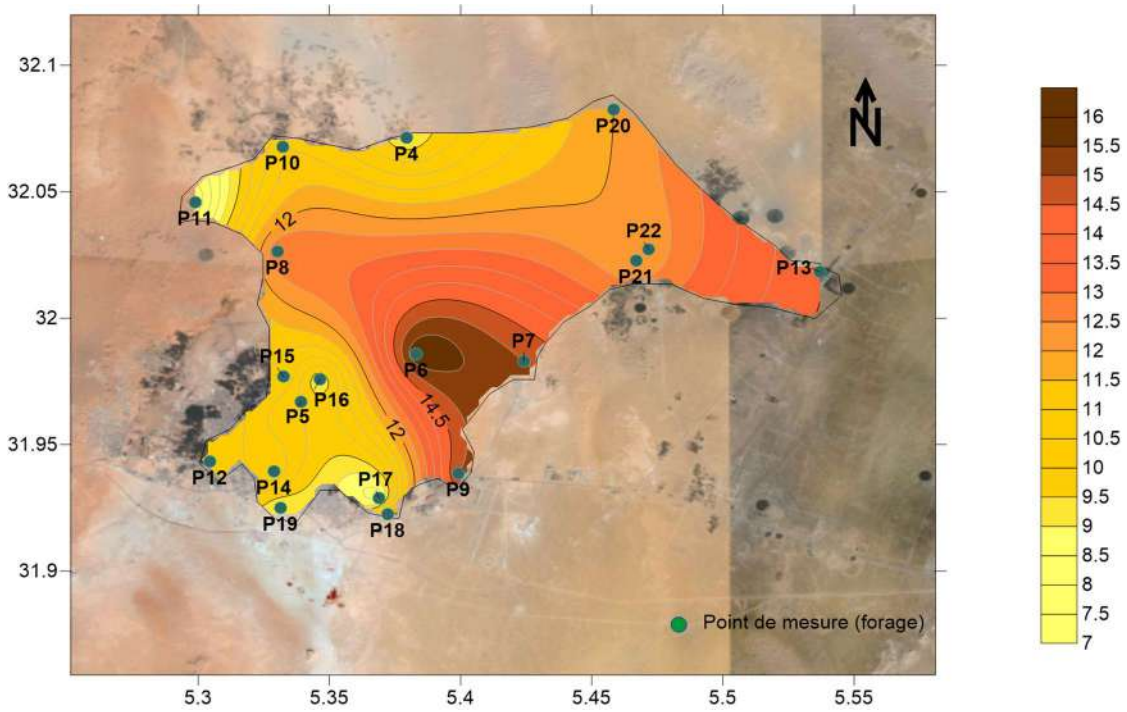

Figure IV-11. Evolution de l'indice de pollution minérale.

D'après la figure **IV-08**, on peut remarquer que notre région d'étude est représentée par un **IPM$_{min}$** qui correspond a Hassi Miloud et **IPM$_{max}$** qui correspond a Sidi Khouiled.

IV-1.4 Vulnérabilité des eaux d'Ouargla à la pollution :

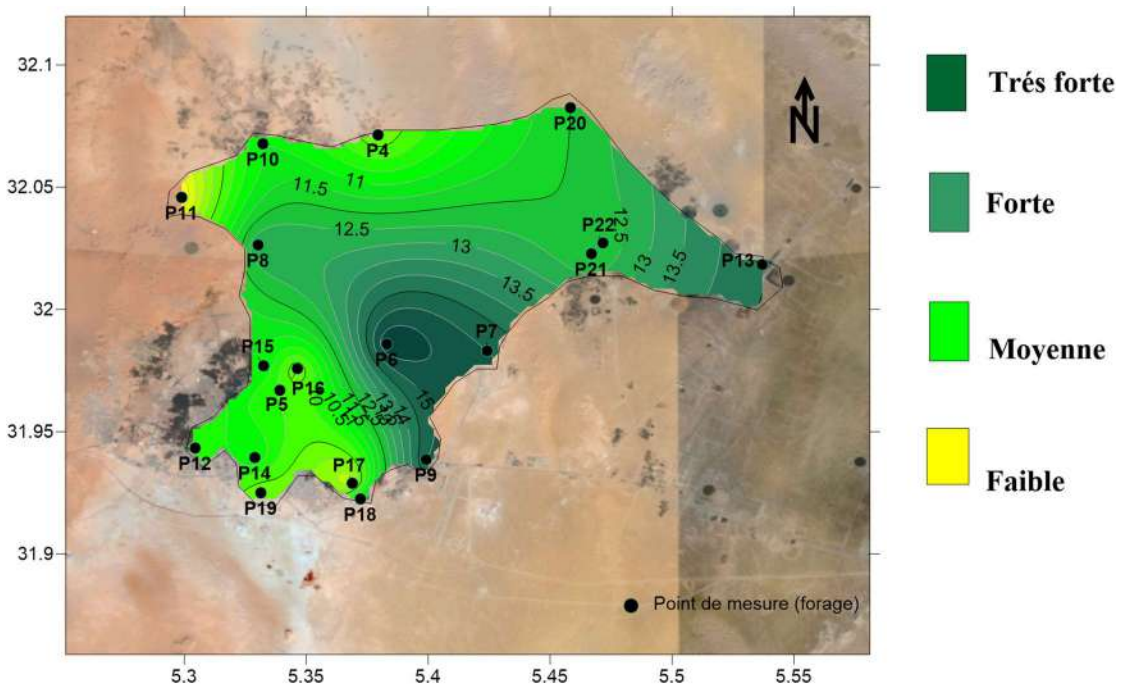

Figure IV-12. Evolution Spatiale de degrés de la vulnérabilité a la pollution minérale.

D'après la figure **IV-12**, 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.

Commentaires :

D'après les deux études (Hmidi, et boukhris) on constate que les résultats de l'évolution de la pollution minérale converge à des résultats identique (proche), ce qui confirme le degré de la pollution minérale remarquable, d'une part et d'autre part une vulnérabilité à la pollution minérale très forte, on conclu que la source de cette pollution est naturelle (lithologie).

Conclusion

Conclusion générale

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

Les eaux de la cuvette de Ouargla présentent une pollution minérale très marquée surtout au niveau de la région de Sokra avec un indice de contamination maximal

$IC_{max} = 16$. Où les degrés de la vulnérabilité est très fort qui correspond à les régions de Rouissat et Chott.

Les eaux de la cuvette de Ouargla présentent une pollution Minérale plus ou moins considérable surtout au niveau de la région Rouissat avec un indice de contamination maximal $IC_{max} = 5$, et un degré de vulnérabilité très fort qui correspond à les régions de Beni Thour et Sokra.

En général, pour éliminer cette pollution il faut connaitre la source de cette dernière, pour cela il faut procéder à une étude géochimique qui est basée sur une étude statistique en utilisant le logiciel Phreeqc et STATISTICA.

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 certains 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.

- Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium.
- 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 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.

Recommandations

Pour les besoins de l'homme et l'équilibre des écosystèmes aquatiques, il faut que la qualité de l'eau soit bonne. Une pollution de l'eau peut générer une perturbation des activités humaines qui en dépendent de l'équilibre qui s'est mis en place entre le milieu naturel et les espèces animales et végétales qui l'habitent. IL faut que chacun d'entre nous 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.

Référence bibliographique

BIBLIOGHRAPHIE

[1] M. SELLAMI "Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérienne (Ouargla), thèse de doctorat en physique énergétique".

[2] M.Lakhdari, " 2016 Etude hydro chimique sur les eaux (CT) de la région d'Ouargla et leur degré de pollution chimique" , Mémoire de master en Génie d' Environnement, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, P1
Université KM d'Ouargla, 2014.

[3] M. CHAOUKI et **A. ZEDDOURI** ; "Etude de La vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines (ZNS) de la région d'Ouargla, Sud-est Algérien, **"**Annales des sciences et technologies, Revue universitaire en sciences et technologie, université K.M Ouargla .ISSN 2170-0672 volume 7 N°= 1, 2015".

[4] 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".

[5]https://docplayer.fr/doc-image/62/46968038/imagejpg.(Consulté21/03/2020)

[6] [DJIDEL M. (2009) : " Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie) ". Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université d'Annaba, Algérie 208p.

[7]https://www.bp.blogspot.com/HG258q555u/vc7r78pMS9I/AAAAAAAAAtc/ZOjQuuKMZYA/s160/30ouargla.jp . (Consulté le 23/03/2020)

[8]. S. BEN CHIEKH, G. MED BILLAL. " La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la région de Ouargla", Mémoire de master en génie de l'environnement, université de K M Ouargla, 2011.

[9] O.N.M. Office national de météorologie. Données climatiques de la région D'Ouargla.2019.

[10] L. HEMIDI, "Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution", mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en géologie, option: géochimie de surface et de l'environnement, université de K M Ouargla, 2013.

[11] M. CHAOUKI ; "Evolution spatiotemporelle et la vulnérabilité à la pollution des souterraines de la région d"Ouargla", thèse doctorat, université de Kasdi Merbah Ouargla.2016 pp 01"

[12] RADJA Belaid-"Etude Hydrogéologique Et Hydro chimique De La Cuvette De La Région De Ouargla, Sud-est D'Algérie ; mémoire master on géo ressources 2014".

[13] A.R. VOISIN. ; 2004 –Le Souf monographie. Ed. EL-WALID. 319p.

[14] 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.

[15]Y. BAKHALED," Etude de comportement de quelques polluants minéraux ;

Dans les eaux Souterraines de la cuvette Ouargla (cas des eaux non potables". Mémoire d'ingénieur en Génie de l'environnement, université de KM d'Ouargla, 2012."

[16] BELLAOUEUR A(2008) : " Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-est Septentrional - Algérie) " Mémoire de Magister en Géologie du Génie Civil et des Milieux Aquifères. Université de Batna, Algérie 147p.

[17] Projet ACSD, " utilisation durable des eaux souterraines pour l'amélioration du niveau de vie de la communauté agricole et des conditions écologiques dans les oasis ", Ouargla, juin 2007.

[18] R.F. LELIEVRE."Assainissement de la cuvette d'Ouargla". Ministère des

Travaux Publique et de la Construction, rapports Géo-hydrauliques n°2, 18p ;n°3,1969 p84" .

[19] CORNET A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. SNED, Alger. Algérie, 572p.

[20] B. Clausg et P. Robert, " chimie de l'environnement, Paris 2001, p 275.

[21] BUSSON G. (1972) : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Doctorat Paris, 464".

[22] Bureau d'études B.J suisse. "Etudes D'assainissement Des Eaux Résiduaires, Pluviales Et D'irrigation. Mesures Complémentaires De Lutte Contre La Remontée De La Nappe Phréatique" (mission IA reconnaissance et diagnostic de l'assainissement), juillet 2002.

[23] OSS (2003) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

[24] UNESCO (1970). Projet ERESS : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final - Paris.

[25] Contribution à l'étude et l'établissement du bilan hydrologique de la cuvette d'Ouargla (Sahara Nord-est septentrional).

[26] R. MILOUDI" Etude de la vulnérabilité à 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.

[27] (ANRH) Ouargla Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) Ouargla.

[28] BENCHEIKH Amor & MANSOURI Abdelhamid" Caractéristiques et évolution de la piézométrie de la nappe du Complexe Terminal de la cuvette de Ouargla" . Juin2019 ; p 25-26.

[29] https://www.brgm.fr/sites/default/files/expo_eaux_souterraines_web.pdf. (Consulté 29/03/2020)

[30] www.lesagencesl'eau.fr. (Consulté 02/04/2020)

[31] J.rodier, L'analyse de l'eau, Paris, 1984,pp 3-11.

[32] C.J. NEWELL, R.S. LEE, A.H. SPEXET, " Groundwater Sampling: An Approach for Long-Term Monitoring". American Petroleum Institute Bulletin n° 12, 8 p, 2000.

[33] Derouiche L, Guessoum M. (2003)."Aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla) ".mémoire de fin d'études, université d'Ouargla.60p

[34] Kettab A, 1992. Traitement des eaux (les eaux potables) Ed OPU. Alger.

[35] Bouziani M. (2000): "l'eau de la pénurie aux maladies". Edition Ibn khaldon, 247p. **[36] -D.O.P** : Manuel eau de formation, Service traitement des eaux, Division Opérations Sonatrach, Algérie.

[37] www.doc.lerm.fr/molecule-deau. (Consulté 05/04/2020)

[38] www.sciencejunior.fr/chimie/les trois états de l'eau. (Consulté 06/04/2020)

[39] M et Mme Ladel. (1991). Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Tizi-Ouzou.30 p.

[40] Afssa ,2005 : www.Afssa.fr (Consulté 07/04/2020)

[41] Rodier J, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, résiduaires, et de mer tome 2 cinquième édition 1997.

[42] Taleb S, (2005).qualité chimique et bactériologique des eaux de consommation du sud algérien .colloque internationale sur les ressources en eau souterraines dans le Sahara (CIRESS) ,12 p

[43] _M. CARMELLE. Cours de Biophysique Moléculaire, Université d'Etat de Haiti, 2007

[44] https://www.vikidia.org/wiki/Cycle%20de%20l'eau (Consulté 20/04/2020)

[45] https://www.cieau.com/wp-content/uploads/2017/02/Cycle-de-leau.jpg (Consulté 10/05/2020)**[46] 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.

[47] I.BOUKHRIS et A.BRRAISS. "Cartographie de la pollution chimique (minérale) des eaux souterraines du (CT) de la cuvette de Ouargla", Mémoire master en génie de l'environnement, 2016.

[48]http://shssenvironmentalscience.weebly.com/sources-of-water-pollution.html. (Consulté 17/05/2020)

[49] LEESU-POLLUTIONS HYDRIQUES Régis Moilleron.13 janvier 2017

[50] Jacques Beauchamp. Article qualité et pollution des eaux souterraines Université de Picardie Jules Verne.

[51] Fiche 6 Enseignant_ La pollution des eaux ; Coordination senne.

https://static1.squarespace.com/static/583ca2f2d482e9bbbef7dad9/t/5898f3ddff7c503111948643/1486418911598/pollutioneau.pdf. (Consulté 18/05/2020)

[52]https://i.pinimg.com/564x/3a/30/dd/3a30dd45d326ecd3c80001660e616b1a.jpg (Consulté 06/06/2020)

[53] https://static1.squarespace.com/static/583ca2f2d482e9bbbef7dad9/t/5898f3ddff7c503111948643/1486418911598/pollutioneau.pdf. (Consulté 26/06/2020)

[54]https://www.algeriepatriotique.com/wp-content/uploads/2017/11/eau-industrielle bon.jpg (Consulté 15/07/2020)

[55] Association santé environnement France- Pollution de l'eau : Origines et impacts. Synthèse **2010**

[56] https://www.journaldemontreal.com/2019/05/29/les-nombreux-pesticides manquent -de-surveillance. (Consulté 18/07/2020)

[57] HMIDI Nedjoua et HAMZA Amina, Étude géochimique de la pollution organique et minérale des eaux souterraines du complexe Terminale (CT) de la cuvette d'Ouargla. P22. 2016/2017.

[58] B.Lakhdari, Etude de la pollution chimique des eaux souterraines (cas des Nitrates) de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla, mémoire Ing, université d'Ouargla, 2008.

[59] S.Birech, I.Messaoudi, La contamination des eaux par les métaux cas de chott ain baida de la région d'Ouargla, mémoire ING, université d'Ouargla, 2006.