

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences Appliquées**

**Département de Génie Civil et Hydraulique**



**Mémoire**

**MASTER PROFESSIONNEL**

**Domaine : Science et Technologies**

**Filière : Génie Civil et Hydraulique**

**Spécialité : Forage d'Eau**

**Préparé Par : YAHIAOUI Chafik et GHOUMA Taha**

**Thème**

**La contribution de l'étude hydro-chimique  
des eaux souterraines  
(Cas : Vallée de Touggourt)**

**Devant le jury :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>	<b>Etablissement</b>
Mr. KATEB Samir	M.C.A	Président	UKM Ouargla
Mme. MANSORI Zina	M.C.A	Examinatrice	UKM Ouargla
Mr. ATTAB Rabah	M.A.A	Encadreur	UKM Ouargla
Mr. Kadri Abdelaziz	Doctorant	Co-Encadreur	UKM Ouargla

**Année Universitaire : 2019/2020**

# REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier notre **DIEU**, notre créateur pour nous avoir la force pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier aussi très chaleureusement notre encadreur **Mr. Attab Rabah** et notre Co-encadreur **Mr. Kadri Abdelaziz** pour avoir acceptés de diriger notre travail, pour l'esprit d'ouverture et sa disponibilité, pour l'aide et ses chers conseils pour développer le présent mémoire avec succès.

Merci beaucoup pour votre volonté, votre conscience professionnelle et votre sérieux.

Nous remercions toutes personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la finalisation de ce travail, nous tenons à leur exprimer notre vive gratitude.

Enfin nos remerciements l'ensemble des enseignants du Département de génie civil et hydraulique.

**CHAFIK et TAHA**

# DEDICACES

JE DÉDIE CE MÉMOIRE À : CEUX QUI SE SONT  
DONNÉ TOUTES LES PEINES ET LES SACRIFICES,  
POUR ME VOIR RÉUSSIR DANS LA VIE : LES DEUX  
PERSONNES LES PLUS CHÈRES À MON CŒUR, **MON**  
**PÈRE ET MA MÈRE**, QUI M'ONT APPORTÉ SOUTIEN ET  
CONFORT TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES.

TOUS MES AMIS SANS EXCEPTION.

MON BINÔME : **TAHA**.

ET SANS OUBLIER MES ENSEIGNANTS QUI M'ONT  
SOUTENU DURANT TOUTES MES ANNÉES D'ÉTUDES.

**CHAFFA**

# DEDICACES

JE DÉDIE CE MÉMOIRE À : CEUX QUI SE SONT  
DONNÉ TOUTES LES PEINES ET LES SACRIFICES,  
POUR ME VOIR RÉUSSIR DANS LA VIE : LES DEUX  
PERSONNES LES PLUS CHÈRES À MON CŒUR, **MON**  
**PÈRE ET MA MÈRE**, QUI M'ONT APPORTÉ SOUTIEN ET  
CONFORT TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES.

TOUS MES AMIS SANS EXCEPTION.

MON BINÔME : **CHAFFA**.

ET SANS OUBLIER MES ENSEIGNANTS QUI M'ONT  
SOUTENU DURANT TOUTES MES ANNÉES D'ÉTUDES.

TAHA

## Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

### **CHAPITRE 01 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

I.1. Présentation de la zone d'étude .....	2
I.2. Historique de découverte .....	2
I.3. Situation géologique .....	3
I.4. Situation géographique .....	3
I.5. Géomorphologie et Topographie .....	4
I.6. Climat et Végétation .....	4
I.7. Cadre stratigraphique de la région .....	5
I.7.1. Mésozoïque .....	5
I.7.2. Cénozoïque .....	6

### **CHAPITRE 02 : GENERALITES SUR L'EAU**

Introduction .....	09
II.1. Définition de l'eau .....	09
II.2. Origine et différents types d'eau .....	10
II.2.1. Eaux naturelles .....	10
II.3. Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux .....	13
II.3.1. Propriétés organoleptiques .....	13
II.3.2. Caractères physico-chimiques .....	14
a) Les caractéristiques physiques .....	14
b) Les caractéristiques chimiques .....	16
II.3.3. La fluoration de l'eau .....	18
Conclusion .....	19

### **CHAPITRE 03 : L'ETUDE HYDRO-CHIMIQUE**

Introduction .....	21
III. Méthodes et Matériels .....	21
III.2. Choix du site de prélèvement .....	21
III.2.1. Les caractéristiques des forages existants .....	22
III.3. Echantillonnage .....	23
III.3.1. Techniques d'échantillonnage .....	23
III.3.2. Transport et conservation au laboratoire .....	23
III.4. Moyens et méthodes d'analyses .....	23
III.4.1. Mesure in situ .....	23
III.4.2. Mesure au laboratoire .....	24
1. Le pH .....	24
2. La dureté .....	24
3. Dosage de Calcium et Magnésium .....	25
4. Titre alcalimétrique .....	25
5. Les Chlorures .....	25
6. Les Sulfates .....	26
7. Sodium et Potassium .....	26
III.4.3. Dosage d'autres éléments minéraux .....	27
III.5. Logiciels .....	27
III.5.1. Diagrammes .....	27
1. Diagramme de Piper (Dupont et Jardani ., 2012) .....	27
2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff (Dupont et Jardani ., 2012) .....	27
III.5.2. Logiciel Surfer 9 .....	28
IV. Résultats et discussion .....	29
IV.1. Etude de la variation des paramètres physico- chimiques mesurés .....	29

a. Qualité des eaux de complexe terminal .....	29
1.Évaluation de la potabilité des eaux .....	29
2. Les éléments majeurs .....	30
a. Les cations .....	30
b. Les anions .....	31
3. Diagramme de PIPER .....	32
4. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF .....	33
b. Qualité des eaux de la nappe continentale intercalaire .....	34
1. Évaluation de la potabilité des eaux .....	34
2. Les éléments majeurs .....	35
a. Les cations .....	35
b. Les anions .....	36
3. Diagramme de PIPER .....	37
4. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF .....	38
IV.2. Cartographie hydrochimique .....	39
IV.3. Origine des différents éléments dominants dans les eaux .....	41
IV.4. Présence du Fluor dans les eaux .....	44
Conclusion .....	46
Conclusion générale .....	47





## Liste des figures

La figure	Page
<b>Fig01.</b> Situation de Touggourt dans le Sahara algérien.	03
<b>Fig02.</b> Situation géographique de la région de Touggourt.	04
<b>Fig03.</b> Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt.	08
<b>Fig04.</b> La molécule d'eau.	09
<b>Fig05.</b> Répartition des échantillons d'eaux souterraines prélevés dans la zone urbaine de Touggourt.	21
<b>Fig 06.</b> Nombre des forages (ADE).	22
<b>Fig 07.</b> Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) en (mg/l) de complexe terminale.	30
<b>Fig 08.</b> Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) de complexe terminale.	31
<b>Fig 09.</b> Diagramme de Piperdes eaux de complexe terminale de la région de Touggourt.	32
<b>Fig10.</b> Diagramme de Schoeller-Berkaloffdes eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt.	33
<b>Fig11.</b> Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) en (mg/l).	35
<b>Fig12.</b> Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) de continental intercalaire.	36
<b>Fig13.</b> Diagramme de Pippet des eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt.	37
<b>Fig14.</b> Diagramme de Schoeller-Berkaloffdes eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt.	38
<b>Fig15.</b> La distribution géo-spatial de la conductivité dans la région de Touggourt.	39
<b>Fig16.</b> La distribution géo-spatial du pH dans la région de Touggourt.	39
<b>Fig17.</b> La distribution géo-spatial du TDS dans la région de Touggourt.	40
<b>Fig 18.</b> la distribution géo-spatial du TH (mg/l de $\text{CaCO}_3$ ) dans la région de Touggourt.	40
<b>Fig 19.</b> La répartition des Concentrations en fluor.	45
<b>Fig 20.</b> Répartition spatiale des ions fluorures.	45

## Liste des tableaux

Le tableau	Page
<b>Tableau 01.</b> Salinité des différents océans et mers.	12
<b>Tableau 02.</b> Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).	16
<b>Tableau 03 .</b> Les effets néfastes des ions fluorure (Savary Patrick,2003)	19
<b>Tableau 04.</b> Hydrogéologie de la région d'étude.	22
<b>Tableau 05.</b> Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de complexe terminale.	29
<b>Tableau 06.</b> Statistiques élémentaires des différents paramètres physico -chimiques mesurées (mg/l) pour les eaux de continental intercalaire.	34
<b>Tableau 07.</b> Distribution des ions fluorures dans les eaux des forages Actuel de La région de Touggourt wilaya d'Ouargla.	44
<b>Tableau 08.</b> Les effets néfastes des ions fluorure	46

# **INTRODUCTION GENERALE**

### **Introduction générale**

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Touggourt est une commune du Nord-Est du Sahara algérien, chef-lieu de la nouvelle wilaya de Touggourt, depuis 2019. Elle est située à 160 km au nord-est de Ouargla et à 660 km au sud-est d'Alger. Capitale de l'Oued Righ, Touggourt est une cité historique dynamique, l'une des plus grandes villes du Sahara algérien.

La pollution de l'eau et risques pour la santé sont étroitement liés. Il faut donc être vigilant quant à la qualité de l'eau que l'on boit afin de préserver sa santé.

L'analyse d'eau donne des résultats utiles pour faire connaissance de conséquence après l'utilisation humaine.

Ce présent travail a pour objectif de faire la synthèse des données recueillies sur la région et de définir les aspects hydro-chimiques qui sont en mettant l'accent sur la vulnérabilité de la région.

Le présent mémoire est structuré en :

- La première partie est consacrée à l'identification naturelle de la zone d'étude, en définissant la région, et en présent les caractéristiques géologiques et pédologiques.
- La deuxième partie parle sur des généralités sur l'eau qui concerne sa composition ses propriétés ..etc.
- La troisième partie concerne l'étude hydro-chimique d'eau des nappes de la zone.

# CHAPITRE 01: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

**I.1. Introduction :**

Touggourt est une commune du Nord-Est du Sahara algérien, chef-lieu de la nouvelle wilaya de Touggourt, depuis 2019. Elle est située à 160 km au nord-est de Ouargla et à 660 km au sud-est d'Alger. Capitale de l'Oued Righ, Touggourt est une cité historique dynamique, l'une des plus grandes villes du Sahara algérien.

**I.2. Historique de découverte :**

L'auteur Abdelkader Nouha vient de publier aux éditions Mezouar son deuxième ouvrage intitulé Oued Righ fi machbak al-ahdath fi bilad El-Maghreb (Oued Righ au cœur des événements dans les pays du Maghreb).

Dans ce livre, l'auteur a évoqué les origines berbères des habitants de la région d'Oued Righ (Touggourt) qui s'étend au sud du village de Goug jusqu'au nord de la région de Mégheir.

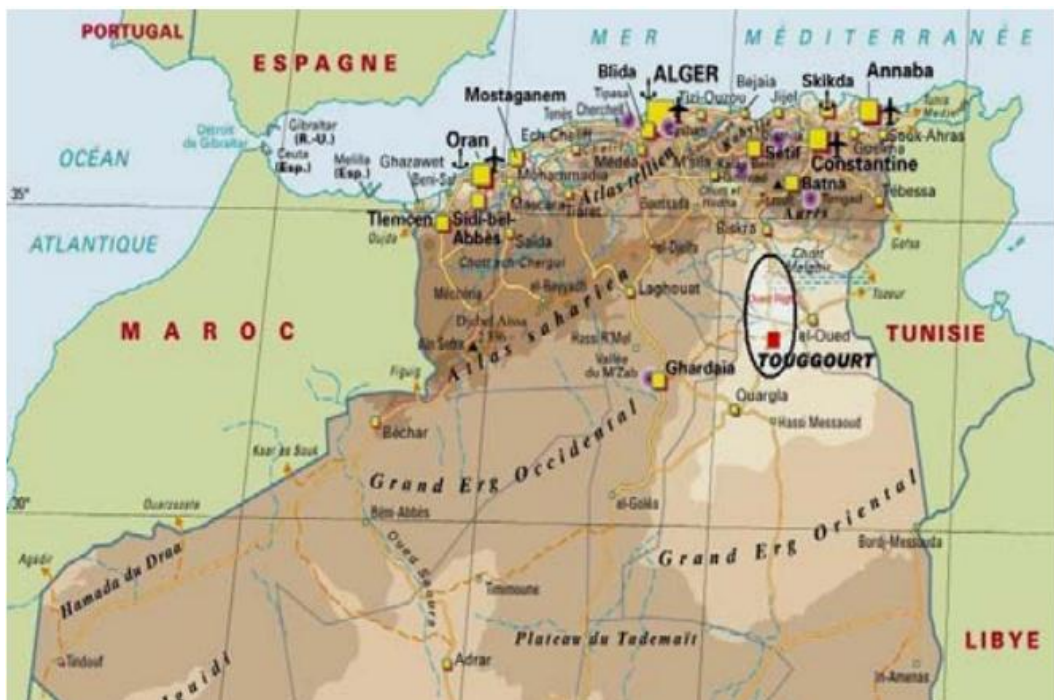
Selon Abdelkader Nouha, les habitants de cette région sont d'origine amazighe, et sont les descendants de la tribu des enfants de Canaan, fils de Cham, fils de Noé. À travers cet ouvrage, on découvre que ces habitants sont arrivés de la "péninsule Arabique" pour s'installer dans la région nord-africaine à cause des guerres entre les Philistins et les Israélites, pendant lesquelles les descendants de Canaan (amazighs) et les Gergéséens soutenaient les Philistins contre les enfants d'Israël.

D'après l'auteur, le sol et l'eau étaient les causes principales de ces guerres. Dans la deuxième partie de cet ouvrage, l'auteur revient sur les origines et les principaux événements historiques de la région d'Oued Righ, où il donne un aperçu et fait découvrir aux lecteurs les origines des noms des villages et bourgs que renferme la région d'Oued Righ. À propos du volet concernant la résistance populaire et la guerre de libération nationale, Nouha a estimé que les événements survenus dans la région d'Oued Righ avaient un lien direct avec ceux des pays du Maghreb particulièrement avec la région Est. Dans ce livre, l'auteur est notamment revenu sur les facteurs ayant joué dans la victoire de la guerre de libération, ainsi que la politique et les différentes stratégies adoptées par les révolutionnaires algériens pour faire face aux forces coloniales dotées de grands moyens humains et matériels.

### I.3. Situation géologique :

La région d'étude est limitée :

- Au Nord : par l'accident Sud Atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès.
- Au Sud : par la falaise méridionale de Tihert.
- A l'Est : par les affleurements Crétacé de Dahar Tunisie
- A l'Ouest : par la dorsale de M'zab.



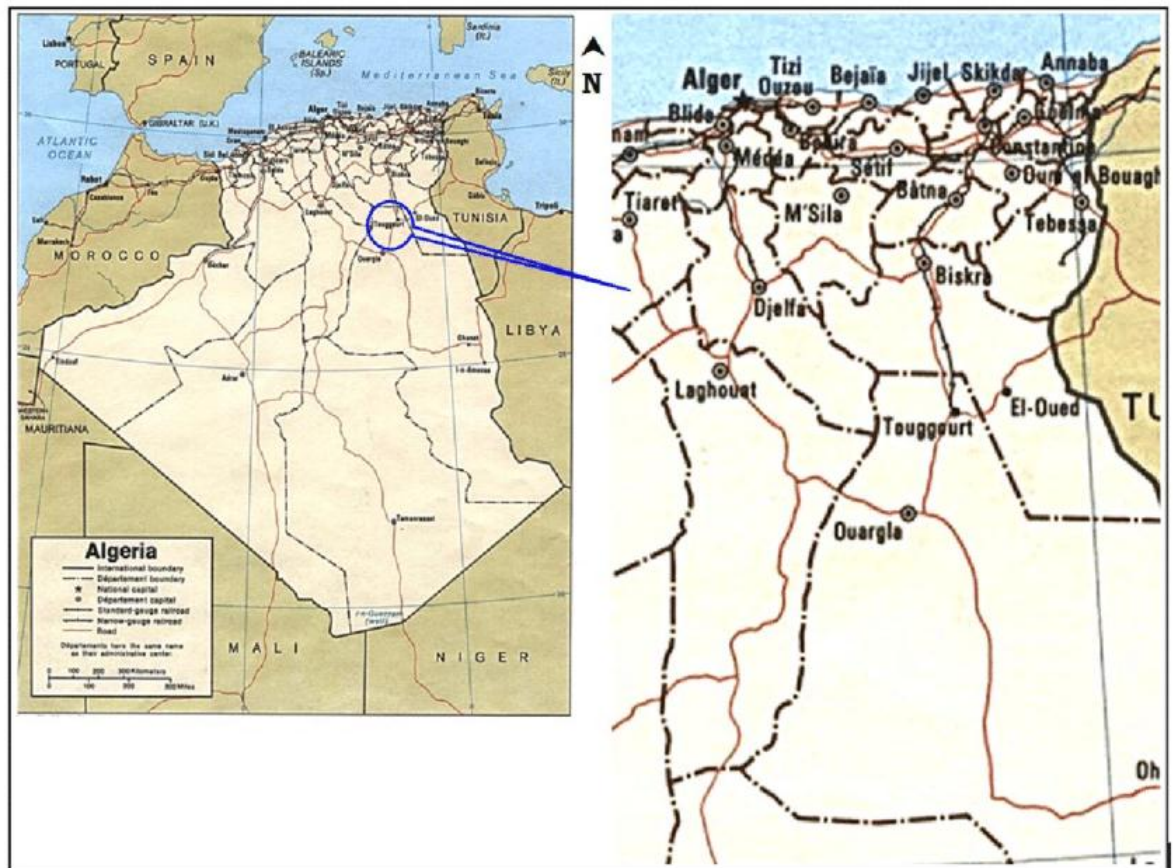
**Fig01.** Situation de Touggourt dans le Sahara algérien

### I.4. Situation géographique :

Touggourt la capitale historique de la région de l'Oued Righ comprise entre le grand Erg Oriental au sud - est et la zone de Chotts au nord.

La zone de Touggourt est située entre les latitudes Nord  $32^{\circ}54'$  et  $34^{\circ}9'$  Nord et les longitudes Est  $5^{\circ}30'$  et  $6^{\circ}20'$ . L'altitude moyenne est d'environ 70 m. La superficie totale de cette zone est de 18.74 km<sup>2</sup>.

Du point de vue administratif, la daïra de Touggourt appartient à la wilaya de Ouargla . Elle est située à 600 km au Sud –Est d'Alger dans le Sahara Nord Oriental. Elle est limitée : au nord par la daïra Djamaa; au sud et l'ouest par la daïra d'El Hadjira ; a l'est par la daïra de Taïbet).



**Fig02.** Situation géographique de la région de Touggourt

### **I.5. Géomorphologie et Topographie :**

La région a une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions. Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. La région de Touggour est topographiquement plus ou moins aplatée (plaine). Le point le plus élevé 105m est situé à Touggourt et -20m à Ourir pour le point le plus bas, l'altitude moyenne est de 46m, et la pente est 1‰.

### **I.6. Climat et Végétation :**

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité où la pluviométrie est aléatoire de l'ordre de 60 mm, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation. La température est très élevée en été avec une humidité faible.



## **I.7. Cadre stratigraphique de la région :**

### **I.7.1. Mésozoïque :**

1. Le Crétacé: Cette époque géologique est intéressante pour deux raisons :La première, le Crétacé affleure sur les bords du Bas Sahara (Karpoff, 1952) et repose sur le socle primaire composé des roches variées : schistes, grès et calcaire. La deuxième, l'étendue des affleurements crétacés est très importante en Algérie Orientale. Ce Crétacé correspond à une série en grande partie continentale formée d'une alternance de couches gréseuses et argileuses.

2. Néocomien: Cet étage se subdivise en deux séries :-La série inférieure : à prédominance argileuse, est représentée par des argiles grises et vertes, plus au moins pélitique .dans ces argiles, sont intercalées des dolomies microcristallines et cristallines.

-La série supérieure : comprend deux ensembles :

-L'ensemble supérieur, constitue des dolomies et des calcaires microcristallins avec des intercalations d'argiles, de pélites et de marnes blanches et grises.

-L'ensemble inférieur, surtout anhydritique avec intercalations d'argiles plus au moins anhydritique, grises, vertes et rouges. Ces argiles passent à des marnes avec lits dolomitiques. L'épaisseur du Néocomien est de 350 m.

3. Le Barrémien: Son épaisseur varie entre 150-200 m. le Barrémien est constitué des grès fins à moyen à ciment argileux ,avec des passes de dragées de quartz blanc laiteux avec des intercalations de sables et de grès arkosique plus au moins grossiers. Cette épaisse série détritique poreuse du Barrémien constitue un important aquifère de Complexe Intercalaire.

4. L'Aptien: L'Aptien est constitué de dolomies microcristallines à cristallines, parfois blanches, crayeuses et tendres, contenant des débris de mollusque et entrecoupé de marnes grises dolomitiques. L'Aptien présente les caractéristiques d'un terrain semi-perméable, son épaisseur varie de 28 à 31 m.

5. L'Albien: Il est essentiellement constitué de grès friables à ciment argileux et d'argiles sableuses. Les grès et les sables sont fins à très fins passant parfois à des pélites, les argiles souvent Chapitre II Etude Géologique 14pélitiques sont de couleur grise ou verdâtre. Cette formation albienne présente les caractéristiques suivantes :Épaisseur croissant d'Est en Ouest, Teneurs élevées en éléments clastiques, l'Albien se présente comme une série très épaisse (200-300 m).

6. Le Vraconien: Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement de passées de grès à ciment calcaire. Le Vraconien est imperméable. Son épaisseur est de 110 m environ.

7. Le Cénomaniens: Le Cénomaniens est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites et même de sel son épaisseur est de l'ordre de 200-250 m (formations imperméables).

8. Le Turonien: Au Turonien le régime marin persiste dans le Bas Sahara, et la mer présente le maximum d'extension. Dans l'ensemble, le Turonien est calcaire et dolomitique, marneux à la base, et dolomitique, ou calcaire au sommet. Son épaisseur est de l'ordre de 90-100 m.

9. Le Sénonien: Dans tout le Bas Sahara, le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique : Le Sénonien lagunaire, à la base. Le Sénonien carbonaté, au sommet.

-Le Sénonien lagunaire : La limite inférieure, du Sénonien lagunaire est généralement nette. En effet les évaporites et argiles sénoniennes sont aisément différenciables des calcaires et dolomies de Turonien. Le passage est beaucoup moins net entre Sénonien lagunaire et Sénonien carbonaté, Du point de vue lithologique le Sénonien lagunaire est constitué par une alternance de bancs d'anhydrites, de dolomies, d'argiles et de sels. Le Sénonien lagunaire est imperméable.

-Le Sénonien carbonaté : Le Sénonien supérieur est carbonaté. Il est essentiellement constitué de dolomies et de calcaires micro-fissurés avec des intercalations de marnes, d'argiles et plus rarement d'anhydrites. La limite supérieure de ce niveau est moins nette, en effet, il y a pratiquement continuité lithologique entre le Sénonien et l'Eocène carbonaté. Les deux niveaux sont formés de calcaires de même nature, seule la présence de nummulites permet d'identifier l'Eocène. Le système carbonaté est essentiellement formé de dolomies et de calcaires dolomitiques, avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrites L'ensemble ayant une puissance de 800-900m

### **I.7.2. Cénozoïque :**

1. L'Eocène : Comme pour le Sénonien, on distingue dans l'Eocène deux ensembles lithologiques :

-L'Eocène carbonaté à la base.

-L'Eocène évaporitique au dessus.

-L'Eocène inférieur (carbonaté) : Il est composé de bancs de dolomies, de calcaire dolomitique, de calcaire à Nummulites et à rognons de silex. Il garde le même

caractère lithologique, dans la vallée de l'Oued Righ, il a 100 m d'épaisseur à Sidi Slimane. Avant la fin de l'Eocène carbonaté, la mer quitte définitivement le Sahara qui ne connaîtra plus qu'un régime continental, puis désertique et ce jusqu'à nos jours.

-L'Eocène moyen (évaporitique) : Au dessus de l'Eocène carbonaté, on rencontre une formation constituée par une alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites. Elle renferme une faune d'âge éocène à Nummulites et Globigérines. C'est cette formation que l'on désigne dans le Bas Sahara sous le nom d'Eocène évaporitique. Elle existe dans la vallée de l'Oued Righ, son épaisseur est de l'ordre de 100 m.

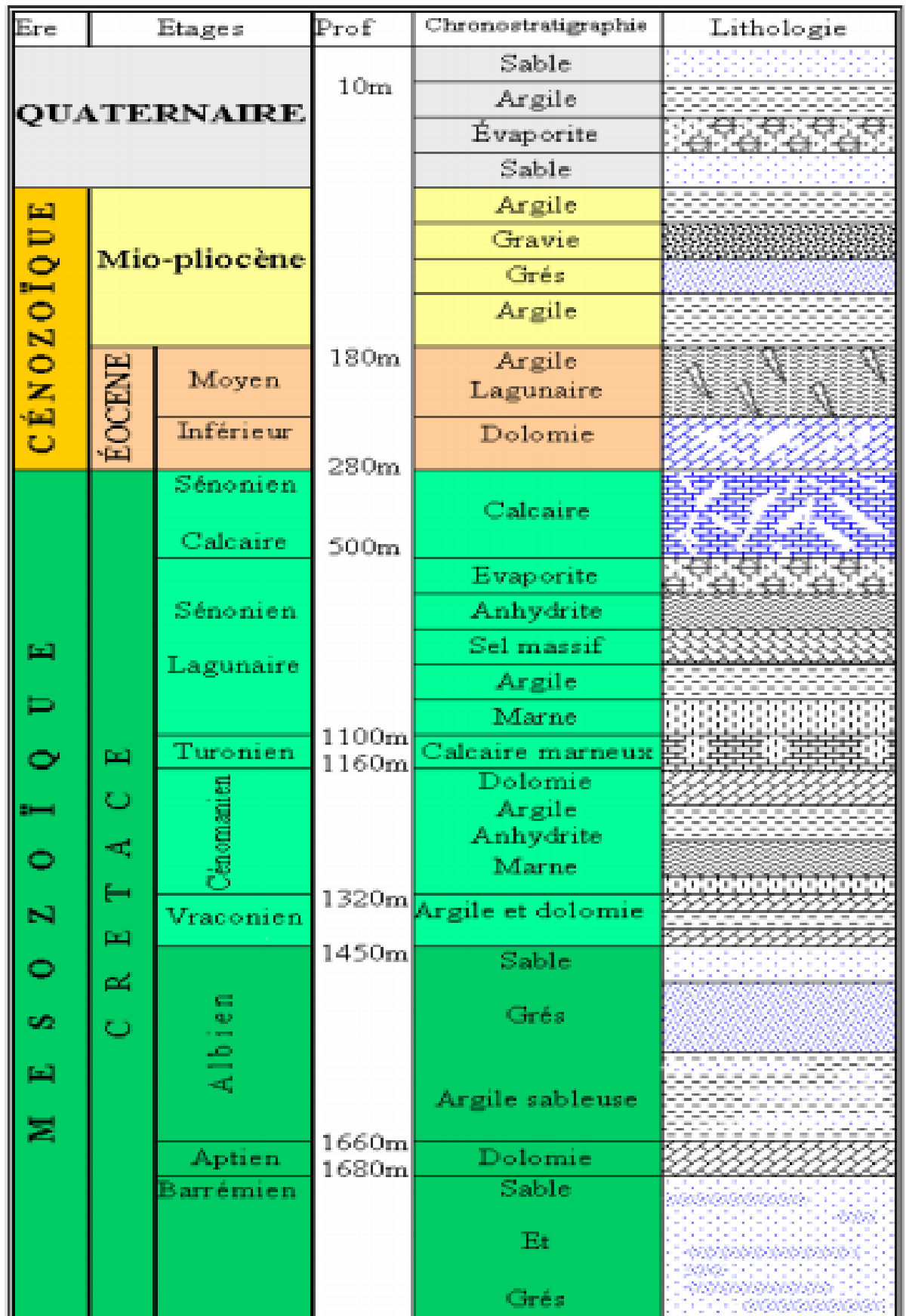


Fig03. Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt.

# CHAPITRE 02: GENERALITE SUR L'EAU

**Introduction:**

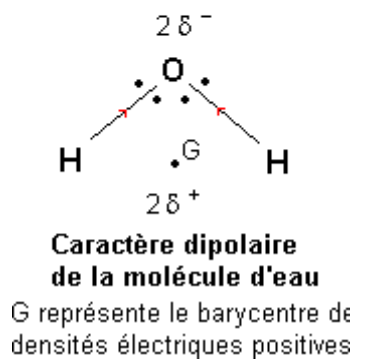
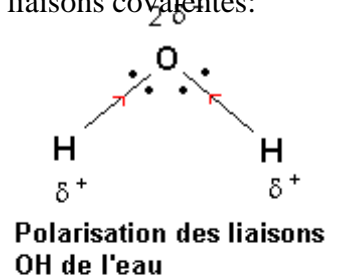
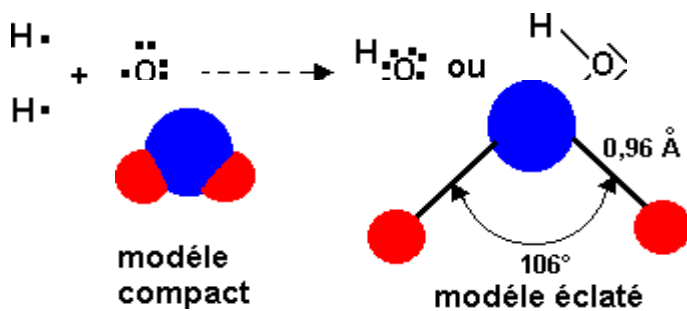
Le but de ce chapitre est de décrire les propriétés physico-chimiques de l'eau et les principes qui contrôlent le comportement des constituants dissous dans les eaux souterraines.

**II.1. Définition de l'eau :**

L'eau est un composé chimique qui constitue de l'hydrogène et de l'oxygène avec la formule de  $H_2O$ . La raison principale pour les propriétés inhabituelles de l'eau peut être discernée de la structure des molécules de  $H_2O$ . Les deux liaisons entre l'oxygène et les atomes d'hydrogène à partir d'un angle de  $106^\circ$ . Par conséquent, les deux hydrogènes sont sur la même cote de la molécule et le cote une charge positive nette par rapport à l'autre cote, ce qui donne une caractéristique polaire de la molécule.

- **La Structure de la molécule de l'eau:**

La liaison  $O-H$  dans la molécule d'eau  $H_2O$ . L'atome d'oxygène ( $Z=8$ ) possède six électrons de valence dont deux célibataires. Pour former la molécule d'eau, l'atome d'oxygène se lie à deux atomes d'hydrogène établissant ainsi deux liaisons covalentes:



**Fig04.** La molécule d'eau.

## **II.2. Origine et différents types d'eau :**

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition ,nous pouvons envisager selon le mode de gisement, deux sources principales d'eau :

- les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers.
- les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, les quelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous pouvons distinguer :

- les eaux naturelles :
  - Les eaux potables.
  - Les eaux douces.
  - Les eaux dures.
  - Les eaux plates.
  - Les eaux de marais.
  - Les eaux saumâtres.
  - Les eaux sales.

### **II.2.1. Eaux naturelles :**

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines(infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrage) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer.

#### **a)Eaux souterraines :**

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante. Comme elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquence la dureté est souvent élevé, et les eaux souterraines peuvent être en contacte avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents

comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée.

**b) Eaux de surfaces :**

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone.

**c) Eaux potables :**

La notion de potabilité est liée directement à l'alimentation humaine. Une eau naturelle est dite potable si elle présente les qualités suivantes :

- Fraîcheur et limpidité ;
- Absence d'odeur et de couleur ;
- Goût agréable ;
- Suffisamment douce, aérée ;
- Minéralisation raisonnable ;
- Absence de matières organiques et de germes pathogènes.

**d) Eaux douces :**

On parle d'eau douce par opposition aux eaux salées et aux eaux dures

**e) Les eaux plates :**

Ce sont des eaux caractérisées par un manque total de saveur, pourvu en oxygène, sans fraîcheur naturelle.

**f) Eaux dures :**

Une eau dure incruste à froid ou à chaud les récipients qui la contiennent. La dureté est engendrée par la présence des ions calcium ; magnésium, et un à degré moindre le fer et l'aluminium.

**g) Eaux de marais :**



Les eaux de « marais » ou « tourbier » sont des eaux douces caractérisées par une faible valeur de pH, due à la présence d'acides organiques et qui les rend très corrosives. On les appelle parfois « eaux rouges » en raison de la présence des particules à base d'oxyde de fer en suspension.

#### h) Eaux de mers et eaux saumâtres :

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part.

Elle est donc très variable comme l'illustre **le tableau 01**.

Origine	Salinité (g.L <sup>-1</sup> )
Mer Baltique	17
Mer Noir	22 à 25
Océans Atlantique et Pacifique	32 à 38
Mer Méditerranée	37 à 40
Mer Rouge-Golfe Arabique	40 à 47
Mer Morte	270

**Tableau 01.** Salinité des différents océans et mers.

Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/l alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Dans les estuaires maritimes, la conjonction des courants d'eau douce avec l'eau de mer donne naissance à des poches d'eau saumâtre.

### **II.3. Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :**

Les qualités admises d'une eau d'alimentation impliquent la garantie de son innocuité vis-à-vis de l'homme qui est appelé à la consommer.

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre, à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur.

Toutefois, ses qualités ne peuvent pas se définir dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson.

#### **II.3.1. Propriétés organoleptiques :**

##### **a) La Couleur :**

Dans l'idéal, l'eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité. Dans un échantillon d'eau, l'intensité relative d'une couleur est analysée à l'aide d'une échelle arbitraire composée d'unités de couleur vraie (ucv).

##### **b) Goût et Odeur :**

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréables. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

##### **c) Turbidité :**

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière

qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau.

#### **II.4.2. Caractères physico-chimiques :**

##### **c) Les caractéristiques physiques:**

###### **1) La Température :**

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15 C° ; entre 20 et 25 C°, elle désaltère mal. A titre indicatif, les anciennes du Conseil des communautés européennes fixaient à 12 C°. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la Santé de l'homme.

###### **2) Le pH :**

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 une eau dite acide et à un *pH* supérieur à 7, elle est dite basique.

Il est rare que le pH soit une contre-indication à la potabilité. C'est cependant l'un des paramètres parmi les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement.

###### **3) La Conductivité :**

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau l'évaluation. Le tableau ci-dessous donne quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.

Les directives du Conseil des communautés européennes relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guide de 2500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à 20 C°. La réglementation française est plus contraignante puisque la référence de qualité est comprise entre 180 et 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à 20 C°.

Une conductivité de l'eau supérieure à 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées.

#### 4) Les Matières en suspension (MES):

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc..) ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.

Des teneurs plus élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, compromettre le développement ichthyologique en créant des déséquilibres entre les diverses espèces.

Les anciennes directives du Conseil des communautés européennes préconisaient que les matières en suspension soient absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine. Ces directives, comme la réglementation française, prévoient aujourd'hui des contrôles et des limites sur le paramètre turbidité.

#### 5) La Turbidité:

La turbidité est liée à la présence de particules organiques diverses, d'argile, de colloïdes de plancton, etc. elle peut être favorisée par la pluviométrie.

Dans les eaux profondes, la turbidité empêche la propagation de la lumière dont la diminution d'intensité a pour conséquence de limiter et même d'éliminer la végétation. La plupart des eaux superficielles ont une turbidité importante et leur consommation directe est impossible. Il faut les clarifier, soit par décantation, soit par addition d'un coagulant, soit par filtration, soit encore par une combinaison de ces différents procédés. Il semblerait qu'une turbidité supérieure à 5NTU limiterait la destruction des coliformes même si du chlore résiduel libre est conservé pendant une heure.

Les normes concernant la turbidité de l'eau potable sont assez différentes et variables.

L'OMS recommande comme valeur limite 5 unités NTU (Néphélobimétrie Turbidité Unit) et précise que dans le cas où l'on pratique la désinfection, il conviendrait que la turbidité soit inférieure à 1 NTU.

#### 6) L'Oxygène dissous :

La teneur de l'Oxygène dans l'eau est fonction de l'Origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation ; par contre, les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre.

L'OMS recommande que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi presque

possible de la saturation. Aucune valeur guide fondée sur des critères de santé n'est proposée.

#### d) Les caractéristiques chimiques:

##### 1) La Dureté totale ou Titre hydrométrique (TH):

La dureté de l'eau est due à la présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  (dans certains cas aussi  $\text{Fe}^{2+}$ ), qui existent dans la solution sous forme avec sels solubles. Selon la nature des sels que les ions alcalino-terreux peuvent former avec des ions négatifs présents dans l'eau, on distingue la dureté temporaire et la dureté permanente.

Plage de valeurs du titre hydrométrique.

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+40
Eau	Très douce	Eaux douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

**Tableau 02 :** Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS ne recommande pas de valeur mais indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation de dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion. Les directives du Conseil des communautés européenne et la réglementation française en indiquent pas de valeurs pour les eaux livrées à la consommation humaine.

##### 2) L'Alcalinité (TA – TAC) :

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.

Les valeurs relatives du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) permettent de connaître les quantités d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalinoterreux présents dans l'eau.

- Le **TA** permet de mesurer la teneur totale en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates, lorsque ces teneurs sont mesurées en  $\text{m}^{\text{eq}}/\text{l}$  ou  $^{\circ}\text{F}$ , ce qui est traduit par la formulation:

$$T = (\text{OH}^-) + \frac{1}{2}(\text{CO}_3^{2-})_3 \quad \text{m}^{\text{eq}}/\text{l} \text{ ou } ^{\circ}\text{F}$$

- Le TAC permet de mesurer les teneurs totales en hydroxydes, en carbonates et en Hydrogénocarbonates, en  $\text{m}^{\text{éq}}/\text{l}$  ou  $^{\circ}\text{F}$ , soit:

$$\text{TA} = (\text{OH}^-) + (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-) \quad \text{m}^{\text{éq}}/\text{l} \text{ ou } ^{\circ}\text{F}$$

### 3) Le Chlorure:

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 250 mg/l, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1000 mg/l.

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250  $\text{mg}/\text{L}$ , surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.

L'OMS recommande pour la teneur en chlorure dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250  $\text{mg}/\text{L}$  pour des considérations gustatives et des risques de corrosion. La réglementation française a intégré ce paramètre dans les références de qualité avec comme valeur 250 mg/l.

### 4) Les Sulfate:

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé.

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/l. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française retiennent cette dernière valeur de 250 mg/l ( $\text{SO}_4$ ). L'organisme est susceptible de supporter des doses plus élevées, inconvénient majeur autre qu'une action laxative temporaire.

### 5) Les Nitrates:

La pollution des eaux par les nitrates présente un **double risque**. Ingré en trop grande quantité, les nitrates ont des **effets toxiques sur la santé humaine**. Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à **modifier l'équilibre biologique des milieux aquatiques** en provoquant des phénomènes d'eutrophisation.

Au-delà d'un certain seuil de concentration les nitrates présentent donc un risque

pour la santé. Ils ne sont pas toxiques en soit, mais leur conversion en nitrites, par certaines bactéries présente dans l'organisme, est très nocive. En effet ceux-ci réagissent avec l'hémoglobine pour former de la méthémoglobine, qui affecte la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme, surtout chez les nourrissons qui représente une population à risque. Mais même à faible concentration, ils peuvent également engendrer à long terme des cancers chez les adultes lorsqu'ils sont associés à certains pesticides avec les quel s'ils forment des composés cancérigènes.

Il existe quatre classes distinctes en fonction de la concentration en nitrates retrouvée dans l'eau :

- Eau de qualité optimale pour être consommée (< 25 mg/l).
- Eau de qualité acceptable (de 25 à 50 mg/l).
- Eau non potable nécessitant un traitement (de 50 à 100 mg/l).
- Eau inapte à la production d'eau potable (> 100 mg/l).

#### **6) Les Nitrites:**

En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux et dans les zones où l'autoépuration est active ; les teneurs se maintiennent à des niveaux très faibles (de l'ordre de 0,01 mg/L). En dessous d'un centième de mg/L, les eaux peuvent être considérées comme pures ou se trouvant sous l'action d'une autoépuration active, en présence de quelques dixièmes de mg/L la pollution est sensible, celle-ci devient significative au-delà de 1 mg/L.

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique.

### **II.3.3. La fluoration de l'eau :**

C'est l'ajustement contrôlé de fluor sous forme d'ions fluorure ( $F^-$ ) dans le système de distribution d'eau potable afin de réduire les cas de carie dentaire. Cette eau contient du fluor à un niveau qui est efficace pour prévenir les caries ; cela peut se produire naturellement ou en l'ajoutant<sup>2</sup>. Elle agit sur la surface des dents : dans la bouche en créant

de faibles niveaux dans la salive, ce qui réduit la vitesse à laquelle l'émail des dents se déminéralise et augmente la vitesse à laquelle il se reminéralise dans les premiers stades de la carie.

Sa présence en excès dans les eaux de boisson est à l'origine d'intoxications graves. Comme tout oligo-élément, le fluor est nécessaire et bénéfique pour l'organisme humain à de faibles concentrations, mais toxique à plus fortes doses. En effet, à partir de 0,5 mg/L en ions fluorure, une eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/L, le risque de fluorose débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/L. La norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/L pour des températures de 12 à 25 °C.

Dose (mg/L)	Les effets
< 0,5	Déficiência en fluor pour prévenir les caries dentaires
0,5 ÷ 1,5	Le dosage optimal pour prévenir les caries
1,5 ÷ 4	Risque d'empoisonnement sur le port dentaire
> 4	Risque d'intoxication osseuse (douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations)

**Tableau 03** : Les effets néfastes des ions fluorure (Savary Patrick, 2003)

### Conclusion :

L'eau est essentielle à la vie: il s'agit d'une ressource vitale pour l'humanité et le reste du monde vivant. Tout le monde en a besoin, et pas uniquement pour boire. Nos rivières, lacs, eaux côtières et marines, ainsi que nos eaux souterraines, sont de précieuses ressources que nous devons protéger. L'eau est au cœur des écosystèmes naturels et de la régulation climatique.

Le cycle hydrologique est le nom donné au mouvement continu de l'eau en dessous, au-dessus et à la surface de la Terre, qui, sans début ni fin, traverse les états liquide, gazeux



et solide. Bien que la quantité d'eau sur Terre reste tout à fait constante au fil du temps, la structure de l'offre et de la demande est particulièrement vulnérable aux changements climatiques. La pollution et la rareté de l'eau menacent la santé et la qualité de vie de l'homme. Or, des préoccupations écologiques plus larges entrent également en ligne de compte. Le libre écoulement des eaux, inaltéré par la pollution, est important pour soutenir les écosystèmes dépendant de l'eau. Une pénurie d'eau de qualité nuit aux environnements aquatiques, terrestres et à ceux des zones humides en exerçant une pression supplémentaire sur la faune et la flore, qui subissent déjà les conséquences de l'urbanisation et du changement climatique.



# CHAPITRE 03: L'ETUDE HYDRO-CHIMIQUE

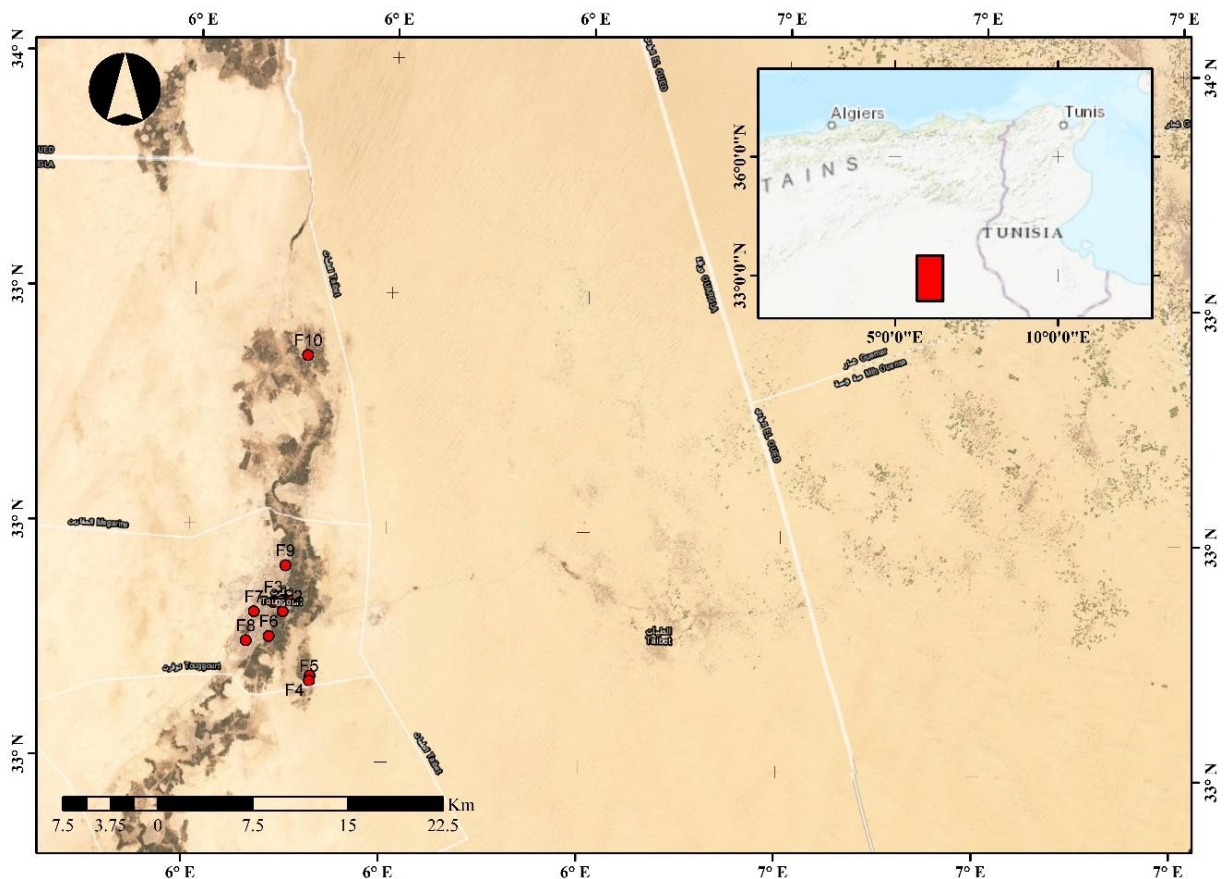
### Introduction :

Le présent chapitre a eu pour but de décrire les différentes méthodes d'analyses ainsi que les logiciels utilisées pour la détermination des relations relatives aux paramètres physico-chimiques. Ces programmes informatiques (logiciels) vont être employés pour une exploitation des résultats sous différentes formes (graphique, cartographique, statistique et géochimique) et en tirer des renseignements particuliers.

### III. Méthodes et matériels :

#### III.1. Choix du site de prélèvement :

Pour mettre en évidence la qualité physico-chimique ainsi que les paramètres de pollution des eaux de la région de Touggourt. Le choix a été fait de telle sorte à couvrir les différents lieux forés, Elle est suivie des prélèvements pour analyse.



**Fig05.** Répartition des échantillons d'eaux souterraines prélevés dans la zone urbaine de Touggourt

**III.1.1. Les caractéristiques des forages existants :**

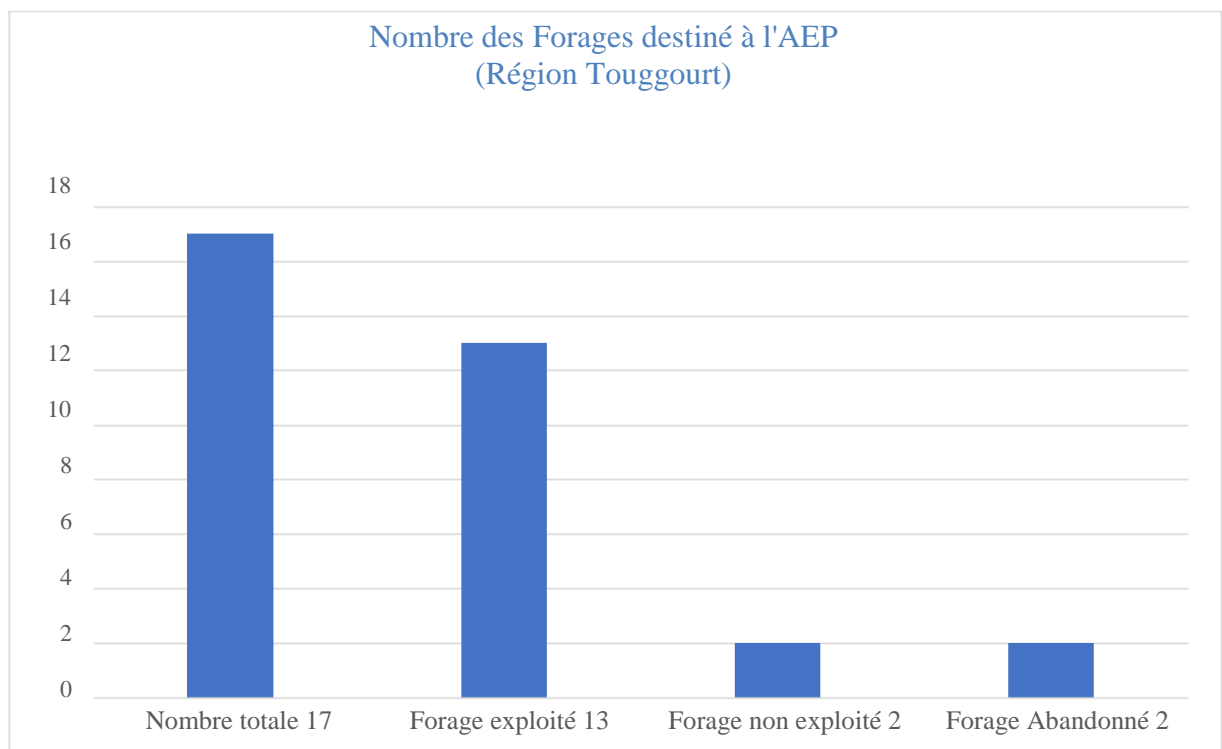
La région représente un réservoir d'eau important, car elle repose sur 4 nappes aquifères qui sont détaillés dans le tableau ci-après (ANRH) :

**Tableau 04.** Hydrogéologie de la région d'étude

Nappes	Profondeur (m)	Salinité (g/l)
Phréatique	1 et 8	Grande salinité
Mio-pliocène	60 à 200	1,8 et 4,6
Sénonien- Eocin	400	1,7 et 4
Albien caractérisée par une température élevée (50 à 60°C)	1600 à 1800	1,7 à 2

La qualité chimique des eaux souterraines du Sahara septentrional est du type sulfato - chloruré et fortement minéralisée (Unesco, 1972 ; Megdoud, 2003).

Dans le Sud algérien, l'alimentation en eau potable est assurée exclusivement par des eaux souterraines provenant des nappes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire (nappe albienne). Les échantillons d'eaux analysées sont prélevés des forages de différentes nappes exploitées (mio pliocène, sénonien et albien). La figure suivante montre les forages existants et destinés à l'alimentation en eau potable.

**Fig 06.** Nombre des forages (ADE).

## **III.2. Echantillonnage :**

### **III.2.1. Techniques d'échantillonnage :**

L'échantillonnage se définit comme une procédure dans laquelle une portion de substance, de matériau ou de produit est prélevée pour fournir un échantillon représentatif de l'ensemble pour les besoins de l'analyse.

Les prélèvements ont été effectués selon une fréquence saisonnière, pendant deux campagnes où des analyses complètes ont été effectuées.

Les prélèvements des eaux des forages ont été effectués entre Mai 2015 et Janvier 2019 et concernent les eaux de continental intercalaire et de complexe terminale. Ces prélèvements sont manuels et sont réalisés en tête du forage.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en plastique de 1000 cm<sup>3</sup> de capacité. Avant le prélèvement proprement dit, le flacon est rincé soigneusement par l'eau de forage.

Pour les eaux de barrages, les échantillons d'eau sont recueillis dans des jerricans neuf et bien lavés. Les prélèvements se font à une profondeur de 20 cm de la surface de l'eau. Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

### **III.2.2. Transport et conservation au laboratoire :**

L'échantillon doit être recueilli dans des flacons hermétiques qui auront été soigneusement rincés sur place avec la solution de la prise, en prenant soin de ne pas laisser des bulles d'air sous le bouchon (**RODIER, 1996**).

Tous les échantillons doivent être conservés dans un environnement d'environ 4°C entre le moment du prélèvement et la réception au laboratoire (utiliser des glacières et des agents réfrigérants).

## **III.3. Moyens et méthodes d'analyses :**

### **III.3.1. Mesure in situ :**

Deux paramètres ont été mesurés in situ, la température et la conductivité électrique. La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines (**DEVILLERS et al ; 2005**).

La température de l'eau sera prise au niveau même du prélèvement de l'échantillon. Elle a été mesurée avec un thermomètre précis, gradué au 1/10 de degré.

Pour la détermination de la conductivité, il est utilisé un conductimètre (WTW LF 315) donnant directement la conductivité de l'échantillon, à la température adoptée (25°C) en ms/cm ou en  $\mu\text{s/cm}$ .

Elle est déterminée après rinçage plusieurs fois de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; faire la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de conductivité est donné directement en  $\mu\text{S/cm}$ .

### **III.3.2. Mesure au laboratoire :**

Les analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux ont été effectuées au sein du laboratoire central d'ADE de Ouargla. Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard (TARDAT-HENRY, 1984 ; REJESK, 2002 ; RODIER, 2005) et) ou les catalogues des appareillages utilisés.

#### **1. Le pH :**

Nous avons utilisé un pH mètre de laboratoire sur lequel nous avons branché une électrode combinée. La température peut être adaptée à celle de l'échantillon grâce à une gamme de réglage de température comprise entre 10° et 60° C.

#### **2. La dureté :**

Ce sont essentiellement les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dont les sels sont naturellement très solubles, responsables de la dureté. On dit qu'ils possèdent une grande mobilité dans l'environnement aquatique qualité qu'ils partagent avec les sels de Sodium et de Potassium. La dissolution du  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{Mg}^{2+}$  résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Cette dissolution est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique  $\text{CO}_2$ , provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol. (TARDAT-HENRY, 1984).

La dureté totale a été déterminée par complexométrie, en utilisant l'EDTA magnésien comme réactif et le noir Eriochrome comme indicateur coloré. Ce dosage représente la mesure de la dureté de l'eau (TH) en degré français, avec  $\text{TH (}^\circ\text{F)} = [\text{Ca}^{2+} (\text{m}^\circ\text{q.l}^{-1}) + \text{Mg}^{2+} (\text{m}^\circ\text{q.l}^{-1})] \times 5$ , et par conséquent :  $\text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$  (EDELIN, 1992)

### 3. Dosage de Calcium et Magnésium :

Le calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , par ajout d'un volume de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), avec une pincée d'un indicateur coloré (Muréxide), puis titrage avec une solution d'EDTA jusqu'au virage de la coloration vers le bleu.

La dureté magnésienne est la différence entre les deux valeurs déterminées de l'échantillon, dureté totale et dureté calcique, les résultats sont convertis en mg/l.

### 4. Titre alcalimétrique :

#### a) Définition :

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène ( $\text{H}^+$ ) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ).

Les normes ISO9963 définissent plusieurs types d'alcalinité :

- Alcalinité au virage du rouge de méthyle, elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4,5, pour déterminer les ions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  (TAC).
- Alcalinité au point de virage de la phénolphthaleïne, elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions  $\text{OH}^-$  et à la moitié des ions  $\text{CO}_3^{2-}$  (TA) (**REJSEK, 2002**).

#### b) Mesure :

La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique (N/50), en présence de phénolphthaleïne (0,5%) pour la détermination du TA, et du méthylorange (0,5%) pour la détermination du TAC (**RODIER, 2009**).

### 5. Les Chlorures :

La méthode utilisée est celle de Mohr. Les ions chlorure réagissent quantitativement avec le nitrate d'argent, avec formation de chlorure d'argent, sel très peu soluble. On utilise le chromate de potassium  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  comme indicateur.



Les chlorures  $\text{Cl}^-$ , selon la méthode de Mohr (**RODIER, 2009**), basée sur le titrage d'un volume d'eau avec une solution de nitrates d'argent  $\text{AgNO}_3$  concentrée en présence de l'indicateur Chromates de potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), jusqu'au virage de la coloration du jaune au rouge brique et le début du dépôt d'un précipité rouge.

## 6. Les Sulfates :

Les eaux naturelles contiennent toujours des sulfates, en proportions très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (comme par exemple les pyrites).

### a) Dosage des sulfates par Palintest :

Les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  sont dosés par colorimétrie en utilisant un photomètre (palintestphotometer 5000) réglé à une longueur d'onde de 520 nm et en utilisant un réactif spécifique.

### b) Dosage des sulfates par turbidimétrie :

Cette méthode est basée sur la réaction entre l'ion sulfate (de l'échantillon) et le chlorure de baryum (ajouté en poudre) qui conduit à la formation de sulfate de baryum ( $\text{BaSO}_4$ ), maintenu en suspension grâce à un agent stabilisant qui est la glycérine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 520 nm.

## 7. Sodium et Potassium

### a) Origine :

Le sodium est un élément constant dans l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères. Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (**RODIER, 2005**).

### b) Dosage du sodium et potassium :

Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie d'émission de flamme.

- 1) Le sodium est dosé par photométrie d'émission de flamme (PFP7 JENWAY LTD), avec filtres sélectifs Na, K....

On utilise une solution de NaCl comme solution étalon.

- 2) Le potassium est dosé par émission de flamme (PFP7 JENWAY LTD), dans ce cas la solution étalon est celle de KCl.

### **III.3.3. Dosage d'autres éléments minéraux :**

Le dosage de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_2$ , a été effectué grâce à un photomètre du type « MULTIPARAMETRE HI 83200 HANA INSTRUMENT ».

### **III.4. Logiciels :**

#### **III.4.1. Diagrammes :**

##### **1. Diagramme de Piper (Dupont et Jardani ., 2012) :**

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés 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).

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

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 intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

##### **2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff (Dupont et Jardani ., 2012) :**

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La

concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

#### **III.4.2. Logiciel Surfer 9 :**

C'est avec ce logiciel qu'on a pu réaliser les cartes d'emplacements des échantillons et celles de l'évolution des paramètres étudiés. Après avoir introduit les données en un fichier Excel, on choisit la méthode d'interpolation convenable. Après la sélection de la méthode, on obtient des cartes de courbes de niveau (courbes d'isovaleurs) liant les points ayant les mêmes valeurs.

**IV. Résultats et discussion :****IV.1. Etude de la variation des paramètres physico- chimiques mesurés :****a) Qualité des eaux de complexe terminal :****1. Évaluation de la potabilité des eaux :**

La qualité des eaux pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) ne satisfait pas les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les normes algériennes pour l'eau de boisson. Ainsi, les eaux de complexe terminal de Hassi Messaoud sont inacceptables

pour la consommation humaine.

Le Tableau 1 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé et les normes algériennes.

**Tableau 05.** Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de complexe terminale.

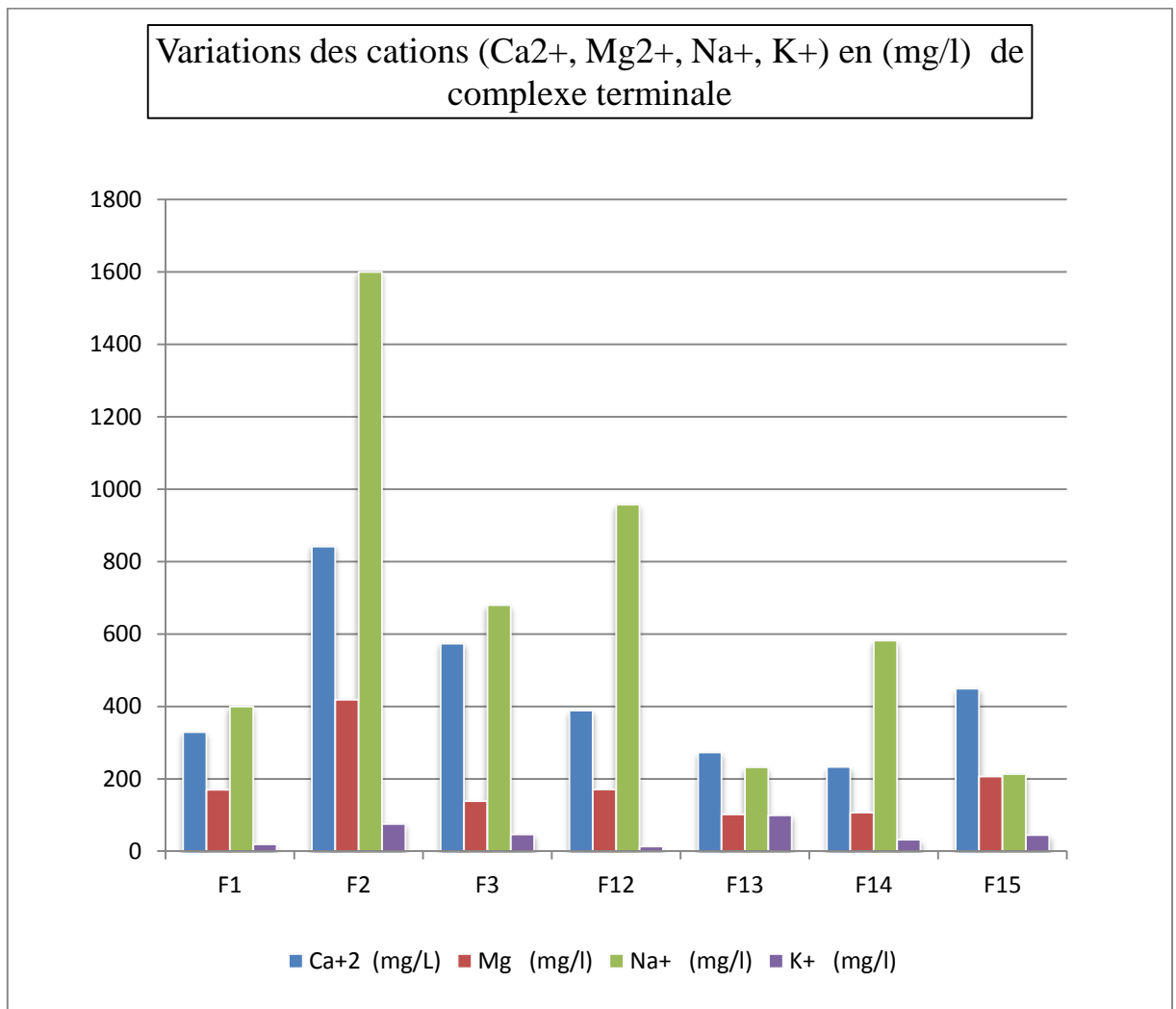
ID du Forage	PH	CE (µS/Cm)	TH (F°)	TAC (F°)	TDS (mg/L)	Ca+2 (mg/L)	Mg (mg/l)	Na+ (mg/l)	K+ (mg/l)	Cl- (mg/L)	SO4- (mg/l)	HCO3 (mg/L)
F1	6.92	4360	1520	116.36	2180	328.65	170.1	400	19	998.03	780	141.96
F2	7.05	15990	3820	258.33	7995	841.58	418.04	1600	75	4399	1475	315.16
F3	7.32	6500	1520	160	3250	573.14	138.51	680	46	1429	1080	195.2
F12	7.32	4460	1670	139.44	2330	388.7	170.37	957	13	856.94	1075	170.12
F13	7.58	2910	1100	109.43	1489	272.54	102.08	232	99	448.59	850	133.5
F14	7.34	2340	1020	464.28	1184	232.46	106.94	581.82	32.21	345.37	675	566.42
F15	7.45	5470	1970	99.17	2880	448.88	206.59	213	45	1155.67	1575	120.99
<b>Min.</b>	6.92	2340	1020	99.17	1184.00	232.46	102.08	213	13	345.37	675	120.99
<b>Max.</b>	7.58	15990	3820	464.28	7995.00	841.58	418.04	1600	99	4399	1575	566.42
<b>Moy.</b>	7.28	6004.29	1802.86	192.43	3044.00	440.85	187.52	666.26	47.03	1376.09	1072.86	234.76

## 2. Les éléments majeurs :

### a. Les cations :

Le sodium, le potassium, le magnésium, et le calcium, sont des paramètres utiles, en combinaison avec les anions pour la détermination de la minéralisation dans l'eau.

Nous avons tracé les histogrammes de la variation des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) pour toutes les nappes étudiées.



**Fig 07.** Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) en (mg/l) de complexe terminale.

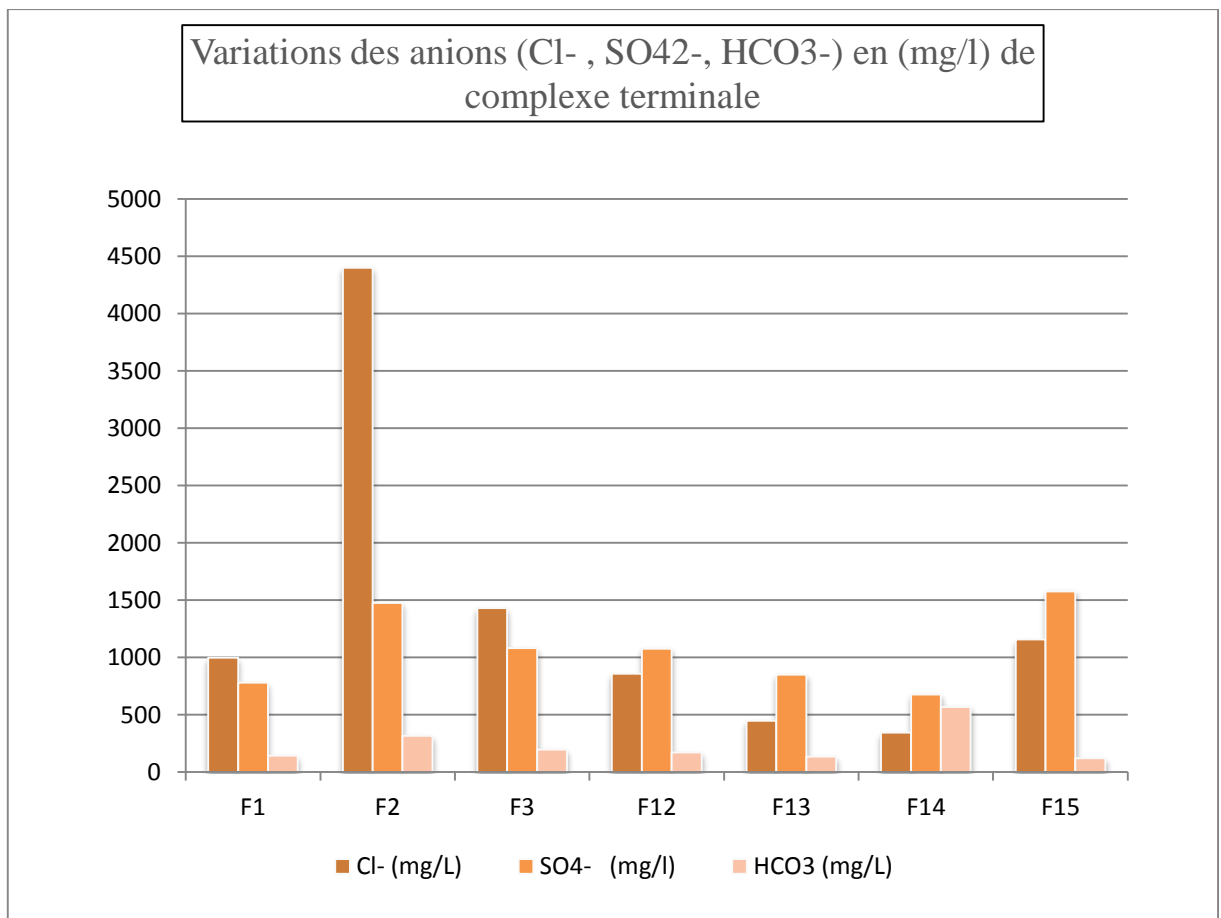
Les eaux de complexe terminale contiennent des teneurs en calcium globalement élevées dont tous les forages réalisés dépassent les normes. Les valeurs de magnésium obtenues sont faibles dans les forages (F3, F13, F14) et élevées dans les autres. Le sodium est trop élevé et dépasse 200 mg/l dans les forages (F1, F2, F3, F12, F14). Les valeurs de

potassium globalement sont très élevés dans la majorité des forages, conformes aux normes algériennes ainsi que les normes de l'OMS 2006.

**b. Les anions :**

Les sulfates, les chlorures, et les bicarbonates, sont aussi des paramètres utiles, en combinaison avec les cations, pour la détermination de la salinité dans l'eau.

Nous avons tracé les histogrammes de la variation des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) pour toutes les nappes étudiées.



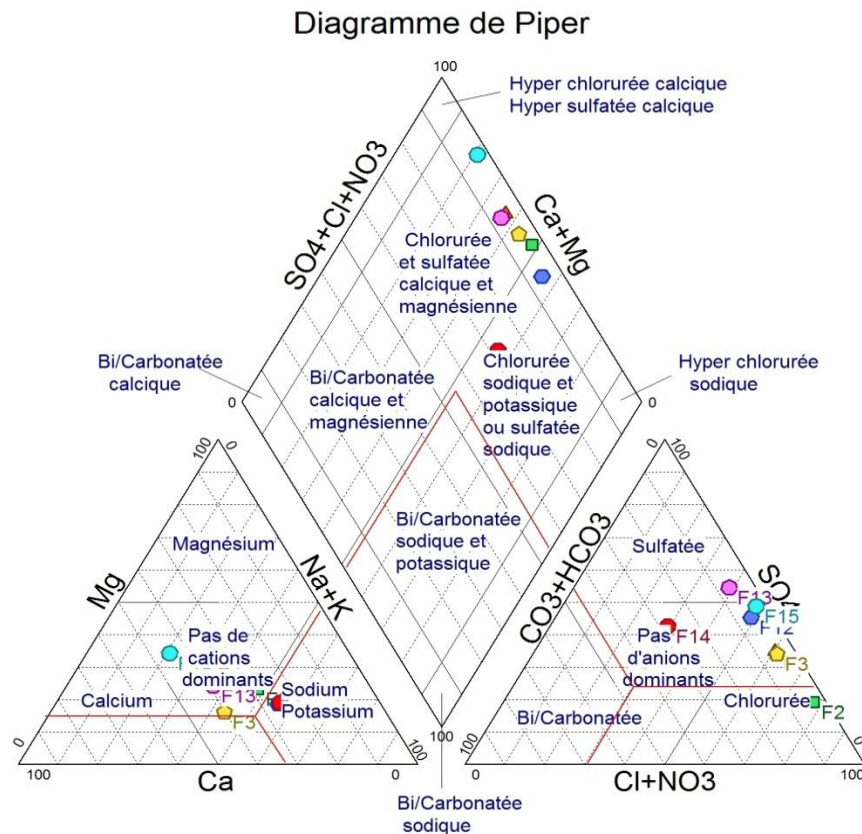
**Fig 08 :** Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) de complexe terminale.

Pour les anions on trouve que les chlorures ont des concentrations très élevées dans tous les forages qui dépassent les normes algériennes (JORA, 2011) soit (500 mg/l). Les sulfates sont très élevés dans tous les forages qui dépassent les normes algériennes (JORA, 2011) soit 400 mg/l.

### 3. Diagramme de PIPER :

Le report de résultats des analyses des eaux de l'aquifère de complexe terminal sur le diagramme triangulaire de Piper (Fig.10), met en évidence l'incidence du faciès lithologique sur la qualité des eaux. Les eaux de l'aquifère de complexe terminal sont dominées par les faciès évaporitiques, ayant comme origines la dissolution des évaporites (gypse et halite), le mélange avec les eaux de nappe profonde (CI), l'échange de base et les apports anthropiques (pollution). On distingue les faciès chimiques suivant:

- Le faciès chloruré sodique représente 70,6% de forages, ces échantillons présentant un rapport Na/Cl proche de 1 et un coefficient de corrélation ( $R^2=0,90$ ) indiquant une éventuelle dissolution de l'halite et sont caractérisées par une minéralisation élevée (2 à 4,7 g/l).
- Le faciès sulfaté sodique représente 23,5% de forages, ces échantillons résultent de la dissolution de gypse et de l'halite, elles sont caractérisées par une minéralisation moyenne (1,7 à 3,4 g/l).
- Le faciès sulfaté calcique représente 5,9 % de forages, ces échantillons présentant un rapport Ca/SO<sub>4</sub> proche de 1 et un coefficient de corrélation ( $R^2=0,7$ ) indiquant une éventuelle dissolution de gypse et elles sont caractérisées par une minéralisation faible (1,8 g/l).



**Fig09.** Diagramme de Piper des eaux de complexe terminal de la région de Touggourt.

**4. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF :**



**Fig10.** Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt.



**b) Qualité des eaux de la nappe continentale intercalaire :****1. Évaluation de la potabilité des eaux :**

La qualité des eaux pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) ne satisfait pas les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé et les normes algériennes pour l'eau de Boisson. Le tableau 2 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié.

**Tableau 06.** Statistiques élémentaires des différents paramètres physico -chimiques mesurées (mg/l) pour les eaux de continental intercalaire.

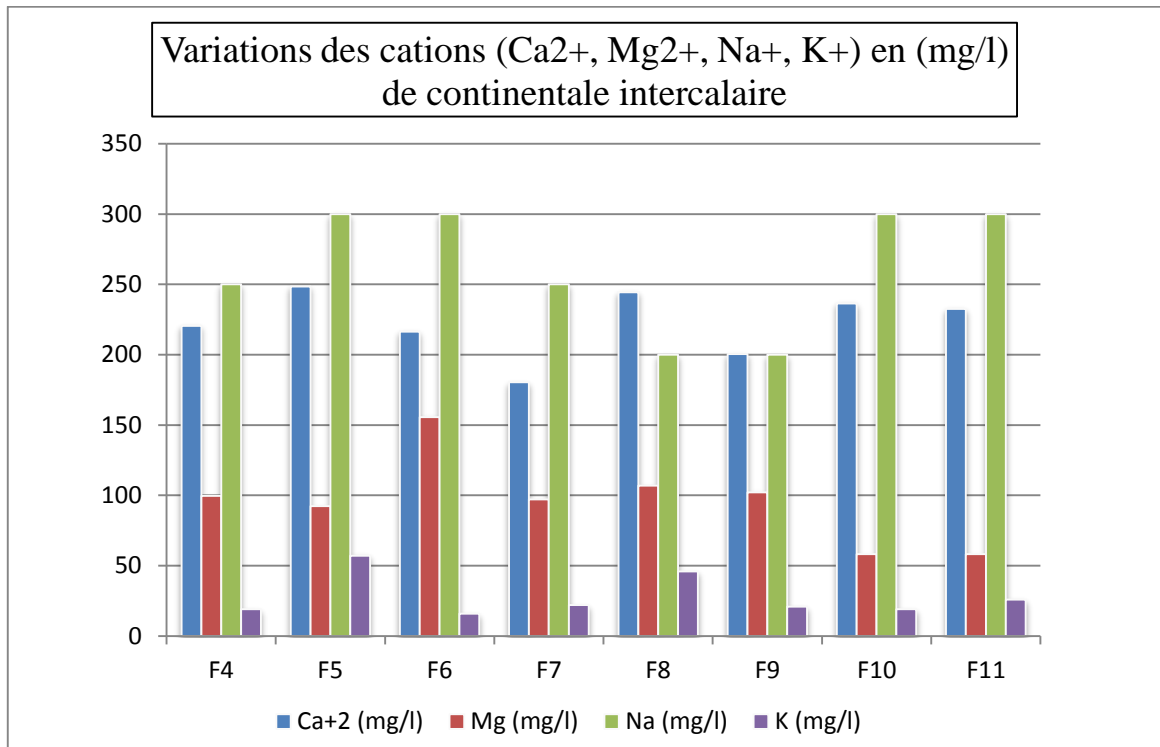
ID du Forage	pH	CE (µS/cm)	TH (F°)	TAC (F°)	TDS	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
F4	7.05	2960	960	116.36	1480	220.44	99.63	250	19	506.55	680	141.96
F5	7.12	4000	1000	155.78	2000	248.49	92.34	300	57	778.95	520	190.06
F6	7.06	3260	1180	103.33	1630	216.43	155.55	300	16	861.57	756	126.06
F7	7.1	2870	850	93.33	1435	180.36	97.22	250	22	536.87	480	113.36
F8	7.43	2830	1050	69.09	1415	244.48	106.92	200	46	573.78	480	84.29
F9	7.35	2790	920	121.90	1395	200.4	102.08	200	21	580.82	400	148.72
F10	6.74	2960	830	121.90	1480	236.47	58.3	300	19	599.86	520	148.72
F11	6.78	2970	820	148.57	1485	232.46	58.32	300	26	563.5	520	181.25
Min.	6.74	2830	820	69.09	1395	180.36	58.3	200	16	506.55	400	84.29
Max.	7.43	4000	1180	155.78	2000	248.49	155.55	300	57	861.57	756	190.06
Moy	7.08	3080	951.25	116.28	1540.00	222.44	96.30	262.5	28.25	625.24	544.50	141.80

## 2. Les éléments majeurs :

### a. Les cations :

Le sodium, le potassium, le magnésium, et le calcium, sont des paramètres utiles, en combinaison avec les anions pour la détermination de la minéralisation dans l'eau.

Nous avons tracé les histogrammes de la variation des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) pour toutes les nappes étudiées.



**Fig11.** Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) en (mg/l).

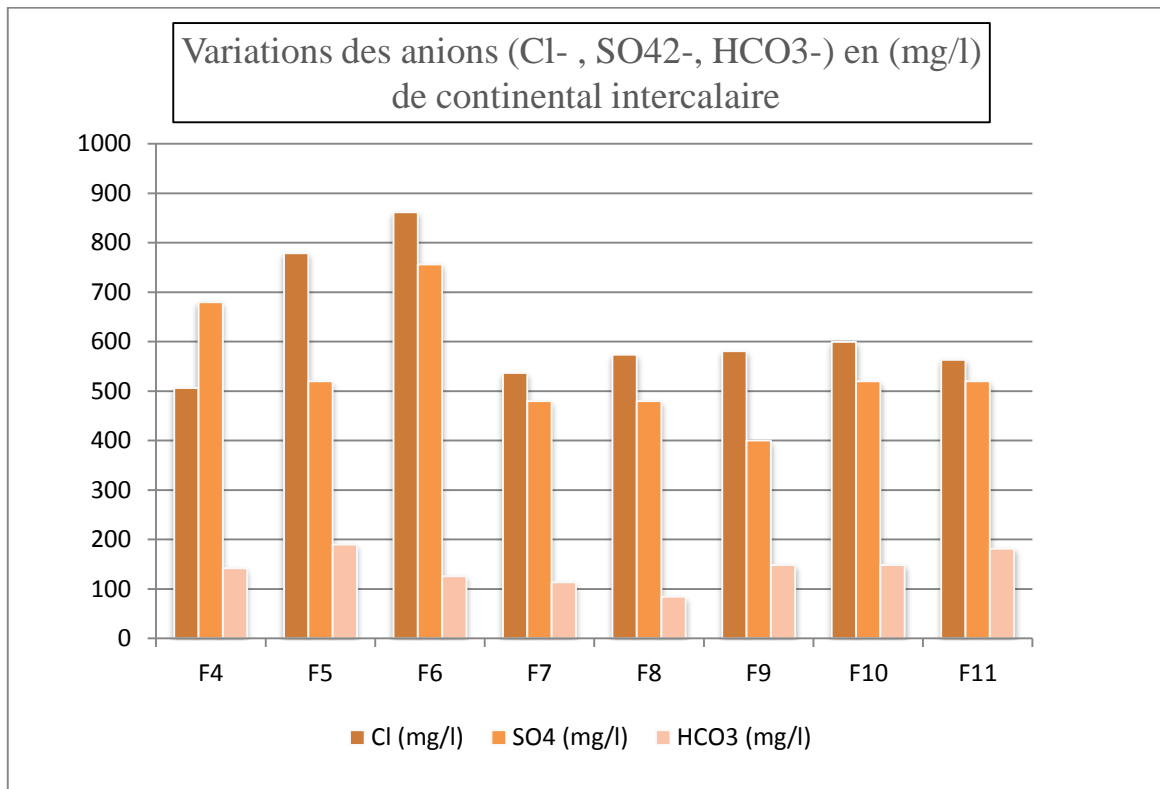
Pour les eaux de continental intercalaire (**Fig12**), les teneurs en calcium varient entre 180.36 mg/l et 248.49 mg/l. Elles sont globalement élevées dont la majorité des forages réalisés (F4, F5, F6, F8, F10, F11) dépasse les normes. Elles sont faibles dans le forage (F7), les valeurs sont conformes aux normes algériennes (**JORA, 2011**) inférieur à (200 mg/l).

Les valeurs de magnésium obtenues varient entre 58.3 mg/l et 155.55 mg/l. elles sont faibles dans tous les lieux forés sauf le forage (F6). Le sodium est trop élevé et dépasse 400 mg/l. Les valeurs de potassium sont moyennement faibles dans l'ensemble des forages et très élevé dans les forages (F5, F8) conformes aux normes algériennes ainsi que les normes de l'OMS 2006.

**b. Les anions ;**

Les sulfates, les chlorures, et les bicarbonates, sont aussi des paramètres utiles, en combinaison avec les cations, pour la détermination de la salinité dans l'eau.

Nous avons tracé les histogrammes de la variation des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) pour toutes les nappes étudiées.



**Fig12.** Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) de continental intercalaire.

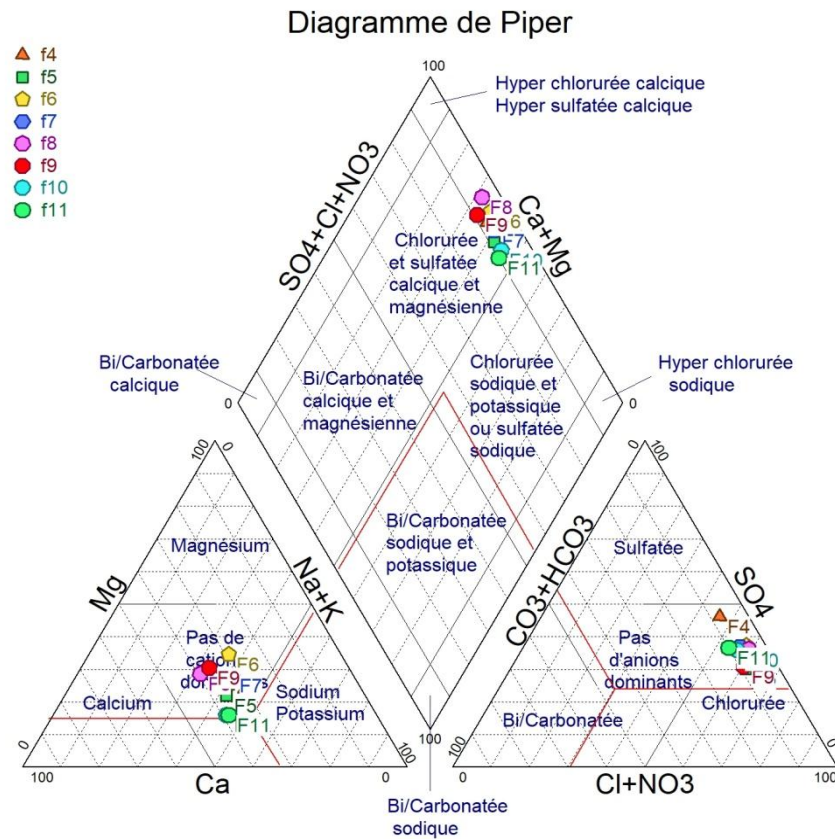
Donc après cette variation des anions dans la figure (**Fig13**) on trouve que les chlorures ont des concentrations élevées qui varient entre 506.55 mg/l et 861.57 mg/l et très élevées dans les forages (F5, F6) qui dépassent les normes algériennes (**JORA, 2011**) soit (500 mg/l). Les sulfates sont très élevés dans deux forages (F4, F6) et moins élevés dans les autres, mais ont toujours des fortes concentrations qui dépassent les normes algériennes (**JORA, 2011**) soit 400 mg/l.

**3. Diagramme de PIPER :**

La représentation des concentrations en éléments majeurs des eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt sur le diagramme de Piper (fig.14) met en évidence les faciès chimiques suivant :

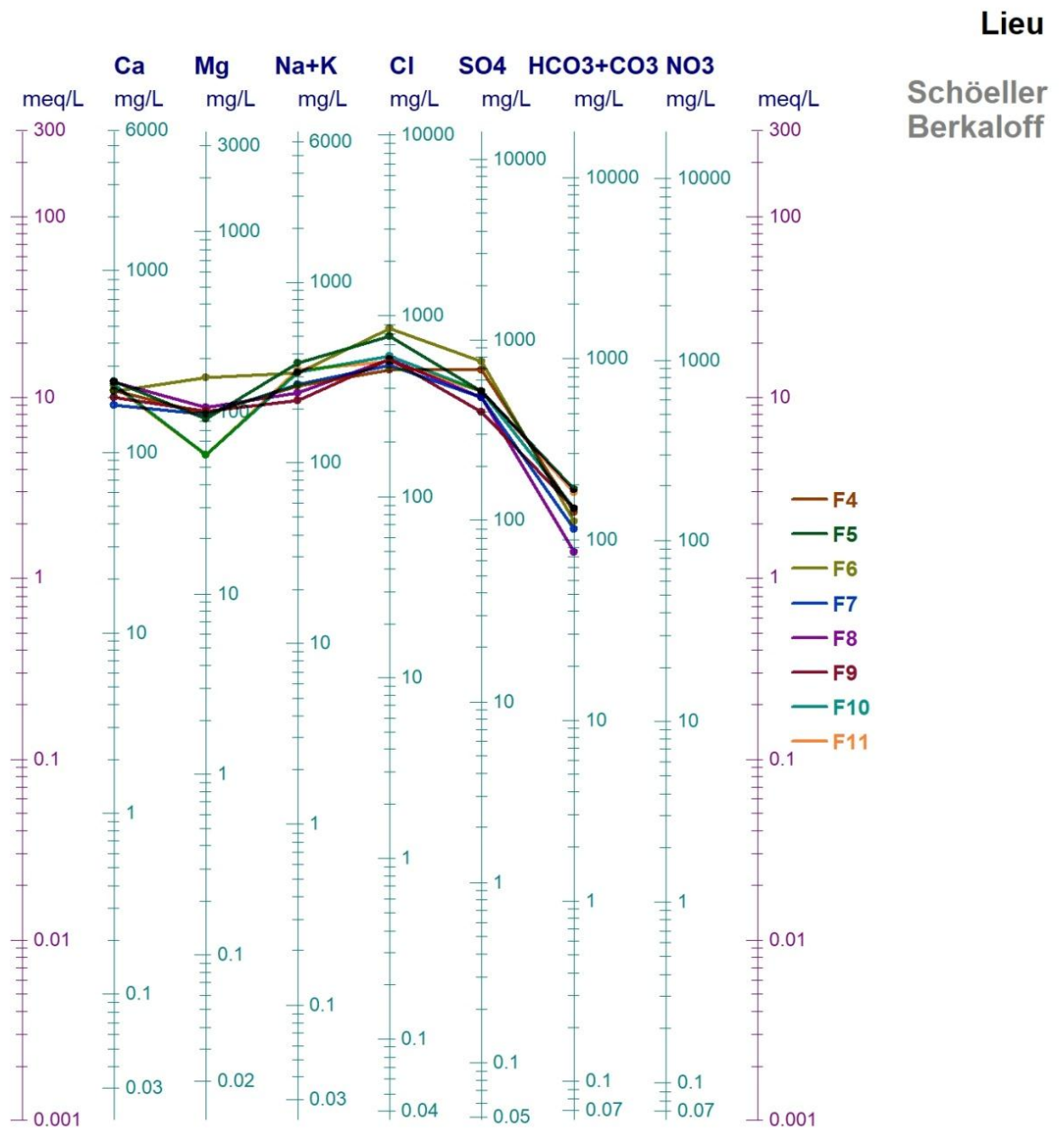
- (a) Le faciès chloruré sodique (38,4%), ces échantillons présentant un rapport Na/Cl proche de 1 et un coefficient de corrélation ( $R^2=0,70$ ) indiquant une éventuelle dissolution de l'halite.
- (b) Le faciès sulfaté calcique représente 15,4% de forages, ces échantillons présentant un rapport Ca/SO<sub>4</sub> proche de 1 et un coefficient de corrélation ( $R^2=0,69$ ) indiquant une éventuelle dissolution de gypse.
- (c) Le faciès sulfaté sodique (30,8%) et (d) le faciès chloruré calcique (15,4 %).

Le rapport SO<sub>4</sub>/Cl et le rapport Na/Ca montre que, dans la totalité des échantillons les valeurs sont au voisinage de 1 [27], ceci traduit l'influence des matrices de l'Halite et de gypse au même temps.



**Fig13.**Diagramme de Pippet des eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt.

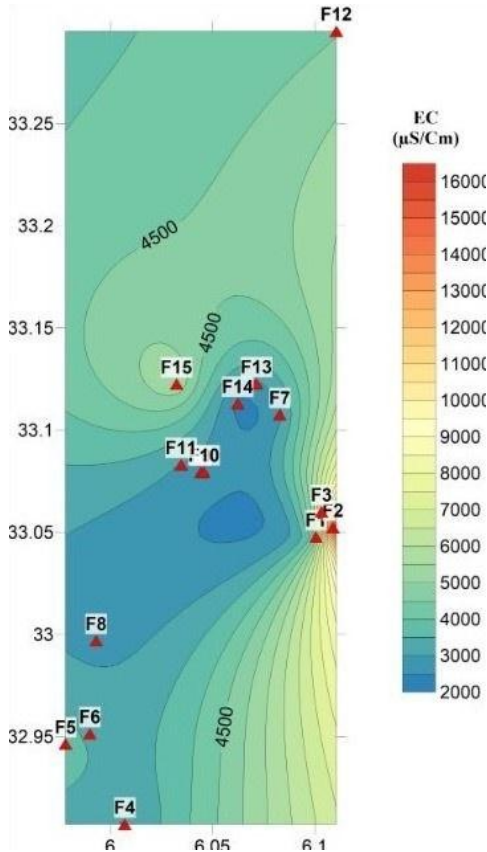
**4. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF :**



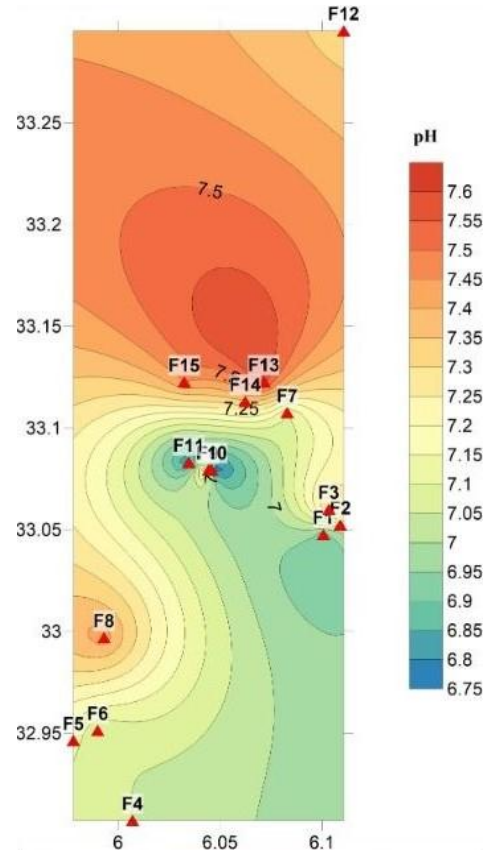
**Fig14.** Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de continental intercalaire de la région de Touggourt.

**IV.2. Cartographie hydrochimique :**

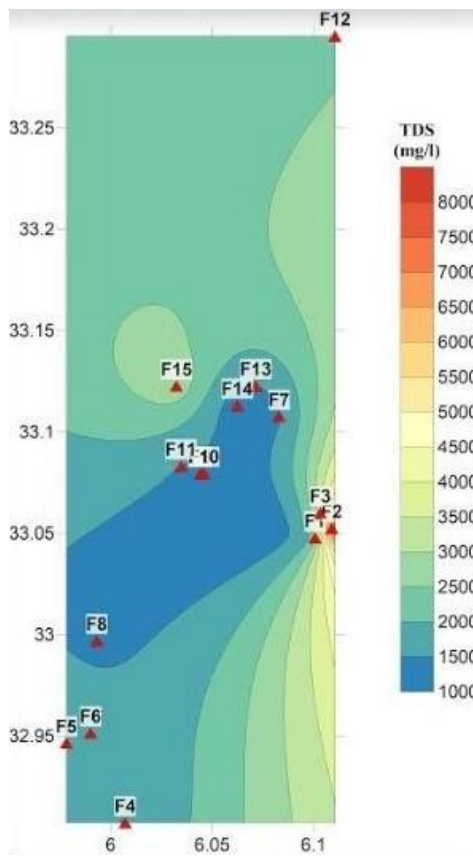
On a utilisé logiciel Surfer (version .2016) pour être avoir des cartes qui représentent la distribution géospaciale des paramètres physico-chimiques tel que : pH ; la conductivité ; la dureté totale et le TDS. Les figures suivantes illustrent la cartographie de ces éléments.



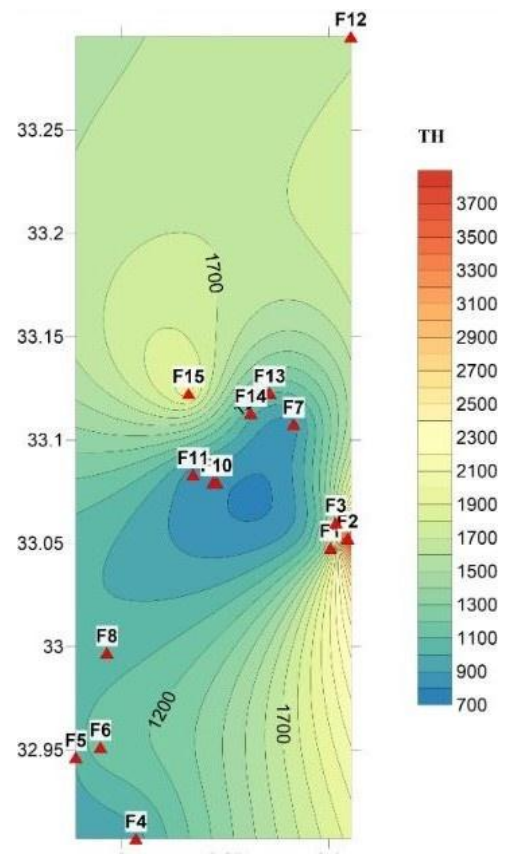
**Fig15.** La distribution géo-spatial de la conductivité dans la région de Touggourt



**Fig16.** La distribution géo-spatial du pH dans la région de Touggourt



**Fig17** : la distribution géo-spatial du TDS dans la région de Touggourt



**Fig18**. la distribution géo-spatial du TH (mg/l de CaCO<sub>3</sub>) dans la région de Touggourt

### IV.3. Origine des différents éléments dominants dans les eaux :

Le calcium est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (**BENAMAR *et al.*, 2011**). Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. C'est un composant majeur de la dureté de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrain traversé. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure, etc. (**RODIER *et al.*, 2005**). Le calcium est fréquent dans les roches sédimentaires. Il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique.

Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) qui sont facilement solubles (**DIB, 2009**).

L'influence du calcium de l'eau sur la santé humaine, a été souvent discutée. Des recherches et des études statistiques notent qu'il n'y aurait pas de relation dose-effet avec la teneur de cet élément dans l'eau. Les quantités susceptibles d'être ingérées sous forme de boisson sont inférieures aux quantités nécessaires à l'organisme, estimées approximativement entre 700 et 900 mg/jour. De plus le calcium de l'eau n'est que peu absorbé par l'intestin. Les eaux qui dépassent 200 mg/l de calcium, présentent des inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières (**RODIER *et al.*, 2005**).

Le magnésium est un élément présent dans toutes les eaux naturelles (**BENAMAR *et al.*, 2011**). La variation du magnésium dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part comme les argiles et les marnes qui sont riches en  $\text{Mg}^{2+}$  (**DIB, 2009**). La plupart des sels de magnésium sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates.

En zones arides, il a été constaté la consommation courante et sans problèmes majeurs pour les habitudes, des eaux contenant 200 mg/l de magnésium avec des teneurs élevées en sulfates (**RODIER *et al.*, 2005**).



Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables, allant de quelque dizaines de milligrammes à 500 mg/l. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères, etc. Par ailleurs le traitement de l'eau peut ajouter du sodium en provenance du carbonate, de l'hydroxyde, du silicate et de l'hypochlorite de sodium. Dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas d'argument suffisant pour justifier la fixation d'une valeur indicative pour le sodium dans l'eau, pour la base d'un risque sanitaire (**RODIER *etal.*, 2005**). Comme le corps possède des mécanismes très efficaces de régulation des teneurs en sodium du milieu interne, ce métal n'est pas fortement toxique aux concentrations où on le trouve normalement dans l'environnement ou dans l'alimentation (**FINBERG *etal.*, 1963**).

Pour **MONTIEL (1999)**, la présence exagérée de sodium dans les eaux peut affecter certaines populations (sujets souffrant d'hypertension par exemple), et peut aussi affecter certains sujets normaux (augmentation de la tension sanguine chez les adolescents).

Bien que dans les roches ignées, la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium (**RODIER *etal.*, 2005**), avec la nature du terrain, c'est tout à fait le contraire, où le potassium est mineur par rapport au sodium. Le potassium à faible dose ne représente pas de risques significatifs. Même des variations importantes de ces teneur de l'eau, n'auraient que des effets négligeables sur les concentrations de l'organisme (**RODIER *etal.*, 2005**).

Sa présence dans les eaux naturelles ne dépassent pas habituellement 10 à 15 mg/l. Le seuil de perception gustative du chlorure de potassium se situe à environ 20 fois cette valeur (**FALL, 2008**).

La forte teneur en chlorure est probablement due à la forte évaporation des eaux. Aussi, la nature argileuse du sol.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Leurs teneurs dans les eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations en zones arides suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies. Elles peuvent avoir aussi comme origine, selon **DIB (2009)**, une contamination par les eaux usées. L'inconvénient majeur des chlorures, est la saveur désagréable, qu'elles communiquent à l'eau à partir de 250 mg/l (**OMS, 1993; WHO, 2008**), surtout lorsqu'il

s'agit de chlorure de sodium. Pour une quantité équivalente de chlorures, la saveur peut être moins marquée en présence de calcium et de magnésium (**RODIER *et al.*, 2005**).

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles, est très variable, peut être largement dépassée dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevée, et la dissolution du gypse (**RODIER *et al.*, 2005; DIB, 2009**).

La présence de sulfate en quantité supérieure à 300 mg/l peut entraîner dans certaines conditions l'altération des matériaux de construction (corrosion des réservoirs de stockage) et accélérer la corrosion du fer (**RODIER *et al.*, 2005**).

Au cours de tous ces résultats, on constate que la nappe du Maestrichtien (Sénonien supérieur), présente des eaux de bonne qualité du fait que les cations ainsi les anions majeurs ont des concentrations conformes aux normes de potabilité.

La nappe Phréatique, présente une qualité des eaux non potable, du fait que la majorité des éléments soit les cations ou les anions ont des fortes concentrations qui dépassent largement les normes de potabilité.

La nappe du Miopliocène présente une mauvaise qualité puisque la majorité des cations présentent des concentrations élevées, ainsi que les anions où les chlorures et les sulfates sont trop élevés. La teneur en sulfate dans l'eau est liée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation, ils proviennent essentiellement de la dissolution des gypses.

La nappe de l'Eocène inférieur a une qualité plus ou moins médiocre où les eaux sont moins dures par rapport à celle du Miopliocène, car seul le calcium et les sulfates ont des concentrations élevées et dépassent les normes de potabilité mais ces eaux restent non potables et nécessitent un traitement spécifique.

**IV.4. Présence du Fluor dans les eaux :**

L'étude d'analyse chimique des ions fluorures effectuées sur les échantillons d'eaux des forages exploités dans cette zone a montré des concentrations qui varient entre 0.66mg/l et 4.0 mg/l. Comme indiqué dans le tableau suivant :

**Tableau 07.** Distribution des ions fluorures dans les eaux des forages Actuel de La région de Touggourt wilaya d'Ouargla.

Commune	Forages	Etat	F (mg/l)
NEZLA	F- Secoure Ain Sahra	Abandonné	/
	F-Station Traitement Ain Sahra	En service	1,92
	F-ComplexeNezla	En service	1,8
	F-Albien SIDI MEHDI 02	En service	0,66
	F-Albien SIDI MEHDI 03	En service	0,7
	F-Albien Ain Sahra	En service	0,74
ZAOUIA LABIDIA	F01 (5 juillet)	Abandonné	/
	F02 (5 juillet)	Non Exploité	/
	F Zaouia	En service	0,97
TEBESBESTE	F Ben Yessoued	En service	1,83
	F Bel air Château	En service	1,64
	F Châteaux bniyesoued	Non Exploité	/
TOUGGOURT	F Complexe ADE	En service	1,7
	F Elmostakbel	En service	4.0
	F-Centre ADE Touggourt	En service	1,75
	F- Albien Touggourt (Rimel3)	En service	0,51
	F-ALBIEN Elmostakbel	En service	1,8

On constate que plus de 61.5% Des forages échantillonnées à Touggourt, présentent des teneurs en fluor supérieur à 1,5 mg/L et par conséquent des risques de santé humaine dans la région.

Alors que seulement 38% des forages, avaient des concentrations en fluor inférieures à 1,5 mg/L.

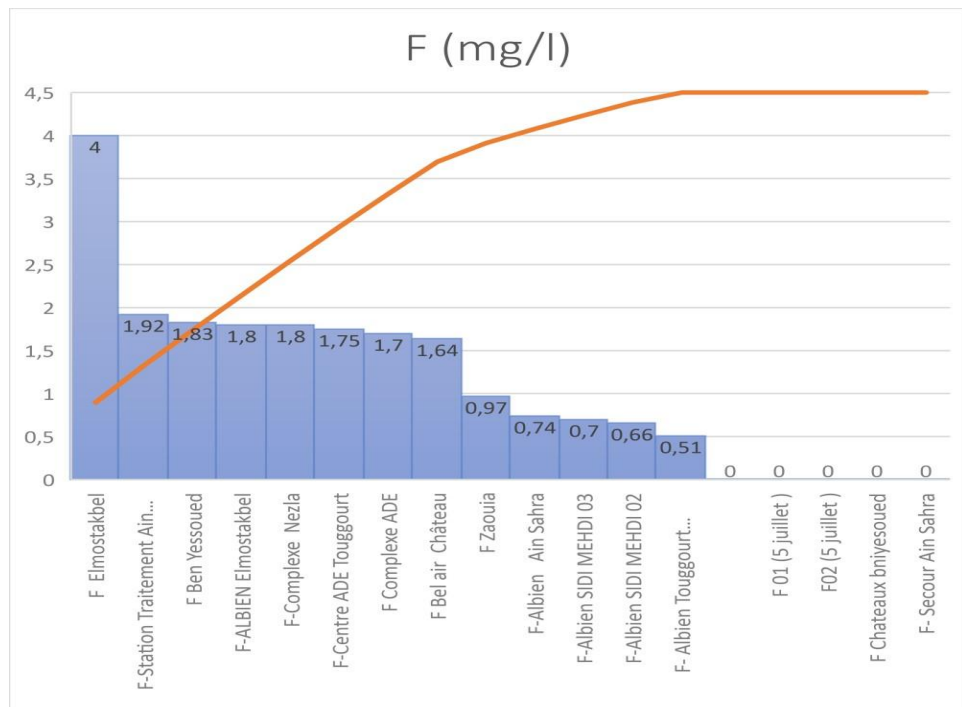


Fig19. La répartition des Concentrations en fluor.

Ainsi la concentration la plus élevée est observée au niveau du Forage Elmostakbel (4mg/l) Pour l’OMS, la valeur guide recommandée est de 1,5mg/L (O.M.S,2000) .Pour les zones tempérées, la fluorose dentaire se manifeste lorsque la concentration en fluorure dans l'eau excède les 1,5 à 2mg/L.

Par ailleurs, on peut représenter graphiquement des cartes de répartition spatiale des ions fluorures qui permet de localiser les zones qui caractérise par une concentration importante.

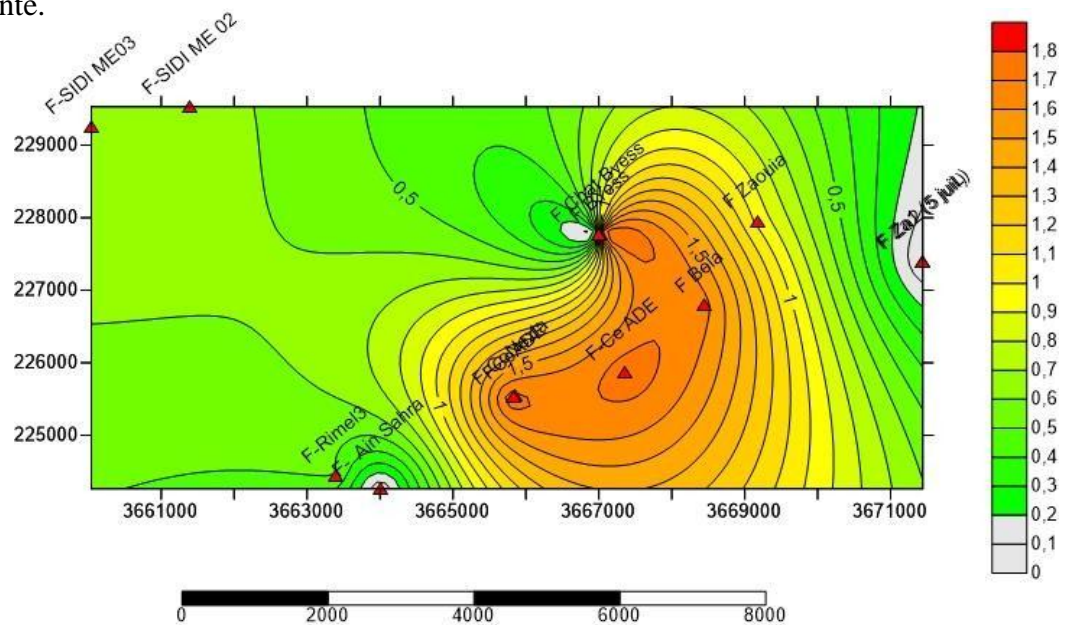


Fig20. Répartition spatiale des ions fluorures.

Ses valeurs élevées sont des indices indiquent et confirment que les eaux des puits ciblés sont concentrées par la présence de fluor en excès dans l'eau souterraine.

Sa présence en excès dans les eaux de boisson est à l'origine d'intoxications graves. Comme tout oligo-élément, le fluor est nécessaire et bénéfique pour l'organisme humain à de faibles concentrations, mais toxique à plus fortes doses. En effet, à partir de 0,5 mg/L en ions fluorure, une eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/L, le risque de fluorose débute et devient fort au-dessus de 1,5 mg/L. La norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/L pour des températures de 12 à 25 °C (Pontie et al. 1996).

**Tableau 08.** Les effets néfastes des ions fluorure.

<b>Dose (mg/L)</b>	<b>Les effets</b>
<b>&lt; 0,5</b>	Déficiences en fluor pour prévenir les caries dentaires
<b>0,5 ÷ 1,5</b>	Le dosage optimal pour prévenir les caries
<b>1,5 ÷ 4</b>	Risque d'empoisonnement sur le port dentaire
<b>&gt; 4</b>	Risque d'intoxication osseuse (douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations)

La plupart des résultats que nous avons l'obtenu ne sont pas conformes aux normes de l'OMS, ce qui nécessite de prendre des procédures qui permet de réduire l'excès en Fluor et si on compte tenu des conditions de la région et des données environnantes, nous recommandons d'utiliser la méthode la plus simple et celle consiste à diluer cette eau dans une eau contenant peu d'ions fluorures. (Raymond Desjardins).

### **Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, nous nous sommes intéressés à définir le site de prélèvement, les méthodes d'échantillonnage, et les différentes méthodes analytiques utilisées le long de notre étude, ainsi que les outils informatiques représentés par les logiciels d'hydrochimie et les logiciels de statistiques où nous pouvons décrire les relations entre les paramètres de qualité et les paramètres de pollution des eaux.

Dans notre cas les résultats obtenues ne sont pas conformes aux normes de l'OMS, présentent des risques de santé humaine et tout ça après l'étude donnée dans ce chapitre.

# CONCLUSION GENERALE

### **Conclusion générale**

La région de Touggourt se situe au Sud-est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara. L'étude géologique montre que la région de Touggourt se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara.

L'étude présentée nous permet d'approfondir nos connaissances dans le domaine des études sur l'eau en générale et sur un organe essentiel dans L'étude hydro-chimique d'eau.

Les eaux de la nappe phréatique de la région de Touggourt sont caractérisées par des valeurs élevées de la conductivité électrique.

Dans cette région, le traitement (dessalement) des eaux pourrait améliorer la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique pour une plus large utilisation.

Dans notre cas les résultats obtenues ne sont pas conformes aux normes de l'OMS, présentent des teneurs en fluor très élevés de 61.5% des forages échantillonnés qui donne des eaux toxique par conséquent des risques de santé humaine.

## Bibliographie

- 1- ACHOUR. S. (1990). La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie Etude de l'excès en fluor, Tribune de l'eau, Cebedeau, n°6, 42 (542), 53- 57.
- 2- ADE : les analyses hydrochimiques des eaux des forages (CT et CI).
- 3- Bouameur.a et Boudia.a :caractérisation hydrochimique et qualité des eaux souterraines de la nappe karstique de saida. mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique. Ressources en eau. Université dr. Moulay tahar de saida.2016/2017.
- 4- Capot-Rey Robert. L'Oued R'ir. In: Annales de Géographie. 1925, t. 34, n°187. pp. 53-59.
- 5- Journal Algérien des Régions Arides (JARA) pp 42-43.
- 6- Khammar.h: hydrochimie et qualité des eaux. cours et travaux pratiques. 1ère année master écologie des milieux naturels.universitelarbi ben m'hidioum el bouaghi.2018/2019.
- 7- Mazet p., (2002). les eaux souterraines riches en fluorures dans le monde. mémoire de dea en science de l'eau dans l'environnement continental, maison des sciences de montpellier, rapport de stage, p. 45.
- 8- Messaïtfaa.,(2008). fluoride contents in groundwaters and the main consumed foods (dates and tea) in southern algeria region", environmental geology, 55:377 - 383.
- 9- Nora Bouchahm et Samia Achour - hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique.
- 10- Pierre m., (2002). les eaux souterraines riches en fluor dans le monde, mémoire de dea sciences de l'eau dans l'environnement continental, université des sciences et technologies montpellier ii, 36 p. + annexes.
- 11- Pontie m., schrotter j-c., lhassani a. et diawarac.k. (2006). traitement des eaux destinées à la consommation humaine élimination domestique et industrielle du fluor en excès, l'actualité chimique, n° 301-302 : 1 - 8.
- 12- Pr. Rachid Salghi « Chimie des eaux » Cours à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir.
- 13- Qualité physico-chimique des eaux de boisson du Sud algérien : étude de l'excès en sels minéraux Laboratoire de chimie analytique appliquée (LCAA), Faculté des sciences, Université D. Liabès (p 1-4).
- 14- TABOUCHE N. (1999). Etude de la répartition spatiale des teneurs en fluorures des eaux du sahara septentrional, Thèse de Magister en sciences hydraulique, Université de Biskra, Algérie.



**Résumé :** Résumé de notre étude, s'orienter sur l'objectif de faire la synthèse des données recueillies sur la région et de définir les aspects des nappes (CT et CI). Touggourt, cette région est connue sous le nom du Bas Sahara. L'eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre, à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur. Dans le Sud algérien, l'alimentation en eau potable est assurée exclusivement par des eaux souterraines provenant des nappes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire (nappe albienne). Après les analyses on distingue que la nappe albienne dans la région d'étude présente plusieurs risques sur la santé humaine comme le risque d'empoisonnement sur le port dentaire. La concentration de fluor donne la cause de qualité des eaux dans notre région d'étude et ces risques parce qu'elle ne respecte pas les normes de l'OMS.

**Mots clés:** Touggourt, nappe albienne, eau, Fluor.

### مساهمة الدراسة الهيدروكيميائية للمياه الجوفية (الحالة: وادي تقرت)

**ملخص:** يركز ملخص دراستنا على الهدف المتمثل في تجميع البيانات التي تم جمعها عن المنطقة وتحديد جوانب مناسبة المياه في المياه الجوفية. يجب أن يكون لمياه الشرب عدد معين من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وأن تلبى معايير أساسية معينة (عديمة اللون، لا طعم لها، عديمة الرائحة، إلخ) يقدرها المستهلك في جنوب الجزائر، يتم توفير مياه الشرب حصرياً من المياه الجوفية من طبقات المياه الجوفية. بعد التحليلات، تم تمييز أن المياه الجوفية في منطقة الدراسة تمثل العديد من المخاطر على صحة الإنسان مثل خطر الإصابة على مستوى الأسنان. تركيز الفلور العالي هو سبب جودة المياه في منطقة دراستنا وسبب في هذه المخاطر لأنه لا يحترم بمعايير منظمة الصحة العالمية.

**الكلمات الدالة:** تقرت . المياه الجوفية . الماء . الفلور.

### The contribution of the hydro-chemical study of groundwater (Case: Touggourt Valley)

**Summary:** Summary of our study, focuses on the objective of synthesizing the data collected on the region and defining the aspects of water tables (CT and CI). Touggourt, this region is known as the Lower Sahara. Drinking water must have a certain number of physical, chemical and biological characteristics and meet certain essential criteria (colorless, tasteless, odorless, etc.) appreciated by the consumer.

In southern Algeria, drinking water supply is provided exclusively by groundwater from the aquifers of the Terminal Complex and the Continental Intercalaire (albian aquifer).

After the analyzes it is distinguished that the albian sheet in the study region presents several risk to human health such as the risk of poisoning on the dental port.

The concentration of fluorine is the cause of water quality in our study area and these risks because it does not meet to 'OMS' standards.

**Key words:** Touggourt, albian aquifer, water, fluorine.