

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE KASDI MERBAH
OUARGLA**

**FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT GENIE DES PROCEDES**

*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
MASTER ACADEMIQUE*

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Science de génie de l'environnement

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Réalisé par : BIRECHE Samir

Thème :

**ETUDE D'EVOLUTION DE LA QUALITE DES
EAUX DE LA NAPPE DU SENONIEN DESTINEE
A L'AEP
(CAS DE LA REGION DE OUARGLA)**

Soutenu devant le jury :

- Dr. Hacini Z .	MCA	U.K.M Ouargla	Président
- Dr. SIBOUKER H.	MCA	U.K.M Ouargla	Examinateur
- Dr. CHAOUCH N.	MCA	U.K.M Ouargla	Encadreur

Année Universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier également les membres de jury : Dr. Hacini Z. et Dr SIBOUKER H. de nous avoir donné l'occasion pour présenter et discuter ce travail et ainsi de le bien vouloir accepter son évaluation.

Dr. N.Chaouch, notre directeur de mémoire, trouve ici l'expression de notre profonde gratitude, d'avoir proposer et diriger ce travail, d'avoir usée de toute sa bonne volonté et aussi pour ses judicieux conseils et toute la patience dont elle a fait preuve durant l'élaboration de cette étude et surtout pour sa disponibilité.

Nous exprimons aussi toute notre gratitude et remerciement à Monsieur Bentaleb Abdelkader, Monsieur B. Slimen et Madame Salima de L'ANRH sans oublier les employés de l'ADE.

Par la même occasion, nous manquerions de remercier infiniment tous ceux qui nous ont aidé à réaliser cette recherche notamment ma collègue S. Fatima.

Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Introduction générale	01
CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA RÉGION	
1 .Situation géographique	03
2. Démographie	03
3. Caractéristiques climatiques	04
3.1 La température	05
3.2 La pluviométrie	05
3.3 Les neige	05
3.4 Les vents	05
3.5 L'ensoleillement	05
3.6 L'humidité	05
3.7 Evaporation	05
4- Le relief	06
5-Topographie	06
6- caractéristiques pédologiques	06
7- Caractéristique géologique	06
8-Caractéristique Hydrogéologique	07
8.1. La nappe phréatique	07
8.2 La nappe du complexe terminal (CT)	08
8.2.1 La nappe mio-pliocène	08
8.2.2 La nappe du sénonien	08
8.3 La nappe continental intercalaire (CI)	08
9-Caractéristique Hydrographie	08
CHAPITRE II: GÉNÉRALITÉ SUR L'EAU	
1-Définition de l'eau	10
2-Cycle de l'eau dans la nature	10
3-Les sources d'eau	10
3-1-Les eaux de surface	10
3-3-Les eaux souterraines	11
4-Propriétés physiques de l'eau	11
4-1-L'état physique	11
4-2-La masse volumique	11
4-3-La viscosité	13
4-4-Tension superficielle	13
4-5-Propriétés électriques	13
4-5-1-Constante diélectrique	13
4-5-2-Conductivité électrique	14
4-6-Propriétés thermiques	14
4-6-1-Chaleur massique	14
4-6-2-Les chaleurs latentes	14
4-7-Propriété optique	14
4-8-La pression osmotique	14
5-Propriétés chimiques	15
5-1 la structure	15
5-2 la solubilité des divers phases	15
5-2-1 Cas des solides	15
5-2-2 Cas des liquides	15
5-2-3 Cac des gaz	15

5-3 Hydrophilisation	16
5-4 Ionisation	16
5-5 Oxydo-Réduction	16
6 Propriétés bactériologiques	16
CHAPITRE III: POTABILITE / POLLUTION DE L'EAU	
1 Eau potable	17
2 qualité de l'eau	17
2-1 caractère organoleptique	17
2-1-1 La turbidité	17
2-1-2 la couleur	17
2-1-3 gout et odeur	18
2-2 element majeur	18
2-2-1 Le calcium	18
2-2-2 Le magnésium	19
2-2-3 Le potassium	19
2-2-4 Le Sodium	19
2-2-5 Les chlorures	19
2-2-6 Les sulfates	19
2-2-7 Les phosphates	20
2-3 Parametres physico chimique	20
2-3-1 pH	20
2-3-2 Temperature	20
2-3-3 Conductivité	21
2-3-4 Dureté	21
2-3-4 Alcalinité	21
2-4 Qualité bactériologique	22
2-5 Qualité virologique	22
3 Normes de potabilité	22
4 La pollution de l'eau	23
4-2 Sources de pollution	23
4-2-1 Pollution ponctuelle	24
4-2-1-1 Pollution industrielle	24
4-2-1-2 Pollution urbaine	24
4-2-2 Pollution diffuse	25
4-2-2-1 Pollution agricole	25
4-2-2-2 Pollution atmosphérique	26
4-3 Classification des polluant de l'eau	26
4-4 Conséquence de la pollution	27
CHAPITRE IV: MATÉRIEL ET MÉTHODES	
1 Echantillonnage	30
1-1 Prélèvement	30
1-1-1 Localisation des lieux des prélèvements	30
1-1-2 Periode de prélèvement	31
1-1-3 Matériel de prélèvement	31
1-1-4 Mode de prélèvement	31
1-2 Conservation des échantillons	31
2 Appareillage	32
2-1 Spectrophotomètre à flamme 410	32
2-2 Spectrophotomètre uv visible	32
2-3 pH metre	33

2-4 Conductimètre	34
3 Technique de mesure	35
3-1 mesur pH	35
3-2 mesure de conductivité	35
3-3 Dosage des carbonates, bicarbonates et hydroxyles	36
3-4 Dosage du sodium et potassium	37
3-5 Détermination de Ca et Mg	37
3-6 Dosage du chlorures	38
3-7 Dosage du sulfate	38
3-8 Dosage du nitrates	39
CHAPITRE V: RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION	
Etude de la potabilité des eaux de la nappe du sénonien	41
1 Les éléments majeurs	41
1-1 les cations	41
1-1-1 Calcium	41
1-1-2 Le Magnésium	42
1-1-3 Le Sodium	42
1-1-4 Le Potassium	43
1-2- les anions	44
1-2-1 Chlorure	44
1-2-2 Sulfates	44
1-2-3 Bicarbonates	45
2- Les indicateurs de pollution	46
3-Les paramètres physico-chimiques	46
3-1 pH	46
3-2 Conductivité électrique	47
3-3 Minéralisation globale	47
3-4 Dureté totale	48
4-etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe sénonien	48
Conclusion générale	55

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	page
01	Les données météorologiques de la Wilaya de Ouargla (2000-2016)	04
02	Les principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines	12
03	Variation de la viscosité avec la température	13
04	Variation de la tension superficielle avec la température	13
05	Classification de la qualité de l'eau selon sa couleur	17
06	Classification de la qualité de l'eau selon sa dureté	21
07	Les normes de l'eau potable suivant l'OMS et CEE	22
08	Les normes Algériennes de l'eau potable	23
09	Classification des polluants d'eau	27
10	Les points de forages d'étude	30
11	Relation entre la conductivité électrique et la minéralisation globale	35
12	Classement en vue de la détermination de l'indice de contamination	49
13	Evolution d'IC dans la région d'étude	49

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
01	Carte de découpage administratif de Ouargla	03
02	Cycle de l'eau dans la nature	10
03	Structure d'une molécule d'eau	15
04	Les pollutions produites par l'industrie	24
05	Les pollutions produites par l'urbanisme	25
06	Les principales sources de pollution	26
07	Localisation des points de prélèvement	30
08	Spectrophotomètre à flamme 410 (Sherwood)	32
09	Spectrophotomètre UV-VISIBLE	33
10	pH mètre HI 991000 HANNA	34
11	Conductimètre HANNA HI 8424	34
12	Evolution de la concentration du calcium	41
13	Evolution de la concentration du magnésium	42
14	Evolution de la concentration du sodium	43
15	Evolution de la concentration du potassium	43
16	Evolution de la concentration des Chlorures	44
17	Evolution de la concentration des sulfates	45
18	Evolution de la concentration des bicarbonates	45
19	Evolution de la concentration en nitrates	46
20	Evolution du pH	46
21	Evolution de la conductivité	47
22	Evolution de la minéralisation globale	47
23	Evolution de la dureté totale	48

Introduction
générale

Introduction

L'eau est la base de vie sur notre planète, cette ressource hydrique non renouvelable constitue actuellement une richesse et un patrimoine dont la protection et la gestion durable constitue à l'heure actuelle une préoccupation mondiale.

Dans la région de Ouargla, les eaux souterraines constituent la seule source d'approvisionnement en eau potable ayant assurées le survie de l'oasis à travers le temps.

De part leurs compositions chimiques en évolution permanente en raison de leurs stagnations, ces eaux peuvent être à l'origine de plusieurs maladies à transmission hydrique car elle contribue à la dégradation de la structure du sol et facilite le lessivage des polluants vers les nappes souterraines.

Dans le cadre de cette étude on sera intéressé à l'étude de l'évolution de la qualité des eaux de la nappe sénonien destinées à l'AEP entre 1998 et 2016.

Les objectifs de notre étude sont:

- La détermination de la composition chimique des eaux de la nappe du sénonien.
- L'étude de l'évolution de leur qualité entre 1998 et 2016.
- La détermination de leurs potabilités.
- L'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe.

Ce travail est composé de 05 chapitres:

Chapitre 01: Présentation de la région.

Chapitre 02: Généralité sur l'eau.

Chapitre 03: La potabilité et la pollution de l'eau.

Chapitre 04: Matériels et méthodes

Chapitre 05: Résultats et interprétations.

Chapitre I

Présentation de la

région de Ouargla

I. 1-Situation géographique

La Wilaya de Ouargla est située au Sud-Est de l'Algérie à environ 800 km de la capitale Alger, couvrant une superficie de 163.628 km². Elle compte actuellement 21 communes regroupée en 10 Dairate. Ces coordonnées géographiques sont:

- Altitude 157 m.
- Latitude 31° 58' Nord.
- Longitude 5° 20' Est.

Elle est limitée :

- Au Nord par les Wilayas : Djelfa, El-Oued et Biskra.
- À l'Est par la Tunisie.
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Ilizi.
- À l'Ouest: par la Wilaya de Ghardaïa [01] [02].

La cuvette de Ouargla, est située au Nord-Est du grand Sahara algérien à 850 Km de la capitale Alger. Elle est limitée au Nord par El Hadjira et Touggourt, au Sud par Hassi Messaoud, à l'Est par l'Erg oriental et à l'Ouest par Ghardaïa. Cet espace couvre une superficie totale de 99.000 Ha (Voir figure N°1).

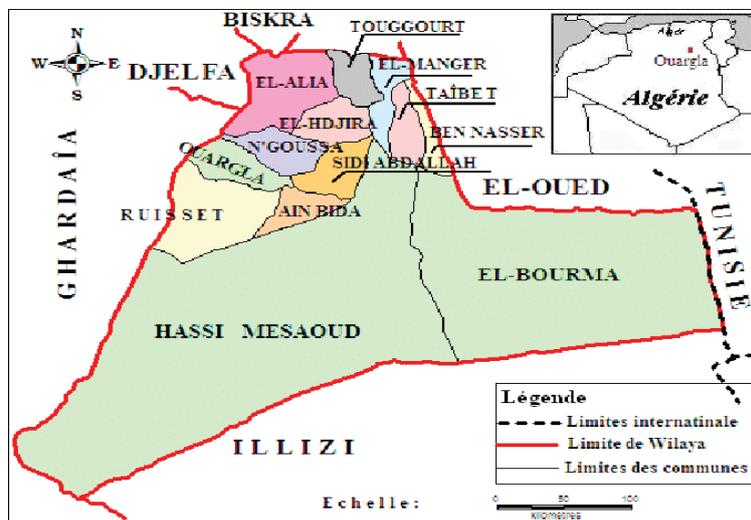


Figure 1 : Carte de découpage administratif de Ouargla.

I. 2-Démographie

En se basant sur les données statistiques de ONS en 2015; on remarque que la population de la cuvette de Ouargla est de l'ordre 281470 habitants, avec une densité de 15,39 Hab/km².

I. 3- Caractéristiques climatiques

Les données climatiques de la région de Ouargla issues de l'ONM et étalées sur une période de 17 ans (2000-2016) sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau N°01: Les données météorologiques de la Wilaya de Ouargla (2000-2016)

Année	T°	TM	Tm	PP	V	RA	TS	FG
2000	23.2	30.5	15.9	163.04	/	9	7	0
2001	24.5	31.7	16.8	/	13.9	8	4	0
2002	23.1	30.3	16.2	/	12.8	17	12	0
2003	23.9	30.5	16.7	42.40	13.7	13	4	2
2004	23.6	30.2	16.8	114.3	13.7	27	10	1
2005	23.1	29.8	16.8	102.4	12.5	/	/	/
2006	24.0	30.9	16.8	26.42	13.6	23	4	3
2007	23.7	30.8	16.4	12.94	14.5	14	7	0
2008	23.8	30.9	16.6	49.04	14.2	16	6	3
2009	23.6	30.8	16.0	123.44	/	25	7	1
2010	24.5	32.0	16.9	24.13	14.1	19	10	0
2011	23.6	30.8	15.8	337.83	14.3	10	10	2
2012	24.1	31.3	16.0	54.63	13.1	17	6	0
2013	24.1	31.2	16.5	33.52	14.1	14	8	0
2014	24.5	31.7	16.9	31.74	13.7	9	5	0
2015	23.6	30.9	16.3	29.20	11.5	12	4	3
2016	24.4	31.7	17.0	16.51	13.8	13	1	2

Source: O.N.M

- T : Température.
- TM : Température maximale moyenne annuelle.
- Tm : Température minimale moyenne annuelle.
- PP : Précipitation totale annuelle.
- V : Vitesse moyenne annuelle du vent (km/h).
- RA : Totale jours de pluie durant l'année..
- TS : Totale jours de tempête durant l'année.

La région 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.

I.3.1- La température

La température moyenne annuelle est 23,84°C; avec 16.49°C pour la température minimale annuelle et 30,94C° pour la température maximale annuelle.

I.3.2- La pluviométrie

En plus de leurs raretés, les précipitations au niveau de la région de Ouargla sont irrégulières. Elles sont de l'ordre de 77.43 mm/an concentrées surtout pendant la période comprise entre le mois d'Octobre et le mois de Mai.

I.3.3- Les neiges

Les neiges sont nulle mais il y a les gelés avec un maximum de 5.3 jours par an.

I.3.4- Les vents

Les vents dominants sont ceux de N/NE et S/SE avec une vitesse pouvant atteindre et parfois dépasser 14.5m/s comme une moyenne annuelle. Le sirocco (vent chaud et sec) peut être observé courant l'année.

I.3.5- L'ensoleillement

La durée annuelle moyenne d'insolation est de 3245.7 heures à raison de 9 heures par jour avec un minimum de 8 heures par jour au mois de Janvier et un maximum de 12,5 heures par jour au mois de Juillet.

I.3.6- L'humidité

L'humidité relative enregistrée varie de 34.7 à 58.5 %.

I.3.7- L'évaporation

L'évaporation atteint des valeurs très importantes, cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air notamment les vents desséchants au mois de Juillet ou elle atteint 350,5 mm, ce qui correspond à 11,68 mm par jour.

I.4- Relief

Le relief de la région de ouargla est un sous ensemble de composants géographiques dont les principaux sont les suivantes:

- Le grand erg oriental: véritable mer de sable ou les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200m, il s'étend sur environ les 2/3 du territoire de la Wilaya.
- La Hamada: qui est un plateau caillouteux, elle est située en grande partie à l'Ouest et au Sud.
- Les vallées: sont représentées par la vallée fossile d'Oued Mya et la vallée de Oued Righ.
- Les plaines : assez réduites, se rencontrent à la limite occidentale de la Wilaya, ces plaines s'étendent du Nord au Sud.

Les dépressions: sont peu nombreuses. Elles se trouvent essentiellement dans la région de l'Oued Righ [03].

I.5-Topographie

La région de Ouargla se caractérise par la planitude de ses terrains, ce qui entraîne des conséquences défavorable sur le plan hydrographique [04].

I.6- Caractéristiques pédologiques

Les sols de Ouargla sont squelettique et dépourvus de matière organique, ils présentent une texture généralement sableuse. Ils sont caractérisés par une forte salinité, et un PH neutre à alcalin.

Les basses terrasses dont le niveau est de 140 et 160 m sont formées généralement d'affleurement calcaire ou gréseux sur lequel sont développés des Regs [03].

I.7-Caractéristique géologique

L'étude litho-stratigraphie de la region de Ouargla; nous permet de conclure que les couches géologiques faisant le caractère de la région sont les suivantes :

- **Le Malm:** couche imperméable constituée principalement d'argile, elle se trouve à une profondeur moyenne de 2000m.
- **Le Néocomien:** Argileux, constitue un imperméable d'épaisseur moyenne de 100 m.
- **Le Barrénien:** Essentiellement gréseux sableux d'épaisseur moyenne de 310 m, renfermant la nappe du Barrémien.

- **L'Alptien:** Argileux, constitue également un imperméable d'épaisseur moyenne de 40 m.
- **L'Albien :** Gréseux sableux, de 450 m d'épaisseur constitue l'unité lithologique renfermant la nappe aquifère du continental intercalaire dite "Albienne".
- **Le Géomanien:** Couche imperméable, constitue d'intercalation d'argile, de marnes, de calcaires et de gypses, d'épaisseur moyenne de 110 m formant ainsi le toit de la nappe albienne.
- **Le turonien :** constitué de calcaire, de calcaire dolomitique et de dolomies, d'épaisseur moyenne de 70 m, il renforme la nappe du turonien.
- **Le Sénonien inférieur:** constitué d'irrégulière alternances d'argiles, de sels et de gypse, constituant aussi un horizon imperméable d'épaisseur moyenne de 300 m.
- **Le sénonien supérieur:** Constitué principalement de calcaire, il représente l'unité lithologique inférieure de la nappe Sénonien carbonaté, ayant pour épaisseur moyenne 240 m.
- **L'Eocène inférieur:** couche essentiellement carbonaté, constitue l'unité lithologique supérieure de la nappe du Sénonien carbonaté dont l'épaisseur est de quelques dizaines de mètres.
- **L'Eocène moyen:** couche semi perméable constitué essentiellement d'argiles jaunâtre et de gypses, elle à la base du phénomène de drainance entre la nappe Sénonien carbonaté et celle du Miopliocène, son épaisseur moyenne est de quelques dizaines de mètres.
- **Le Mioplicène:** constituée d'une couche imperméable d'argile et d'une alternance des sable siliceux grossiers et des argiles, renferment la nappe du miopliocène. Son épaisseur moyenne est de 100 m.
- **Le Quaternaire:** généralement constitué de dépôts éoliens de sable gypseuses d'une dizaine de mètres contenant la nappe phréatique. [03]

I.8- Caractéristique Hydrogéologique

La région de Ouargla renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines soit $6.10^9 m^3$ réparties en six nappes dont quatre seulement sont exploités dans la région à savoir:

I.8.1- La nappe phréatique

La nappe phréatique est contenue dans les sables de la vallée à des profondeurs variant de 1 à 8 m selon les lieux et la saison, elle s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la

vallée. Cette nappe n'est pas exploitée pour l'alimentation en eau potable ceci est du d'une grande part a sa salinité qui varie entre 7 et 25 g/l.

I.8.2- La nappe du complexe terminal (CT)

D'une superficie de 350000 km² et d'une réserve de 1736,38 hm³/an. Elle regroupe les nappes du miopliocène et la nappe du sénonien. Les eaux de cette nappe sont du type chloruré sodique 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 mg/l. [03] [05]

I.8.2.1- La nappe du 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 sa température est de 25°C, elle s'écoule de Sud-Ouest vers le Nord-Est en direction du Chott Melrir. [03]

I.8.2.2- 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. [03]

I.8.3- 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° à 66°C, le pH de 7,7 à 8,8 et le résidu sec de 1,5 à 2,4. En rencontre cet aquifère a des profondeurs allant de 1000 à 1500 m. [03] [05]

I.9- Caractéristique Hydrographique

Étant donné la position géographique et le relief de la wilaya, le réseau hydrographique y est naturellement endoréique. Malgré leur nombre assez élevé, les Oueds sont peu important avec très peu de crues. Les deux Oueds les plus importants à écoulement permanent grâce aux eaux de drainage principalement et considéré aujourd'hui comme fossiles; sont Oued Mya et Oued Righ. [06]

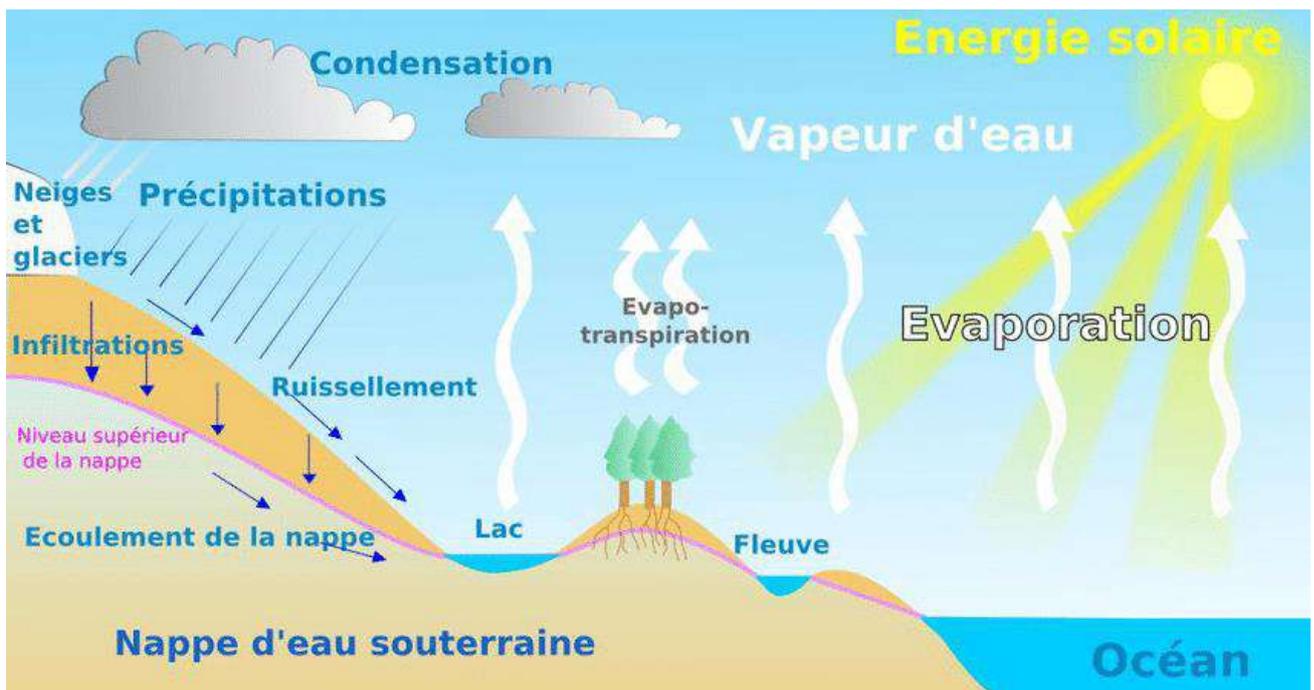
Chapitre II
Généralité sur l'eau

II.1.- Définition de l'eau

L'eau est un corps, incolore, inodore, et insipide de formule H_2O . En 1781 HENRY KAFKICH a créé l'eau par l'inflammation explosive de l'Hydrogène dans l'air, cette expérience était inconnue jusqu'à l'arrive de ANTWAN LAVOISIH qui affirme que l'eau n'est pas un élément de forme de H_2O mais un corps composé d'Hydrogène et d'Oxygène; Les deux savants JOUSEF LUIS et ALEKSANDER PHOUN ont montrés que l'eau est composé d'un volume d'Oxygène et deux volumes d'Hydrogène.

II.2- 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 km^3 par 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.



Source : https://fr.wikidia.org/wiki/Cycle_de_l%27eau

Figure N°02: Cycle de l'eau dans la nature

II.3-Sources de l'eau

II.3.1- Les eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soient les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soient les eaux de ruissellement. Ces eaux rassemblées en cours d'eau, sont

caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockée en réserve naturelles lacs ou artificielles retenues et barrages caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable. [01]

Cette source caractérisée par une pollution microbienne et chimique maximale, est fréquemment utilisés dans les régions à forte densité de population ou très industrialisées, mais bien entendu après un traitement adéquat a l'usage choisi.

II.3.2- Les eaux souterraines

La porosité et la structure de terrain déterminent le type de la nappe et le mode de circulation souterraine.

Une nappe peut être libre si elle est alimentée directement par infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction, de la quantité d'eau retenue.

Une nappe peut être captive si elle est séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle est généralement plus profonde que la nappe précédente.

Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales, il s'agit des nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule une cours d'eau. La qualité de ces eaux est directement influencée par celle de l'eau de la rivière.

Les eaux souterraines sont généralement d'autant mieux protégées et par conséquence, d'autant plus pures qu'elles proviennent de gisements moins proche de la surface. Elles ont, pendant longtemps, été synonymes d'eaux propres. En effet, elles ont une composition stable, une individualité bien marquée. Lorsqu'elles sont bien protégées contre l'introduction plus ou moins directe des eaux de surface. [01]

Les principales différences entre ces deux sources sont regroupées dans le tableau N°2.

II.4-Propriétés physiques de l'eau

II.4.1-L'état physique

A la pression atmosphérique, l'eau peut être solide à 0°C, liquide à la température ambiante, et à l'état vapeur à 100°C. [1]

II.4.2-La masse volumique

La masse volumique de l'eau varie inversement avec la température et admet un maximum de 1000 kg/m³ à 4°C. [01]

Tableau N°02: Les principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines

CRACTERISTIQUE	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 à la matière 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
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquents

Source : [01].

II.4.3-La viscosité

La viscosité de l'eau augmente avec la teneur de sel dissous, elle diminue lorsque la température croît comme le montre le tableau suivant :

Tableau N° 03: Variation de la viscosité avec la température. [01]

T°C	VISCOSITE DYNAMIQUE MPA.S	T°C	VISCOSITE DYNAMIQUE MPA.S
0	1,797	20	1,007
5	1,523	25	0,895
10	1,301	30	0,800
15	1,138	35	0,723

II.4.4-La tension superficielle

La tension superficielle de l'eau diminue avec l'augmentation de la température jusqu'à s'annuler complètement à une température dite critique. Cette grandeur augmente avec la salinité de l'eau et diminue avec l'ajoute de tensioactif [01].

Tableau N° 04: Variation de la tension superficielle avec la température.

T°C	Tension superficielle 10 ⁻³ N.m ⁻¹ (dyn.cm ⁻¹)	T°C	Tension superficielle 10 ⁻³ N.m ⁻¹ (dyn.cm ⁻¹)
0	75,60	50	67,91
10	74,22	60	66,18
20	72,75	70	64,4
30	71,18	80	62,60
40	69,56	100	58,9

II.4.5-Les propriétés électriques

II.4.5.1-La constante diélectrique

La constante diélectrique de l'eau est de l'ordre de 80 Farad Stéradian par mètre, est l'une des plus élevées que l'on connaisse; c'est pourquoi l'eau possède un pouvoir ionisant très important.

II.4.5.2-La conductivité électrique

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 $\mu\text{s/m}$ à 20°C. Elle augmente avec la température et le taux de sels dissous [01].

II.4.6-Les propriétés thermiques

II.4.6.1-La chaleur massique

La chaleur massique est de 4,18 $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ($1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$) à 0°C. Elle varie avec la température et présente un minimum à +35°C [01].

II.4.6.1-Les chaleurs latentes

Les chaleurs latentes de transformation sont pour la fusion de 330 kJ.kg^{-1} et pour la vaporisation 2250 kJ.kg^{-1} à la pression normale [01].

II.4.7- Les 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 utile au point de vue physique 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'épuration.

II.4.8-La pression osmotique

La pression osmotique traduit un phénomène qui s'établit entre des phases liquides de concentration différentes séparées par une membrane semi-perméable. Une équation simple relie la pression osmotique et la concentration.

$$\Pi = \Delta C R T$$

- ΔC : différence de concentration en mol.m^{-3} .
- Π : pression osmotique en Pa.
- R : constante de gaz parfait 8,314 J/mol.K .
- T : température en K [01].

II.5- Propriétés chimiques de l'eau

II.5.1-La structure

Une molécule d'eau de formule chimique H_2O est constituée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogènes par deux liaisons covalentes simples de 0,096 nm de longueur, formant un angle de $104,5^\circ$.

Cette structure confère à la molécule un moment dipolaire élevé de 1,85 Debye responsable de nombreuses propriétés remarquable de l'eau. [03]

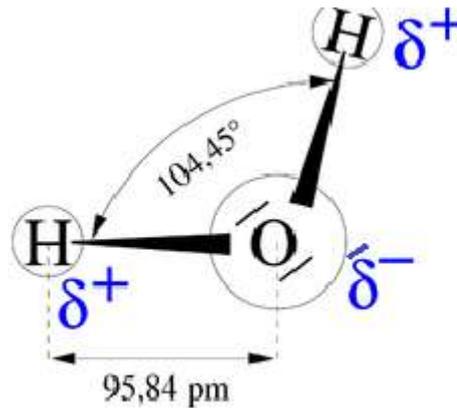


Figure N°03: Structure d'une molécule d'eau

II.5.2-La solubilité des diverses phases

Le pouvoir hydratant de l'eau revient à détruire complétement ou particulièrement, les divers liens entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre pour les remplacer par des nouveaux liens avec ces molécules propres et former de nouvelles structures. [03]

II.5.2.1 -Cas des solides

Les particules constituants un corps solide se particularisent d'un mouvement vibrationnel qui est en contact avec l'eau participe à la libération des particules superficielles et permet ainsi leurs diffusion et par conséquent leurs solubilité.

II.5.2.2 -Cas des liquides

La solubilité des liquides dans l'eau croit avec leurs polarités ainsi des molécules portant des groupements fonctionnelles polaires seront très solubles et vis versa.

II.5.2.3 -Cac des gaz

La solubilité des gaz obéit à la loi de HENRY

$$V=a.c.p$$

- **a:** Coefficient du gaz.
- **c:** Concentration du gaz dans la phase gazeux.
- **p:** pression totale des gaz en contact avec l'eau.

II.5.3-L'hydrophilisation

Un même corps présente des solubilités différentes vis-à-vis de divers solvant. 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. [03]

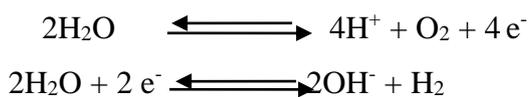
II.5.4-L'ionisation

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.

II.5.5-L'oxydo-Réduction

L'eau peu participer, suivant les conditions expérimentales, à des réactions d'oxydoréduction avec comme réaction possible:



- Dans le premier cas, l'eau est donneuse d'électrons, (réducteur).
- Dans le deuxième cas l'eau est accepteur d'électrons, (oxydante).[01]

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 microorganisme, virus, champignons et bactéries, certains d'entre elles sont responsables de graves maladies alors que d'autres sont indispensables pour l'organisme humain. [03]

Chapitre III
La potabilité de l'eau /
La pollution
Matériels et méthodes

III.1-Eau potable

L'eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé, donc on peut la consommer sans risque. Afin de définir une eau potable, elle doit répondre à une série de critères et des normes ont été fixées notamment les teneurs limites pour certains nombres de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau.

III.2-Qualité de l'eau

La qualité de l'eau de boisson est primordiale pour la santé humaine surtout que les risques de pollution existent à chaque étape du parcours de l'eau, donc la qualité de l'eau est un paramètre important qui touche l'écosystème et l'homme tels que la santé d'une communauté.

L'évaluation de la qualité d'une eau revient à la détermination des caractéristiques détaillées ci-après.

III.2.1-Caractères organoleptique

Il existe quelques paramètres indicateurs de la qualité de l'eau potable à savoir : turbidité, couleur, goût et odeur. Ils sont employés en vue de la surveillance de l'approvisionnement en eau.[7]

III.2.1.1- Turbidités

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence elle donne une idée de la teneur en matière en suspension comme les argiles, les limons, les grains de silice, les microorganismes ainsi que les matières colloïdales d'origine minérale ou organique.

On doit éliminer la turbidité de l'eau pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de boisson et permettre une désinfection efficace, Une eau dont la turbidité est inférieure à 5 unités céphalométrique (UNT) est généralement jugée acceptable par le consommateur.[7]

Tableau 5 : Classification de la qualité de l'eau selon sa couleur

UNT < 5	eau incolore
5 < UNT < 30	eau légèrement colorée
UNT > 50	eau colorée

III.2.1.2- Couleur

La couleur de l'eau de boisson peut être imputable à la présence de matières organiques colorées telles que les substances humiques provenant de la décomposition de la matière végétale, de métaux tels que le fer et manganèse. La plupart des gens sont capables de remarquer

la coloration de l'eau contenue dans un verre ou le degré de couleur maximale acceptable est 15 UCV (unité colorimétrique vraies).[7]

L'élimination de la couleur s'accompagne également de celles de certaines matières organiques indésirables. Cette élimination devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau.

III.2.1. 3- Gout et odeur

Une eau potable de bonne qualité ne doit pas avoir ni un goût ni une odeur désagréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur et selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

L'origine de saveur ou de gout dans l'eau est certaines substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO₂ ou le sulfure d'hydrogène H₂S ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution.[7] [10]

III.2.2-Éléments majeurs

III.2.2 .1- Le Calcium

Le Calcium est le métal le plus commun du group des alcalinoterreux. Il est présent dans la nature et dans le corps humain, où il est indispensable à la solidité osseuse et au fonctionnement des cellules musculaires et nerveuses.

Élément dominant dans les eaux potables. Composant majeur de la dureté de l'eau. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures...etc. Le calcium est un élément qui contribue à la minéralisation des eaux. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Elle augmente pour les terrains calcaires et surtout gypseux en raison de la dissolution des formations carbonatées CaCO₃, et des formations alluvionnaires gypseuses (CaSO₄) du Quaternaire, situées dans les dépressions.[9]

Une quantité élevée de calcium dans l'eau peut causer un entartage des conduites. Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprissent entre 100 et 140 mg/l .[9]

III.2.2 .2- Le magnésium

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance. Une grande quantité de magnésium dans l'eau peut engendrer en combinaison avec les sulfates un goût désagréable. 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 « $MgSO_4$ ». [9]

III.2.2 .3- Le potassium

Le potassium alcalin, d'aspect blanc métallique, légèrement bleuté ; assez abondant sur terre mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment).de ce fait sa présence provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaires, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques. Le potassium à un effet laxatif, mais il donne un léger gout. [9]

III.2.2 .4- Le sodium

Le sodium est présent dans les eaux de boissons il faut souligner que les valeurs limitées varient en fonction de ressources disponibles et des habitudes alimentaires. Le sodium est le plus abondant des éléments alcalins. Ces composés largement répandus dans la nature représentent 26 kg de la croûte terrestre. 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. [9]

III.2.2 .5- Les chlorures

La présence de chlorures dans les eaux naturelle peut être attribuée à la dissolution de dépôt de sel gemme, aux effluents de l'industrie chimique, aux rejets des égouts chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux de surface et les eaux souterraines. 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. [9]

III.2.2 .6- Les sulfates

La teneur en sulfates dans l'eau est liée aux composés alcalins. Leur présence résulte de la légère dissolution des sulfates de calcium des roches gypseuses, de l'oxydation des sulfates dans les roches (pyrites), des matières organiques par d'origine animale. Le cycle de soufre débute par décomposition des divers déchets organiques par des bactéries hétérotrophe qui libèrent en dernier. Selon l'intolérance des consommateurs, l'excédé de sulfates dans l'eau peut

entraîner des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles en sulfates sont de l'ordre de 400 mg/l. [9]

III.2.2 .7- Les phosphates

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais phosphatés, des formulations détergentes, industries agroalimentaires, traitements de surface).

Pour des pH compris entre 5 et 8, seules les formes $H_2 PO_4^-$ et HPO_4^{2-} existent en quantités appréciables. L'ensemble des formes organiques et minérales constitue le phosphore total. Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l permettent de suspecter la pollution d'une eau naturelle . [9]

III.2.2 .8- Les nitrates

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine.

III.2.3-Paramètres physico chimique

III.2.3.1-pH

Le PH varie selon l'origine des eaux et la nature géologique de terrain, 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 l'agressivité d'une eau naturelle . [9]

III.2.3.2-Température

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur variant de 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C.

L'élévation de la température s'accompagne d'une diminution de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et d'une diminution de la solubilité des gaz . [9]

L'eau est plus agréable à boire fraîche que tiède. L'eau est dite fraîche si sa température varie 9 à 12°C. Les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante mais la température des eaux de surfaces varie selon plusieurs facteurs notamment les conditions climatiques. [7]

III.2.3.3-Conductivité

La conductivité augmente avec l'augmentation de la minéralisation naturellement ou à cause des eaux usées déversées dans le milieu aqueux.

Une conductivité comprise entre 150-750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ est favorable pour la vie normale des êtres vivants dans l'eau. [1]

III.2.3.4-Dureté TH

Le titre hydrotimétrique TH ou dureté totale indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau, dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90 %. Initialement, la dureté d'une eau exprimait l'aptitude de cette eau à réagir et à faire mousser du savon. À l'heure actuelle on appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des cations alcalinoterreux présents dans une eau. [9]

La connaissance de ce paramètre permet de tirer des conclusions sur la qualité de l'eau comme le montre clairement le tableau ci-dessous :

Tableau 6 : Classification de la qualité de l'eau selon sa dureté

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	très douce	douce	moyenne dure	dure	très dure

III.2.3.5-Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H^+ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- . On distingue deux types d'alcalinité :

- Alcalinité totale (ou titre alcalimétrique complet) :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

- Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique) :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}].$$

- Si le $\text{pH} < 8,3$ alors le $\text{TA} = 0$ donc le $\text{TAC} = [\text{HCO}_3^-]$
- Si le $\text{pH} > 8,3$ alors le $\text{TA} \neq 0$

Pour les eaux naturelles non polluées, le pH est toujours inférieur à 8,3 ce qui implique que l'acidité forte est nulle ($\text{TA} = 0$). [9]

III.2.4-Qualité bactériologique

L'eau potable ne doit contenir aucun germe pathogène le micro-organisme en souvent intermittent de la contamination. [9]

III.2.5-Qualité virologique

Pour être acceptable, l'eau de boisson ne doit contenir aucun virus transmissible à l'homme on peut attendre cet objectif en utilisant une source d'approvisionnement exemple d'eau usée et protégée contre la contamination fécale, ou en traitant convenablement une source d'eau sujette à pollution fécale . [7]

III.3- Normes de potabilité

L'eau potable doit présenter certaines qualités physico-chimiques et biologiques complexes, définies à l'échelle mondiale par l'Organisation Mondiale de la santé (OMS). Si de telles normes sont appliquées dans les pays industrialisés, il n'en va pas de même dans la plupart des pays en voie de développement, où le manque d'eau potable constitue aujourd'hui le problème environnemental le plus grave. [14]

Les normes fixent le but à atteindre pour la transformation de l'eau brute en eau potable. Elles définissent les doses maximales admissibles pour une substance donnée correspondant à la qualité qu'un individu peut absorber sans danger pour sa santé tout au long de sa vie. Elles présentent les valeurs à ne pas dépasser.

Les normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine suivant l'Organisation Mondiale de la santé (OMS) et Communautés Européennes des eaux (CEE) sont représentées dans le tableau 6.

Tableau 7 : Les normes de l'eau potable suivant l'OMS et CEE. [16]

Paramètre	Unité	OMS	CEE
Turbidité	NTU	5	5-10
Température	°C	-	25
pH	Un.ph	6.5-8.5	6-9,5
Conductivité	µs /cm	-	1250
résidu sec	mg/l	1000	1500
Dureté totale	°F	50	10-35
Alcalinité	°F	-	-
Chlorures	mg/l	250	200
Sulfates	mg/l	400	250
Calcium	mg/l	200	100
Magnésium	mg/l	150	50
Sodium	mg/l	200	100
Potassium	mg/l	-	12
Nitrates	mg/l	45	50
Phosphates	mg/l	-	5

L'Algérie s'est basé sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, on peut dire que c'est une combinaison de différentes normes qui existe sur le plan international (voir le tableau 7).

Tableau 8 : Les normes Algériennes de l'eau potable [8]

Paramétré	CMA	Effets indésirable
pH	6.5 – 8.5	pH acide corrosion des conduites pH basique diminue l'efficacité de la désinfection
Turbidité	5 NTU	Protégé les micro-organismes contre les effets de la désinfection
Température	25°C	Basse diminue l'efficacité du traitement ; élevée, favorise la croissance microbienne.
Résidu sec	2000 mg/l	Goût désagréable
Dureté total	500 mg/l de CaCO ₃	Entartage des conduites et consommation excessive de savon
Calcium	200 mg/l	Entartage des conduites
Magnésium	150 mg/l	Génère goût en combinaison avec les sulfates
Sodium	250 mg/l	A concentration élevée gêne les hypertendus
Potassium	15 mg/l	Entraine goût
Chlorure	600 mg/l	Saveur désagréable, effet laxatif corrosion des conduites
Sulfate	400 mg/l	Trouble gastro-intestinaux, corrosion des conduites
Nitrite	0.1 mg/l	Risque de méthémoglobinémie infantile
Chlore	0.2 – 0.6 mg/l	<0.2 peu efficace sur la désinfection >1, peut entrainer des effets cancérogènes
Nitrates	50 mg/l	Risque de méthémoglobinémie infantile
Plomb	0.05mg/l	Saturnisme
Cuivre	1 mg/l	Saveur désagréable Tache de linge et la plomberie domestique
Fer	0.3 mg/l	Saveur désagréable Tache de linge et la plomberie, favorise le développement de bactéries

III.4-La pollution de l'eau

III.4.1- Définition de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau est une dégradation défavorables de sa qualité causée par un facteur de nature physique, chimique ou biologique d'origine naturelle et/ou humaine rendant son utilisation dangereuse et perturbe l'équilibre de l'écosystème, peut concerner les eaux superficielles et / ou les eaux souterraines. [11]

III.4.2- Sources de pollution

On distingue deux types de pollutions

III.4.2.1- 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. [13]

III.4.2.1.1- Pollution industrielle

Une usine doit être équipée d'une station d'épuration (STEP). Un traitement primaire élimine les matières en suspension (ex: résidus de lavage, corps gras, huiles), puis un traitement secondaire élimine les matières en solution (ex: métaux lourds). En réalité, seulement 65% des eaux usées passent en station d'épuration ou le traitement secondaire n'est généralement pas mis en application (bien souvent pour des raisons de coût).

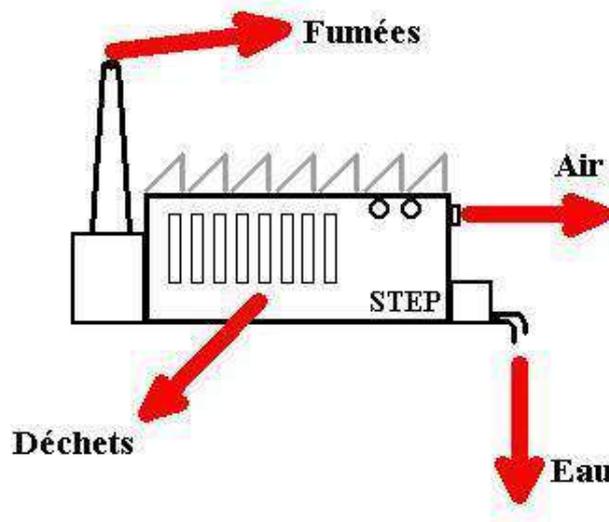


Figure N°04: Les pollutions produites par l'industrie

III.4.2.1.2- Pollution urbaine

Les eaux usées transportent des corps en suspension (ex: matières organiques) et des corps en solution comme les produits ménagers. Les stations d'épuration ne traitent que 65% des eaux usées et ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution. Certaines composées organiques notamment les phosphates sont à l'origine de déséquilibres des écosystèmes en favorisant par excès le développement de certains végétaux indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui s'y trouvent. [13]

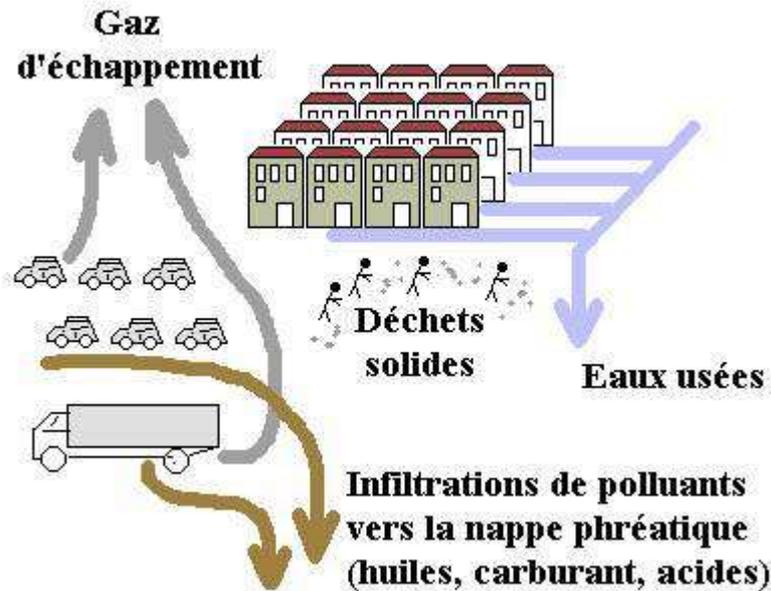


Figure N°05: Les pollutions produites par l'urbanisme

III 2-2.2- 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. [13]

III.4.2.2.1- Pollution agricole

Les engrais apportent aux végétaux cultivés les éléments nécessaires à leur croissance notamment l'azote, le potassium, et le phosphore. Les dérivés azotés (spécialement les nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration issues de l'agriculture en favorisant le développement des algues qui prennent place à toute autre forme de vie à cause de leur surdéveloppement.

Les pesticides sont des produits chimiques destinés à détruire les champignons (fongicides), les mauvaises herbes (herbicides), les vers de terre (hématicides) et les insectes (insecticides) qui parasitent les agricultures.

Ces produits sont développés pour être rapidement neutralisés avec une durée de vie courte une fois dissous dans le sol, mais l'utilisation de mauvaise préparation peut avoir des effets d'intoxication significatifs.

L'accumulation de ces produits dans les cours d'eau peut avoir un impacte important sur le milieu marin, à l'endroit même ou se déverse des fleuves, ou bien par le retour des nappes souterraines qui forment des sources sous-marines ou proches du bord de mer.

III.4.2.2.2- Pollution atmosphérique

L'atmosphère terrestre s'il contient des polluants peut être une source non négligeable de pollution. En effet en cas d'orage les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration des polluants menacent à la fois les eaux superficielles et les eaux souterraines. Cette contamination qui risque d'être durable cause de grande difficulté de traitement.

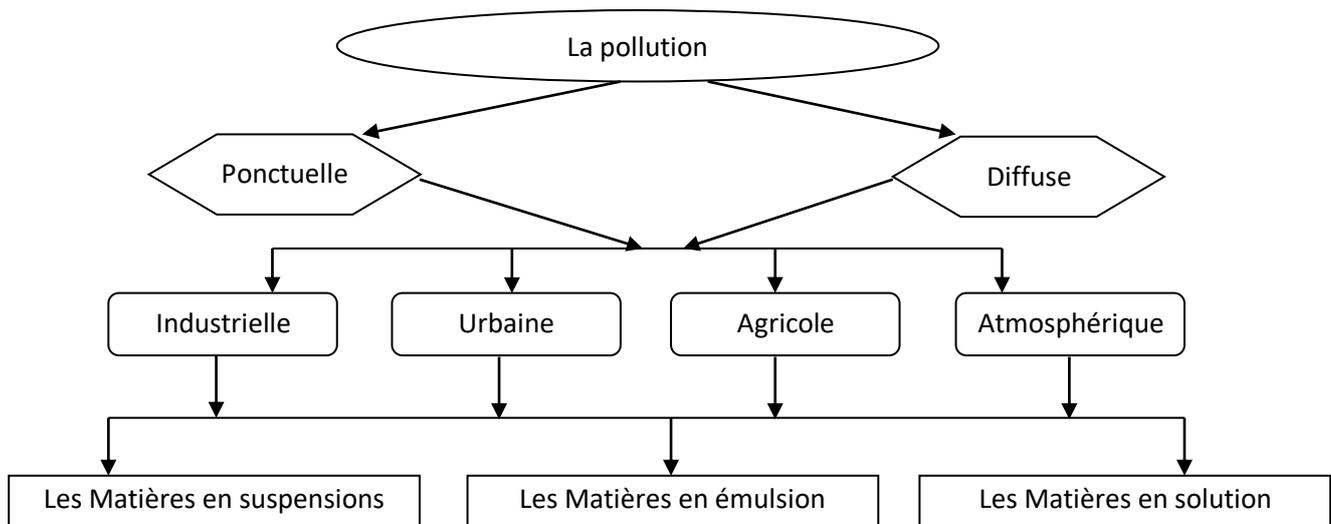


Figure N°06: Les principales sources de pollution.

III.4.3- Classification des polluants de l'eau

L'eau de part sa nature de solvant universel, n'existe pratiquement pas sous forme d' H_2O pure. On trouve littéralement de tout dans l'eau.

Tableau 9:Classification des polluants d'eau

Solubilité dans l'eau	Classe de polluant	Exemple							
En suspension	Organismes vivants	Algues- champignons - plantons- larves- vers -amibes – bactéries - virus.							
	Matières organiques, minérales, végétales	Sables- argiles- boues- roches et divers corps insolubles en débris.....etc							
En émulsion		Pétrole- huiles minérales- goudrons- argiles et matière organiques colloïdales.							
En solution	gaz	Oxygène- Azote- gaz carbonique- Ammoniac.							
	Sels minéraux	<table style="display: inline-table; border: none; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="border: none;">Bicarbonates HCO_3^-</td> <td rowspan="5" style="border: none; padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="5" style="border: none; padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="5" style="border: none; vertical-align: middle;">Métaux Ammonium NH_4^+</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Carbonates CO_3^{2-}</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Sulfates SO_4^{2-}</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Chlorures Cl^-</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Nitrates NO_3^-</td> </tr> </table>	Bicarbonates HCO_3^-	}	}	Métaux Ammonium NH_4^+	Carbonates CO_3^{2-}	Sulfates SO_4^{2-}	Chlorures Cl^-
Bicarbonates HCO_3^-	}	}	Métaux Ammonium NH_4^+						
Carbonates CO_3^{2-}									
Sulfates SO_4^{2-}									
Chlorures Cl^-									
Nitrates NO_3^-									

Source : [05]

Le tableau précédent montre qu'il existe plusieurs manières de classer les polluants de l'eau :

En fonction de leur solubilité dans l'eau On distingue:

- Les composés insolubles: qu'il faudra précipiter ou filtrer.
- Les composés solubles: qu'on peut éliminer par osmose inverse ou par échange d'ions.

En fonction de leur nature

- Des micro-organismes : qu'on peut détruire par des méthodes de désinfection.
- Des composés organiques : qu'on peut éliminer par oxydation ou par absorption.
- Des composés minéraux: éliminés par des traitements spécifiques.

III.4.4- Conséquences de la pollution

Les conséquences de la pollution sont divers notamment :

- 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 contaminations bactériologiques des cours d'eau.

Chapitre IV
Matériel et méthodes

IV.1-Échantillonnage

Une grande importance est donnée aux opérations d'échantillonnage de ce fait l'opérateur doit avoir une connaissance précise des conditions d'échantillonnage (prélèvement et conservation) et leurs importance pour la qualité des résultats analytiques. En effet l'échantillon doit être homogène représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimique de l'eau car les erreurs susceptibles de rendre difficile l'interprétation des résultats sont le plus souvent liés à un échantillonnage non satisfaisant qu'à des erreurs analytiques proprement dites.

IV.1.1- Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération à laquelle on remplit des flacons par le plus près possible du point d'utilisation si possible à un robinet.

IV.1.1.1- Localisation des lieux des prélèvements

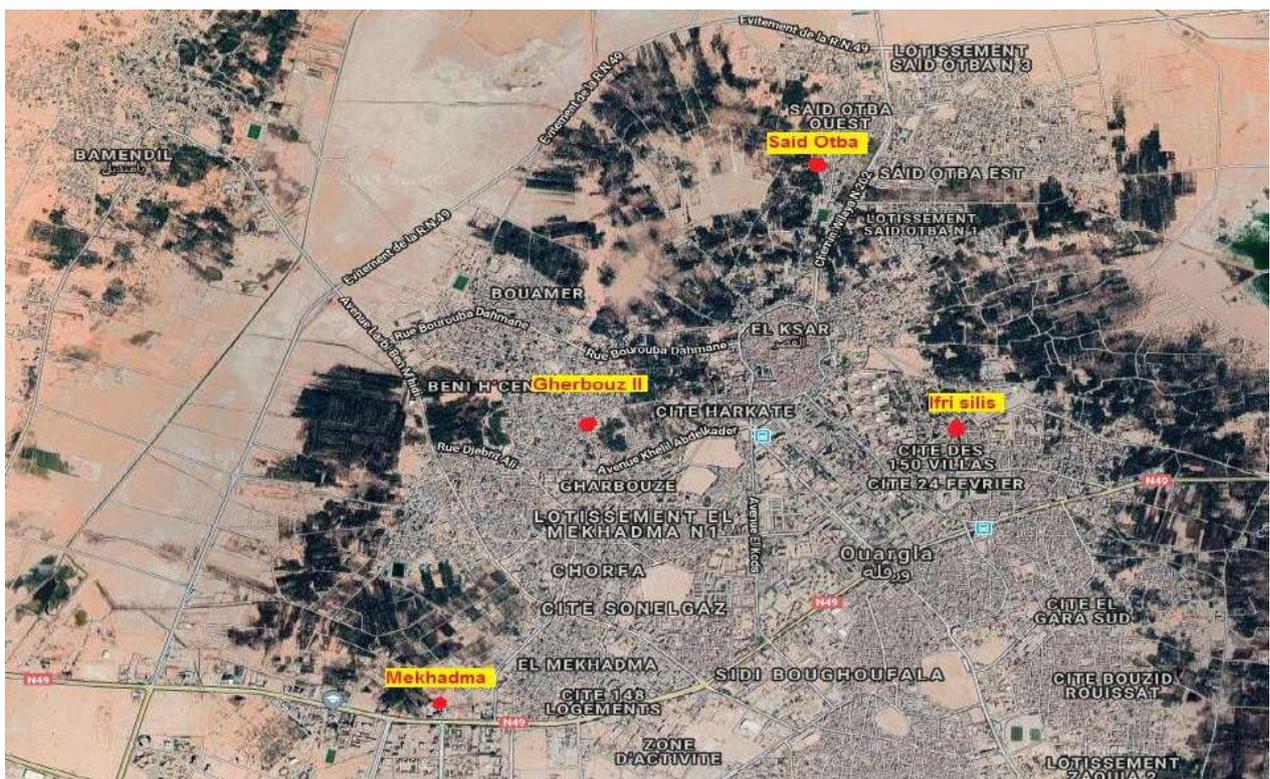


Figure N° 7 : Localisation des points de prélèvement

^

Pour la réalisation de notre étude nous avons pris quatre forages AEP de la nappe du Sénonien dans la région de Ouargla. Le tableau suivant représente les points de prélèvements.

Les forage d'eau	Les noms de forages
F1	Gherbouz II AEP D1F142
F2	Ifri silis D1F149
F3	Said Otba AEP D2F66
F4	Mekhadma AEP III D1F144

Ces forages sont soigneusement localisés sur la carte de la région d'étude comme le montre le tableau N°10.

Tableau 10 : Les points de forages d'étude.

IV.1.1.2- Période de prélèvement

Nous avons choisi la période comprise entre : 1998-2016 (pour obtenir le maximum résultats)

IV.1.1.3- Matériel de prélèvement

Suivant la nature de l'élément à analyser on emploi pour le prélèvement des échantillons des flacons en verre ou en polyéthylène traité à l'acide nitrique et rincées à l'eau distillé jusqu'à cessation de acidité avant leurs usage.

IV.1.1.4- Mode de prélèvement

Le mode de prélèvement varie suivant l'origine de l'eau. Dans notre cas, les flacons ont été remplis de robinets placées 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 mm. 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 afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension etc). [9]

IV.1.1.5- Conservation des échantillons

Les prélèvements subiront obligatoirement un certain temps de transport et une attente au laboratoire avant la mise en route analytique pour cela il convient de se rapporter au tableau N°1

de conservation en annexe pour le choix du récipient à utiliser, les dispositions à prendre pour la conservation des prélèvements en fonction de l'élément à doser, et pour assurer une conservation, les échantillons doivent transporter à une température de 4 C°.

IV. 2-Appareillages

IV.2.1- Spectrophotomètre à flamme 410 (Sherwood)

Le Photomètre de flamme M410, SHERWOOD est le modèle de base standard pour une utilisation simple et manuelle permet de mesurer le Sodium (Na), le Potassium (K) ainsi que le Calcium (Ca) et d'autres éléments.

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau s'évapore, les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atome ou de radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme (air/ butane) leur permettant ainsi d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. Ce dernier est lié à la concentration de l'élément considéré.

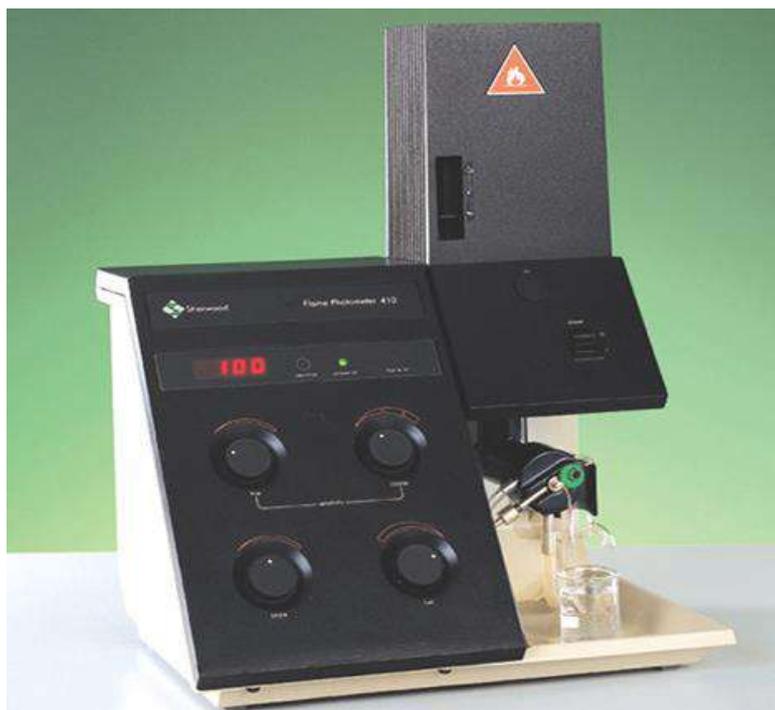


Figure N° 8 : Spectrophotomètre à flamme 410 (Sherwood)

IV.2.2- Spectrophotomètre UV-VISIBLE

La lumière d'une lampe tungstène est réfléchiée par un miroir parabolique et dispersée par un double passage à travers un prisme ; la longueur d'onde choisie est reçue sur une fente

mobile. Lorsque le faisceau lumineux traverse la solution coloré une fraction de la lumière incidente est absorbé on fonction de la concentration du composé coloré.



Figure N° 9 : Spectrophotomètre UV-VISIBLE

IV.2.3- pH mètre

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence de (KCl saturé) plongé dans une même solution est fonction linéaire du pH de celle-ci selon la loi de NERNST suivante :

$$E = E_0 + 2.3 \frac{RT}{nF} \log a_h$$

- E = potentiel mesuré (volt)
- E_0 = constante dépendant de l'électrode de référence et de la solution interne
- R = constant des gaz (j /mol .k)
- T = température absolue (k)
- n = charge des ions
- F = constant de faraday
- a_h = activité des ions H^+ dans l'échantillon



Figure N° 10 : pH mètre HI 991000 HANNA

IV.2.4- Conductimètre

La conductimètre est lié une cellule constituée de deux carrées de 1cm de cote en platine maintenues en parallèles dans un tube de verre de 1cm.

Lorsque ce montage est plongé dans l'eau, une colonne de liquide de 1cm est d'une section de 1cm^2 est ainsi délimitée et on peut mesurer sa conductance qui basée sur le principe du pont Wheatstone



Figure N° 11 : Conductimètre HANNA HI 8424

IV.3- Technique de mesure

IV.3.1- Mesure de pH

Après avoir étalonné le pH-mètre par les deux solutions tampon et mesuré la température de l'échantillon, le régulateur de température est ajusté sur la valeur convenable. Les deux électrodes sont plongées dans l'échantillon jusqu'à ce que la valeur du pH se stabilise.

IV.3.2- Mesure de la conductivité et détermination de la minéralisation globale

Le conductimètre donne directement la valeur de la résistance (ou de la conductance) inconnue. On étalonne l'appareil, c'est à dire 'on détermine le facteur géométrique k (ou constante de la cellule) en mesurant la conductance C_1 d'une solution de KCl 0.1N dont la conductivité K_1 est connue:

$$k = K_1 / C_1 \quad (\text{cm}^{-1})$$

On peut alors déduire la conductivité K_2 de n'importe quelle solution inconnue par simple mesure de sa constance C_2 à condition d'utiliser la même cellule et de garder la température constante.

$$K_2 = kC_2$$

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

La minéralisation globale est déterminée connaissant la conductivité de la solution on applique l'une des formules figurant dans le tableau suivant :

Tableau 11: Relation entre la conductivité électrique et la minéralisation globale [15]

la conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°	la minéralisation en mg/l
< 50	1,365079 × conductivité
50-60	0,947655 × conductivité
166-333	0,769574 × conductivité
333-833	0,715920 × conductivité
833-10000	0,758544 × conductivité

>10000	0,850432× conductivité
--------	------------------------

IV.3.3- Dosage des carbonates, bicarbonates et hydroxyles

L'utilisation de la méthode potentiométrique pour le dosage ces éléments évite toute erreur d'estimation particulière aux méthodes utilisant des indicateurs colorés

Son principe repose sur le fait que les carbonates n'existant qu'à $\text{pH} > 8,3$ et les bicarbonates si le pH est compris entre 4,4 et 8,3.

Au cours d'un dosage acidimétrique doublé d'une mesure de pH , on peut savoir à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon

La valeur de la prise d'essais PE est déduite en fonction du volume d'acide sulfurique V_2 nécessaire pour abaisser le pH de l'échantillons jusqu'à 4.4 :

- Si $V_2 < 5$ ml prendre 40 ml de PE
- Si $5 < V_2 < 10$ ml prendre 20 ml de PE
- Si $V_2 > 10$ ml prendre 10 ml de PE

Si $\text{pH} > 8,3$

1) $V_2 > 2 V_1$ (V_1 : volume d'acide sulfurique nécessaire pour abaisser le pH de l'échantillons jusqu'à 8.3)

$$\text{OH}^- = 0$$

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ me/l} = \frac{2 V_1 \times 0,01 \times 1000}{\text{PE}}$$

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ mg/l} = \text{CO}_3^{2-} \text{ me/l} \times 30$$

$$\text{H CO}_3^- \text{ me/l} = \frac{(V_2 - 2V_1) \times 0,01 \times 1000}{\text{PE}}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/l} = \text{HCO}_3^- \text{ me/l} \times 61$$

2) $V_2 < 2V_1$

$$\text{H CO}_3^- = 0$$

$$\text{OH}^- \text{ me/l} = \frac{(2V_1 - V_2) \times 0,01 \times 1000}{\text{PE}}$$

$$\text{OH}^- \text{ mg/l} = \text{OH}^- \text{ me/l} \times 17$$

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ me/l} = \frac{2(V_2 - V_1) \times 0,01 \times 1000}{\text{PE}}$$

- Si $4.4 < \text{PH} < 8.3$

$$\text{H CO}_3^- \text{ m/l} = \frac{V_2 \times 0,01 \times 1000}{\text{PE}}$$

IV.3.4- Dosage du sodium et du potassium

Ce qui regroupe ces deux éléments est l'appareil utilisée pour leurs dosage. Ainsi le principe de dosage est le même, ce qui change c'est le réactif et les conditions spectrales (330,2 nm pour le Na^+ et 769,7 nm pour le K^+). Les résultats sont directement lus sur l'appareil.

IV.3.5- Détermination de Ca^{+2} et Mg^{+2}

Le sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique cristallisé avec H_2O , appelé aussi complexon ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH.

- Calcul de la normalité de l'E.D.T.A

$$N_{\text{E.D.T.A}} \text{ (mé/l)} = \frac{20 \times 10}{V_1} = \frac{200}{V_1}$$

V_1 : le volume d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer la solution étalon de Ca^{++}

- Teneur de Calcium et de Magnésium dans l'échantillon

$$\text{Ca+Mg (me/l)} = \frac{N \times V_2}{\text{PE}}$$

V_2 : le volume d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer l'échantillon

- Teneur de Calcium dans l'échantillons

$$\text{Ca (me/l)} = \frac{\text{N. x } V_1}{\text{PE}}$$

- Teneur en Magnésium des échantillons

$$\text{Mg me/l} = \text{Ca+Mg (me/l)} - \text{Ca (me/l)}$$

IV.3.6- Dosage des chlorures (Cl⁻)

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'ion d'argenté formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 de permettre la précipitation.



On opère comme suit :

- On prend trois fioles :
 - 100 ml de l'eau distillé (blanc)
 - 90 ml de l'eau distillé 10 ml de NaCl (titre)
 - 25 ml de l'eau a analyse complète à 100 ml de l'eau distillé (échantillon).
- Ajouter 1 ml dans chaque fiole de K₂CrO₄ (coloration jaunâtre).
- Titrer avec Ag NO₃ à 0.0282 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

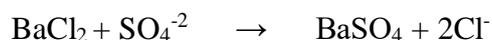
Les résultats sont exprimés de la manière suivante

$$[\text{Cl}^-] = \left[\frac{V_a - V_b}{P.E} \right] * F * D * C * 10 / V_s$$

- V_a : volume d'AgNO₃ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.
- V_S : Volume d'AgNO₃ 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'AgNO₃ = 35453
- C : Concentration réelle d'AgNO₃. (0.0282)

IV.3.7- Dosage de sulfate

Les ions de sulfates sont précipités et passés à l'état de baryum en présence de BaCl_2 :



On opère comme suit :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter pendant 1 mn.
- Analyser les échantillons avec le spectrophotomètre à $\lambda = 420 \text{ nm}$.
- Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.3.8- Dosage de nitrates

Afin de déterminer les nitrates dans les eaux, on utilise la méthode de l'acide sulfosalicylique qui réagit sur les nitrates en donnant un dérivé : acide nitro-sulfosalicylique de couleur jaune.

Le mode opératoire de cette expérience comprend les étapes suivantes :

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88 °C.
- Reprendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique et laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium puis analyser au spectrophotomètre à $\lambda = 415 \text{ nm}$.
- Le résultat donné directement en mg/l.

Chapitre V
Résultats et
interprétations

V. Étude de la potabilité des eaux de la nappe du sénonien

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

Les analyses sont effectuées au laboratoire de l'Algérienne Des Eau (ADE). Elles ont porté sur

- Les éléments majeurs : Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^-).
- Les indicateurs de pollution : NO_3^- .
- Les paramètres physico-chimiques généraux : pH, Conductivité, Minéralisation, Dureté et titre alcalimétrique.

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

$$\text{BI} = \left| \frac{\sum r(\text{cation}) - \sum r(\text{anion})}{\sum r(\text{cation}) + \sum r(\text{anion})} \right| \times 100 \leq 5 \%$$

IV.1- Les éléments majeurs

IV.1.1- Les cations

IV.1.1.1- Calcium

Les analyses chimiques réalisées au niveau de la cuvette, montrent que les concentrations en calcium varient entre 173.8 mg/l (Mekhadema) et 256.7 mg/l (Ifri silis). On remarque que les concentrations obtenues dépassent la norme OMS à l'exception du forage de Mekhadema.

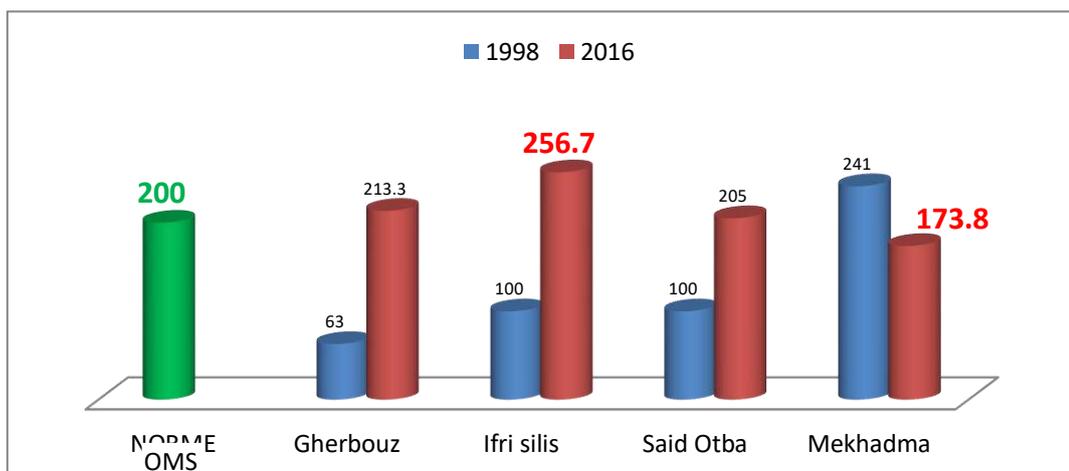


Figure 12 : Evolution de la concentration du calcium

Mis à part le forage de Mkhadma, le taux de calcium a augmenté dans tous les forages étudiés d'une moyenne de 68,41 %

IV.1.1.2- Magnésium

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance .A Partir d'une concentration de 100 mg/l, le magnésium donne un gout désagréable à l'eau. Les concentrations en magnésium des eaux souterraines varient entre 104.96 mg/l pour le forage de Mekhadema et 122.94 mg/l dans la région d' Ifri silis .Ces valeurs sont acceptables dans la norme OMS.

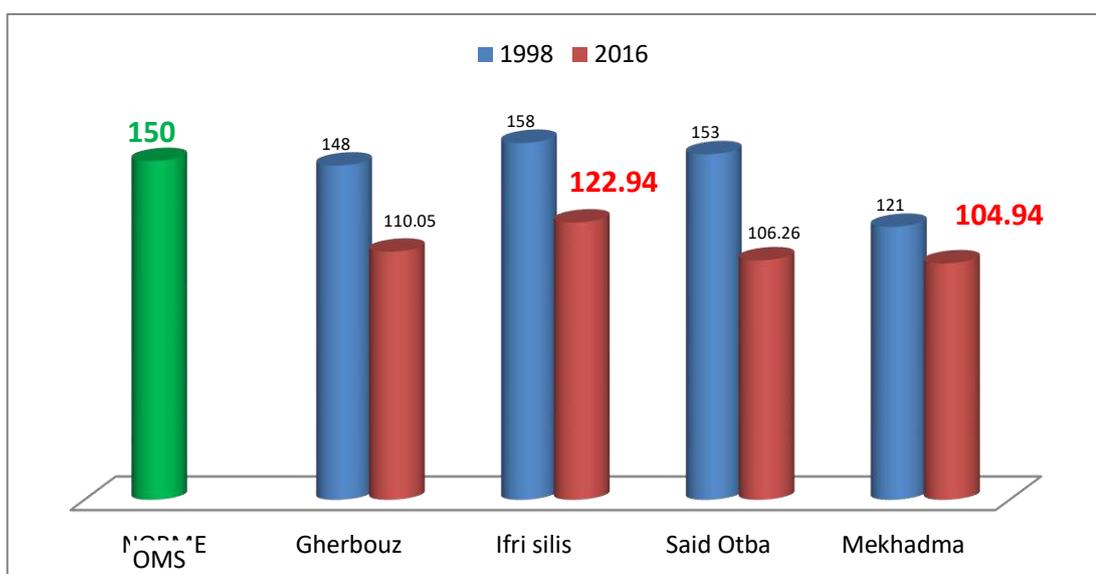


Figure 13 : Evolution de la concentration du magnésium

Contrairement au calcium, le taux de magnésium à diminuer dans tous les forages, avec un taux moyen de 23,42 %

IV.1.1.3- Sodium

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.

L'analyse des résultats obtenus nous permet de constater que les teneurs en sodium dépassant les normes de l'OMS dans tous les forages sauf le forage Gherbouz, les concentrations en sodium dans les eaux de la nappe du sénonien carie entre 110.05 mg/l (Gherbouz) et 407.5 mg/l (Mekhadema).

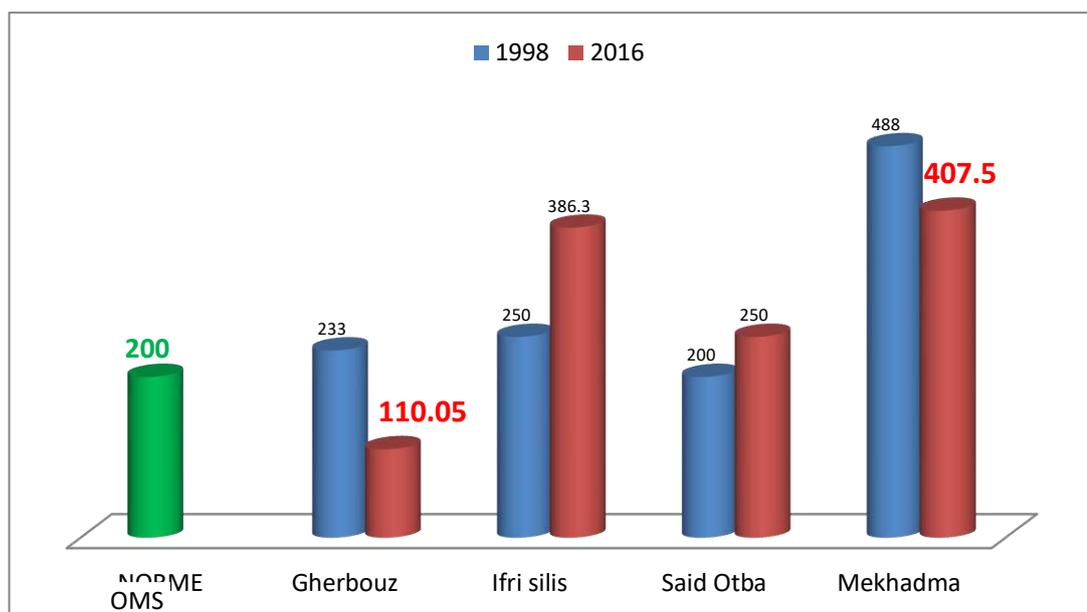


Figure 14: Evolution de la concentration du sodium

Le taux d'évolution moyen de cet élément dans la période de étudiée est de 1,46 %

IV.1.1.4-Potassium

Les concentrations en potassium varient entre 12 mg/l (Said Otba) et 20 mg/l (Iffri silis). Le potassium provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaires et de la dissolution des engrais chimiques, la teneur de potassium dépasse les normes dans tous les forages sauf Said Otba.

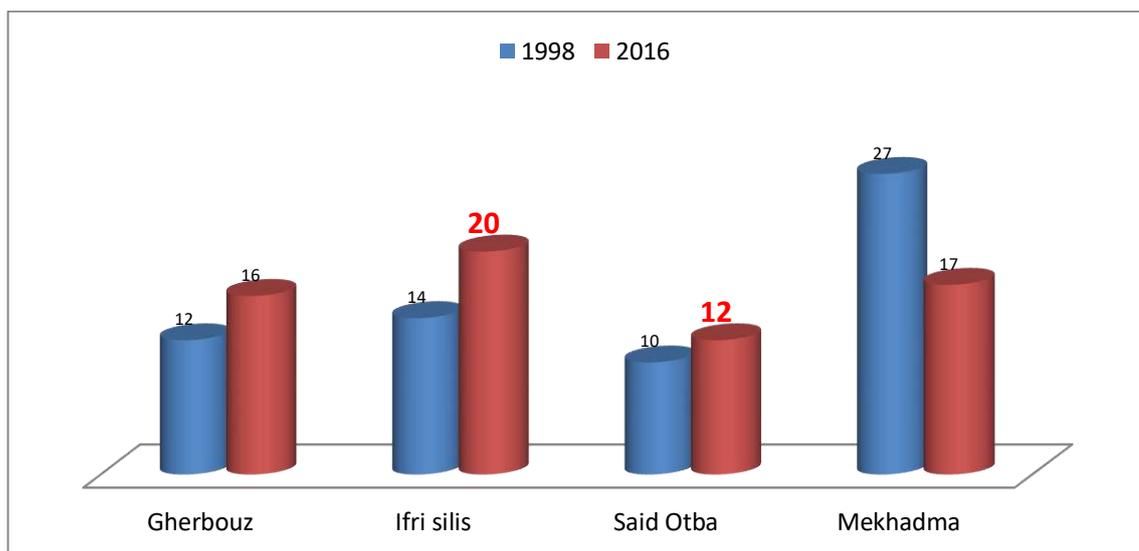


Figure 15 : Evolution de la concentration du potassium

L'accroissement moyen de cet élément dans le temps est estimée de 3,17 %

IV.1.2-Les anions

IV.1.2.1- Chlorures

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les concentrations en chlorures dans les eaux de la nappe étudiée varient entre 380 mg/l (Said Otba) et 655 mg/l (Ifri silis) dépassant ainsi la norme OMS.

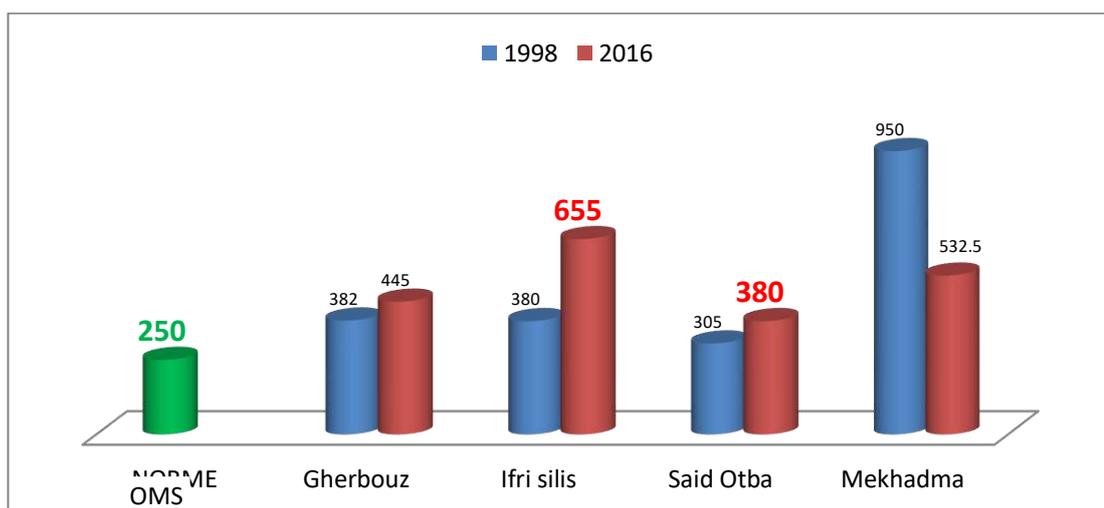


Figure 16 : Evolution de la concentration des Chlorures

Les chlorures ont évolués avec un taux moyen de 0,22 % courant la période étudiée.

IV.1.2.2-Sulfates

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses. Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Les concentrations en sulfates varient entre 787.5 mg/l (Mekhadema) et 1025 mg/l (Gherbouz) dépassant de ce fait la norme exigée par l'OMS.

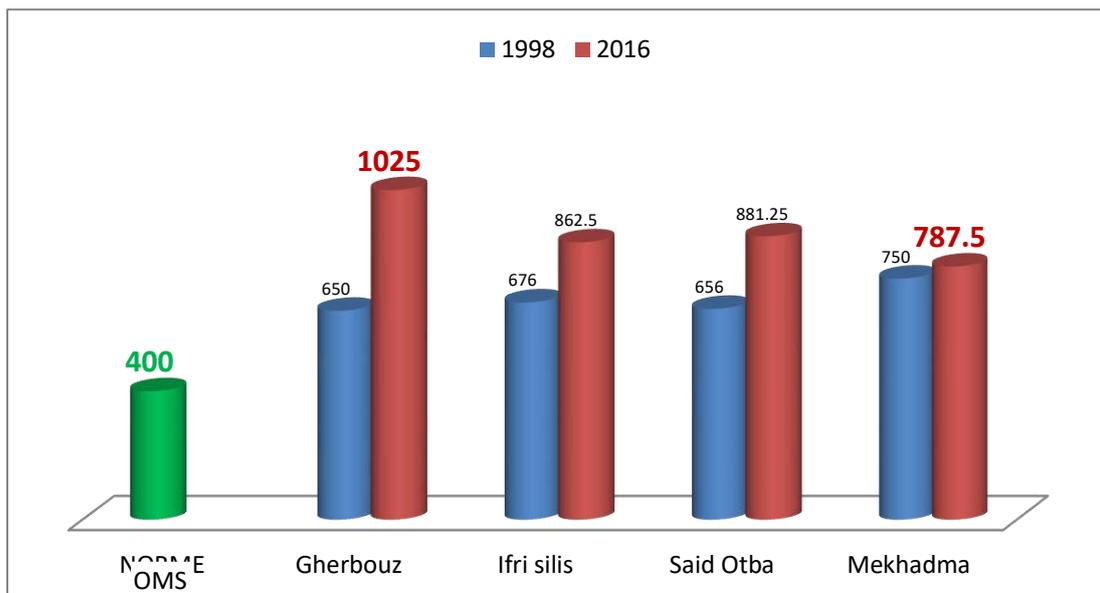


Figure 17 : Evolution de la concentration des sulfates

On assiste donc à un croissement moyen de 30,17 %

IV.1.2.3- Bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau de la zone d'étude aurait la même origine que celles du calcium et magnésium, citées auparavant. Elle est due à la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique. Les concentrations en bicarbonates des eaux souterraines étudiées varient entre 10 mg/l (Gerbouz) et 143 mg/l Said Otba, soit un taux d'évolution moyen de -16,69 %

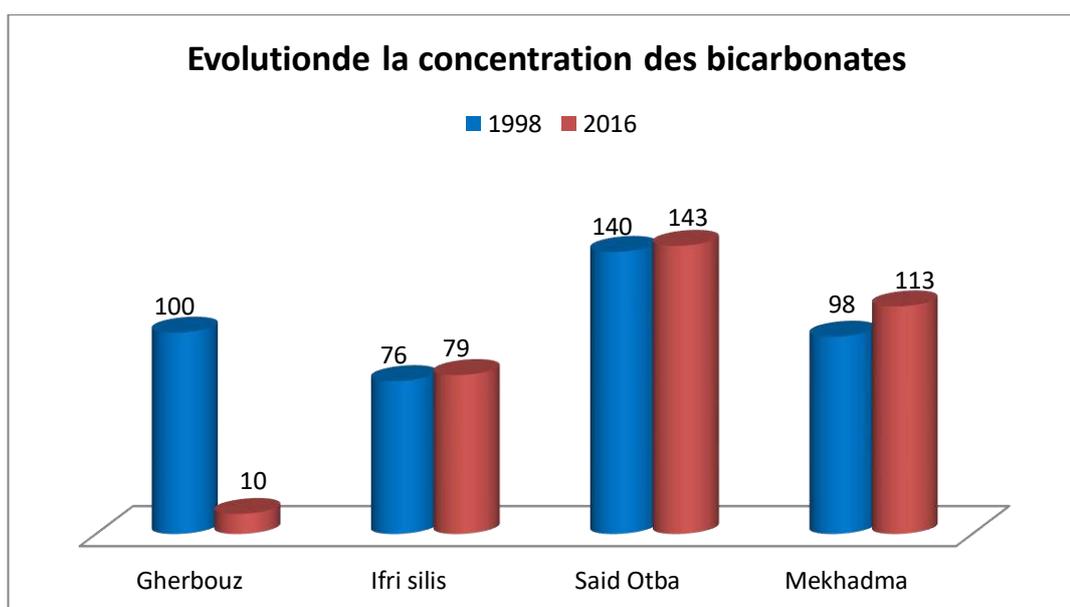


Figure 18: Evolution de la concentration des bicarbonates

IV.2-Les indicateurs de pollution

Nitrates : Représentent la forme la plus oxygénée de l'azote et la plus soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les eaux souterraines montrent des concentrations variants entre 41 mg/l (Ifri Silis) et 48 mg/l (Gherbouz). Ces valeurs sont les seuls acceptables. Les nitrates ont évoluées avec un taux de 45,49 %.

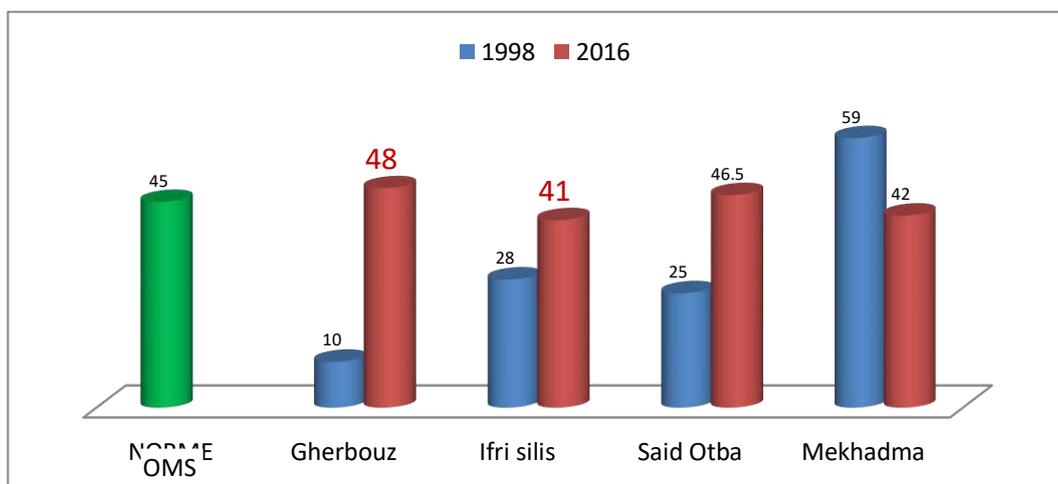


Figure 19 : Evolution de la concentration en nitrates

IV.3- Les paramètres physico-chimiques

IV.3.1- pH

Le pH est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. A partir de cette figure on peut remarquer les valeurs du pH obtenues, variés entre 7.67 (Gherbouz) et 7.83 (Ifri Silis), pour les eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Ces valeurs sont acceptables d'après les normes OMS. Ce paramètre à augmenté d'un taux moyen de 5,84 %

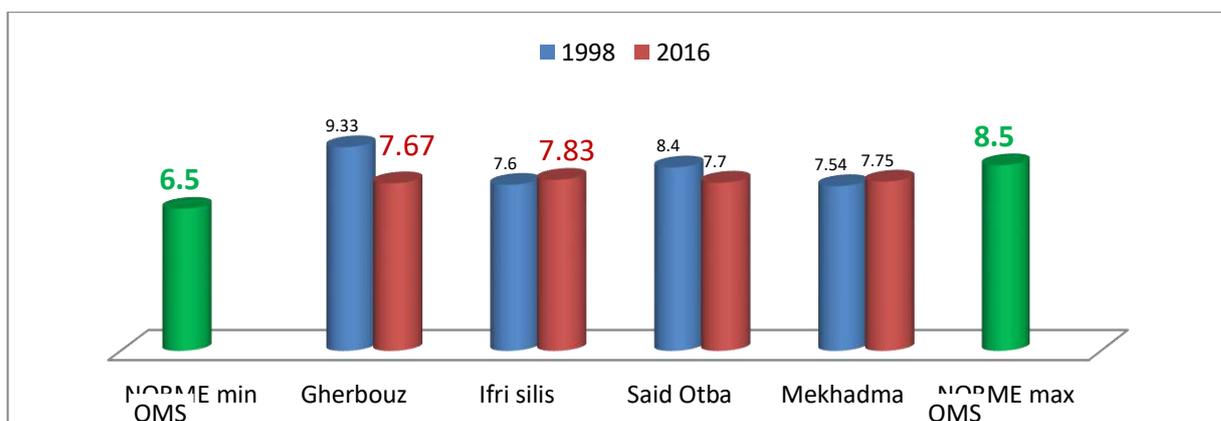
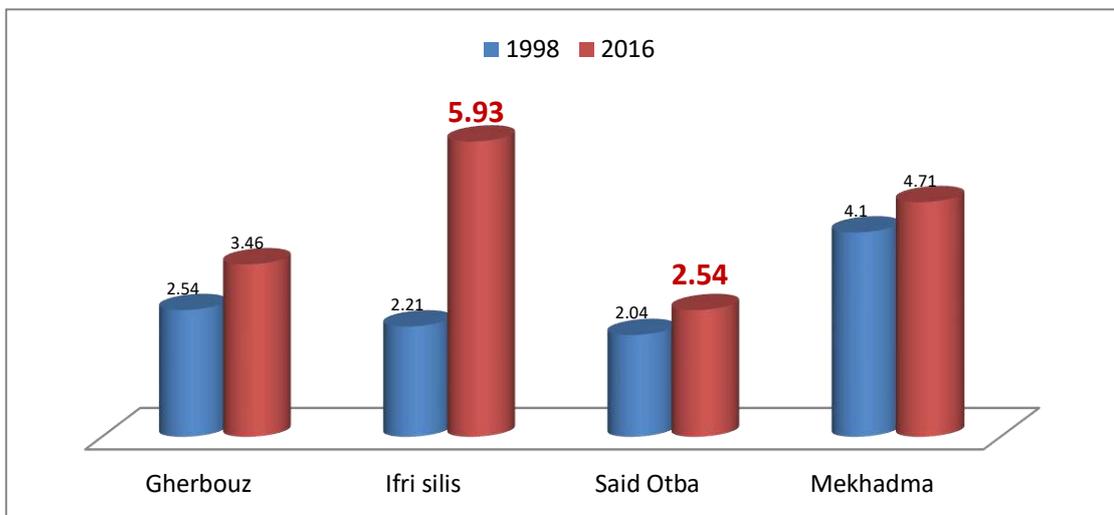


Figure 20 : Evolution du pH**IV.3.2- Conductivité électrique**

La conductivité élevée traduit une salinité élevée. Les teneurs en sels dissous sont moyennement élevées, exprimées à travers la conductivité, les valeurs enregistrées montrent que ces eaux sont chargées et conductrices.

La conductivité des eaux de la nappe du sénonien varie entre 2.54 mS/cm pour la région de Said Otba et 5.93 mS/cm qui correspond au forage de Ifri silis. Ce paramètre a augmenté d'un taux moyen de 52,80 %.

**Figure 21 : Evolution de la conductivité.****IV.3-3-Minéralisation globale**

Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction : de la nature des roches traversées et du temps de contact de l'eau avec les minéraux. La minéralisation globale varie entre 1927 mg/l (Said Otba) et 4498 mg/l (Ifri silis). Ce paramètre a augmenté d'un taux moyen de 52,76 %

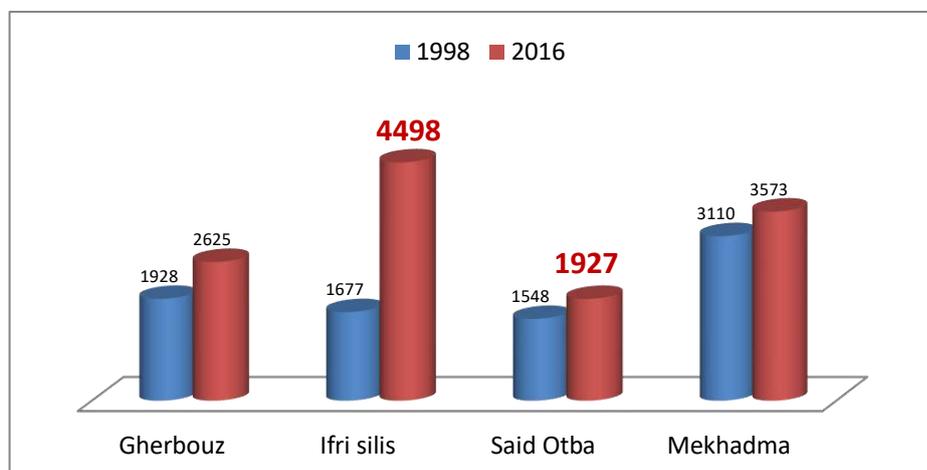
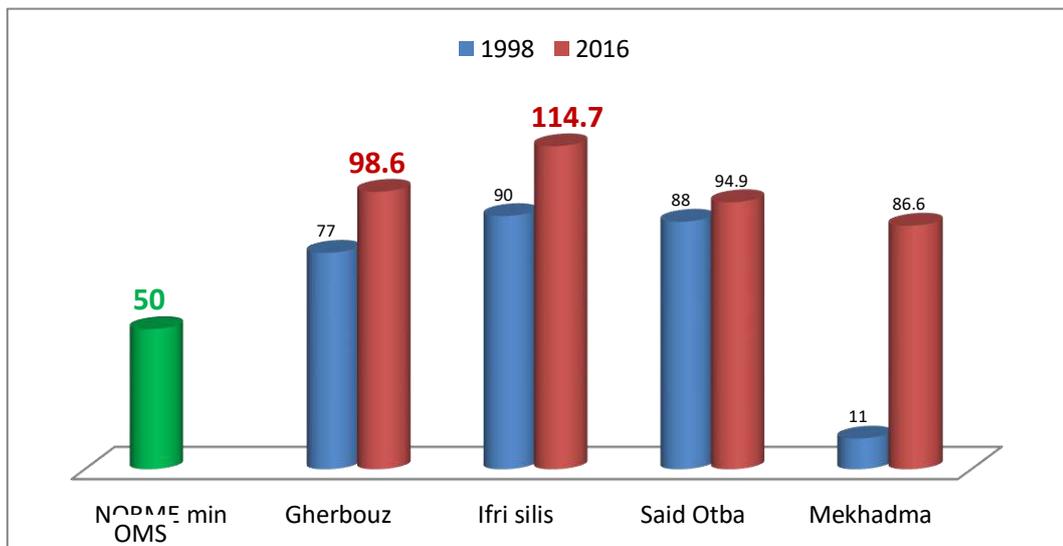


Figure 22 : Evolution de la minéralisation globale**IV.3.4- Dureté Totale**

Ce paramètre représente la teneur de l'eau en sels de métaux alcalino-terreux. D'une façon générale, la dureté des eaux étudiées varie entre 86.6 F° à Mekhadma et 114.7 F° qui correspond à la région de Ifri Silis. Ces valeurs dépassant la norme OMS.

Dans les eaux étudiées, ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Courant la période étudiée, il a évolué de 7,87% en moyenne

**Figure 23 : Evolution de la dureté totale.****IV.3.5- Titre alcalimétrique complet TAC**

Ces paramètres correspondent à la teneur en hydrogencarbonates donc il suit le même sens d'évolution de ce paramètre.

IV.2-Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe du sénonien

En vue d'apprécier la vulnérabilité des eaux à la pollution, on calcule un indice dit de contamination. Ce dernier correspond à la somme des numéros de classe déterminés en fonction de la teneur des nitrates, des sulfates, des chlorures, du sodium et du potassium montrés au tableau ci-dessous.

- Si $IC < 12$ l'eau est faiblement sensible à la pollution
- Si $13 < IC < 15$ l'eau est moyennement sensible à la pollution
- Si $IC > 15$ l'eau est fortement sensible à la pollution

Tableau 12 : Classement en vue de la détermination de l'indice de contamination

Classe Ions	1	2	3	4	5
NO ₃ ⁻	< 13	3-18	18-23	23-30	> 30
SO ₄ ⁻	< 25	25-50	50-100	100-120	>120
Cl ⁻	<120	120-240	240-400	400-600	> 600
Na ⁺ , K ⁺	< 80	80-160	80-160	200-300	> 300

L'évolution spatiale de l'indice de contamination est présentée dans le tableau ci-dessous

Tableau 13 : Evolution d'IC dans la région d'étude.

Points d'eau	IC	Observation de contamination
Gherbouz II AEP D1 F 142	17	L'eau est fortement sensible à la pollution.
Ifri silis D1 F149	20	L'eau est fortement sensible à la pollution.
Said Otba AEP D2 F66	17	L'eau est fortement sensible à la pollution.
Mekhadma AEPIII D1F144	20	L'eau est fortement sensible à la pollution.

Tous les forages étudiés sont vulnérables à la pollution.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail a consisté en l'étude de l'évolution des eaux souterraines exactement la nappe sénonienne sur une période de 18 ans de 1998 au 2016.

Ils ont utilisé des méthodes analytiques nécessaires dans le dosage des éléments minéraux.

Notre étude hydro-chimique est basée sur les analyses physico-chimiques de quatre forages destinés à l'AEP correspondant à la nappe sénonienne de la région de Ouargla. Ces forages vérifient une répartition spatiale assez convaincante.

Le suivi des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques (1998 – 2016) a permis de détecter une variation des concentrations de tous les éléments chimiques.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la nappe sénonienne de la région d'étude sont non-conformes aux normes de potabilités exigées par l'OMS ainsi que les normes appliquées en Algérie. De plus, ils admettent une évolution spatiale remarquable.

A travers notre travail nous avons remarqué que les eaux de la nappe du sénonienne de la cuvette de Ouargla sont le siège d'une pollution minérale naturelle engendrée par la formation géologique de la région.

Enfin, nous avons constaté à travers le calcul de l'indice de contaminations que la totalité des forages étudiés sont fortement vulnérables à la pollution.

*Références
Bibliographiques*

- [01] Anonyme: Dergment, Mémento technique de l'eau, Tome 1, 1989, pp3-10.
- [02] Anonyme: Direction de la planification et de l'aménagement territoire, 2006, P3, 8.
- [03] T.ALIAT: Etude de la composition chimique et approche de la qualité des eaux de la nappe du miopliocene destinée l'AEP (cas de région de Ouargla), thèse Ing en génie des procédés université de Ouargla 2006, P3-17.
- [04] Anonyme: Schéma directeur de la wilaya de Ouargla, P5-6.
- [05] Anonyme: ATLAS ^[IV] des zones humides Algérienne d'importance internationale, 2004, P35-45.
- [06] A.Hlla: Proposition d'un schéma de gestion du réseau de distribution d'eau du bloc sud de la ville de ouargla, thèse Ing en hydrolique, université de ouargla, 1997, P7
- [07] عبد الحفيظ فاتح. الساهمة في دراسة فعالية نواة التمر و تثمينها في نزع لوحة المياه. ورقة. ص 47 مذكرة مهندس في الري الصحراوي. جامعة ورقلة 2002.
- [08] Anonyme: ADE Ouargla, Laboratoire centrale d'algerie des eaux.
- [09] Melles BOUTI NOUR ELHOUDA , BRIK FAIROUZ, etude d'évolution de la qualité des eaux de la nappe du miopliocène destinée a AEP (cas de la cuvette de Ouargla). Mes master, université de Ouargla.
- [10] Anonyme: Journal officiel de la République Algérienne, N°24, Normes requises pour les rejets industrielles P15
- [11] P.Colnil: Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes, édition BRGM, 2001, P 16- 53.
- [12] Mohand Said Ouali: Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux, 2001, P3
- [13] BIRECH Samir, Messaoudi Ismail, La contamination des eaux superficielles par les métaux lourds (Chott Ain Baida), These Ing, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [14] ناصر الحايك تلوث المياه و تنقيتها 1989 ص 25-63
- [15] C.Boukhalfa et L. Mezaour: Optimisation des méthodes de traitement des sols contaminés par les hydrocarbures au niveau de CIS, Mes. Ing. GE, université de Ouargla 2004, P87.
- [16] J. Bontaux: Introduction à l'étude des eaux douces, 1983, P169.

- [17] C.Djebas : Etude de la performance de la station de l'évaporation d'eau a Houd Berkaoui, Thes, Ing GE, université de Ourgla 2004, P8-26.
- [18] N.Chaouch: Etude de la composition chimique et approche de la qualité des eaux souterraine destinées a l'alimentation en eau potable au niveau de la cuvette de Ouargla, Thes, Ing, CI, 1996.60p
- [19] J. Roudier: L'analyse de l'eau edition DUNOD,8^{eme} édition 1997, 1126,1150
- [20] Claus Bliefert et Robert Perraud: Chimie de l'environnement, traduction et adaptation, 1er édition, de boeck, 2003, p285-p363

تعد المياه الجوفية هي المصدر الوحيد لمياه الشرب في منطقة ورقلة.

المياه الجوفية Senonien أعمق من المياه Mioplicène التي تعد الأكثر استغلالاً في حوض ورقلة.

تم العمل الحالي على مستوى كل من ANRH و ADE. على مدى 18 عامًا. يهدف إلى دراسة مدى صلاحية هذه المياه للشرب مع إمكانية وجود تلوث.

الكلمات المفتاحية: ورقلة، المياه الجوفية السنيونية، إمكانية الشرب، التلوث

Groundwater is the only source of drinking water in the Ouargla region.

The Senonian groundwater is deeper than the mio-pliocene, which is the most exploited in the Ouargla's basin.

The current work has been done on both ANRH and ADE. Over 18 years. It Aims to study the potability of this water for drinking with the possibility of pollution.

Keywords: Ouargla, Senonian groundwater, potability, pollution

Dans la région de Ouargla les eaux souterraines sont la seule source de l'eau potable.

La nappe du sénonien est plus profonde que la moi-pliocène et elle est la plus exploitée au niveau de la cuvette.

Le présent travail s'effectue au niveau de l'ANRH et l'ADE et qui s'étale sur une période de 18 ans. Il vise l'étude de la potabilité de ces eaux et l'élaboration d'une cartographie spécifique pour la région d'étude.

Mots clés : Ouargla, nappe de sénonien, potabilité, pollution.