

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



**FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE ET GENIE CIVIL**

MEMOIRE DE MASTER

Domaine: Sciences et Technologies

Filière : hydraulique

Spécialité : RESSOURCE HYUDRIQUE

Thème:

**Représentation des analyses hydro chimiques des
Eaux de la ville Touggourt.**

Présenté par :

HARKAT Yamina

BENNACEUR Kaouter

Devant le Jury composée de :

Président :	ATTAB Rabeh	M.A.A	Université Ouargla
Examineur :	KATEB SAMIR	M.C.A	Université Ouargla
Promoteur :	BAOUIA Kaïs	M.C.B	Université Ouargla

Année Universitaire 2019/2018

A decorative border surrounds the text, featuring a string of pearls at the top and bottom, and a vertical string of pearls on the right side. On the left side, there are several roses: a red rose bud at the top, followed by a white rose, and another white rose further down. The roses are accompanied by green leaves and stems.

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur BAOUIA KAIS, qui, en tant que Encadreur de ce mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professionnel et administratif de la Faculté des Sciences Appliquées (Département de Génie Civil et Hydraulique) pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des personnels de l'ADE et ANRH de Touggourt .

J'adresse enfin une pensée spéciale à mes parents pour leur soutien dans mes choix et leur attention sans faille, ainsi qu'à ma bonne maman, dont les encouragements et l'amour inconditionnel m'accompagnent depuis toujours.

Enfin, A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Merci

A large, detailed illustration of a white rose with green leaves and several water droplets on its petals, located in the bottom right corner of the page.

Liste des tableaux

Tableau 1. Données climatiques de la région Touggourt (2007-2018)	05
Tableau 2. les forages existants de La région de Touggourt wilaya d'Ouargla.....	07
Tableau 3. Données thermiques concernant les transferts de chaleurs à travers les tartes.....	21
Tableau 4. Les normes de potabilité de O.M.S.....	23
Tableau 5. Teneurs en fluor de quelques échantillons d'eaux du sud Algérien (Youcef,1998)	26
Tableau 6. Classification de pourcentage de sodium selon Wilcox.....	39
Tableau 7. Caractéristiques des eaux de la zone de Touggourt.....	48
Tableau 8. les forages de la zon de Touggourt.....	48
Tableau 9. Classe de sodicité des eaux (U.S.S.L ,1954).....	55

Liste des figure

Figure I-1. Carte géographique de Touggourt.....	03
Figure II-2. Molécule d'eau.....	09
Figure II-3. Schématisation de la tension superficielle de l'eau.....	11
Figure II-4. Impact de l'entartrage sur les conduites d'eau potable à toggourt.....	21
Figure II-5. Localisation et géologie de grand erg oriental.....	27
Figure III-6. diagramme de piper.....	31
Figure III-7. Insérer une analyse dans diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	35
Figure III-8. diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	36
Figure III-9. Insérer une analyse dans diagramme stiff.....	37
Figure III-10. diagramme de Stiff.....	37
Figure III-11. Classification de pourcentage de sodium en fonction conductivité.....	38

Figure III-12. Classification de pourcentage de sodium selon Wilcox.....	40
Figure IV-13. PH mètre.....	43
Figure IV-14. Conductimètre.....	44
Figure IV-15. Spectrophotometer.....	45
Figure IV-16. Cuvette carre.....	46
Figure IV-17. pipeter.....	46
Figure II-18. réactif SPADNS.....	46
Figure IV-19. cellules en verre du DR 6000.....	46
Figure V-20. position des forages de Touggourt suivants.. ..	50
Figure V-21. Facies chimique des analysées d'après de diagramme de PIPER.....	52
Figure V-22. Facies chimique des analysées d'après de diagramme Schoeller-Berkaloff...	53
Figure V-23. Diagramme de classification des eaux d'irrigation de vill touggourt.....	56

Liste des graphes

Graphe-I-1. Température moyenne(c°).....	03
Graphe-I-2. Précipitation (mm) et mois.....	04
Graphe-I-3. vents (m/s) et mois.....	04
Graphe-I-4. l'humidité (%) et mois.....	05
Graphe-I-5. Nombre des Forages destiné à l'AEP (région Touggurt).....	08

SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I: Présentation de la ville Touggourt

I-1-INTRODUCTION.....	02
I-2- Situation géographique.....	02
I-3- Climat.....	03
I-3-1-La température.....	03
I-3-2-Les précipitations.....	04
I-3-3-Les vents.....	04
I-3-4-L'humidité de l'air.....	05
I-4- Hydrogéologie de la zone.....	06
I-4-1-Nappe phréatique.....	06
I-4-2-Nappe mio-pliocène.....	06
I-4-3-Nappe Sénonien- Eocin.....	06
I-4-4-Nappe Albienne.....	06
I-5-Répartition et l'état Actuel des forages existants de La région de Touggourt wilaya d'Ouargla.....	08
I-6-Conclusion.....	08

CHAPITRE II Détermination la qualité (physique, chimique et bactériologique) des eaux:

II-1-Introduction.....	09
II-2-Définition de l'eau.....	09
II-3-Les caractéristique physico-chimique de l'eau.....	09
II-3-1-La molécule de l'eau.....	09
II-3-2-1-Propriétés physiques.....	10
II-3-2-1-1-Masse volumique.....	10
II-3-2-1-2-Propriétés thermiques.....	10
II-3-2-1-3.-Viscosité.....	10
II-3-2-1-4-Tension superficielle.....	10

II-3-2-1-5-Propriétés électriques.....	11
II-3-2-1-6-Propriétés optiques.....	11
II-3-2-1-7-Impuretés dans l'eau.....	11
II-3-2-2-Propriétés chimiques.....	12
II-3-2-2-1-L'eau solvant.....	12
II-3-2-2-2-Ionisation.....	12
II-3-2-2-3-Oxydoréduction.....	12
II-3-2-3-L'eau et métabolisme cellulaire.....	12
II-4-Composition chimique de l'eau.....	12
II-4-1-Sels minéraux nécessaires.....	12
II-4-1-1-Calcium Ca^{2+}	13
II-4-1-2-Magnésium Mg^{2+}	13
II-4-1-3-Bicarbonates HCO_3^-	13
II-4-1-4-Chlorures Cl^-	13
II-4-1-5-Sodium Na^+	14
II-4-1-6-Sulfates SO_4^{2-}	14
II-4-1-7-Potassium K^+	14
II-4-1-8-Oxygène dissous.....	14
II-4-2-Elément Indésirables.....	14
II-4-2-1-Fer.....	14
II-4-2-2-Nitrates NO_3^-	15
II-4-2-3-Nitrites NO_2^-	15
II-4-2-4-Fluorures F^-	15
II-4-3-Elément toxique.....	15
II-4-4-Propriété bactériologiques.....	15
II-5-Paramètres physico-chimiques de l'eau.....	16
II-5-1-PH.....	16
II-5-2-Température.....	16
II-5-3-Alcalinité.....	16

II-5-4-Conductivité électrique.....	17
II-5-5-Titre hydrotimétrique.....	17
II-5-6-La matière solide dissoute totale (TDS).....	17
II-5-7-La dureté totale.....	17
II-5-8-Solubilité des gaz dans l'eau.....	17
II-6-Paramètres organoleptiques de l'eau.....	18
II-6-1-La couleur.....	18
II-6-2-Le goût.....	18
II-6-3-L'odeur.....	18
II-6-4-La turbidité.....	18
II-7-L'entartrage et ses conséquences.....	18
II-7-1-Définition de l'entartrage.....	18
II-7-2-L'équilibre calco-carbonique.....	19
II-7-3-Conséquences de l'entartrage.....	20
II-7-3-1-Conséquences hydrauliques.....	20
II-7-3-2-Conséquences thermiques.....	21
II-7-3-3-Conséquences technologiques.....	22
II-8- Normes de potabilité.....	22
II-9-Les sources d'apport en fluor.....	24
II-9-1-Origine du fluor.....	24
II-9-2-Le sel fluor.....	24
II-10-Teneurs de fluor dans le sud Algérien.....	25
II-11-Conclusion.....	27

CHAPITRE III: représentation des analyses

III-1-Introduction.....	28
III-2-Détermination des faciès chimiques.....	28
III-3-Outils et méthodes.....	28
III-3-1-Outils.....	28
III-4-Outils d'analyse des données.....	29
III-4-1-Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.).....	29
III-4-2-Logiciel STATISTICA.....	29
III-4-3-Microsoft office Excel.....	30

III-4-4-Microsoft office Word.....	30
III-5-Les différents diagrammes hydrochimiques.....	30
III-5-1-Diagramme de Piper.....	30
III-5-1-1-Les étapes théoriques.....	31
III-5-1-2-Utilisation le diagramme de piper manuellement.....	32
III-5-1-2-Utilisation le diagramme de piper Automatique.....	33
III-5-2-Définition diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	35
III-5-3-Définition de diagramme de Stiff.....	36
III-5-4-Diagramme de Richards ou Riverside ou Wilcox (SAR).....	37
III-5-4-1-Pourcentage de sodium (%Na).....	37
III-5-4-2-Taux d'absorption du sodium(SAR).....	38
III-5-5-Diagramme d'équilibre binaire.....	40
III-5-6-Balance Ionique.....	40
III-11-Conclusion.....	41

CHAPITRE IV: Méthode des analyses

IV-1-Introduction.....	42
IV-2-Echantillonnage.....	42
IV-3-Paramètres électrochimiques et thermodynamique.....	42
IV-3-1-Détermination du pH.....	42
IV-3-2-Conductivité.....	43
IV-3-3-Salinité.....	44
IV-4-Dosage de Fluor.....	44

CHAPITRE V: Résultats et interprétation

V-1-Introduction	47
V-2-Caractéristiques des forages de la ville de Touggourt	47
V-3-Classification des eaux souterraines	49
V-3-1-Classification des eaux selon Piper	49
V-3-2-Classification des eaux souterraines selon Schoeller-Berkaloff	50
V-4-Évaluation de la qualité des eaux souterraines dans la ville de Touggourt	51
V-4-1-Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation	52
V-4-1-1-Risque de salinisation	52
V-4-1-2-Risque d'alcalinisation	52
V-4-1-3-Détermination des classes d'irrigation	53

Introduction Générale

Introduction générale

L'eau, est une ressource indispensable à toute la vie de l'homme. Elle est le constituant le plus abondant de l'organisme humain. Toute variation entraîne des risques parfois irréversibles. L'eau est également indispensable aux activités humaines comme la consommation domestique, agricole et industrielle...etc. L'Algérie, et plus particulièrement le Sahara, est considéré comme un pays relativement aride. Durant les dernières années, le pays est confronté à nombreuse problèmes de ressources en eau mobilisables qui ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible, mais aussi en termes de qualité acceptable.

La forte charge minérale de l'eau dans les aquifères est devenue un phénomène très répandu et détériorant progressivement la qualité de l'eau comme la salinisation des eaux souterraines. Elle a été étudiée intensivement par plusieurs auteurs, notamment dans les bassins méditerranéens avec l'avancée des conditions semi-arides, les surexploitations et la faible recharge des eaux souterraines.

Lors de son écoulement, l'eau rentre en contact avec des terrains et se charge de divers éléments qui influent sur sa qualité. Certains de ces éléments se présentent naturellement dans le sol et vont définir la qualité naturelle de l'eau brute ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir des matières organiques solides ou en solutions parvenant de son encaissant à savoir : le calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonate, sulfates, chlorures,... et des matières en suspension.

D'autres éléments sont d'origine anthropique, ou la qualité des eaux est dépendante de certains concentration en éléments traces à savoir : le fer, le zinc, le strontium, le bore, le lithium,... Sur cette base et dans ce présent travail nous allons contribuer à synthétiser les caractéristiques hydrochimiques de certains éléments influents sur la qualité des eaux de la région Touggourt. Les détails de ces résultats seront illustrés dans ce mémoire, à travers cinq chapitres :

Chapitre I : présentation de la ville de Touggourt

Chapitre II : Détermination la qualité (physique, chimique et bactériologique) des eaux

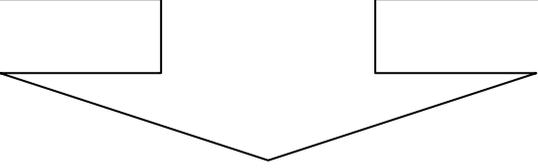
Chapitre III : généralités sur représentation des analyses

Chapitre IV : représentation des analyses hydrochimiques des eaux

Chapitre V : résultats et interprétation

Et nous terminons par une conclusion générale suivie de quelques recommandations

CHAPITRE I



**Présentation de la
ville de Touggourt**

I-1-INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous avons présentés Touggourt, il est notre zone d'étude, cette présentation contient généralité géologique et climatique hydrogéologie.

I-2- Situation géographique

La ville de Touggourt, deuxième grande ville de la wilaya de Ouargla et capitale de la vallée de Oued Rhigh, est une entité économique regroupant une cinquantaine d'Oasis située au Nord-Est du Sahara, à l'altitude 33°06 Nord et à la longitude 6°04 Est avec une hauteur 70m Elle est située à 95 km d'El-Oued, à 220 km de Biskra et à 160 km du siège de la wilaya.

La ville de Touggourt couvre une superficie de 404 km² pour une population de 127079 habitants (APC) soit une densité de 314,55 habitants par km².

Elle est composée de quatre communes, la ville de Touggourt qui a 38753 habitants, la commune de Nezla avec 43179 habitants, la commune de Tebessbeste avec 20246 habitants et la commune de Zaouet Sidi Labeled avec 15021 habitants [9].

Elle est limitée par les daïras suivantes :

- Au Nord Djamaa.
- Au Sud Hassi Messaoud.
- A l'Est Taibet.
- A l'Ouest El-Hedjira.

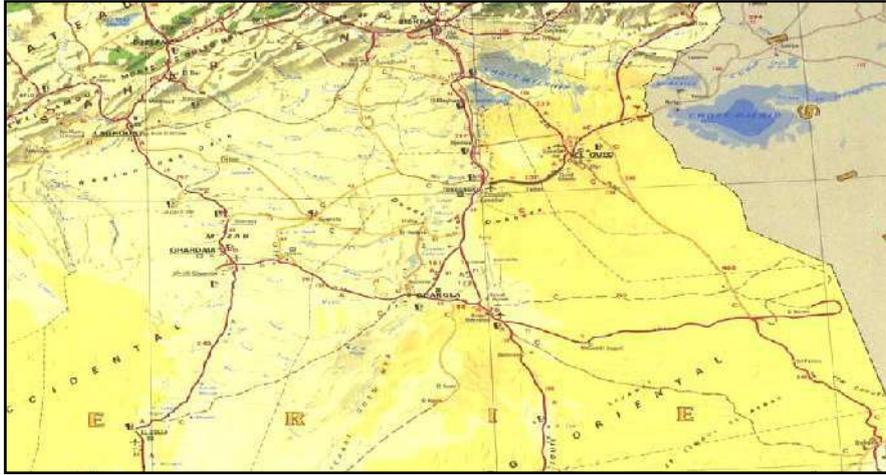


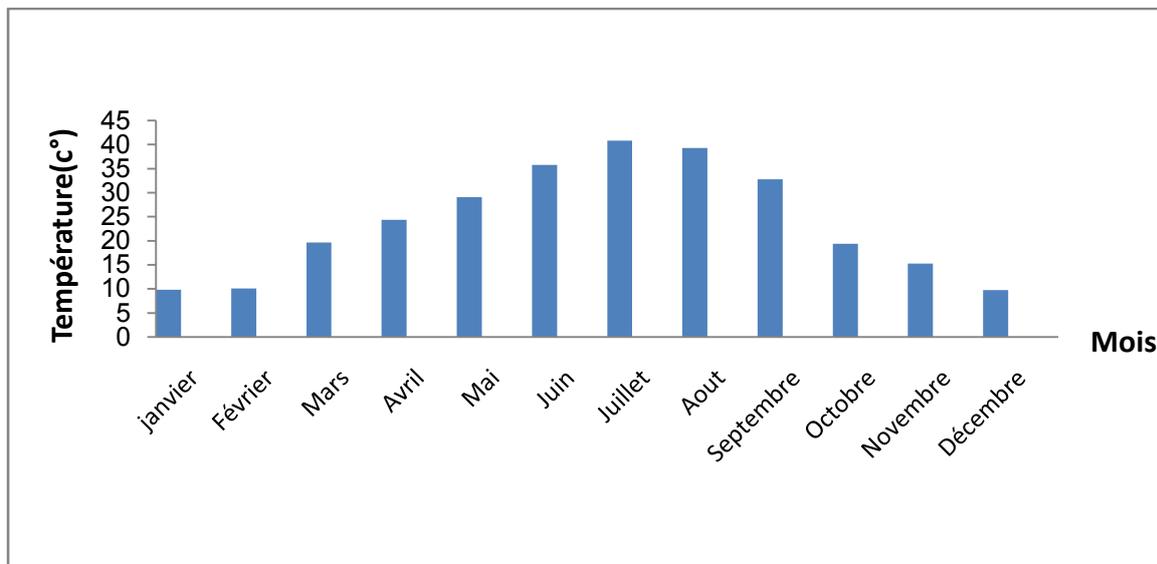
Figure I-1 : Carte géographique de Touggourt[9]

I-3- Climat

Touggourt est caractérisée par un climat saharien aride (sec et chaud en été, très froid en hiver).

I-3-1-La température

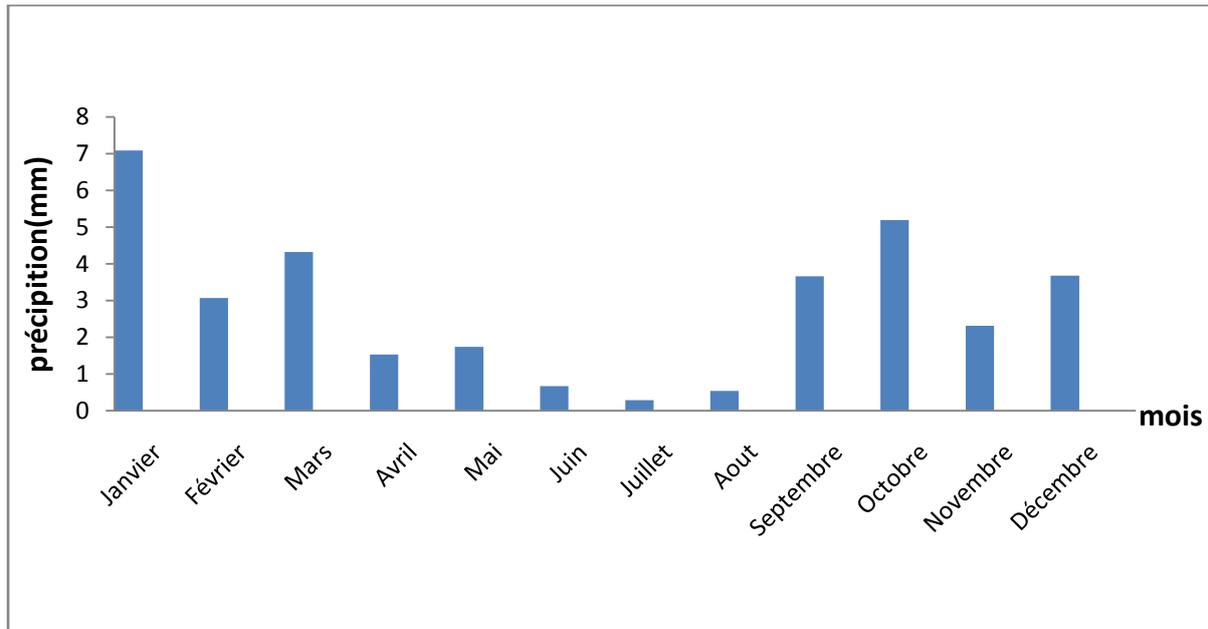
La température est variable selon les saisons, elle atteint son max 40,8 °C au mois de juillet et août, et sa valeur minimale 9,8°C au mois de janvier, la température moyenne annuelle est de 21°C.[15]



Graphe -I--1-Température moyenne(c°) .

I-3-2-Les précipitations

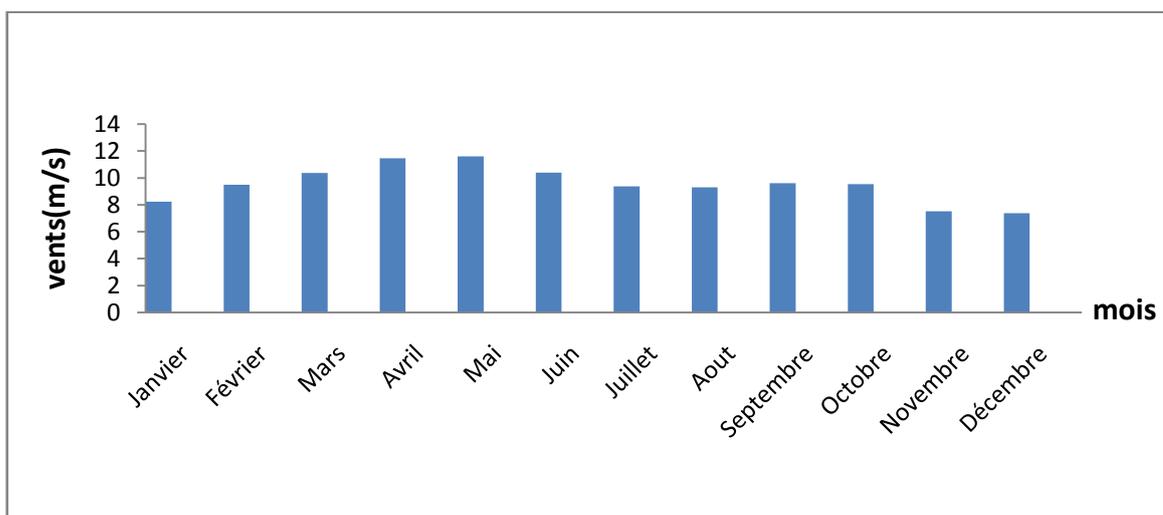
Les précipitations sont très réduites et variables, les précipitations niveau de la région Touggourt ont irrégulières selon le tableau 1, alors que la sècheresse presque absolue de Avril a Aout, elle atteint une valeur maximale de 7.09 mm (Janvier) et une valeur minimale de 0.29 mm(Juillet). [15]



Graphe -I-2-Précipitation (mm) et mois

I-3-3-Les vents

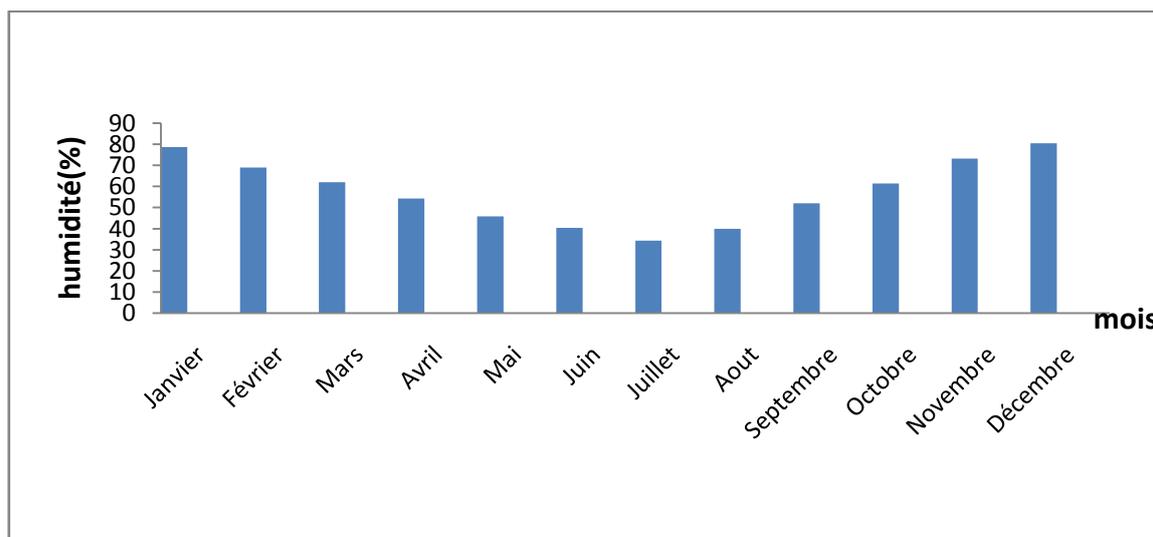
La période est venté du février au juillet avec de vitesse moyenne supérieur a 11.61m/s les jours plus venteuse en année mai.[15]



Graphe -I-3-vents (m/s) et mois

I-3-4-L'humidité de l'air

L'humidité de l'air est moyenne selon le tableau 1, généralement inférieur à 50 % de mai à Aout. La maximale est enregistrée en janvier et décembre, alors que la minimale (34.32 %) est observée en juillet.[15]



Graphe -I-4-l'humidité (%) et mois

Le tableau suivant montre les différents paramètres climatiques de cette région :

Tableau 1- Données climatiques de la région Touggourt (2007-2018)

Paramètre Mois	Température (°C)	Précipitation (mm)	Vents (m/s)	Humidité (%)
Janvier	9.8	7,09	8,24	78,58
Février	10.09	3,07	9,50	69,05
Mars	19.65	4,32	10,36	62,07
Avril	24.35	1,53	11,46	54,35
Mai	29.06	1,74	11,61	45,86
Juin	35.79	0,67	10,39	40,44
Juillet	40.8	0,29	9,37	34,32
Aout	39.26	0,54	9,29	39,95
Septembre	32.81	3,66	9,60	52,03
Octobre	19.38	5,19	9,54	61,34
Novembre	15.29	2,31	7,52	73,27
Décembre	9.74	3,68	7,39	80,53

I-4- Hydrogéologie de la zone

La région représente un réservoir d'eau important, car elle repose sur 4 nappes aquifères qui sont :[5]

I-4-1- Nappe phréatique

C'est la nappe la plus proche de la surface, elle se trouve à une profondeur entre 1 et 8 m, elle est caractérisée par une grande salinité.

La nappe phréatique se trouve généralement dans une couche de sable, son écoulement est dans le sens Sud vers l'Est. Cette nappe est généralement alimentée par l'eau d'irrigation.

I-4-2- Nappe mio-pliocène

Cette nappe est caractérisée par son écoulement du Sud- Ouest vers le Nord- Est à la direction du chott Melghig. Cette nappe est la source de l'existence et le développement des oasis dans la région.

Cette nappe se trouve à une profondeur entre 60 à 200 m, l'eau de cette nappe à une salinité variable entre 1,8 et 4,6 g/l.

I-4-3- Nappe Sénonien- Eocin

Elle se trouve dans une formation de calcaire, elle est peu utilisée, car son rendement est faible, elle se trouve à une profondeur de 400 m. la salinité est entre 1,7 et 4 g/l.

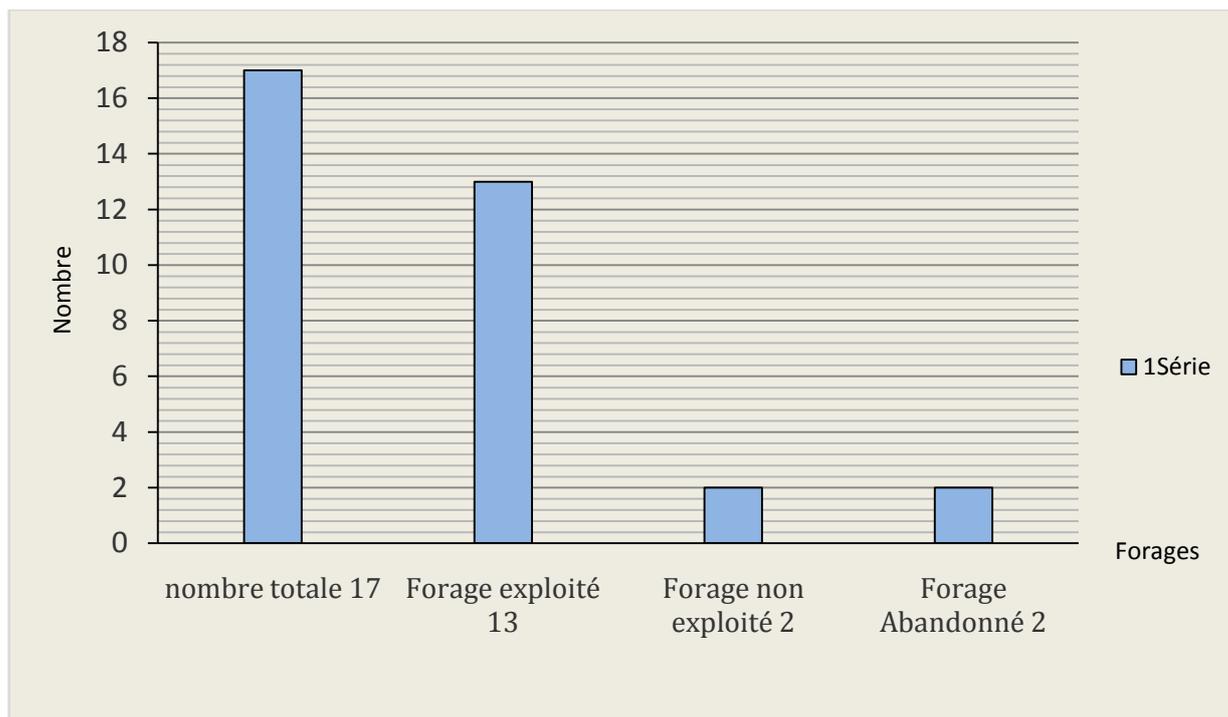
I-4-4- Nappe Albienne

La nappe albienne se trouve à des grandes profondeurs allant de 1600 à 1800 m, c'est la principale ressource d'eau potable dans la ville (5 forages qui sont: Ain Asahra1, Ain Asahra2, Elmostakbel, Sidi Mahdi1, Sidi Mahdi2), cette nappe est caractérisée par une température élevée (50 à 60 C°), et une salinité est de 1,7 à 2 g/l.

I-5-Répartition et l'état Actuel des forages existants de La région de Touggourt wilaya d'Ouargla.

Tableau 2- les forages existants de La région de Touggourt wilaya d'Ouargla.

	NOM DE FORAGE	PROF	ANNEE	NAPPE	DEBIT	Etat
		(m)	REAL	CAPTEE	(L/S)	
ZAOUIA LABIDIA	F 01 (5 juillet)	147	2011	Mio-plio		Non Exploité
	F02 (5 juillet)	77	2013	Mio-plio	15	Non Exploité
	F Zaouia	80	1993	Mio-plio	20	Bon
TEBESBESTE	F Ben Yessoued	95	2002	Mio-plio	30	Bon
	F Bel air Château	85	2002	Mio-plio	20	Bon
	F Chateaux bniyesoued	154	2015	Mio-plio	23	Non Exploité
TOUGGOURT	F Complexe ADE	78	1993	Mio-plio	30	Bon
	F Elmostakbel	147	2011	Mio-plio	30	Bon
	F-Centre ADE Touggourt	187	2011	Mio-plio	25	Bon
	F- Albien Touggourt (Rime13)	1799	1978	Albien	150	Bon
	F-ALBIEN Elmostakbel	1800	2013	Albien	160	Bon
NEZLA	F- Secour Ain Sahara	101	2002	Mio-plio	20	Non Exploité
	F-Station Traitement Ain Sahara	105	2011	Mio-plio	25	Secour
	F-Complexe Nezla	151	2011	Mio-plio	36	Bon
	F-Albien SIDI MEHDI 02	1760	1974	Albien	140	Bon
	F-Albien SIDI MEHDI 03	1760	1992	Albien	120	Bon
	F-Albien Ain Sahara	1860	2008	Albien	120	Bon

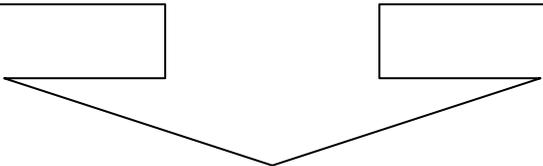


Graphe -I-5- Nombre des Forages destiné à l'AEP (région Touggourt)

I-6-Conclusion

La région de Touggourt, d'une altitude proche de 70 m, fait partie du Bas Sahara recouvert au sud par le grand Erg oriental et bordé au nord par la zone des chotts. Administrativement, elle appartient à la wilaya d'Ouargla. Elle couvre une superficie de 404 km² et sa population est de 127079 habitants. Elle est caractérisée par un climat hyperaride, marqué par de fortes températures estivales et de faibles précipitations annuelles.

CHAPITRE II



**Détermination la qualité
(physique, chimique et bactériologique) des eaux**

II-1-Introduction

L'eau recouvre trois quart de la surface terrestre. Les eaux contribuent également de 60 à 90 pour cent de la constitution des êtres vivants. Cela montre que l'eau est indispensable à la vie sur terre. Malgré tout, la qualité de l'eau potable disponible est de loin de satisfaire la demande des consommateurs.

II-2-Définition de l'eau

L'eau c'est la vie. Présente dans toutes les traditions et religions du monde, l'eau est un élément primordial du patrimoine culturel de l'humanité à travers les mythes et les symboles. Ceux liés à l'eau entourent la création des formes terrestres, la naissance, la vie, le renouveau et la mort. Les sciences, l'art et les civilisations même ne sont pas pensables sans la présence de l'eau. L'eau a accompagné la vie des êtres humains. Elle est au cœur de nos pratiques sociales, économiques et sanitaires ; l'eau s'inscrit au cœur même du vivant et conditionne la civilisation humaine. « H₂O » est la formule chimique de cette molécule, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène [1].

II-3-Les caractéristique physico-chimique de l'eau

II-3-1-La molécule de l'eau

L'analyse structurale a permis de connaître la forme de la molécule d'eau, c'est une sorte de compas dont l'axe est occupé par l'atome d'oxygène et dont les bras sont formés par deux atomes d'hydrogène (Figure 2).

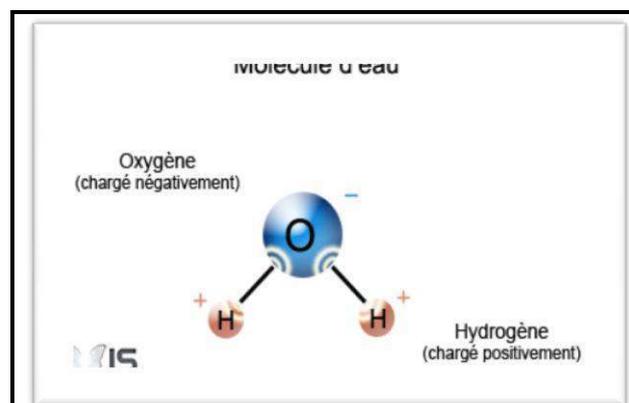


Figure II-2-Molécule d'eau

Chaque atome d'hydrogène et celui d'oxygène mettent en commun chacun un électron pour former deux liaisons chimiques de forte énergie : « les liaisons de covalence ». Cet arrangement électronique confère à la molécule d'eau une grande stabilité chimique. La longueur de la liaison O—H est de 0,96 Å. La molécule d'eau se comporte comme un dipôle électrique, cette répartition des charges permet de comprendre certaines propriétés physico-chimiques (solvant-soluté), car cette propriété électrique est responsable du grand pouvoir dissolvant de l'eau vis-à-vis des composés ioniques comme certains sels, acides et bases [20].

II-3-2-Propriétés de l'eau

L'eau est complexe, anormale, mystérieuse, inexpliquée, exotique, exceptionnelle, particulière, et aussi c'est un élément rebelle, souple, labile et versatile au regard des autres liquides ; il se contracte quand on le chauffe, devient moins visqueux quand on le comprime et sa densité augmente en passant de l'état liquide à l'état solide [20].

II-3-2-1- Propriétés physiques

II-3-2-1-1-Masse volumique

La masse volumique varie avec la température et la pression, elle passe par un maximum à environ 4 °C. Cette propriété entraîne diverses conséquences, aussi bien dans la nature que dans les stations de traitement. L'eau est considérée comme un fluide incompressible. Mais, en fait, c'est un fluide légèrement élastique [1].

II-3-2-1-2- Propriétés thermiques

L'importance des propriétés thermiques comme la chaleur massique et les enthalpies fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur [1].

II-3-2-1-3.- Viscosité

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (ex: turbulence), soit globaux (ex: écoulement) [1].

II-3-2-1-4-Tension superficielle

Elle caractérise une propriété des interfaces (surfaces limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface (Figure 3). La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température, et aussi l'addition de sels dissous augmente généralement la

tension superficielle. Il existe d'autres corps qui la diminuent, ils sont appelés tensioactifs (ex: détergents) [1].

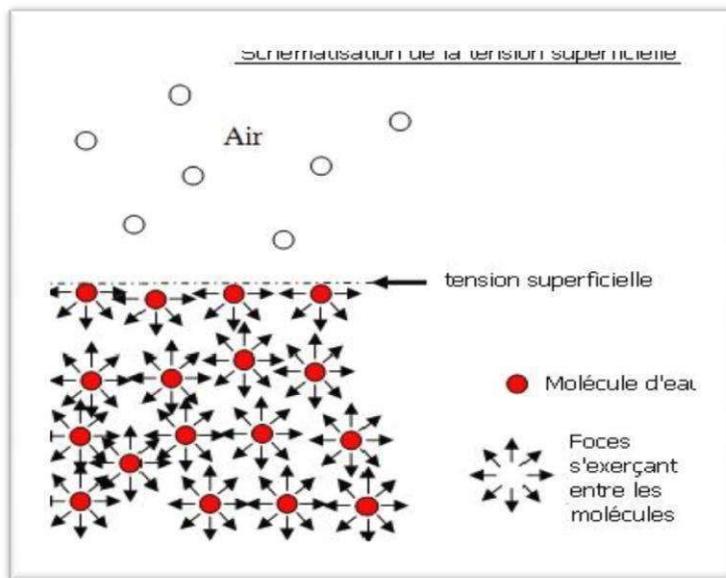


Figure II-3-Schématization de la tension superficielle de l'eau

II-3-2-1-5-Propriétés électriques

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2micro siemens par centimètre à 20 °C (correspond à une résistivité de 23,8 mégohms-centimètres). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température [1].

II-3-2-1-6- Propriétés optiques

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Cette transparence est utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration [1].

II-3-2-1-7- Impuretés dans l'eau

Les impuretés présentes dans l'eau constituent deux catégories :

Matières en suspension : matières minérales ou organiques qui restent en suspension du fait de la turbulence de l'eau ou de leur densité trop voisine de celle de l'eau, elles sont sans interférence importante avec l'eau qui les entoure.

Matières dissoutes : elles concernent des composés minéraux ou organiques, macromoléculaires, ainsi que des gaz souvent très solubles dans l'eau [1].

II-3-2-2- Propriétés chimiques

II-3-2-2-1- L'eau solvant

Le pouvoir solvant de l'eau provoque l'altération partielle ou complète de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) et du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec ses molécules propres (hydratation). Une solvataion complète est une dissociation [1].

II-3-2-2-2- Ionisation

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cations). Le corps dissous est appelé électrolyte ; il transporte le courant électrique [1].

II-3-2-2-3-Oxydoréduction

Les phénomènes d'oxydoréduction présentent une grande importance dans toutes les technologies de l'eau. L'eau elle-même peut participer, suivant des conditions expérimentales et selon certaines réactions chimiques comme un donneur d'électrons (elle est réductrice) ou un accepteur d'électrons (elle est oxydante) [1].

II-3-2-3- L'eau et métabolisme cellulaire

C'est dans le milieu extérieur où ils vivent que les organismes vont chercher les substances indispensables, appelées encore métabolites essentiels, nécessaires au maintien de leurs activités et de leur croissance voire de leur reproduction. L'eau est non seulement indispensable à tous les êtres vivants, dont elle est le constituant majoritaire, mais elle représente en outre un milieu particulièrement propice à la dissémination des aliments et au fonctionnement des chaînes alimentaires. Ce qui concernera essentiellement la vie aquatique [1].

II-4-Composition chimique de l'eau

II-4-1- Sels minéraux nécessaires

La nature et la composition de l'eau sont en relation avec sa structure naturelle. Au contact prolongé du sol, les eaux se chargent de plusieurs substances que l'on trouve communément dans l'eau, il s'agit essentiellement de sels minéraux comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium

(Mg^{2+}), le potassium (K^+), le sodium (Na^+), le chlore (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), bicarbonate (HCO_3^-), les carbonates (CO_3^{2-}).

II-4-1-1-Calcium Ca^{2+}

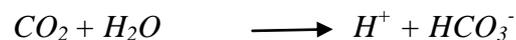
Considéré comme un élément essentiel (99% dans le squelette), le calcium doit être fourni au corps humain à raison de 0.7 à 2 g/j. Des concentrations élevées dans l'eau ne présentent pas de danger pour la santé. Le seuil de détection gustative se situe entre 100 à 300 mg/l. Dépendant de la température, du pH et de l'alcalinité de l'eau, la concentration en calcium constitue un facteur favorable selon le cas, soit l'entartrage (forte teneur), soit la corrosion (faible teneur). Une teneur suffisante peut provoquer un léger dépôt de carbonate sur les conduites métalliques qui les protègent contre la corrosion.

II-4-1-2-Magnésium Mg^{2+}

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques (sauf chez les personnes atteintes de insuffisances rénales), les sels de magnésium, essentiellement les sulfates, peuvent avoir un effet laxatif à partir de 400 mg/l.

II-4-1-3-Bicarbonates HCO_3^-

Les bicarbonates résultent de la dissolution de carbonate de calcium ou suite à l'hydrolyse de CO_2 , comme le montre les équilibres suivants:



II-4-1-4- Chlorures Cl^-

Ils sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ($NaCl$), de potassium (KCl), et de calcium ($CaCl_2$). La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée aux effluents des industries chimiques, aux rejets des égouts. Chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux de surface et les eaux souterraines. Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives, mais généralement les chlorures présents dans l'eau potable n'ont pas de conséquences toxiques pour l'homme, même à de

fortes concentrations (1000 mg/l). A des concentrations élevées, ils peuvent provoquer des maladies rénales ou cardiovasculaires ou nuire le gout de l'eau en lui donnant une saveur salée.

II-4-1-5-Sodium Na⁺

Pour le sodium contenu dans les eaux de boisson, il faut souligner que les valeurs limites varient en fonction de ressources disponibles et des habitudes alimentaires. Le sodium est le plus abondant des éléments alcalins. Ses composés largement répandus dans la nature, représentent 26 g/Kg de la croûte terrestre. Les eaux souterraines en contiennent parfois beaucoup, ce qui dans certains cas peut accroître leur salinité.

II-4-1-6- Sulfates SO₄²⁻

La teneur en sulfate (SO₄²⁻) dans l'eau est liée aux composés alcalins de la minéralisation, l'excès de sulfates dans l'eau est de l'ordre de 400mg/l.

II-4-1-7- Potassium K⁺

La teneur du potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l à une telle valeur, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus.

II-4-1-8-Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau agit essentiellement sur les réactions d'oxydoréduction qui met en jeu le fer, le magnésium, le cuivre et d'autres composés. Généralement, les eaux souterraines sont dépourvues d'oxygène et elles nécessitent une aération avant leur utilisation pour la consommation.

II-4-2-Elément Indésirables

II-4-2-1- Fer

Le Fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine géologique, mais le plus souvent il provient de lessivage de terrains et de pollution minière ou métallurgique. Dans les eaux souterraines, plus réductrices, le Fer va se retrouver sous forme ferreuse Fe²⁺ qui est soluble. Dans les eaux superficielles plus aérées, le Fer se trouve sous forme ferrique et précipite sous forme d'hydroxyde ferrique Fe(OH)₃ ; il sera donc associé aux matières en suspension. Le Fer est un élément essentiel de la nutrition humaine. Les limites des potabilités sont basées sur les effets esthétiques, les effets ménagers et sur les inconvénients qu'il procure

au réseau de distribution. Pour le sulfate de Fer, on a trouvé comme seuil gustatif les valeurs 0.1 à 0.2 mg/l mais la moyenne des individus testé n'ont perçu un gout qu'à partir de 1.8 mg/l.

II-4-2-2-Nitrates NO_3^-

Un excès de nitrates dans les eaux de boisson peut provoquer une inflammation des muqueuses intestinales chez l'adulte. L'OMS considère comme limite maximale acceptable une concentration de 50 mg/l de nitrates.

II-4-2-3- Nitrites NO_2^-

Un excès de nitrites dans les eaux de boisson peut provoquer de l'hypotension chez les adultes et la méthémoglobinémie chez les nourrissons. Donc, il conseillé qu'une eau potable ne doit pas contenir plus que 0.1mg/l en azote nitreux.

II-4-2-4-Fluorures F^-

Il y'a des traces de fluorures dans de nombreux types d'eau, les teneurs les plus élevées se trouvent fréquemment dans les eaux souterraines. Rien n'indique que des effets nocifs quelconques soient associés aux concentrations relativement faibles auxquelles les humains sont couramment exposés. On considère généralement qu'une faible teneur en ion fluorure dans l'eau (0.5 mg/l) est favorable à la formation de l'email dentaire et protège les dents contre la carie. Des doses supérieures à 1.5 mg/l risque de faire, apparaitre des taches sur l'email dentaire qui s'aggravent par des calcifications et des chutes des dents.

II-4-3- Elément toxique

Les éléments toxiques dans l'eau ayant une incidence sur la santé, ils regroupent les métaux lourds (mercure Hg, plomb Pb, cuivre Cu, cadmium Cd^{2+} , Crome Cr^{2+}), les pesticides et les hydrocarbures. Actuellement pour les éléments toxiques dans l'eau les teneurs tolérées sont de plus en plus minimales, parfois de l'ordre de micro de gramme/l.

II-4-4-Propriété bactériologiques

L'eau destinée à la consommation humaine peut contenir des microorganismes pathogènes pouvant être responsables d'épidémies. Les deux groupes de microorganismes les plus utilisés comme indicateurs de contamination bactérienne sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux.

Le groupe des coliformes totaux comprend toutes les bactéries aérobies et anaérobies facultatives, cytochromes oxydase négative en forme de bâtonnets, qui font fermenter le

lactose avec dégagement de gaz en moins de 48h à 35°C. Le groupe des coliformes fécaux comprend les coliformes pouvant former des gaz en moins de 24h à 44,5°C.

On retrouve les bactéries de coliformes fécaux en grand nombre dans les intestins et les excréments des animaux à sang chaud. Etant donné que cette particule est associée à la contamination fécale. On utilise de préférence les coliformes fécaux comme indicateurs de qualité des eaux brutes, ce qui permet de déceler la présence d'organismes pathogènes à la source. Les coliformes totaux étant largement répartis dans la nature, ils n'indiquent pas nécessairement qu'il y a une contamination. Par ailleurs, ces organismes survivent plus longtemps dans l'eau et résistent mieux à la chloration que les coliformes fécaux ou les bactéries pathogènes communes. On utilise donc de préférence les coliformes totaux comme indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau potable. La présence d'un organisme coliforme quelconque dans l'eau traité révèle en effet que le traitement n'était pas efficace ou qu'il y a eu une contamination après traitement.

II-5-Paramètres physico-chimiques de l'eau

II-5-1-PH

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le PH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité [1].

II-5-2-Température

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, par contre celle des eaux superficielles est très variable selon les saisons et peut passer de 2 °C à 30 °C. La diminution de la température entraîne la diminution de l'efficacité des traitements dont la désinfection et entraîne aussi l'augmentation de la viscosité de l'eau. L'augmentation de la température a diverses conséquences comme : la croissance bactérienne, les problèmes de saveur, de couleur et de corrosion [1].

II-5-3- Alcalinité

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes [1].

II-5-4- Conductivité électrique

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

II-5-5-Titre hydrotimétrique

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion [1].

II-5-6- La matière solide dissoute totale (TDS)

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues au dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS [1].

II-5-7- La dureté totale :

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg par litre de CaCO_3 [1].

Dans l'eau sont déterminées :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne.
- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.
- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium.
- La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

II-5-8- Solubilité des gaz dans l'eau

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeux avec laquelle elle est en contact. La loi de HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement

proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau [17].

II-6-Paramètres organoleptiques de l'eau

II-6-1- La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [17].

II-6-2- Le goût

Le goût peut être défini comme :

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.

La propriété des produits provoquant ces sensations [17].

II-6-3- L'odeur

L'odeur peut être définie comme :

L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances [17].

II-6-4- La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales: argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace [17].

II-7-L'entartrage et ses conséquences

II-7-1-Définition de l'entartrage

Le tartre, dépôt adhérent, est formé principalement par la précipitation du carbonate de calcium, environ 90 % du précipité global. Il est soit alcalin, principalement des carbonates de

calcium et d'hydroxyde de magnésium ou non alcalin, principalement le sulfate de calcium qui existe sous trois formes: CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ces trois formes sont beaucoup plus solubles que le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium. Donc, ces tartres ne se forment que dans le cas où la solution serait sursaturée en sulfate de calcium à des températures élevées [14].

II-7-2-L'équilibre calco-carbonique

Les eaux naturelles, du fait de leur cheminement dans le sol et au contact avec l'atmosphère, contiennent un certain nombre d'éléments dissous [14]:

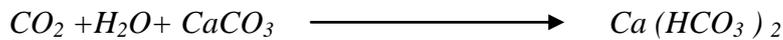
Des cations tels que : Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} .

Des anions tels que : Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- ,.... etc.

Des gaz dissous, essentiellement CO_2 et O_2 .

Des colloïdes tels SiO_2 .

L'équilibre calco-carbonique permet de prévoir la tendance de l'eau à l'entartrage ou à la corrosion. Considéreront une eau contenant du CO_2 et mise en contact avec du carbonate de calcium solide en excès, au bout d'un certain temps, un équilibre physico-chimique se produit [12]:



Le PH de l'eau dépend du rapport [10]:

$$\frac{\text{Co}_2 \text{ libre}}{\text{Co}_2 \text{ déshydrogène no carbonate}}$$

Si la totalité du CO_2 contenue dans l'eau est supérieure à la concentration du CO_2 d'équilibre, son excès constitue le CO_2 agressif. Ce dernier, en détruisant les carbonates, empêche le dépôt carbonaté protecteur sur les parois métalliques en contact avec l'eau, comme l'indique le diagramme 1 [14]:

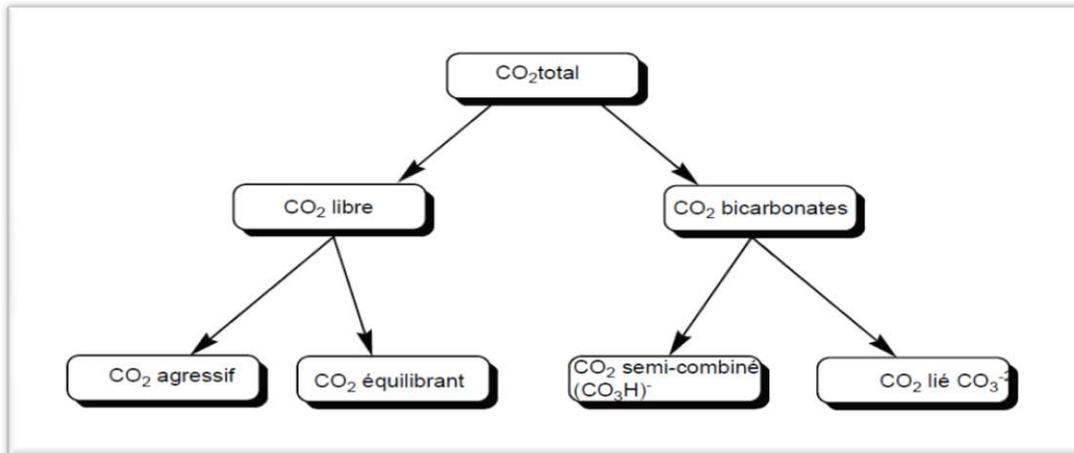


Diagramme 1- Répartition du gaz carbonique dans l'eau

- CO_2 libre > CO_2 équivalent = présence de CO_2 agressif. Eau aggressive.
- CO_2 libre = CO_2 équivalent = absence de CO_2 agressif. Eau en équilibre.
- CO_2 libre < CO_2 équivalent = déficit en CO_2 agressif. Eau en incrustante.

II-7-3-Conséquences de l'entartrage

II-7-3-1- Conséquences hydrauliques

En réduisant les sections et en dégradant l'état des surfaces, ces tartres fortement adhérents, augmentent, à débit constant, les pertes de charge et par conséquent les dépenses énergétiques liées à la circulation des fluides. Déjà gênantes dans le cas de tuyauteries démontables et nettoyables, ces formations deviennent catastrophiques quand elles affectent les conduites enterrées.

L'enquête sur site, nous à montrée, qu'en dix ans de mise en service, les diamètres des conduites ont été réduits à 50%, de 400 mm à la pose à 200 mm après 10 ans (figure 4). La masse de tartre produite est estimée à 1,58 g/L, soit 2243 tonnes annuelle pour une consommation d'eau de 14,2 millions de m³/an. La vitesse moyenne d'entartrage est de 1,1cm/an, avec un maximum de 1,4 cm/an enregistrée dans les tronçons situés au premier kilomètre de la source d'eau où la température de l'eau est proche de 60 °C [14].

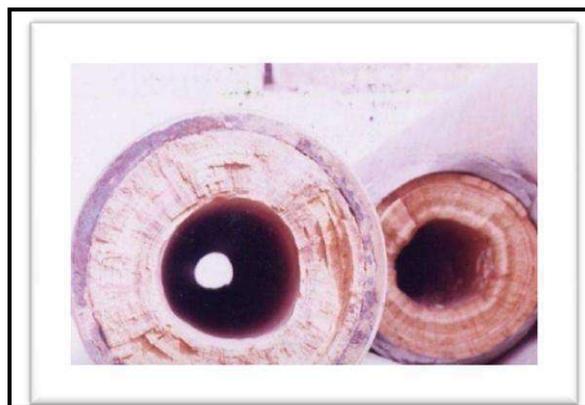


Figure II-4-Impact de l'entartrage sur les conduites d'eau potable à Touggourt

II-7-3-2-Conséquences thermiques

Bien que le problème ne se pose pas dans la zone d'étude, il est important de le rappeler. Tout dépôt au contact d'une paroi à travers laquelle se fait un échange thermique mène à une résistance de transfert. Si on veut maintenir constant le flux thermique à travers cette paroi il est donc nécessaire d'augmenter la différence de température entre la surface interne entartrée et les parois métallique externe. C'est ainsi que pour une chaudière fonctionnant à 25 bars avec un taux de transmission de $100,000 \text{ cal/m}^2 \cdot \text{h}$, on évalue la surchauffe du métal à $200 \text{ }^\circ\text{C}$ pour une épaisseur de $3,5 \text{ mm}$ de tartre sulfaté et à $400 \text{ }^\circ\text{C}$ pour une épaisseur de 1 mm de tartre siliceux (tableau 3) [14].

Tableau-3-Données thermiques concernant les transferts de chaleurs à travers les tartes.

Type de tartre	Conductivité thermique en $\text{w/m}^\circ\text{K}$	Epaisseur de la couche de tartre (mm)	Perte d'efficacité (%)
CaCO_3	1,5 à 1,8	0,1	7
		0,25	15
		0,5	26
		1	41
CaSO_4	0,6 à 2,3	0,1	9
		0,25	20
		0,5	33
		1	50
SiO_2	0,08 à 0,18	0,1	50
		0,25	71
		0,5	83
		1	91

II-7-3-3- Conséquences technologiques

On peut citer l'alourdissement des structures porteuses des tours de refroidissement, réservoirs, mais aussi l'alourdissement des équipements internes qui rendent plus difficile leur manutention.

L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques [14]:

locage des organes de manœuvre des robinetteries.

Impossibilité d'obtenir l'étanchéité siège - clapet des robinetteries.

Blocage des soupapes de sécurité.

Diminution du volume utile des réservoirs.

Dégradations des états de surface des appareils sanitaires.

Entraînement de particules en suspension qui peuvent être abrasives.

II-8- Normes de potabilité

Une eau potable doit répondre à des normes physico-chimiques établies officiellement par des organismes accrédités internationaux (O.M.S) et nationaux de chaque pays selon l'aptitude sanitaire de la population sans qu'il y ait nuisance à leur santé. En l'absence de ces dernières, la plupart des pays se réfèrent aux normes de l'O.M.S.

Ces normes sont indiquées comme suit au tableau 4:[16]

Tableau-4- Les normes de potabilité de O.M.S

Paramètres	Valeur	Unités
Paramètres organoleptiques		
Couleur	25	
Odeur	Doit être acceptable	Taux de dilution
Turbidité	1-2	NTU
Saveur	Doit être acceptable	Taux de dilution
Paramètres Physico-chimiques		
Température T	25	°C
PH	6.5-8.5	-
Conductivité CE	2800	µm/cm
Résidu sec	2000	mg/l
Calcium Ca ²⁺	75-200	mg/l
Magnésium Mg ²⁺	150	mg/l
Sodium Na ⁺	200	mg/l
Potassium K ⁺	20	mg/l
Substances indésirables		
Nitrates NO ₃ ⁻	50	mg/l
Nitrites NO ₂ ⁻	0.1	mg/l
Bore B	0.3	mg/l
Fer Fe	0.3	mg/l
Cuivre Cu ²⁺	0.05-1.5	mg/l
Substances indésirables		
Zinc Zn	1-5	mg/l
Manganèse Mn	0.5	mg/l
Baryum Br	0.7	mg/l
Fluorure F ⁻	0.7-1.5	mg/l
Azote N	2	mg/l
Substances Toxiques		
Cadmium Cd	0.01	mg/l

Arsenic As	0.05	mg/l
Cyanure Cy	0.05	mg/l
Mercure Me	0.001	mg/l
Plomb Pb	0.05	mg/l
Chrome Cr	0.05	mg/l
Sélénium Se	0.01	mg/l
Paramètres microbiologiques		
Coliformes totaux	0	N/100 ml
Streptocoques fécaux	0	N/100 ml
Coliformes thermo tolérant	0	N/100 ml

II-9- Les sources d'apport en fluor

II-9-1- Origine du fluor

Les principaux minerais de fluor sont la fluorite, et la cryolite:

La fluorite (fluors par) CaF_2 : se retrouve un peu partout sur la planète. C'est un minéral contenant entre 30 à 98% de fluorure de calcium. Présente dans les roches magmatiques alcalines (granites, syénites, et pégmatisés) et dans des filons avec barytine, blende, galène, calcite, quartz, c'est le minerai du fluor.

La cryolite (fluoro-aluminate de sodium) Na_3AlF_6 : est un composé d'aluminium, de sodium et de fluor. Puisqu'elle fond à basse température, elle est populaire dans l'industrie, mais n'est pas une source pour la fluoration.

II-9-2-Le sel fluor

Il représente le plus gros apport alimentaire de fluor. Il contient 250 mg/kg de fluorures sous forme de fluorures de potassium. Sur l'étiquetage de ce sel figure la mention "sel fluoré". Le sel fluoré est autorisé dans les cantines scolaires depuis 1993. Avant l'âge de deux ans, l'enfant consomme très peu de sel. Après deux ans, on évalue à environ 0.25 mg/j la dose moyenne de fluor absorbée par l'intermédiaire de sel fluoré lors des repas [7].

En général, naturellement Le fluor arrive à l'organisme humain par quatre voies principales [13]:

Fruits et légume : la consommation de fruits et légumes est plus en plus grande avec le développement du sud.

Les dattes : la consommation des dattes dans le sud est importante et dure toute l'année. Les dattes peuvent contenir entre 14 et 23 mg/kg de fluor.

Le thé : il est consommé abondamment dans toutes ces régions, et il est riche en fluor par l'eau qui sert de préparation, ainsi que le thé (plante) lui-même.

L'eau de boisson : Le risque de fluorose existe par la seule consommation de certaines eaux minérales à taux de fluor élevé. L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments a fixé une valeur limite en fluor dans les eaux minérales embouteillées en dessous de laquelle les nourrissons et les enfants peuvent consommer de l'eau minérale sans risque d'apparition de fluorose. Cette limite est fixée à 0,5 mg/l lorsqu'il n'y a pas de supplémentations médicamenteuse fluorée, et à 0,3 mg/l s'il y a supplémentations médicamenteuse. Sur l'étiquetage de ces eaux minérales figurent la mention convient pour la préparation des aliments des nourrissons

Les médicaments : sous forme de comprimés, gouttes, dentifrices, gels et vernis fluorés.

II-10 Teneurs de fluor dans le sud Algérien

Les teneurs en fluorures rencontrées dans les principaux aquifères (CT : complexe terminal, CI : continental intercalaire) du Sahara septentrional en Algérie dépassent fréquemment les normes de l'O.M.S. (1972), et peuvent atteindre en majorité 3 mg/l [16].

Tableau -5-: Teneurs en fluor de quelques échantillons d'eaux du sud Algérien

(Youcef, 1998) [3]

REGION	POINT D'EAU	NATURE DE LA NAPPE	F ⁻ (mg/l)
El – Oued	Guemar	Nappe phréatique (CT)	4,30
	Kouinine	Le pontien (CT)	1,73
	Sahane Berry	Albien (CI)	0,80
Ouargla	Forage N'Goussa	MioplIOCène (CT)	1,47
	Sokra	Sénonien (CT)	1,50
	Romania El – Bour	Albien (CI)	0,65
Touggourt	Sidi Mahdi	Albien (CI)	1,76
	El – Goug	MioplIOCène (CT)	3,08
Biskra	Ouled Djellal n°1	Albien (CI)	0,65
	El – Hadjeb	Nappe phréatique (CT)	2,41
	El – Alia sud	MioplIOCène	1,33

Ceci est à l'origine de troubles lésionnels ou fonctionnels atteignant en particulier le système ostéodentaire (fluorose endémique) (Azout et Abraham, 1978), surtout dans la zone orientale du Sahara septentrional. Certaines eaux ne dépassent que légèrement les normes internationales. Cependant, ces eaux constituent la seule source d'approvisionnement en eau potable et le climat chaud et sec oblige les habitants à consommer beaucoup d'eau et donc à élever le taux de fluor absorbé quotidiennement. Il s'y ajoute certainement un apport fluoré par une consommation abondante de dattes et de thé. De ce fait, le traitement des eaux fluorées devient indispensable. Notons qu'en Algérie il n'y a aucune station prévue à cet effet. Toutes ces eaux se caractérisent par une dureté excessive due principalement aux taux élevés en calcium et magnésium, de fortes teneurs en chlorures, sulfates et sodium (Achour, 1990).

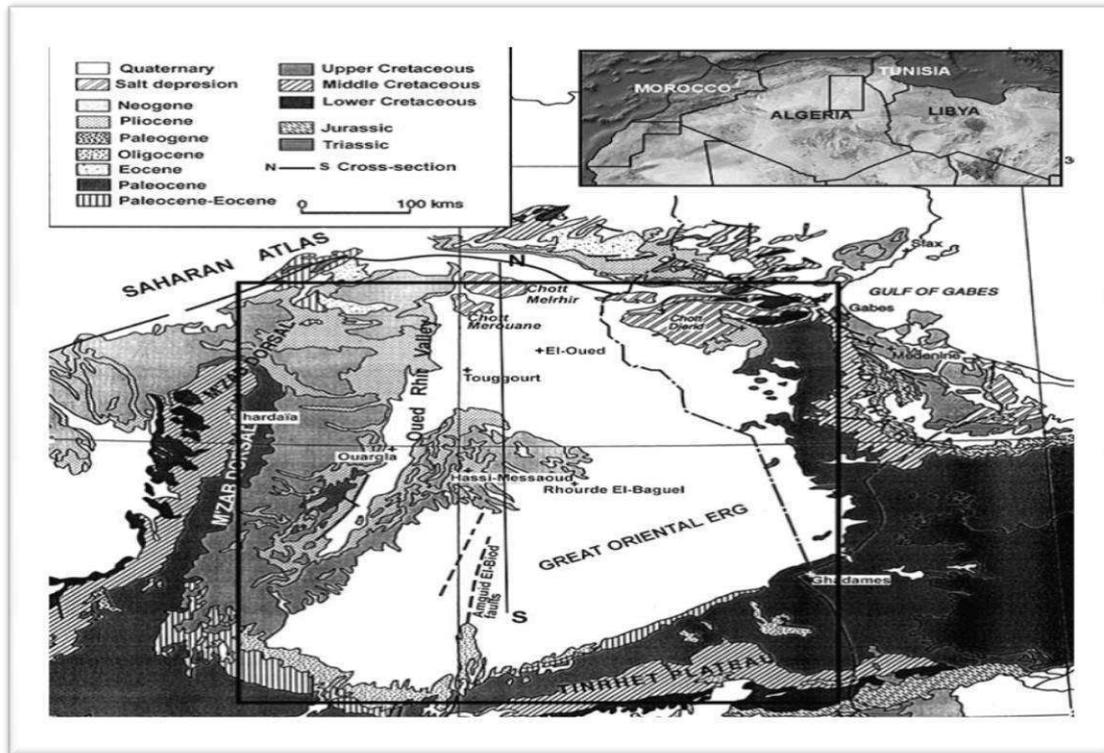


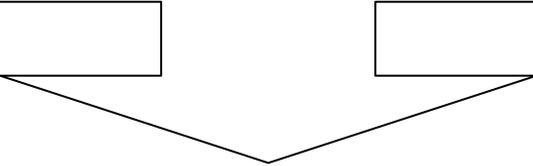
Figure II-5- Localisation et géologie de grand erg oriental [10]

Une carte des teneurs en fluor, dans les eaux du Moi-pliocène est proposée pour toute la région orientale du Sahara septentrional. Elle montre que la région de Touggourt est celle qui présente les plus fortes teneurs en fluor [18].

II-11-Conclusion

Le but de ce travail était de : caractériser l'hydrochimie d'eaux souterraines à travers les unités hydrogéologiques qui les composent ; identifier les variations saisonnières de la chimie des eaux souterraines.

CHAPITRE III



Représentation des analyses

III-1-Introduction

L'eau, au contact des terrains qu'elle rencontre, se charge en divers éléments qui vont influencer sur sa qualité physico-chimique. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol. Ces éléments dissous vont définir la qualité « naturelle » de l'eau. L'analyse hydro-chimique a une grande importance dans une étude hydrogéologique vue qu'elle nous permet de déterminer la répartition qualitative et quantitative des différents éléments chimiques majeurs dissous dans l'eau et leurs relations avec la géologie des réservoirs, d'avoir une idée sur la qualité des eaux de la région, et d'apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution chimiques des eaux et leur potabilité.

Afin de mieux caractériser les eaux prélevées au niveau des ; nous avons déterminé:

- La classification des eaux.
- L'évaluation de la potabilité de l'eau.
- Le Comportement hydro chimique de l'eau en termes d'indice de saturation.

III-2-Détermination des faciès chimiques

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessitent l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- _ Le diagramme de Piper.
- _ Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff.
- _ Le diagramme de Stiff.[2]

III-3 Outils et méthodes

Pour pouvoir analyser ces données et en ressortir le plus d'information en peu de temps, il a fallu utiliser des outils et méthodes efficaces et rapides.[12]

III-3-1 Outils

Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES (Figure 6) créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques unes :

- Les diagrammes:

Piper, Stiff, Schoeller-Berkalov , Binaire , Korjinski , Rose des vents.

- Les paramètres calculés:

balances ionique, teneurs en cations, dureté, teneurs en anions, indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse).

III-4-Outils d'analyse des données

Les programmes informatiques utilisés dans l'interprétation des résultats d'analyses sont :

III-4-1-Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 4, 2008) qui nous permet de calculer la balance ionique, l'indice de saturation, de classer les eaux (faciès chimique, classe d'irrigation) et de construire en particulier les différents diagrammes (Piper, Schoeller-Bercaloff et le diagramme de Riverside).

III-4-2-Logiciel STATISTICA

Le logiciel STATISTICA (state safre France, version 6.0) est utilisé dans l'analyse de la statistique élémentaire. Il se caractérise par sa rapidité et ces différents modules. Il nous permet de calculer les paramètres de base tel que le maximum, la moyenne, l'écart-type, le coefficient de variation,...etc. Il permet de tracer les histogrammes de fréquence avec des courbes normales.

L'analyse de l'A.C.P. est faite par ce logiciel qui donne des résultats complets. Il permet de calculer la matrice de corrélation, L'étude des variables, L'étude des individus, et l'établissement des cercles de corrélation.

III-4-3-Microsoft office Excel

Le logiciel Microsoft office Excel (version 12, 2007) est utilisé dans la réalisation de différents tableaux et l'effectuation de tous les simples calculs (somme, moyenne, max, min,...etc.) ainsi que la présentation de différents graphes.

III-4-4-Microsoft office Word

Nous avons utilisé le logiciel Microsoft office Word (version12, 2007) pour traiter les différents textes contenus dans ce travail.

III-5- Les différents diagrammes hydrochimiques

III-5-1 Diagramme de Piper

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également : [2]

- ✓ D'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes.
- ✓ D'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques.
- ✓ D'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant.
- ✓ La projection de plusieurs échantillons en même temps :
- ✓ Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.
- ✓ Pour les comparer.
- ✓ Pour avoir une idée sur la notion de mélange.
- ✓ De suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

Le losange est une matrice de passage du graphique des anions (sulfate + chlorure/total des anions) et des cations (sodium + potassium/total des cations).

- a) Hyper chlorurée calcique ou Hyper sulfatée calcique
- b) Hyper chlorurée sodique
- c) Bi/ Carbonatée sodique
- d) Bi/Carbonatée calcique
- e) Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne
- f) Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique

- g) Bi/Carbonatée sodique et potassique
 h) Bi/Carbonatée calcique et magnésienne

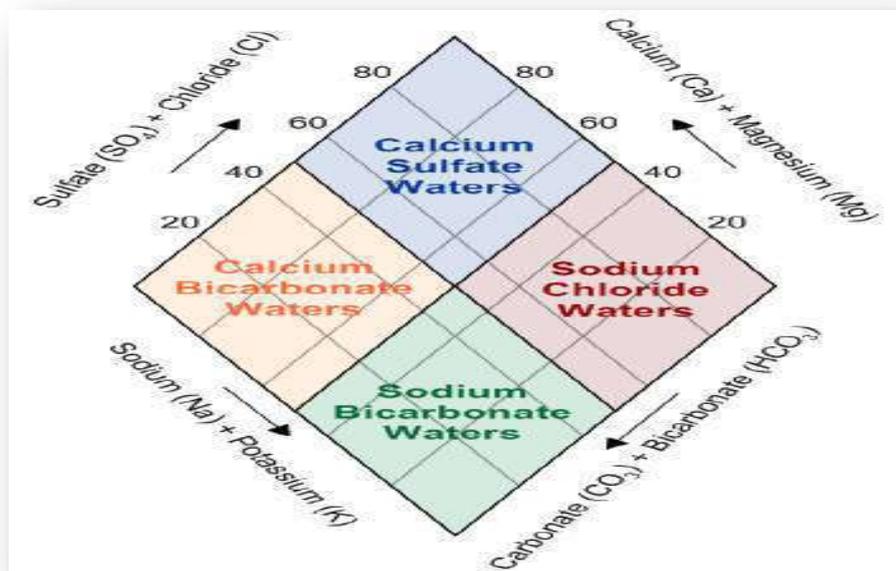


Figure III-6-diagramme de piper

III-5-1-1- Les étapes théoriques :

Transférer les concentrations de mg /l en méq /l comme dans les relations (01) et (02).

$$C_{\text{méq/l}} = \frac{C_{\text{mg/l}}}{\text{ME}} \quad (01)$$

ME
masse molaire

$$\text{ME} = \frac{\text{valence}}{\text{valence}} \quad (02)$$

Calculez la somme des cations seuls et Les anions seuls, comme dans la relation (03).

$$\begin{aligned} & \Sigma(aC^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+}) \\ & \Sigma(HCO_3^{-} + Cl^{-} + SO_4^{-2}) \end{aligned} \quad (03)$$

Calcul de la balance ionique qui ne doit pas dépasser 5% pour dire que l'analyse est acceptable et nous l'inscrivons dans le diagramme de Piper pour en déterminer la classification comme dans la relation (04).

$$\text{Balance ionique} = \frac{\sum(\text{aC}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) - \sum(\text{HCO}_3^{-} + \text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2})}{\sum(\text{aC}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) + \sum(\text{HCO}_3^{-} + \text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2})} * 100 < 5\% \quad (04)$$

Calculez le pourcentage de chaque ion comme dans la relation (05) .

$$\begin{array}{l} \sum(\text{aC}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) \longrightarrow 100\% \\ \quad \quad \quad [\text{aC}^{+2}] \longrightarrow X \\ \\ \sum(\text{HCO}_3^{-} + \text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2}) \longrightarrow 100\% \\ \quad \quad \quad [\text{HCO}_3^{-}] \longrightarrow X \end{array} \quad (05)$$

- Déterminer le pourcentage des cations et les anions et les présentés dans le triangle correspond
- Déposez deux longues lignes du point d'intersection.
- Déterminer le point de leur réunion dans la zone désignée (losange) qui représente la catégorie d'eau et ceci en fonction de l'intérêt le plus déterminant (ratio). Les trois dernières étapes sont illustrées à la figure 04.

III-5-1-2- Utilisation le diagramme de piper manuellement :

- ✓ présentez les pourcentage des cation et anions dans leurs triangles respectifs.
- ✓ Puis les projetés dans la losange
- ✓ Déterminez ensuite la classe d'échantillon en tenant compte de la dominante prédominante "chloruréé calcique"

III-5-1-2- Utilisation le diagramme de piper Automatique

- ouvrir logiciel diagramme



- insérer une analyse

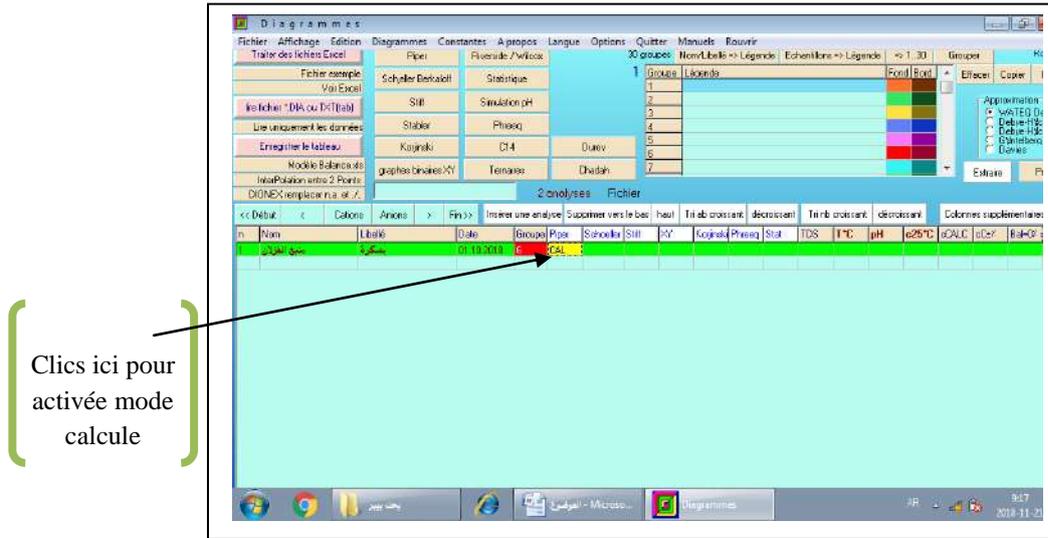


- ✓ Enté le numéro ,nom de source, lieu, date d'analyse et group qui présentée le classification des eaux

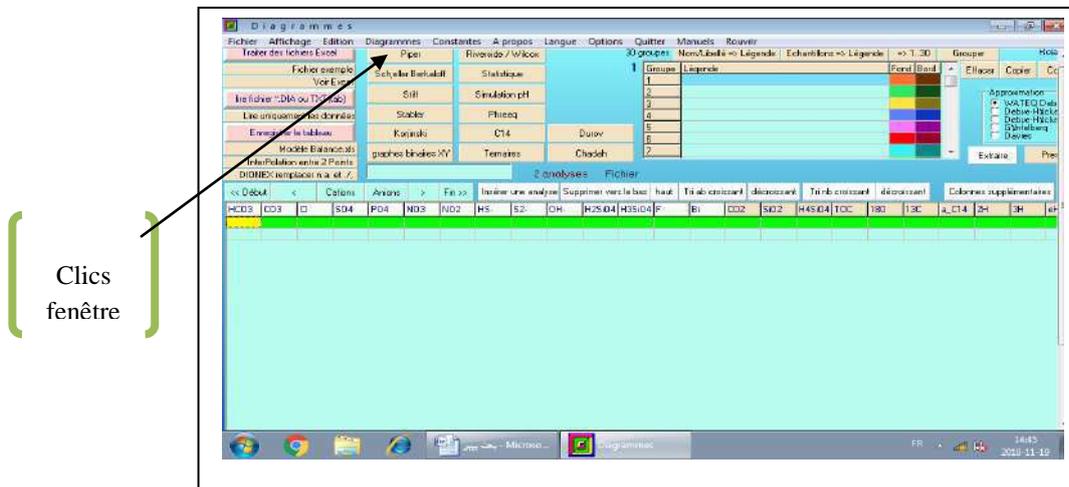
Insérée les
donnes

n	Nom	Libellé	Date	Groupe	Pisc	Schoeler	Siff	XY	Kojinski	Phosq	Stal	TDS	T°C	pH	e25°C	eCALC	eCSP	e4-MV	eB
1	11/10/2010	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

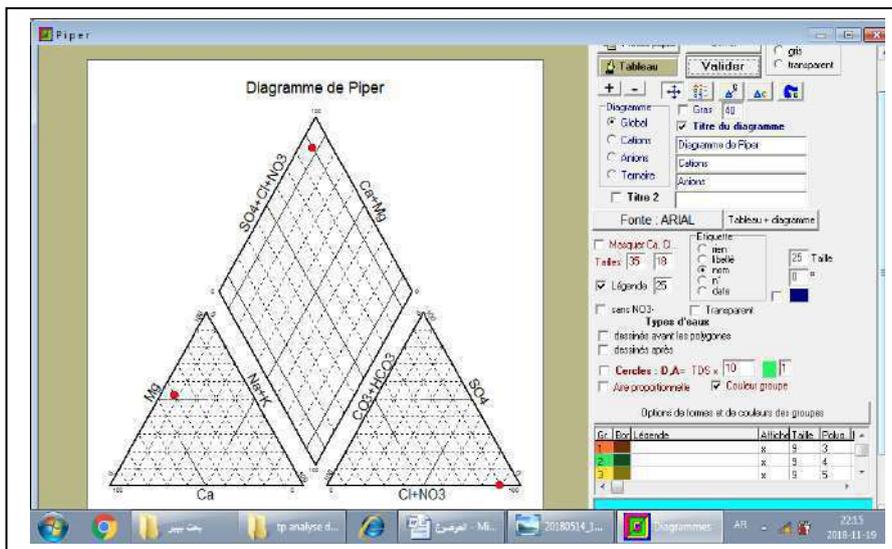
- ✓ Activée le mode de calcul



- ✓ Pour affiché le donnée sur diagramme piper en clics sur le fenêtre piper



- ✓ tableau de résultat



III-5-2- Définition diagramme de Schöeller-Berkaloff

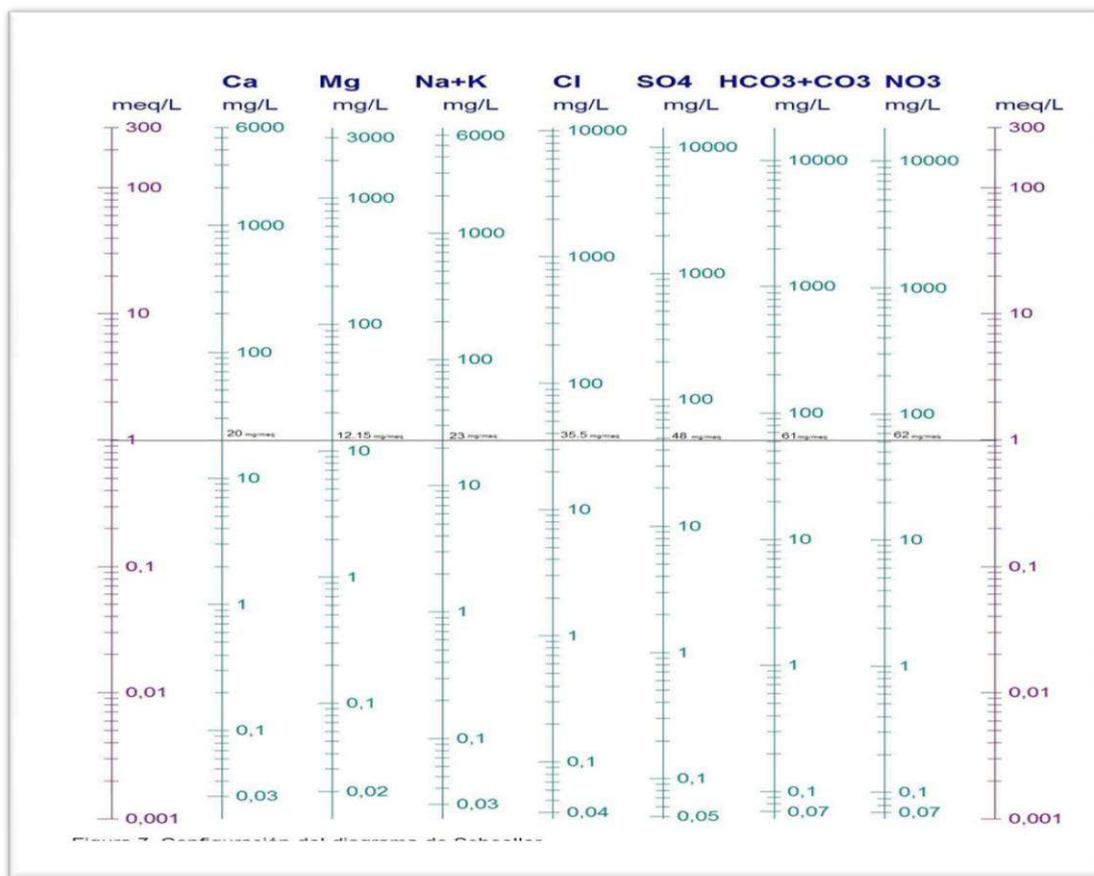


Figure III-8-diagramme de Schöeller-Berkaloff

III-5-3- Définition de diagramme de Stiff

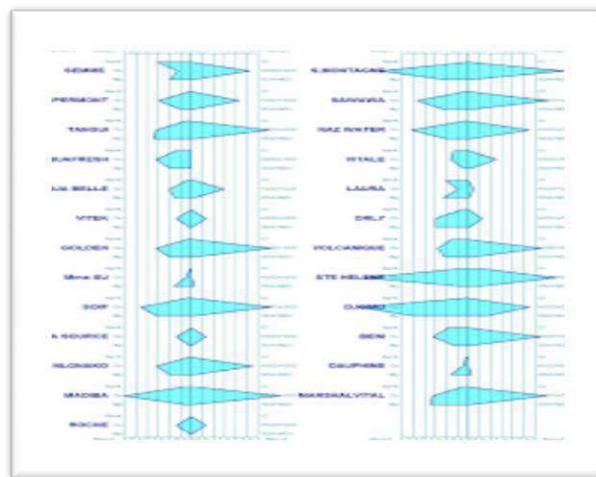
Ce diagramme permet de configurer les analyses. Il présente trois axes horizontaux gradués exprimant les concentrations en meq/l et un axe vertical à l'origine, dont les cations sont présentés à gauche de l'axe verticale, il s'agit des cations : Calcium, Magnésium, sodium et potassium. Les anions représentés à droite de l'axe sont: Chlorure, Bicarbonate et Sulfate.

Dans le tableau, affectez les 40 échantillons au maximums soit par le clic droit, soit par des doubles clics successifs. On peut aussi supprimer une valeur avec la touche <suppr> En adaptant. En adaptant le maximum et le pas et en « Validant » .

		Tri ab croissant		décroissant		Tri nb croissant		décroissant		Colonne				
roupe	Piper	Schoeller	Stiff	>Y	Korjinsk	Phreeq	Stat	TDS	T°C	pH	c25°C	cCALC	cCa%	Ba
1	1	oui	oui		oui			521		6,57	750	547	-7%	
2	2	oui	oui		oui			525		7,1	944	709	-14%	
3	3	oui	oui		oui			529		7,18	941	728	-13%	
4	4	oui	oui		oui			549		7,29	982	776	-12%	
5	5	oui	oui		oui			592		7,41	1074	855	-11%	
6	6	oui	oui		oui			581		7,26	1036	793	-13%	
7	7	oui	oui		oui			593		7,23	1040	802	-13%	
8	8	oui	oui		oui			576		7,57	692	692	-4%	
9														
L	10													
	11													
	12													

Colonne Stiff

Voulez-vous affecter les 40 échantillons suivants
au diagramme de STIFF
ou tous les désaffecter



**Figure III-9- Insérer une analyse dans
diagramme stiff**

III-10- diagramme de Stiff

III-5-4- Diagramme de Richards ou Riverside ou Wilcox (SAR)

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur aptitude à l'irrigation, mais il n'était disponible que la valeur de conductivité de quelques échantillons. C'est alors qu'on a tenté de retrouver par calcul théorique les conductivités des échantillons à partir des conductivités équivalentes des différents ions majeurs analysés (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4^{2-} , HCO_3^-) à 25°C d'après la méthode décrite par Hölting (1996).

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- * Le pourcentage en sodium(% Na).
- * Sodium adsorption ratio (S.A.R).

III-5-4-1-Pourcentage de sodium (%Na)

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle négative dans le sol, parce qu'il réagit avec le sol en diminuant sa perméabilité et donc en freinant la

circulation des eaux. Sa présence dans le sol augmente le volume des particules argileuses, entraînant ainsi une obstruction des pores entre les particules.

Il est basé sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de sodium par rapport aux autres sels dans l'eau. Le pourcentage de sodium est calculé par la formule suivante :

$$Na\% = \frac{Na^+}{Ca^{2+}+Na^++Mg^{2+}+K^+} \times 100$$

Dans cette formule, les concentrations de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et K^+ sont exprimées en méq/L.

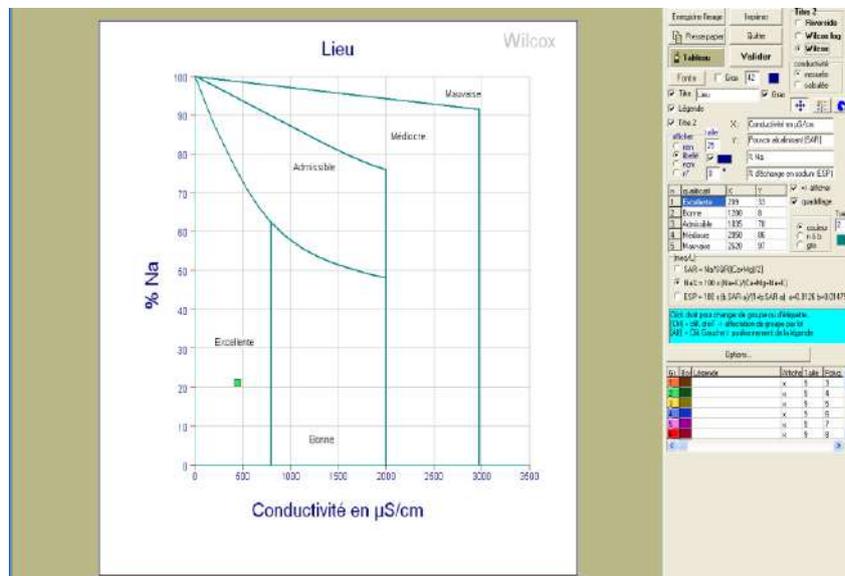


Figure III-11- Classification de pourcentage de sodium en fonction conductivité

III-5-4-2- Taux d'absorption du sodium(SAR) :

Le risque d'alcalinité est généralement exprimé par le taux d'adsorption du sodium (SAR). Cet paramètre quantifié la proportion des ions sodium, calcium et magnésium dans un échantillon d'eau. Quand un sol est riche en Na^+ et que son anion dominant est CO_3^{2-} , le sol est dit sol alcalin. Si un sol est riche en Na^+ et SO_4^{2-} , ou en Cl^- , on parle de sol salé.

Cependant, dans les deux cas ,les végétaux supporteront moins un tell sol. Pour déterminer ce risque, Riverside a crié une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale.Fig 12.

Il se calcule par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Dans cette formule du S.A.R, les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont

Exprimées en méq/L.

S.A.R < 10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols.

10 < S.A.R < 18 : eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation.

18 < S.A.R < 26 : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation.

S.A.R > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

Tableau 06. Classification de pourcentage de sodium selon Wilcox

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour C2-S2 l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel C3-S2 sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation C4-S2 de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés C3-S3 et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être C4-S3 utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, C4-S4 plantes tolérant très bien le sel.

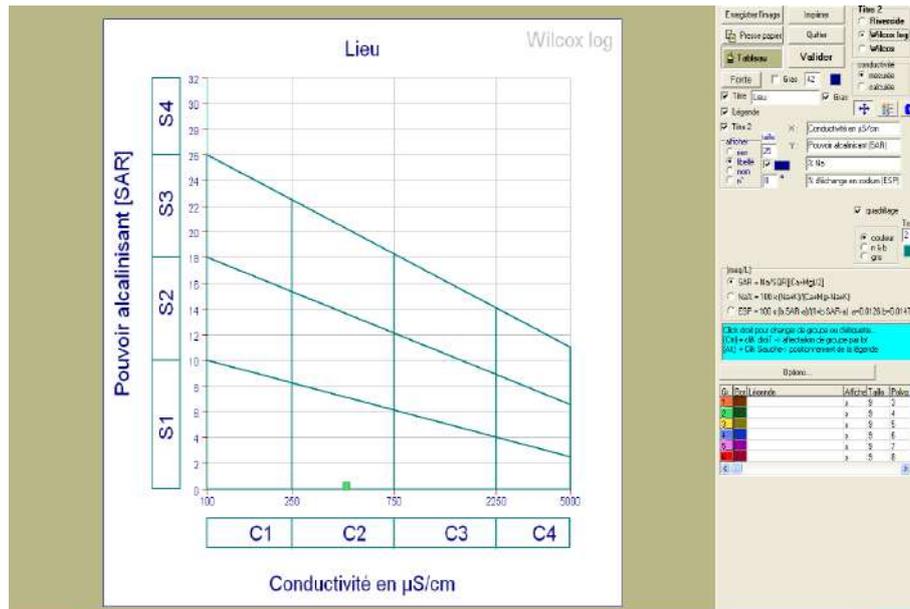


Figure III-12- Classification de pourcentage de sodium selon Wilcox

III-5-5-Diagramme d'équilibre binaire

Le diagramme d'équilibre binaire est un système formé de deux composants (Fe-C , Cu-Zn, Al_2O_3 - Cr_2O_3 , Cu-Mg,...) et qui permet de représenter les domaines de stabilité des phases et des conditions d'équilibre entre plusieurs phases en fonction de la température et la composition (exprimée en pourcentage massique, atomique ou molaire).

Suivant la miscibilité des éléments du système, on distingue deux types de diagrammes binaires.

- Diagramme d'équilibre binaire d'un système à miscibilité totale à l'état solide.
- Diagramme d'équilibre binaire d'un système à miscibilité partielle à l'état solide.

III-5-6- Balance Ionique

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations (eaux souterraines et eaux de surfaces), il faut analyser la fiabilité des résultats des ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise.

Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$\mathbf{BI} = \frac{\Sigma(\mathbf{cations}) - \Sigma(\mathbf{anions})}{\Sigma(\mathbf{cations}) + \Sigma(\mathbf{anions})} * 100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des Analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

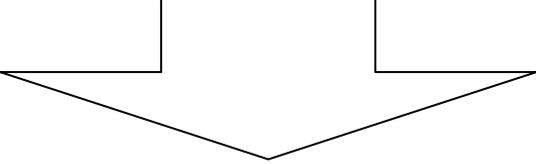
D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :[2]

- Excellentes lorsque $BI < 5 \%$.
- Acceptable lorsque $5\% < BI < 10 \%$.
- Douteuse lorsque $BI > 10 \%$.

III-11-Conclusion

Cette étude permet de visualiser la situation actuelle des eaux de surfaces et des eaux souterraines, de point de vue hydro chimique et qualité.

CHAPITRE IV



Méthode des analyses

IV-1-Introduction

Dans ce chapitre, nous allons résumer le protocole analytique suivi ainsi que le matériel et méthode utilisés durant la partie pratique de ce mémoire. Le test expérimental du dosage de fluor dans les échantillons de recherche scientifique de l'Université de Ouargla.

IV-2- Echantillonnage

La campagne d'échantillonnage a concerné les régions Touggourt, j'ai choisi de prélever les échantillons au niveau d'aquifère exploité (du Mio-Pliocène et Albien).

les prélèvements, ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastique de 250 ml de capacité. Lorsqu'il s'agit d'un forage destiné à l'irrigation, l'échantillon est pris directement à la tête du forage (TABOUCHE, 1999).

L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le code du forage, la date, et si possible la profondeur et le niveau aquifère.[18]

IV-3-Paramètres électrochimiques et thermodynamique

La détermination des paramètres électrochimiques, nécessite l'utilisation de certains appareils qui seront cités par la suite :

IV-3-1- Détermination du pH

Le potentiel hydrogène (ou PH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) (appelés aussi couramment protons) en solution. Plus couramment, le PH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C :

- une solution de $pH = 7$ est dite neutre.
- une solution de $pH < 7$ est dite acide ; plus son PH s'éloigne de 7 (diminue) et plus elle est acide.
- une solution de $pH > 7$ est dite basique ; plus son PH s'éloigne de 7 (augmente) et plus elle est basique.[8]



Figure IV-14- Conductimètre

IV-3-3-Salinité

La salinité désigne la concentration de sels minéraux dissous dans l'eau. Il ne faut pas confondre la salinité avec la dureté de l'eau qui est relative à son dosage en calcium et magnésium.

- Mode opératoire

Après avoir noté la conductivité, appuyer de nouveau sur « READ » puis sur la touche « SAL » et noter la valeur affichée.

IV-4- Dosage de Fluor

La méthode d'analyse retenue pour la détermination du fluor est la méthode colorimétrique SPADNS, à partir d'un spectrophotomètre(DR 6000) (Figure IV-15). Cette méthode met en œuvre la réaction du fluorure avec une solution de laque rouge de zirconium (**SPADNS**). Le fluorure se combine avec une partie du zirconium pour former un complexe zirconium-fluorure incolore, produisant une diminution de la couleur proportionnelle à la concentration du fluorure. [16]



Figure IV-15- spectrophotometer

Les analyses de dosage de fluorure ont été effectuées sur les échantillons d'eau des forages(11 forages) . Le dosage du fluorure est effectué selon les étapes suivantes:

- 1- Entrer le numéro du programme mémorisé pour le Fluorure (F) ;
- 2- Presser : **READ/ENTER**, l'affichage indique : **mg/l F⁻** ;
- 3- Mesurer 10.0 ml d'échantillon dans un flacon colorimétrique sec ; mesurer 10.0 ml d'eau désionisée dans un second flacon colorimétrique propre (le blanc) ;
- 4- Pipetter 2.00 ml de réactif **SPADN** (Figure IV-17) dans chaque flacon. Agiter pour mélanger. (Figure IV-19) .
- 5- Presser : **SHIFT TIMER**, une période de réaction d'une minute commence.
- 6- Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : mg/l F⁻, placer le blanc dans le puits de mesure. Fermer le capot.
- 7- Presser **ZERO**, l'appareil affiche : 0.00 mg/l.
- 8- Placer l'échantillon dans le puits de mesure fermer le capot.
- 9- Presser **READ/ENTER**. Puis le résultat en mg/l de fluorure s'affiche



Figure IV-16 Cuvette carre



Figure IV-17 pipeter



Figure IV-18 réactif SPADNS

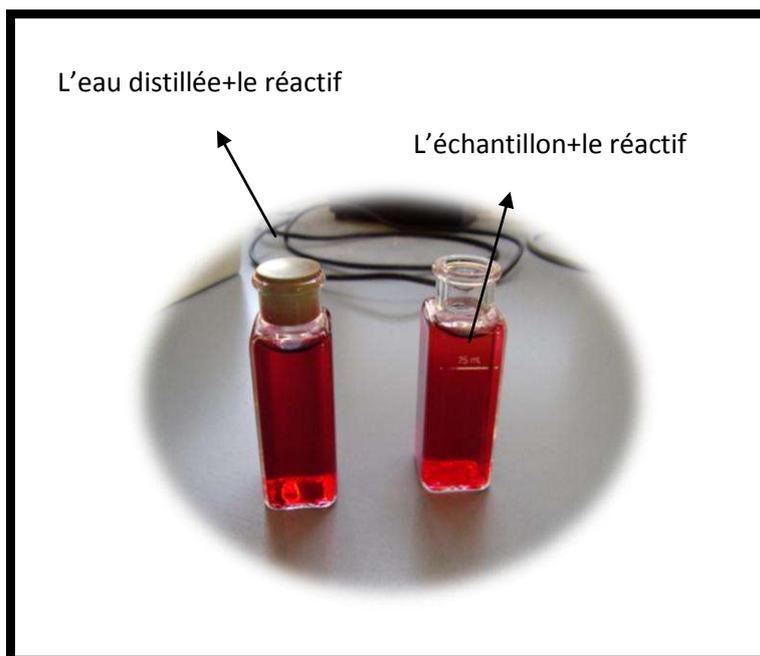
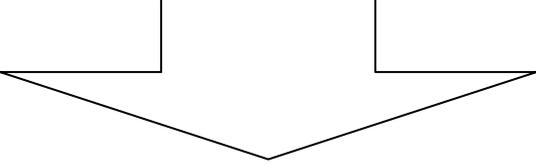


Figure IV-19.cellules en verre du DR 6000.

CHAPITRE V



Résultats & Interprétations

V-1-Introduction

La connaissance de composition chimique de l'eau permet définir la caractéristique de l'eau et définir la procédure parfaite du traitement et utilisation. Quand les eaux souterraines représentant la seule ressource qui répond aux besoins d'irrigation, il est nécessaire d'étudier la qualité de ces eaux et de les protéger contre tout risque de contamination et de dégradation.

Afin de mieux caractériser les eaux prélevées au niveau des puits de Touggourt et ses affluents, nous avons déterminé:

- La classification des eaux selon Stabler, Piper et Schoeller-Berkaloff;
- L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation.

V-2- Caractéristiques des forages de la ville de Touggourt

L'un des problèmes majeurs qui menace de nos jours les ouvrages hydraulique et les conduites d'AEP en particuliers dans le sud Algérien (cuvette de Touggourt en particulier) est la diminution de la durée de vie des conduites d'AEP et la corrosion prématurée des conduites (corrosion hydraulique) due à la présence des éléments responsables de la dureté (Ca^{2+} , Mg^{2+} , et de fer....) et des agents et de corrosion (Cl^- , CO_2 , O_2 ,) dans les eaux de la nappe Albienne. En effet, Malgré les problèmes enregistrés que posent ces eaux durées, la nappe Albienne constitue toujours la source potentielle en eau particulier. La forte minéralisation de ces eaux (Tableau 07), auxquels s'ajoute de Touggourt condition favorable à la formation et la précipitation du calcaire sont les contraintes majeures pour la bonne gestion des ouvrages hydrauliques. En effet, la forte minéralisation et la forte température de l'eau nécessite immédiatement la prise en charge de ce problème pour la maîtrise et la prévision des risques

. **Tableau 07** : Caractéristiques des eaux de la zone de Touggourt

Forages Eléments	pH	c25°C	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	Cl	SO4	PO4	NO3	TH	Fluor	TAC
F-Sidi Mahdi 2 ALBIEN	7,43	2830	244,5	106,9	200	46	84,29	573,8	480	/	/	1050	0,66	69,09
F-Sidi Mahdi 3 ALBIEN	7,32	2760	256,5	75,34	/	/	602,3	407,5	875	0,13	22,1	950		73,2
F-AIN Sahara 1 ALBIEN	6,74	2960	236,5	58,3	300	19	148,72	599,9	520	/	/	830	0,51	121,9
F-AIN Sahara 2 ALBIEN	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,74	/
F-AIN Sahara CHÂTEAU	7,25	5830	444,9	262,5	/	/	115,67	1031	1500	0,12	/	/	/	/
F-AIN Sahara station	7,94	2180	256,5	199,9	/	/	167,45	474,2	825	0,14	5,5	1380	1,92	137,3
Elmostakbel ALBIEN	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,8	/
Elmostakbel Mio-plio	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,9	/
F-COMPLEXE FR Nazla	7,01	4460	412,8	199,3	/	/	88,72	996,4	1775	0,03	3,3	1850	1,8	72,72
F-CHÂTEAU D'eau unite	7,58	2910	272,5	102,1	/	/	133,5	448,6	850	0,2	/	1100	1,75	109,4
F-UNITE CHÂTEAU	7,78	2570	244,5	170,1	/	/	156	543,5	850	0,13	/	1310	/	127,9
F-EAU Reservoir centre	7,58	2480	272,5	192	/	/	157,88	552,1	850	0,16	/	1470	/	129,4
F-BENI ASSOUED FR	7,45	5470	448,9	206,6	/	/	120,99	1156	1575	0,03	4,2	1970	1,83	99,17
F-ZAOUIA FR	7,44	6670	621,2	194,4	/	/	544,64	1327	1800	0,14	1,5	2350	0,97	446,4

Nous avons places les forges de la ville de Touggourt (Tableau 08, Figure -V-20) suivant Google.....

Tableau 08: les forages de la zon de Touggourt

Nom de forage		Nom de forage	
AEP01 (5 juillet) D32 F	A	AEP Elmostakbel	M
AEP Ben Yessoued D33 F116	B	Station Traitement Ain Sahra D34	R
Chateaux bniyesoued D33 F123	C	Albien Touggourt (Rimel3)	R
AEP Complexe ADE D34F136	E	Forage Secour Ain Sahra D34	S
Bel air AEP Château D33 F117	H	Centre ADE Touggourt	T
Albien III D34 bis FA 3	I	Complexe HYD2 Nezla D34 F151	X
ALBIEN Elmostakbel	K	Albien Ain Sahra	Y
Albien II D34 bis FA 2	L	AEP Zaouia D32 F160	Z

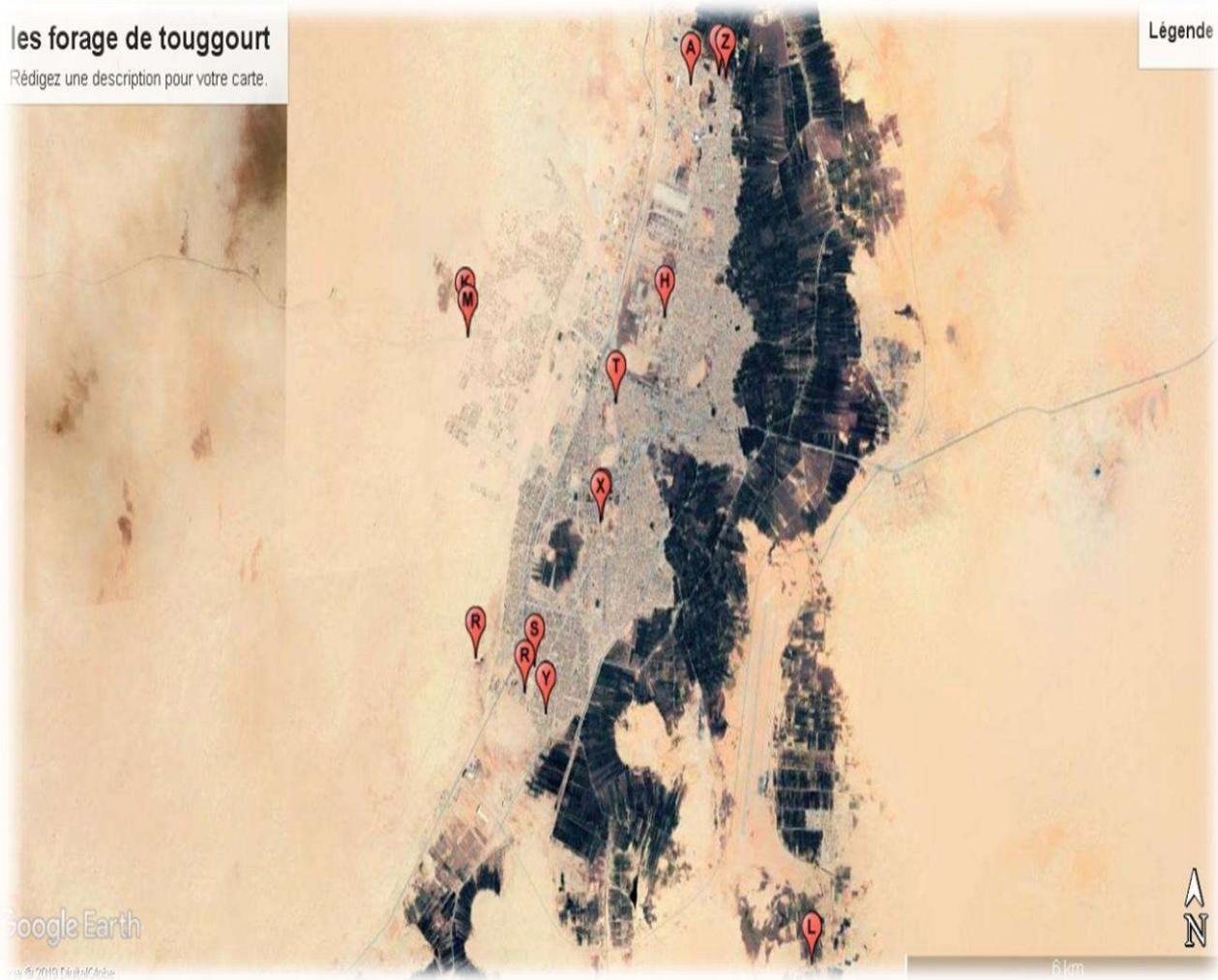


Figure -V-20: position des forages de Touggourt suivants

V.3.Classification des eaux souterraines

V.3.1.Classification des eaux selon Piper

Le diagramme de piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les cotés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite)(fig.21).

Selon le diagramme de Piper, la distribution des points d'eau analysés d'après leurs compositions chimiques dans la ville de Touggourt montre que (fig.21).

Le chimisme des eaux analysé est hyper sulfaté calcique pour la majorité des échantillons analysé pour plus de 82% sauf deux échantillons . oscille entre l'hyper chlouré clacique et chlorurée sodique et potassique avec 18%, 9% pour chaque chimismes. Notion que une particulière clair des eaux de l'albien.

Le calcium est cation dominant dans la majorité des échantillons (82%) et seulement l'échantillon des albiens (sidi mahdi 2 et Ain Sahara 1) ou on a pas une cation dominant

Le sulfate est l'anion dominant pour la majorité des échantillon analysé sauf pour les eaux des forages albiens.

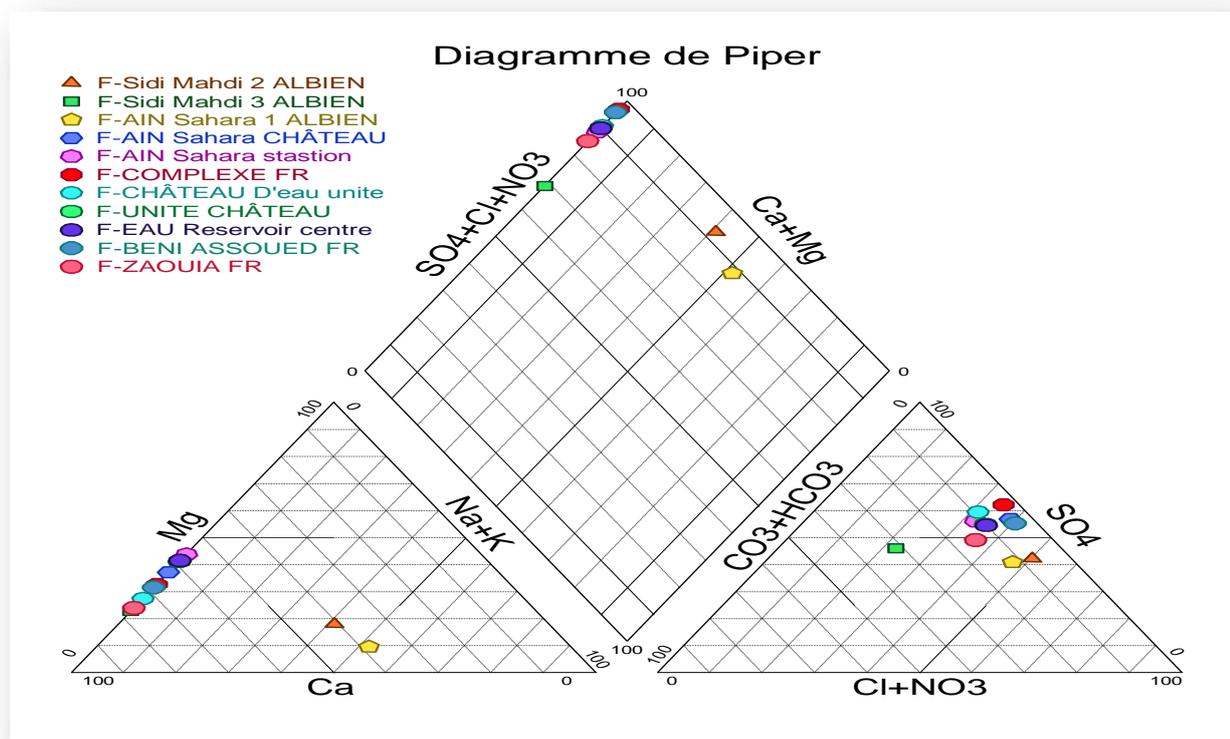


Figure V-21 : Faciès chimique des analyses d'eau d'après le diagramme de PIPER

V.3.2. Classification des eaux souterraines selon Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique. Sur l'axe des abscisses sont représentés les différents ions et sur l'axe des ordonnées la teneur réelle en mg/l. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau concernée. Le diagramme permet une lecture directe des concentrations en mg/l des différents ions majeurs. En outre, les 2 axes des ordonnées, situés à droite et à gauche du graphique, permettent une conversion directe en milliéquivalent par litre. Le Figure V-22 montrent les résultats d'une telle représentation des compositions en éléments majeurs des points d'eau sur ce diagramme.

Selon le diagramme Schoeller-Berkaloff les eaux sont classées comme suit: Eau à faciès sulfaté-calcique (SO₄-Ca)

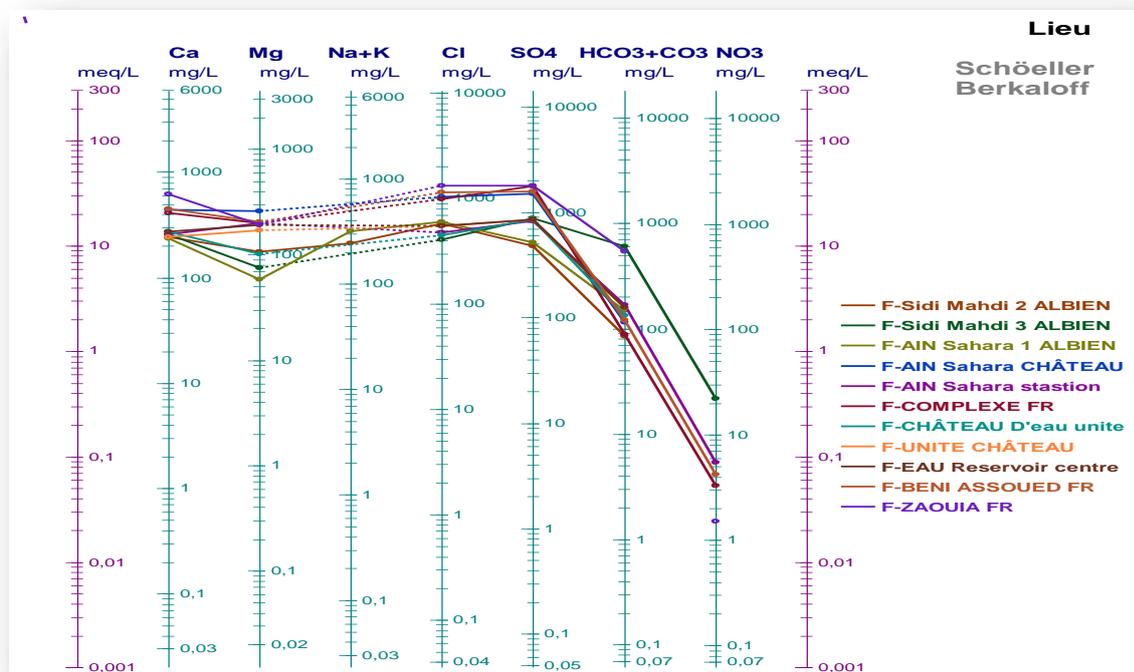


Figure V-22 : Faciès chimique des analyses d'après de diagramme **Schoeller-Berkaloff**

V.4.Évaluation de la qualité des eaux souterraines dans la ville de Touggourt

La qualité de l'eau se mesure aux caractéristiques qui la rendent plus ou moins apte à une utilisation donnée, c'est-à-dire à satisfaire les besoins de l'utilisateur. Elle est définie par certaines caractéristiques physiques, chimiques et biologiques et même une référence personnelle comme le goût. Plusieurs normes ont été proposées selon les différents domaines tels que l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

La composition chimique des eaux souterraines est le facteur déterminant des problèmes qui se développent en agriculture irrigable.

V.4.1.Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation varie en fonction de la nature et de la quantité des sels dissous (Daddi Bouhoun, 1997). L'augmentation de ce dernier va créer plusieurs problèmes

pour le sol et par la suite aux plantes. Plusieurs classifications ont été proposées pour les eaux d'irrigation (US Salinity Laboratory, 1954 et Ayers et Westcot, 1976). [4]

Selon Richard et al (1954) cité par Durand (1983), une solution à ce problème a été donnée par le laboratoire de Riverside reposant sur deux caractères principaux : Risque de salinisation et danger d'alcalinisation des sols.

V.4.1.1. Risque de salinisation

La salinité de l'eau est exprimée par la conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle permet de déterminer quatre classes d'eau qui sont les suivantes:

-C1 ($CE < 250 \mu\text{S}/\text{cm}$) : Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol. Aucun point d'eau analysé ne correspond à cette classe dans Touggourt

-C2 ($250 < CE < 750 \mu\text{S}/\text{cm}$): Eaux utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité, Aucun point d'eau analysé ne correspond à cette classe dans Touggourt.

-C3 ($750 < CE < 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$) : Eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées. Ce chapitre ne contient qu'un échantillon de tous les points d'eau analysés. Représenter (RESERVOIR AIN SAHARA) de Touggourt

-C4 ($CE > 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$) : Eaux inutilisables normalement à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage. 10 échantillons appartiennent à cette classe.

V.4.1.2. Risque d'alcalinisation

L'irrigation du sol par une eau sodique favorise la dispersion des argiles et la structure est dégradée, le milieu devient imperméable et asphyxiant. Le danger d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol, Ce risque est déterminé à partir du rapport du sodium adsorbable (sodium adsorption ratio, SAR) par la formule suivante:[19]

$$\text{S.A.R} = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}}$$

r : concentration en ion en mol/m³

-Na : Sodium

-Ca : Calcium

-Mg : Magnésium

Selon U.S.S.L(1954), 3 classes ont été distinguées d'après le taux d'absorption de sodium qui sont (tab.9) :

S1 : Eau à faible danger d'alcalinisation des sols ;

S2 : Eau à danger d'alcalinisation assez appréciable ;

S3 : Eau à danger d'alcalinisation important

Tableau 9: Classe de sodicité des eaux (U.S.S.L ,1954)

Classes	SAR
S1	<13
S2	13-23
S3	>23

Nous remarquons que le forage Sdi mahdi (SAR = 21.34%) est une Eau à danger d'alcalinisation assez appréciable, la deuxième forage Ain sahral(SAR =34.94% présent un important danger.

V.4.1.3.Détermination des classes d'irrigation

Les valeurs du S.A.R sont reportées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau sur le diagramme de Riverside. Ce diagramme est constitué par des classes qui permettent la détermination de la qualité des eaux pour l'irrigation. Il est modifié pour être utilisé d'une manière plus générale par l'addition de la classe C5 pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Durand, 1983).[6]

D'après la figure V-23, nous avons pu signaler la présence des classes suivantes:

C3S1:Qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.

C4S1:Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.

C4S2:Qualité mauvaise. A n'utiliser ,avec beaucoup de précautions, que dans les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables.

C5S1:Eau déconseillée pour l'irrigation.

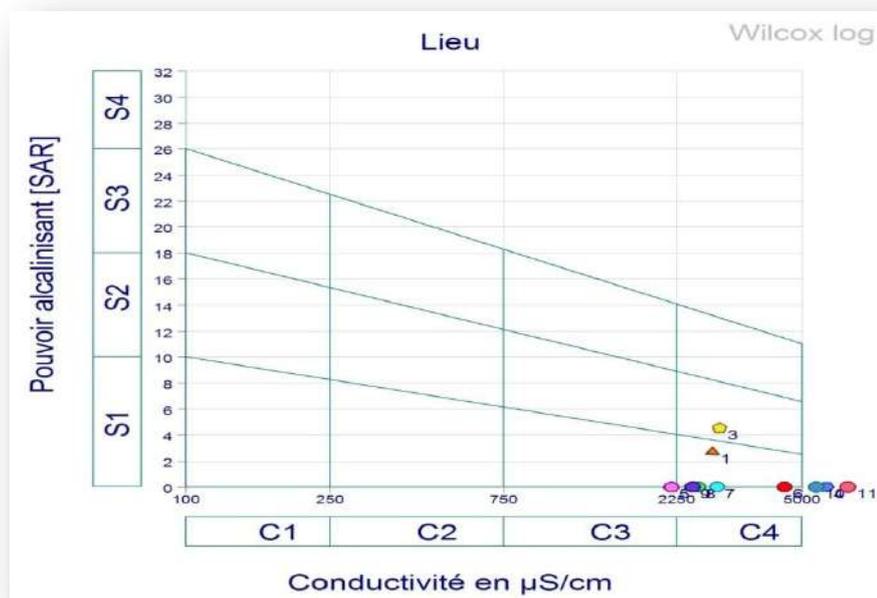


Figure V-23:Diagramme de classification des eaux d'irrigation de ville touggourt

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'étude d'évaluation hydrochimique de la nappe superficielle qui a été faite en amont de la ville du Touggourt, en commençant d'étudier la situation géographique et climatique et hydrogéologique de Touggourt, la caractéristique générale de l'eau. Dans le laboratoire, en mesurant la teneur en fluorure de l'eau de la région Touggourt, l'aide du programme de Piper et Scholler nous a permis de déterminer des forages et calculer quelques caractéristiques chimiques.

Les trois classifications Piper, et Scholler-Berkaloff, montrent l'existence d'un faciès chimique dominant qui est le faciès sulfaté calcique. Le calcium est le cation dominant dans la majorité des échantillons (82%) et seulement les échantillons des alluvions (sidi mahdi 2 et Ain Sahara 1) où on n'a pas de cation dominant. En fin, après cette étude nous avons confirmé les caractéristiques chimiques de l'eau de la région Touggourt et de la nappe alluvionnaire.

Références Bibliographiques

Références

- [1]-Ahmouda. I, Biaa. H (2016). Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de (les Dunes) Oran, Page 24-42
- [2]- Abdelhay BELKABIR (1962-2010) L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc),page19.
- [3]-Bouchahm N., « étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara Septentrional ». thèse de magistère 1995 université de Biskra.
- [4]- Daddi Bouhoun M., 1997. Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse Magister, El-Harrach, I.N.A, 180p.
- [5]-Daoudi et Ben Sayah(2004), « Annuaire statistique de la wilaya de Ouargla », Mai 2003.
- [6]- Durand J.H., 1983. Les sols irrigables : Étude pédologique. Paris, Presse Universitaire de France, 339p
- [7]- Diafi, R (2015). Etude expérimentale sur l'adoucissement de l'eau par précipitation chimique, Page 1.
- [8]-Données climatologiques enregistrées au niveau de la station météorologique d'Ouargla (2007-2018)
- [9]- Fiche technique hydraulique, Touggourt, 2007
- [10]-Guendouz. A. S. Moulla. W. M. Edmunds. K. Zouari, A. Mamou « hydro géochimical and isotopic evolution of water in the complexe terminal aquifer in the Algerian Sahara »
- [11]- ISO, 1994. Normes internationales, 350p.
- [12]-Join, J.-L., 1991. Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire, Le Piton des Neiges
- [13]- KETTAB A., traitement des eaux, les eaux potables, office des publications universitaires place centra ben Aknoun- Alger, 1989
- [14]- Medfouni. S (2007). Adoucissement des eaux Géothermales de l'oued R'hir. étude comparatif de deux types de chaux (CaO et Ca(OH)₂), Page 13-24
- [15]-Nezli, A (2017). Etude de station de déminéralisation de la ville de Ouargla : cas des stations Gharbouz, Ziaina et Bamandil, Page 16-21

- [16]- OMS: fluor et santé, série de la monographie, (1972), Critère d'hygiène de l'environnement n°36, fluor et fluorure, (1985), OMS Genève.
- [17]- Rodier J., 2005. Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, Dunod, 1383p.
- [18]- TABOUCHE, Achour S/ LARYSS journal, ISS N° 1112-3680, n°03, juin 2004 p. 99 à 113.
- [19]- U.S.S.L., 1954. Diagnostic and improvement of saline and alkali soil, Washington, Richards LA, 160 p.
- [20]- Yann Olivaux (2007). La nature de l'eau, Résurgence

Résumé

L'un des problèmes majeurs qui menace de nos jours les ouvrages hydraulique et les conduites d'AEP en particuliers dans les sud Algérien (cuvette de Touggourt en particuliers) est la diminution de la durée de vie des conduites d'AEP et la corrosion prématurée des conduites (corrosion hydraulique) due à la présence des éléments responsable de la dureté (Ca^{2+} , Mg^{2+} , et de fer....) et des agents et de corrosion (Cl^{-} , CO_2 , O_2 ,) dans les eaux de la nappe Albienne. En effet, Malgré les problèmes enregistré que posent ces eaux durés, la nappe Albienne constitue toujours la source potentielle en eau particulier.. L'objectif de notre travail est représentation des analyses hydrochimiques des eaux des forages de la ville Touggourt.

summary

One of the major problems that threatens nowadays hydro structures and AEP pipelines in particular in the Algerian south (Touggourt basin in particular) is the decrease in the life of the AEP pipes and the premature corrosion. pipes (hydraulic corrosion) due to the present elements responsible for the hardness (Ca^{2+} , Mg^{2+} , and iron) and agents and corrosion (Cl^{-} , CO_2 , O_2 ,) in the waters of the Albienne tablecloth. Indeed, Despite the recorded problems posed by these waters, the Albian aquifer is still the potential source of water in particular. The objective of our work is representation of the hydrochemical analyzes of the water of the Touggourt boreholes

ملخص

من اكبر المشاكل الرئيسية التي تهدد في الوقت الحاضر مشاءات الري و شبكة تزويد مياه صالحة للشرب (AEP) في الجنوب الجزائري عموما، وحوض تقرت على وجه الخصوص التاكل المبكر للقنوات وترسب كربونات الكالسيوم، بسبب العناصر المسؤولة عن الصلابة (Ca^{2+} , Mg^{2+} ، والحديد....)، عوامل تآكل (Cl^{-} ، CO_2 ، O_2 ،) في مياه طبقة الالبيان. على الرغم من المشكلات المسجلة التي تطرحها هذه المياه، لا تزال طبقة المياه الجوفية لطبقة ألبيان هي المصدر المحتمل للمياه في المنطقة، والهدف من عملنا هو تمثيل التحليل الهيدروكيميائية لمياه آبار منطقة تقرت.