

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES  
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



## Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

### THEME

# ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE LA REGION DE TOUAT (ADRAR)

Présenté par:

HADRAOUI Younes  
EL-FKIH Abdelkrim

*Soutenu publiquement le : 28/05/2017*

Devant le jury :

Président :	M. BELLAOUEUR Abdlaziz	M.A.A Univ. Ouargla
Promoteur :	M. BOUSELSAL Boualem	M. C. A Univ. Ouargla
Examineur :	M. HOUARI Idir Menad	M.A.A Univ. Ouargla

*Année Universitaire : 2016/2017*

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -**

**FACULTE DESHYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES**

**SCIENCES LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

*En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie*

Option : Hydrogéologie

**THEME**

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET  
HYDROCHIMIQUE DE LA REGION DE  
TOUAT (ADRAR)**

*Soutenu publiquement par :*

HADRAOUI Younes  
EL-FKIH Abdelkrim

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	M. BELLAOUEUR Abdlaziz	M.A.A Univ. Ouargla
<b>Promoteur :</b>	M. BOUSELSAL Boualem	M. C. A Univ. Ouargla
<b>Examineur :</b>	M. HOUARI Idir Menad	M.A.A Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2016/2017**

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents*

*Mes frères*

*Mes sœurs*

*Ma grande famille*

*A tous mes amis*

*A tous mes collègues (de promotion)*

*Les habitants de la région du TOULAIN*

*Les habitants d'ANDRAGNE...*

# Remerciements

*Langage tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force*

*Pour terminer ce modeste travail.*

*Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur, Monsieur*

*BOUSELSAL BOUALEM pour son encadrement et ses*

*aides précieuses.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait*

*l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

*Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du*

*département des sciences de la terre et l'univers*

*Enfin nous remercions nos parents et tous ceux qui ont  
contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste*

*travail, trouvent ici l'expression de nos profondes gratitudees*

*et respects.*



## INTRODUCTION GENERAL

Au cours de ces dernières décennies, la demande sur l'eau dans la wilaya d'Adrar a augmenté d'une façon importante suite à l'accélération de développement économique d'une part et la croissance démographique d'autre part. Et devant cette situation, les techniques traditionnelles du captage se trouvent incapables de satisfaire la demande croissante sur l'eau, ce qui a poussé les responsables de ce secteur de faire appel aux nouvelles techniques de captage. D'après les prospections hydrogéologiques réalisées dans cette région, les réserves d'eau souterraine sont considérables, il s'agit de la nappe du Continental Intercalaire (ou nappe albienne). Cette nappe soutien toute sorte d'activité (agricoles, industrielles, et l'approvisionnement en eau potable).

Dans cette région, l'homme a appris depuis plusieurs siècles à exploiter les eaux souterraines en creusant des galeries souterraines qui permet à l'eau captée de s'écouler jusqu'à l'air libre par le seul effet de la gravité, cette technique dite « la foggara » était la base de vie de la population et le moteur de développement des oasis.

Le présent travail est une contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe de continental intercalaire de la région d'Adrar. Il est pour objectif de répondre en partie aux questions généralement relatives au comportement hydrogéologique, et la nature de l'aquifère (caractéristiques lithologique, caractéristiques et comportement hydrodynamiques), et hydrochimique (qualité des eaux souterraines pour les différents usages), dans l'optique d'une gestion rationnelle des ressources en eaux et un développement durable de cette région.

La démarche à suivre dans ce travail s'articule sur trois (03) chapitres :

- Le chapitre 1 ; généralités sur la zone d'étude où nous exposons la situation géographique et les caractéristiques géomorphologique, géologique, hydroclimatologique, et hydrogéologique de la zone d'étude.
- le deuxième chapitre ; Matériels et méthodes est consacrer à la présentation de la méthodologie et des matériels employés pour réaliser ce travail.
- Le troisième chapitre ; résultats et discussions est consacrés à la présentation et l'interprétation des résultats des travaux. Dans cette partie nous avons réalisé une carte piézométrique de la nappe afin de reconnaître l'hydrodynamisme de l'aquifère, ensuite sur la base des analyses physicochimiques des eaux de la nappe de CI nous avons mené une étude hydrochimique en faisant le lien entre l'évolution du faciès chimique des eaux de nappe CI dans la région Touat et la lithologie de l'aquifère. Par ailleurs, nous n'avons pas oublié de tester l'aptitude de ces eaux à l'AEP et à l'irrigation dans cette oasis du Sahara septentrional algérien.
- Et finalement une conclusion Générale.

## 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

En plein cœur du Sahara algérien, la wilaya d'Adrar est située au sud-ouest du pays à plus de 1200 km d'Alger. Elle est située entre les méridiens : 2°E et 6° W, et le parallèle 20° et 32° Nord. Sa superficie totale est de 427 368 Km<sup>2</sup>, soit environ 18 % de la superficie globale de l'Algérie, près d'un cinquième du territoire national. Issue du dernier découpage administratif de 1974, la wilaya d'Adrar est composée de 11 daïras et 28 communes, et 294 ksars. La wilaya est découpée en quatre régions du Nord au Sud : (figure.1)

- le Gourara ; le Touat ; le Tidikelt et la Tanezrouft.

Elle est limitée :

- au Nord, par les wilayas d'El Bayedh et Ghardaïa ;
- à l'Ouest, par la wilaya de Bechar et Tindouf
- à l'Est, par la wilaya de Tamanrasset
- au Sud, par la Mauritanie et le Mali.

La zone d'étude intéresse la partie centrale de la wilaya d'Adrar. Elle correspond à ce que l'on qualifie à Adrar le « TOUAT », il est constitué par 12 communes sous forme d'un ruban d'oasis qui s'égrènent du TSABIT au Nord à REGGANE au Sud.

Elle se présente comme une zone allongée sensiblement orientée N-S sur une longueur de 270km.

Ses limites géographiques naturelles sont :

- à l'Est, les escarpements du plateau de Tademaït ; - au Nord, le Grand Erg Occidental ;
- à l'Ouest, l'Erg Chech ; au Sud, le plateau du Tanezrouft.

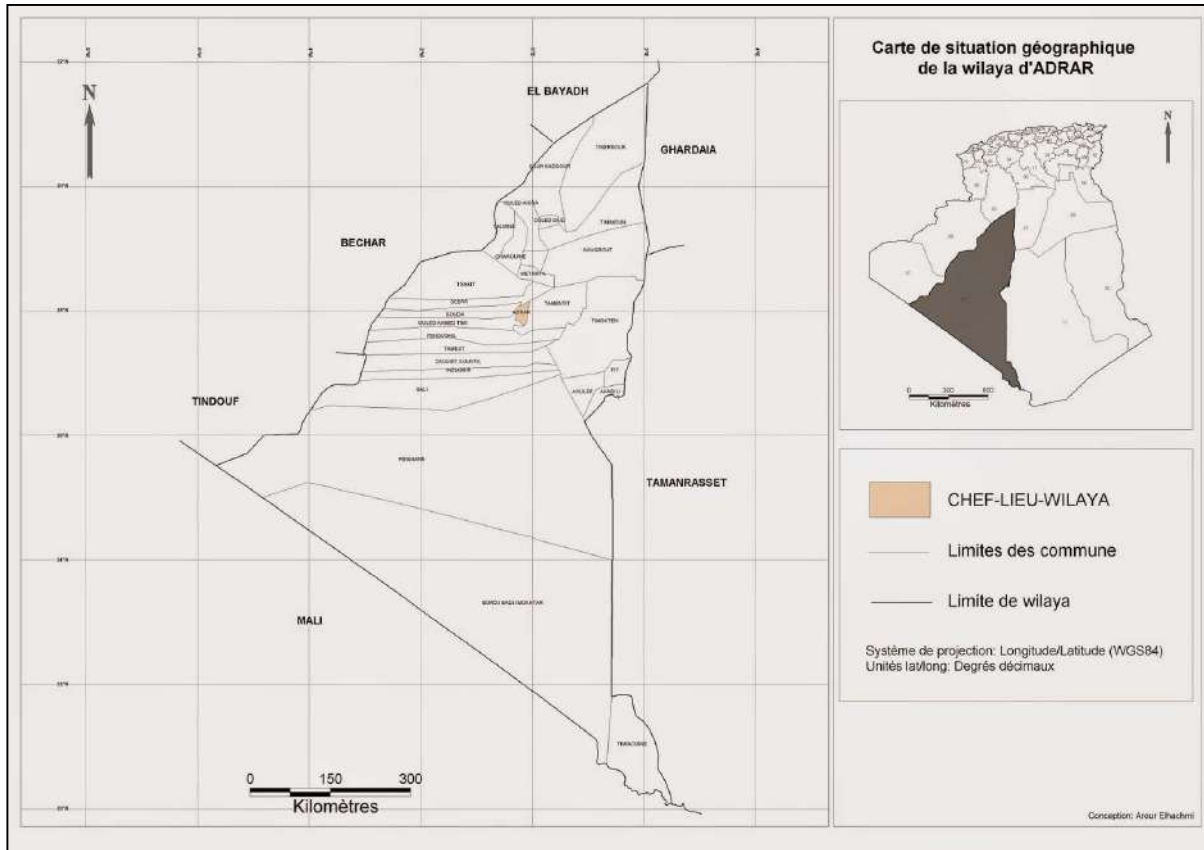


Figure 01: La situation géographique de région de Touat

## 2. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE

La région d'Adrar fait partie de Sahara occidental, la surface du sol est occupée par les formes géomorphologiques suivants :

**a- la plaine :** C'est une vaste plaine (plateau), limitée vers l'Est par le plateau de Tademaït et vers l'Ouest par la dépression de Touat et se caractérise par une altitude maximale de l'ordre de 300m au pied du plateau de Tademaït, une pente faible de l'ordre de 0.1% à 0.2% et un pendage vers le Sud-ouest et l'Ouest.

**b - la dépression :** La dépression se trouve le long de l'extrémité Ouest de la plaine et se caractérise par une largeur moyenne de l'ordre de 5 Km à 10 km, par exemple la dépression de Touat.

**c - les sebkhas :** Les sebkhas sont des successions de petites sebkhas, généralement non communicantes, qui marquent la limite occidentale de la dépression et constitue l'exutoire naturel des eaux de la nappe aquifère. Exemple : sebkha de Tamentit.

**d - les ergs :** Toutes les nuances existent entre le simple voile sableux et les dunes massives constituées en ergs. L'erg Chech est la forme d'accumulation sableuse la plus massive à l'ouest de la région. Les autres ergs abritent une végétation éphémère, ces ergs sont formés artificiellement par des obstacles (affrègue) contre la progression du sable, comme les Ergs d'Ikkis et de Tilloulène.

**e - Le Reg :** C'est des grandes superficies plates composées de rocaille et gravier en général. Il est d'âge quaternaire, on peut trouver des sables d'âge Crétacé inférieur. Exemple le Reg de Tanezrouft.

**f - Les terrasses d'apport éolien :** D'après la nature des roches et la force la vitesse du vent (agent érosif), les terrasses sont classées selon leur importance. Dans la région de Touat elles se sont formées au cours du Quaternaire.

### 3. CADRE CLIMATOLOGIQUE

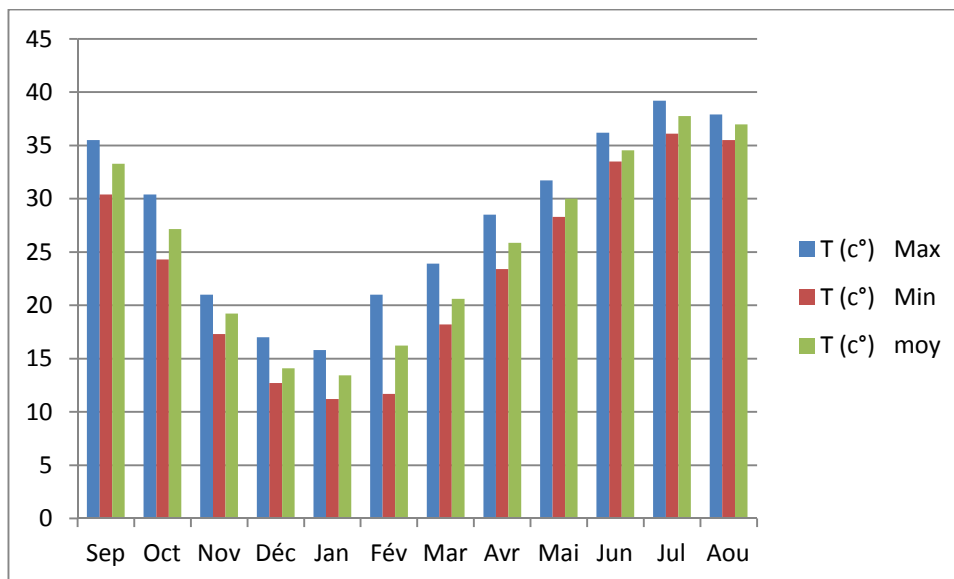
L'étude climatologique est basée sur les données disponibles au niveau de la station d'Adrar qui est en fait la plus représentative de notre zone d'étude «Touat», et qui présente une série de données de précipitation assez longue.

La synthèse climatologique a été faite sur une période de 09 ans (2006-2015), et ce pour les paramètres climatiques: la température, l'humidité, les précipitations, vitesse du vent et l'évaporation.

#### 3.1. Température

La température est un facteur qui affecte la disponibilité de l'énergie et grâce au degré jour que la végétation manifeste son régime biologique.

On enregistre des températures minimum absolues comprises entre 4.5°C durant la période allant de novembre à février, le reste de l'année, elles sont supérieures à 4.5°C et ne dépassent pas 28°C. Alors que le maximum absolu observé est supérieur à 30°C durant toute l'année. La moyenne des maxima mensuels est comprise entre 25°C – 44,9°C. Durant la période allant de juin à septembre, on observe des températures élevées supérieures à 42.5°C. Ces dernières ont une influence sur le choix des cultures et provoquent des accidents de végétation.

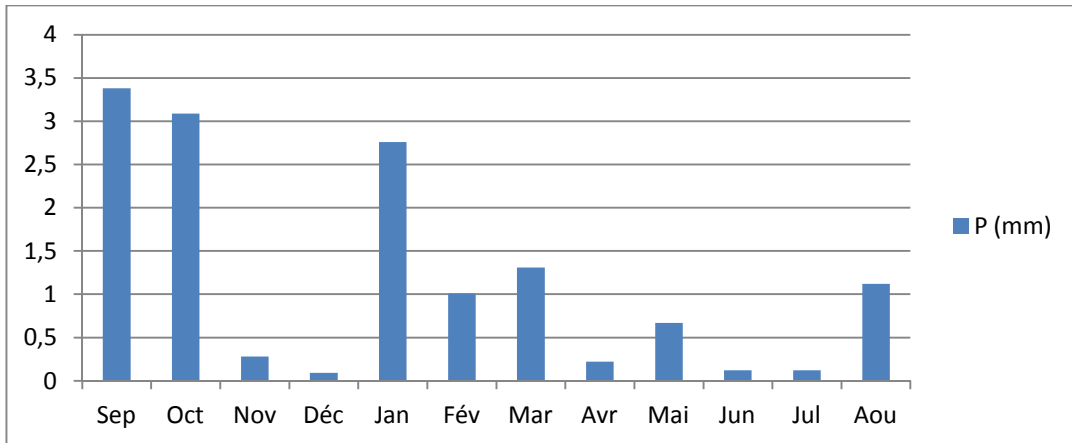


**Figure 02:** Variation mensuelle-annuelle des températures (2006-2015)



### 3.2. La Précipitation

Les précipitations, dans le secteur d'étude, sont très rares et irrégulières aussi bien dans le temps que dans l'espace. Les pluies tombent en majeure partie généralement durant la période hivernale enregistrées 3.4 mm de mois septembre. Pour le reste de l'année, elles s'évaporent en grande partie au cours de leur chute. Il peut pleuvoir durant plusieurs jours de l'année, ou comme il arrive très fréquemment, qu'aucune goutte ne tombe durant l'année.



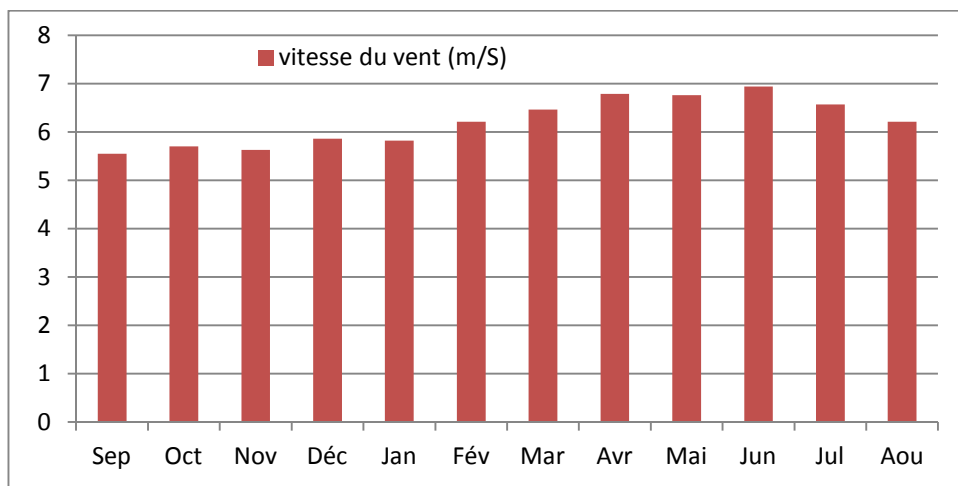
**Figure 03:** Variation des précipitations moyennes annuelles période (2006 -2015)

### 3.3. Le vent

Notre zone d'étude est l'une des régions les plus exposées au vent dans le Sahara algérien. Ces vents sont particulièrement violents. Le graphe (Figure.4) représente les moyennes mensuelles annuelles de la vitesse du vent enregistré durant la période 1984 à 2005.

La fréquence des vents est très importante durant toute l'année. On remarque que la vitesse du vent est généralement supérieure à 3 m/s pour les trois stations. Notre région d'étude est très exposée aux vents forts et à l'ensablement à tout moment de l'année.

Dans la région d'Adrar la vitesse du vent est supérieure à 4 m/s durant toute l'année avec une plus forte amplitude en mars, avril et mai où ces vents sont en général caractérisés par des tempêtes des sables.



**Figure 04:** Variation des moyennes mensuelles annuelles de la vitesse du vent (2006-2015).

3.4. L'évaporation

L'évaporation traduit le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur. Elle intéresse aussi bien les surfaces d'eau libre que les quantités d'eau retenues dans les couches aquifères. Le graphe (Figure.5) représente l'évaporation moyenne mensuelle annuelle enregistrée dans la région de Touat durant la période 2006-2015.

Il montre que les fortes valeurs de l'évaporation sont enregistrées pendant la période estivale. Elle atteint son maximum au mois de juillet (638mm) et les faibles valeurs sont enregistrées pendant la période hivernale où elle atteint son minimum au mois de janvier (180mm).

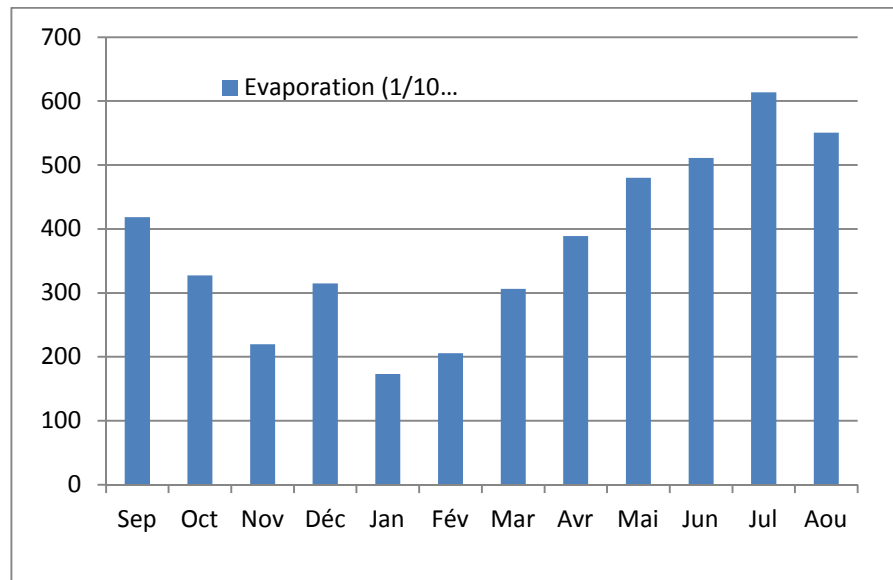


Figure 05: Variation de l'évaporation moyenne mensuelle annuelle, région de Touat (2006-2015)

3.5. Régime climatique

Les méthodes d'étude reposent, soit sur le calcul d'indices à partir des précipitations et des températures, soit sur une visualisation graphique de ces paramètres. Elles permettent de préciser l'importance des périodes sèches et humides.

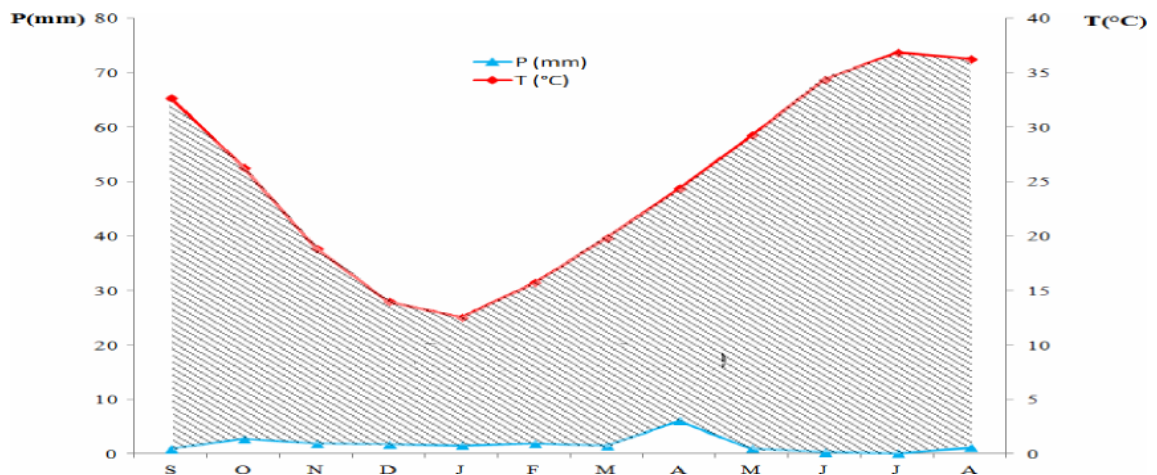


Figure 06 : Courbes Ombrothermiques de la région d'Adrar.

On conclure que La région d'étude est caractérisée par un climat hyper- aride. La précipitation annuelle est très faible, elle de l'ordre 25.42 mm et qui ne constitue que 0.97 % du volume totale de l'évapotranspiration potentielle. Dans la région d'étude la Période sèches qui caractérisé mon climat.

### 3.6. Bilan hydrique

Le bilan hydrique d'Adrar (Tab.1), dans la période (2005-2016) suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, pendant toute l'année, le réserve facilement utilisable est nulle pendant toute l'année. Le déficit agricole est présent pendant douze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 264mm.

**Tableau 01:** Bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAITE (2005-2016)

Moins	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	Jell	AOU	Total
P(mm)	0,9	2,75	1,9	1,75	1,55	1,95	1,5	6,05	0,95	0,35	0,1	1,1	20,75
T°C	32,7	26,3	18,85	13,95	12,55	15,7	19,8	24,35	29,25	34,35	36,85	36,25	25,15
ETP	163,63	84,6	30,58	13,02	9,9	17,71	40,16	74,45	136,0	211,5	264,1	239,5	1285,3
P-ETP	-162,73	-81,85	-28,68	-11,27	-8,35	-15,76	-38,66	-68,4	-	-	-	-	/
ETR	0,9	2,75	1,9	1,75	1,55	1,95	1,5	6,05	0,95	0,35	0,1	1,1	20,75
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Da	162,73	81,85	28,68	11,27	8,35	15,76	38,66	68,4	135,0	211,1	264,0	238,4	1264,46
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pour vérifier le bilan, on a :

$$P = ETR + EX = 20,75 + 0 = 20,75 \text{ mm.}$$

$$ETP = ETR + Da = 20,75 + 1264,46 = 1285,3 \text{ mm.}$$

## 4. CADRE GEOLOGIQUE LOCALE

La région de Touat est située sur le rebord Nord occidental ; elle est caractérisé par un socle précambrien dérobé la couverture des dépôts sédimentaires d'âge phanérozoïques transgressifs. La dépression de Touat est remplie par des dépôts paléozoïques (cambrien à namurien) d'un vaste bassin sédimentaire d'âge secondaire qui s'étend de l'atlas saharien au Nord à la hamada de Tinhirt et le plateau du Tademaït au sud et le Touât- Gourara à l'Ouest jusqu'au golf de Gabes au Nord- Est Du Tidikelt au Gourara l'ensemble structural est le continental intercalaire (CI) qui vient se terminer en biseau sur le substratum primaire, ce dernier affleure en surface à la faveur de la disparition des formations du continental intercalaire dans la dépression de la vallée de la Saoura qui forme la limite occidentale. Dans la région de Reggan l'auréole du primaire s'interrompt et les formations du CI se prolongent vers le plateau du Tanezrouft au sud-ouest. Le bassin de Reggane est recouvert pour l'essentiel par les importants cordons dunaires de l'Erg Chech. Il se développe entre le long de la bordure sud-ouest des monts d'Ougarta et le bouclier Réguiabat. Il se prolonge vers le SSE par le haut-fond du Bled El Mass – Azzel Matti et est séparé vers l'Ouest par le seuil de Bou Bernous. Le flanc nord-est du bassin est redressé au contact du système

plissé de l'Ougarta. La colonne sédimentaire de 6500 m d'épaisseur est très semblable à celle du bassin de Tindouf. La couverture sédimentaire mésozoïque ne dépasse pas les 300 m d'épaisseur

#### **4.1. La lithostratigraphie de la zone d'étude**

##### **4.1.1. Mésozoïque**

Il couvre la grande partie de la région d'étude Touat (sert ou les terrains d'âge crétacé inférieur), Les terrains mésozoïques reposent en discordance angulaire sur les terrains primaires (paléozoïque). Au Nord de la région de Reggane. Il est recoupé parfois par des dykes et silts de dolerites attribuées.

##### **4.1.1.a. Crétacé inférieur Continental intercalaire**

Dans le Touat le Continental intercalaire est daté du Crétacé inférieur, grâce à des découvertes paléontologiques assez nombreuses (De Lapparent, 1960). Il existe une lacune très importante, allant du Permien au Jurassique supérieur, entre le Continental post-tassilien, plissé, d'âge stéphanien [Bonnet, Fabre et Feys, 1960] et les assises continentaux, fossilifères, qui forment le plateau du Tidikelt. Pendant cette période se réalise la pénéplanation de toute la série précambrienne et paléozoïque et des phénomènes d'altération remarquables précèdent le dépôt du Continental intercalaire (Figure.07). D'après A.-F. de Lapparent [1947], le Continental intercalaire de cette région est divisé en quatre horizons constants, d'âge Crétacé Inférieur. Ces horizons sont sans doute les équivalents latéraux de la « série du Djoua ».

- A la base, une unité A, formée de 25 à 300 m d'argiles rouges, de Grès roses et blancs, de Grès rouges à stratification entrecroisée et à lentilles de graviers et dragées de quartz. C'est dans les lits de graviers que l'on rencontre les restes de Poissons et de Reptiles.

- Au-dessus, l'ensemble B, formé par une dalle de Grès-quartzite, de 1 à 2 m d'épaisseur, très constante, surmontant un conglomérat à bois silicifiés, parfois à troncs d'arbres silicifiés et à ossements de Reptiles. Ce niveau forme la surface des plateaux qui se suivent de Timimoun à In-Salah en passant par Adrar, Reggane et Aoulef.

- Audessus, l'ensemble C est formé par une deuxième série argileuse, de 40 à 100 m de puissance, qui admet des intercalations de Grès à dragées « kerboub ».

- Enfin, l'ensemble D comprend 60 à 125 m d'argiles rouges à bancs Gréseux. Cette assise est remarquable à El-Goléa où les « argiles d'El-Goléa » alternent avec quelques bancs calcaires. (G.Conrad, 1969).

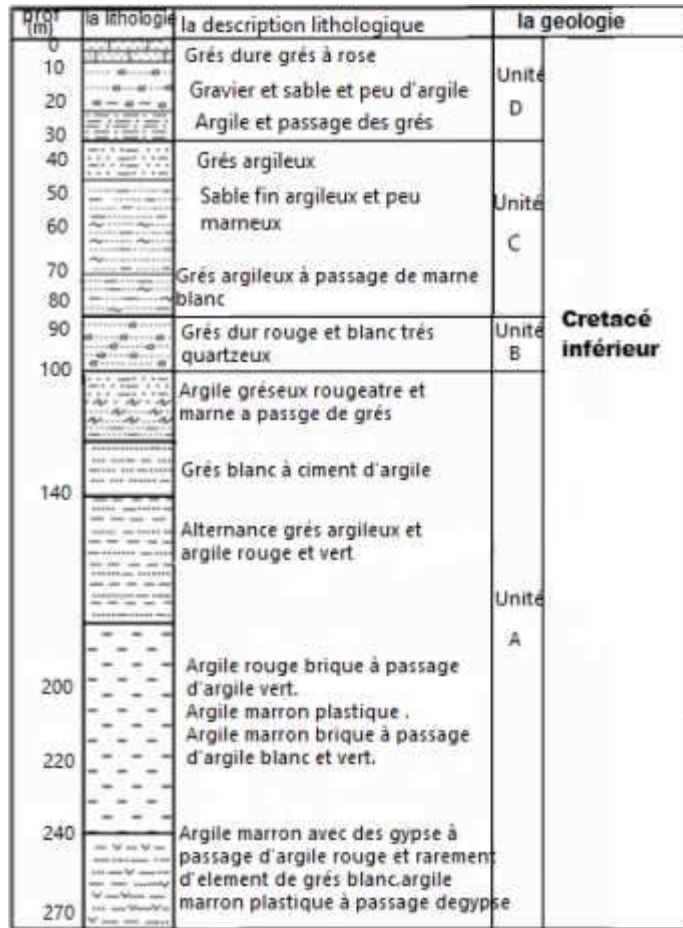


Figure 07 : Coupe lithologique d'unité de CI (SONATRACH, 2001)

**4. A. Les coupes de terrain**

Le continental intercalaire affluer au niveau des palmeraies d'Adrar et de Tiouririne à Zaouiet kounta, il y a quelques buttes-témoins de Hamada néogène, ces témoins reposent sur les argiles du Continental Intercalaires.

**1/La coupe d'Ain-Ech-Cheikh**

Dans cette région le Continental intercalaire est épais (plusieurs mètres) , essentiellement Gréseux, repose sur les schistes siluriens, alunifères, altérés et décolorés sur plusieurs mètres, par l'intermédiaire d'un conglomérat de base, formé de gros galets roulés de Grès à Tigillites et de quartzites ordoviciens. Directement audessus des schistes, la base du conglomérat est cuirassée puis le sédiment devient Gréseux et granulasse, avec stratifications entrecroisées. (G.Conrad, 1969).

**2/La coupe de Reggane-plateau**

Il s'agit d'une sédimentation à caractère fluviatile, qui a une grande analogie avec le faciès fluviatile du Plio-Villafranchien de la Saoura. Ces facies a déférent nature lithologique, les plus fréquente des argiles a la base, sableuse, conglomérats et gréseuse a stratifications entrecroisées (grès vert au sommet). (G.Conrad, 1969).

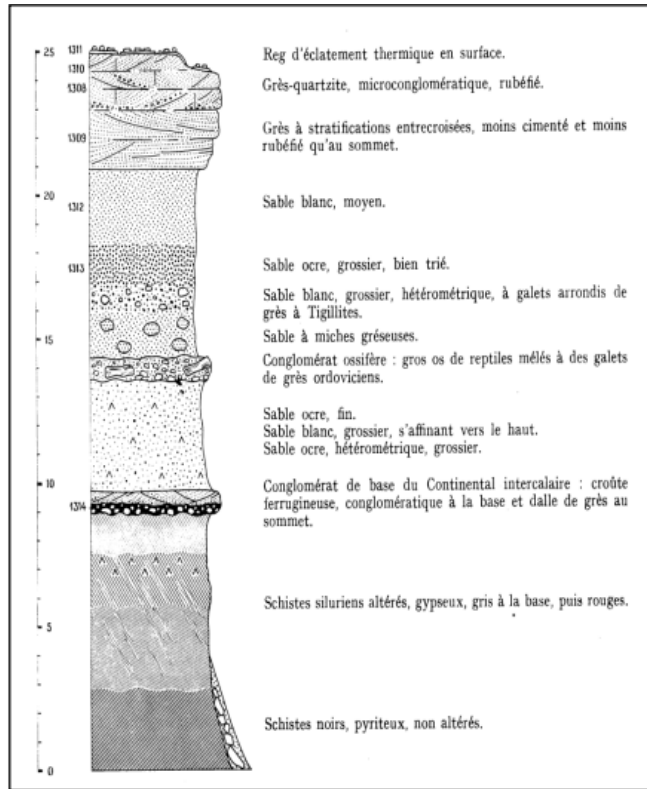


Figure 08 : Coupe du Continental Intercalaire à Ain-ech-Cheik(G.Conrad,1969).

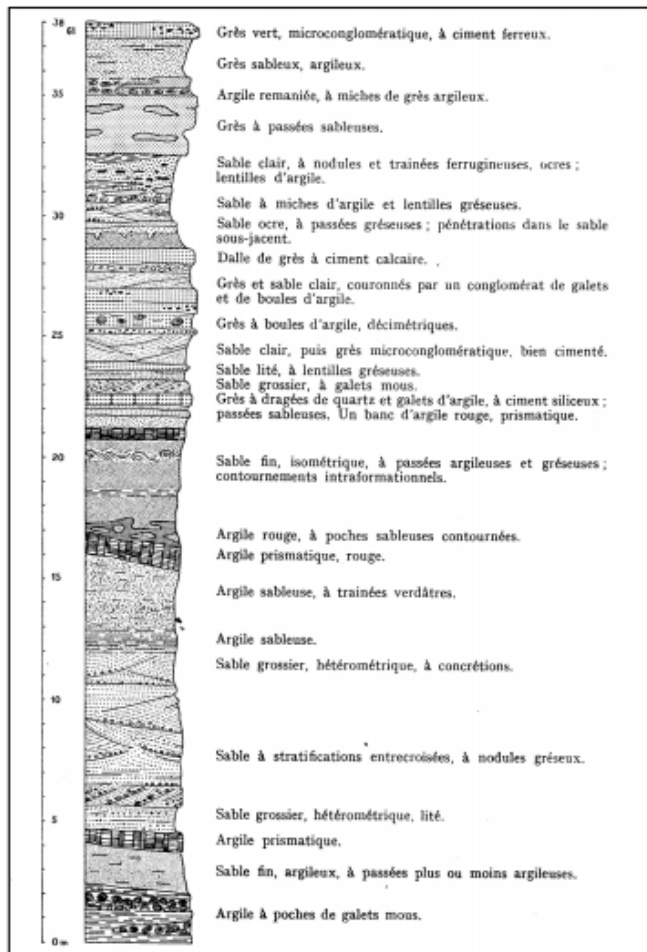


Figure 09: Coupe de la falaise du Continental intercalaire à Reggane-Plateau (G.Conrad, 1969).

## 4. B. Les données de sondage

### 4. B .1. Sondages de recherches pétroliers

Dans la région d'étude les recherches pétroliers est concentrée a ouest de la série érodée du continental intercalaire ; actuellement, les recherches pétrolières est important dans le bassin de Reggan. On va étudier deux sondages pétroliers le premier ou centre de région d'étude (Tazoult) et l'autre au limite sud (Reggane).

#### 4. B.1.1. Le sondage du Tazoult (Tt.1.)

Le profonde de 450m, le Continental Intercalaire à été rencontré sur une épaisseur de 395 m, la lithologie est comme suit : calcaire beige à grains de quartz, sable fin argileux verdâtre, argile sableuse rouge.puis beige et brun rouge, argile brune à niveaux sableux, (G.Conrad, 1969).

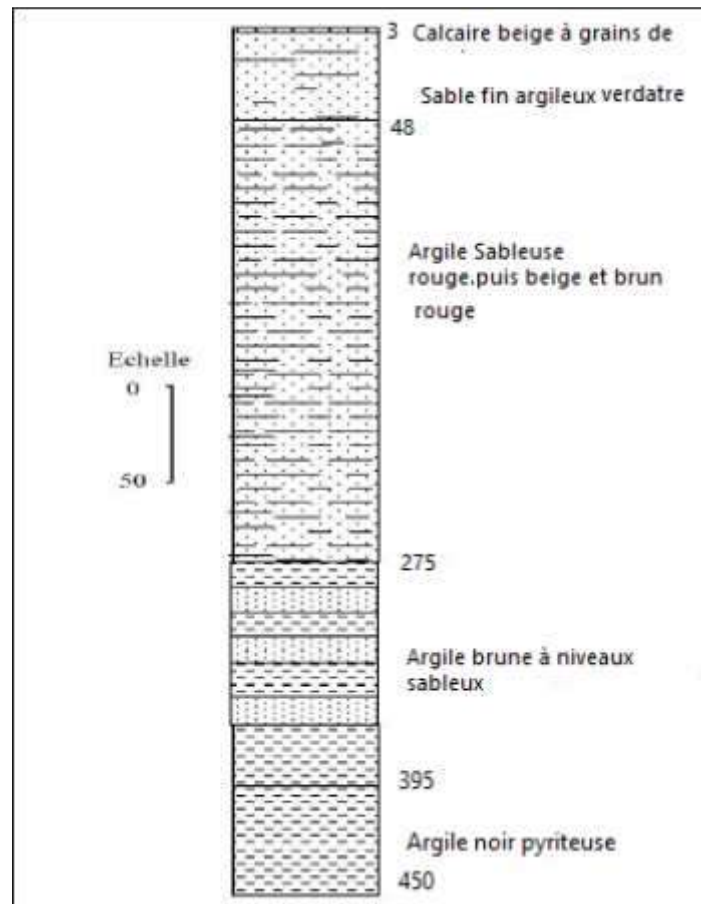


Figure 10: Sondage De Recherches Pétrolières Sondage du Tazoult (Tt.1.). (Bourgeois .M. 1957)

#### 1.4. B.1.2. Le sondage de Reggane N°6

Il n'est pas profond parapour au sondage de Tazoult, 120m de profondeur. Le Continental Intercalaire a été rencontré sur une épaisseur de 115 m. la lithologie est généralement presque identique : Grès, argile et sable, argile sableuse tendre, Grès calcaire tendre, Grès rouge assez dur à passées Gréseuses, Grès à traces de marnegrise. (G.Conrad, 1969).



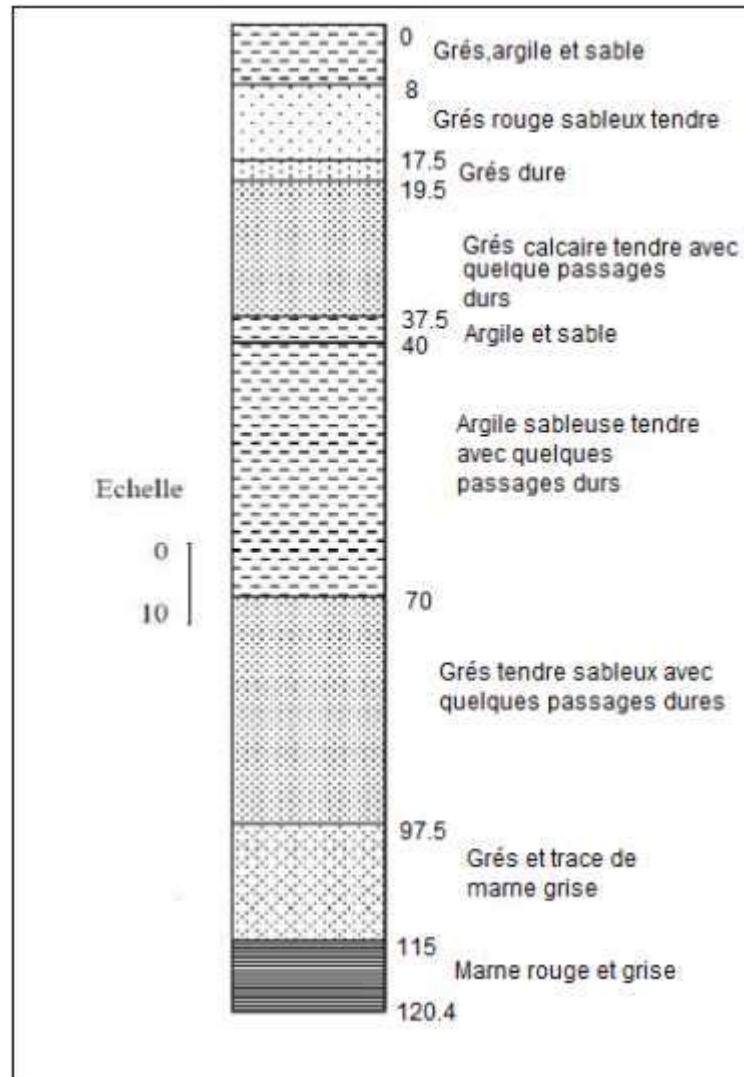


Figure 11 : Sondages De Recherches Pétrolières Sondage de Reggane N°6( Bourgeois .M. 1957)

#### 4. B .2 Sondages de recherches hydrauliques

Les forages hydrauliques englobent des forages agricoles et forages d'alimentation en eau potable, ont été d'un grand apport à la connaissance de la lithologie du Continental intercalaire parce que la majorité des sondages n'est dépassé pas ce l'âge.ces forages sont réalisé par ANRH d'Adrar. La profondeur de ces forages est comprise entre (80 à 150 m), avec une lithologie généralement elle est de type : Grès, argile, gravier, Grès quartzitique, calcaire, argile sableuse, on voit ça dans les forages suivants.

##### 4. B .2.1. Le forage de Tililane VII

Ce forage fait dans la limite Nord de la région d'étude, il est caractérisé généralement par des faciès continentaux détritiques, sa profondeur est 150m. Grès rouge avec des argiles rouges à la base, surmontée par l'alternance sable rouge et grès rouge, sable rouge et jaunâtre et calcaire blanc à la sommet.



4. B .2.2. Le forage de Bouali 04

Il est situé presque au centre (Touat central) de bassin de Reggane, avec 150m de profondeur. Ces faciès variable mais on peut regrouper dans : Argile rouge gréseuse à la base (12m), argile rouge, graviers, sable fin grès vert et calcaire compact siliceux à la sommet

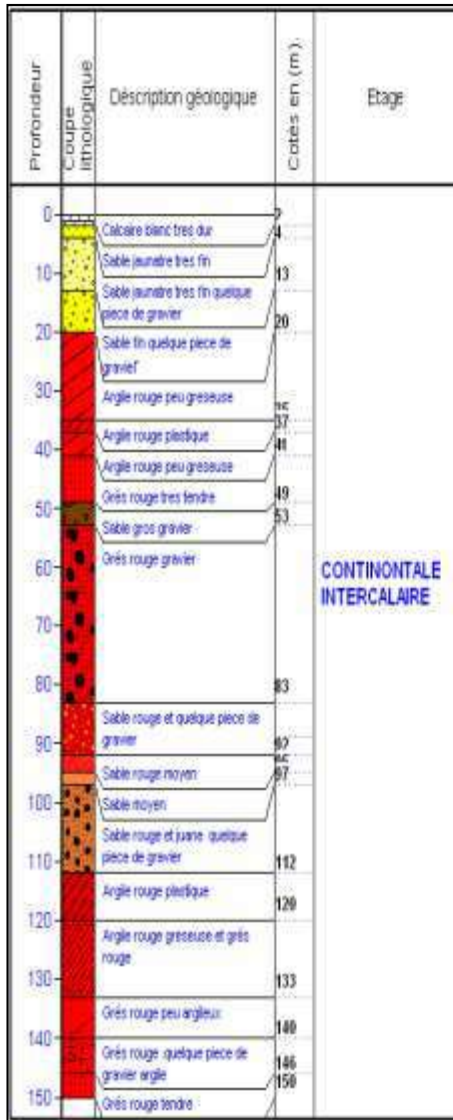


Figure 12 : Coupe lithologique du forage de Tililane VII (ANRH d'Adrar)

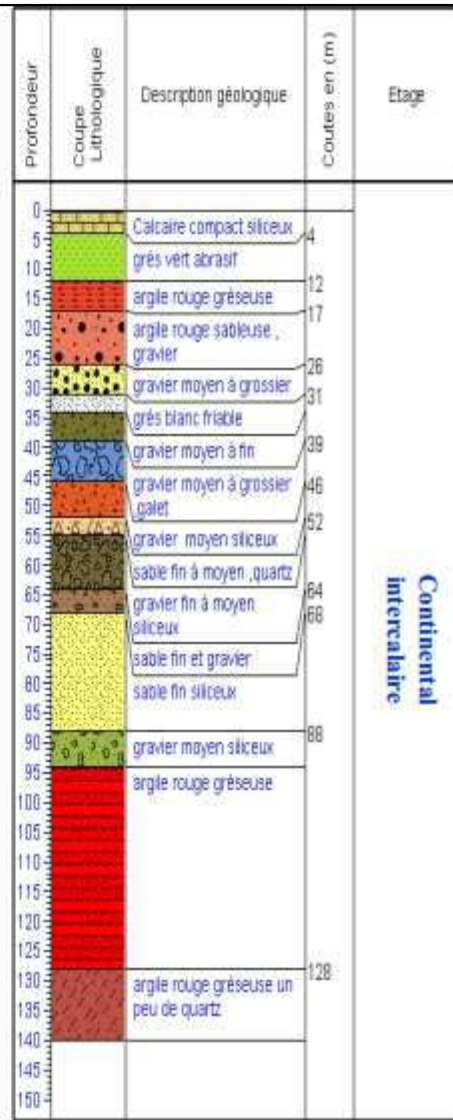


Figure 13 : Coupe lithologique du forage de Bouali 04(ANRH d'Adrar).

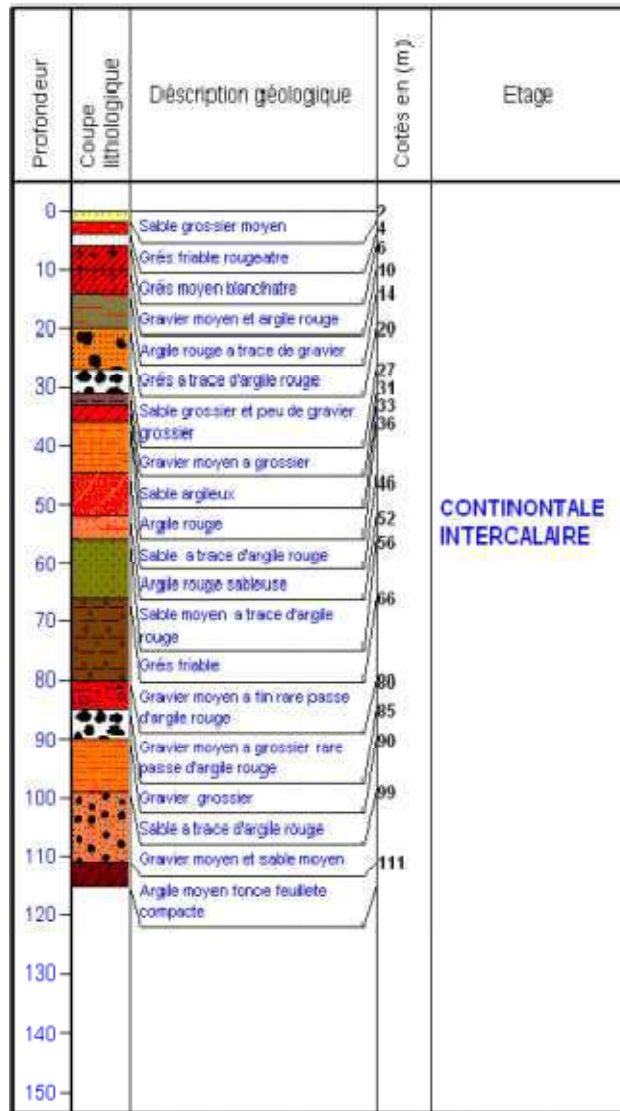


Figure 14 : Coupe lithologique du forage Azrafil (Reggane) (ANRH d'Adrar).

**4.1.1. b. Le Crétacé supérieur (Crétacé marin)**

Il représente les dernières grandes transgressions marines. Il recouvre la partie orientale de la région d'étude. Il est présenté par le plateau de Tademaït, constitué généralement par : une double dalle calcaire dure surmontant des argiles et des Grès rouge, de calcaires plus ou moins dolomitiques parfois pétris de coquilles marines.

**4.1.2. Le Cénozoïque**

**4.1.2.1. Néogène**

Il est représenté dans la bordure orientale de l'Erg, la Hamada de Tiouririne, emboîtée dans le Continental Intercalaire, a une dalle semblable à celle de la Hamada Chammar, avec à la base une torbacalcaréo-dolomitique, argileuse, Gréseuse, coiffée par une dalle calcaire dolomitique massive et fortement silicifiée.

#### **4.1.2.2. Le Plio-Villafranchien**

En suivant la piste Meyendorff, on atteint le pointement paléozoïque d'El-Ahmar, au SudOuest duquel on retrouve le faciès également lacustre matérialisé par des argilites vertes, à Poissons (C'est entre Kahlouche et Sali) et forme la base du Plio-Villafranchien. Des filonnets de gypse, vraisemblablement d'origine secondaire se trouvent dans ces argilites. Ces dernières sont très nettement emboîtées par rapport au Néogène, puisqu'elles sont à moins de 175 m d'altitude et cela témoigne de l'importance des recensements qui se sont produits dans cette région, après la sédimentation hamadienne.

#### **4.1.3. Le Quaternaire**

##### **4.1.3.1. Villafranchien Supérieur (Quaternaire ancien)**

C'est au Villafranchien supérieur que s'organise dans son ensemble le grand réseau hydrographique du Sahara algérien. C'est à cette époque que les écoulements canalisés présentent leur intensité maximale, et que les réseaux fluviaux endoréiques qui s'étaient individualisés au Plio-Villafranchien, ont la plus grande extension géographique.

Une petite hamada se développe aux environs de Bahmer, au milieu de la dépression du Touat. Les dépôts sont très réduits, conglomératiques ; ce dernier caractère est dû à la proximité des affleurements précambriens de Bahmer et de la Zaouïa-Sidi-Abdel-Kader. La petite hamada est constituée de 2 m de conglomérat à éléments de Grès arkosiques, mal roulés, pris dans un ciment argilo-Gréseux, surmontés par une dalle également conglomératique, à ciment calcaire, d'environ 2 m de puissance. Le Continental Intercalaire remonte en gradins, sur lesquels sont implantés les palmeraies, et ferme la dépression du Touat à l'Est.

##### **4.1.3.2. Le Pléistocène moyen (Quaternaire moyen)**

Le retour à des conditions climatiques subarides, pendant une longue période, a permis la réorganisation du réseau hydrographique ancien et le dépôt de sédiments fluviaux et lacustres, qui sont dans l'ensemble modestes et plus étroitement localisés dans les vallées que par le passé. Pendant cette période, s'est élaboré un glacis emboîté dans le glacis villafranchien ; des encroûtements calcaires ou des cuirassements ferrugineux, se sont formés sans atteindre l'ampleur de ceux du Villafranchien supérieur.

##### **4.1.3.3. L'Holocène (Quaternaire récent)**

La mise en évidence de cette période humide date des premières explorations sahariennes. L'abondance de l'outillage néolithique, celle des gravures rupestres, et les témoins d'anciens sols marécageux ont depuis longtemps attiré l'attention des voyageurs sur cette époque, géologiquement très proche. Dans la région de Touat et à l'Est de la palmeraie de Bou-Ali, un ensemble de tufs et de sols marécageux, datés de l'époque holocène indique le niveau d'émergence naturelle de la nappe du Continental intercalaire, pendant l'humide néolithique.

## 4.2. Tectonique

Dans le Sahara occidental, les mouvements de l'orogénèse hercynienne sont les principaux responsables de la déformation et de la structuration. Le bassin de Reggane est une vaste dépression du domaine cratonique, (stable). Cette synclise de la plate forme saharienne est fortement dissymétrique, orientée sensiblement Nord Ouest, Sud Est. Ce bassin est caractérisé par des événements tectoniques qui se sont produits au Cambrien-Viséen et au Carbonifère terminal. Sur le socle Précambrien repose en discordance une puissante couverture sédimentaire de l'ordre de 6500 m. Les formations du Carbonifère affleurent au Nord de Reggane et Ain-Chebbi.

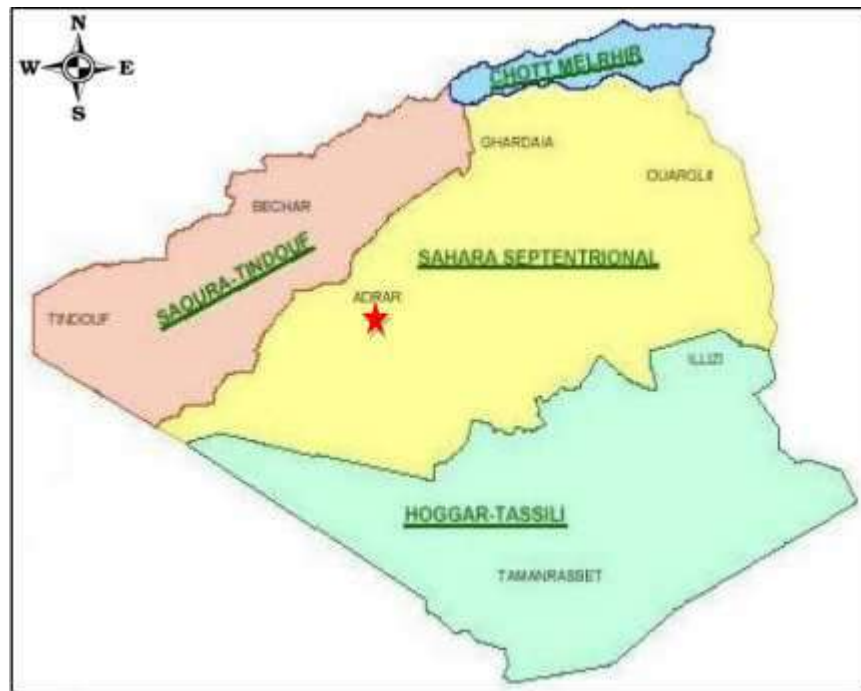
La géologie de la région d'étude est très variée, c'est le caractère de bassin de Reggane. Le paléozoïque est caractérisé par un socle cristallophyllien qui est représenté par un dépôt volcanosédimentaire (détritique) épais plissé attribué et métamorphisé. Le Mésozoïque qui est couvert la grande partie de la région d'étude Touat sert ou les terrains d'âge crétacé inférieure qu'il contient le Continental Intercalaire qui est plus important sur le plan hydrogéologie. Sur le plan géologique les formations dominantes appartiennent au Crétacé. Au Nord de la région étudiée le plateau de Tademaït constitué de terrains du Crétacé supérieur est ceinturé à l'Ouest, au Sud par une bande argilo-gréseuse constituant le reg à dragées de quartz de Meguiden et Tidikelt. Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz) et la présence des calcaires compacts siliceux parfois. Le caractère particulier de ces grès est leur grande porosité qui est nettement plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Elle est évaluée au minimum à 10 %.

## 5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIE

### 5.1. Système aquifère du Sahara septentrional

Le Sahara algérien est subdivisé en quatre ensembles hydrogéologiques (Figure.15) qui sont :

- L'ensemble de Saoura-Tindouf.
- L'ensemble du Chott Melrhir
- L'ensemble du Sahara septentrional
- L'ensemble du Hoggar-Tassili.



**Figure 15 :** Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien (ABHS)

Les besoins en eau sont en continuel augmentation afin d'assurer la survie et le développement des peuples ; par conséquent, l'eau devient avec le temps de plus en plus précieuse. La prospection pétrolière au XXème siècle est à l'origine de la découverte d'un gigantesque appareil hydraulique au Sahara qui est le système aquifère du Sahara septentrionale (SASS). Ce système aquifère formé par les nappes aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal s'étend dans sa plus grande partie dans le territoire saharien algérien. Le système aquifère du Sahara septentrional est partagé entre l'Algérie la Tunisie et la Libye.

Sa superficie telle qu'elle est déterminée par l'agence de bassin hydrographique Sahara ABHS, est de l'ordre de 1 million de Km<sup>2</sup>, répartie entre les trois pays comme suit :

- 650.000 km<sup>2</sup> en Algérie
- 250.000 km<sup>2</sup> en Tunisie
- 100.000 km<sup>2</sup> en Libye

Le volume total de ce système aquifère est évalué à 60.000 milliards de m<sup>3</sup>, Il correspond à un débit fictif de 100 m<sup>3</sup>/s pendant 2000 ans. Cependant son exploitation pose un certain nombre de problèmes comme :

- Difficultés d'exploitation dans les milieux désertiques (Ergs, plateaux chotts et sebkhas, représentent plus de 300 000 km<sup>2</sup>.
- Profondeur élevée induit un coût élevé du forage.
- Une forte température de l'eau nécessite un équipement pour refroidir.
- Problèmes de la Corrosion et de l'entartrage du tubage.

### 5.1.1. L'aquifère du Complexe Terminal (CT)

La nappe du Complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km<sup>2</sup> avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, qui sont appelés nappes des sables et nappes des calcaires. Le Complexe Terminal est constitué, par des formations d'âge et de lithologie différents : à la base il y a le Sénono-Eocène carbonaté et au sommet on trouve le Mio-Pliocène sablo argileux. La nappe du Complexe Terminal est en charge sous les formations argileuses du Mio-Pliocène dans la partie Nord et libre dans la partie sud. Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène.

### 5.1.2. Le Continental Intercalaire (CI)

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 Km<sup>2</sup> (figure.16). Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m<sup>3</sup> environ.

Située à plus de 1400 m de profondeur dans la zone de Touggourt, cette nappe est plus connue sous la dénomination d' « Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du « Continental Intercalaire », qui est la plus exploitée. Le terme de Continental Intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marin.

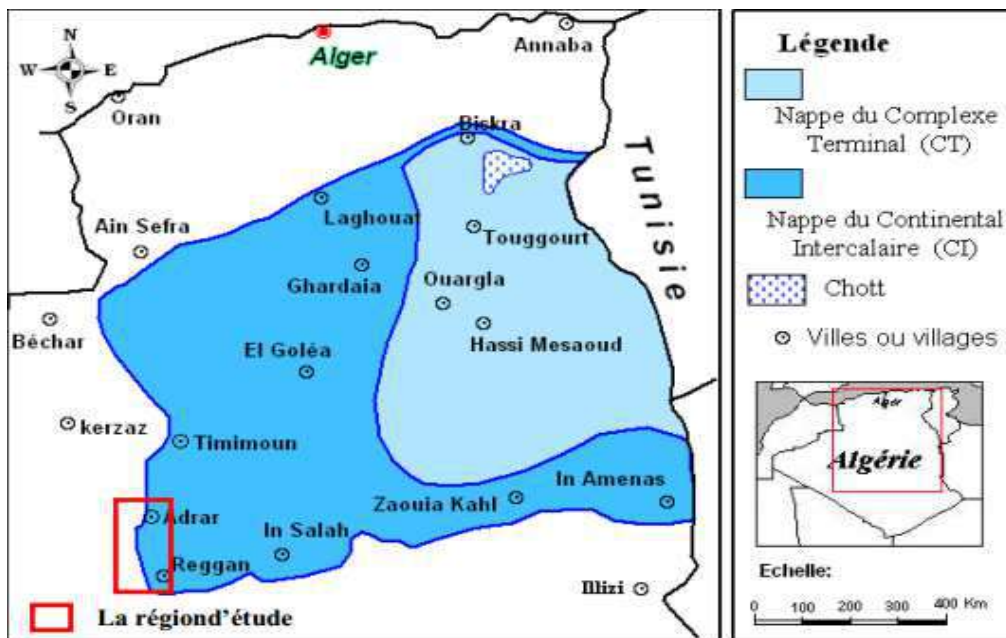


Figure 16 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal).



## 5.2. Hydrogéologie locale

La région d'étude situe à Sud -Ouest de l'unité hydrogéologique du Sahara septentrional. La plaine d'Adrar fait partie de ce sous bassin et se situe dans son rebord sud occidental. Les formations détritiques du continental intercalaires reposent en discordance angulaire sur un substratum d'âge primaire qui affleure dans la dépression de la vallée du Saoura (Oued Messaoud) à l'Ouest. Par contre à l'Est, elles sont recouvertes par des formations argilo gypseuses de la transgression du cénomaniens eux même sont surmontées par une dalle de calcaire du turonien et sénonien.

Le rôle joué par le Continental Intercalaire est important dans la partie médiane de la région étudiée ou il affleure largement. Il recèle en outre la plus importante nappe aquifère du Sahara, dont l'émergence conditionne l'existence des palmeraies du Touat, ce qui accroît encore l'intérêt de son étude.

### 5.2.1. Caractéristique de l'aquifère

Les apports du système aquifère du CI de la région d'étude s'effectuent selon différentes manières:

- 1 - Infiltrations des eaux de ruissellements sur les reliefs au bordure du Bassin versant de Tademaït.
- 2 - Infiltrations directes des eaux des précipitations.

Les axes d'écoulement des eaux de la nappe aquifère du CI sont généralement : Nord. SUD. Nord Est .....SUD ouest.

L'épaisseur de la formation du continental intercalaire varie du Nord vers le sud et de l'est vers l'ouest, selon les données des forages semi-profonds son épaisseur oscille entre 80 et 150 m. Notons que l'épaisseur diminue progressivement de l'est vers l'ouest et du nord vers le sud et échoue en biseau sur le substratum du primaire. Le niveau statique de la nappe aquifère du C.I oscille entre 13 à 30 m par rapport à la cote du sol et peut atteindre 100 m au niveau du plateau de Tademaït (Forages d'Ain belbel).

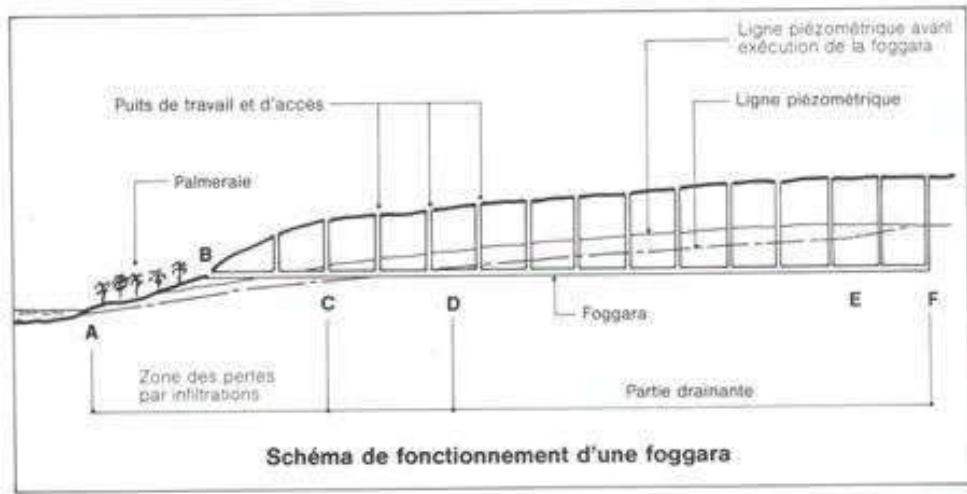
Vu la grande superficie du CI les paramètres hydrodynamiques varient d'une zone à l'autre suivant les types de formations géologiques qui prédominent. La porosité efficace ( $n_e$ ) = 20% La porosité totale ( $n$ ) varie entre 22% et 28% et la transmissivité entre  $10^{-1}$  à  $10^{-3} m^2/s$ .

L'exploitation traditionnelle des eaux dans la région se fait par les fameuses Foggaras de Touat comme au Tidikelt.

### 5.2.3. Les foggaras de la région de Touat

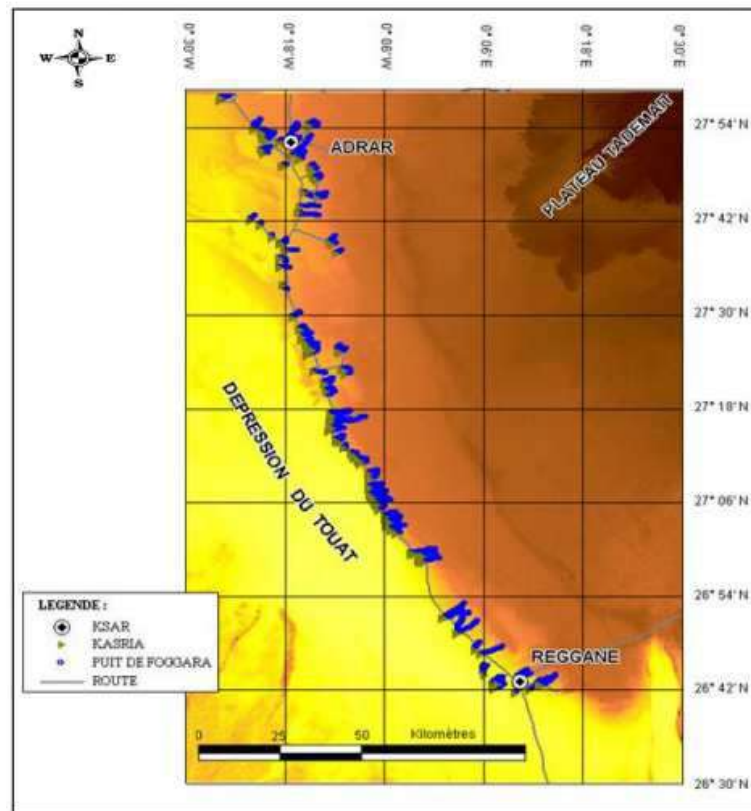
Le terme foggara désigne: une galerie souterraine qui consiste à drainer les eaux de la nappe aquifère du plateau vers les terrains irrigués situés dans la dépression. La foggara se compose de plusieurs puits avec des profondeurs variables réunis à leurs bases par une galerie, qui se caractérise par des dimensions géométriques variables d'une région à l'autre suivant la nature des terrains.

la foggara draine la nappe d'eau grâce à la différence de pression qui existe entre la galerie drainante et la surface de la nappe aquifère et que le débit drainé est proportionnel à la hauteur rabattue de la nappe d'eau.



**Figure 17 :** Schéma de fonctionnement de la foggara

D'après l'étude de la carte de positionnement des foggaras la (figure 18) montre l'alignement des foggaras à partir de la ville d'Adrar jusqu'à la ville de Reggan avec une direction Nord-ouest Sud-est, hydrogéologiquement cette position représente la limite Sud-Ouest des affleurements de la nappe du C.I. Ces Foggaras, situées au Sud-Ouest du Grand Erg Occidental, sont réparties sur la périphérie du plateau de Tademaït, véritable château d'eau des Foggaras.



(D'après BOUTADARA .Y (2009)



Les débits unitaires de chaque foggara variaient, les débits globaux par palmeraie restaient à peu près constants ». Ces débits, par région, sont indiqués sur le tableau 02.

**Tableau 02 : L'état des foggaras en 1998 et 2010 (source ANRH).**

L'état de foggara	Nombre des foggaras	Débit en l/s	Long en Km	Nombre de puits
En 1998				
PERENNE	915	2865.915	2324.108	187260
TARIE	487	/	/	/
En 2010				
PERENNE	700	2670	/	/
TARIE	702	/	/	/

Il est à signaler que certaines Foggaras captent les eaux de la nappe phréatique du Grand Erg Occidental. Cependant, en raison du tarissement de la nappe, de l'effondrement des galeries et de l'ensablement des Foggaras, le nombre de Foggaras nécesse de diminuer chaque année.

Les eaux souterraines sont, en général, peu minéralisées sous le Grand Erg Occidental, zone d'alimentation du système aquifère, elles sont à prédominance chlorurées ; elles se chargent rapidement en sulfates sur les limites de la zone à surface libre.

#### 5.2.4. Conditions aux limites

L'identification du comportement hydrodynamique de l'aquifère repose sur une identification rigoureuse des conditions aux limites. Leur étude porte sur leur situation et sur leurs conditions. Elles sont déterminées par des points (sources), des lignes (berges des rivières) ou des surfaces (aire d'alimentation). Dans notre cas, l'étude de la configuration de l'aquifère, a dégagé deux grands types de limites :

1. limites géologiques, closes, à position fixe ou limites étanches (flux nul), imposées par les structures hydrogéologiques. Ce sont : le substratum argileux, les passages latéraux de faciès, les biseaux de la nappe au contact des formations primaires au sud ouest de la région.
2. Limites hydrodynamiques, ouvertes, à position variable dans l'espace et dans le temps, imposées par les conditions extérieures (environnement de l'aquifère). Ce sont des Limites à flux imposé ou à conditions de débit (les débits peuvent être entrants ou sortant).

Les débits entrant représenté par les aires d'alimentation par infiltration des précipitations efficaces ; (pluies exceptionnelles tombées sur les plateaux du Touat et de Tademaït et celles de Grand Erg Occidental), ou par les rivières in filtrantes comme le cas de l'oued Messaoud. Les débits sortants représentés par les aires d'évaporation comme les Sebkhass.

#### 5.2.5. La morphologie de nappe (CI) dans la région d'étude

les capacités de production des régions à surface libre de la nappe du Continental Intercalaire, il paraît utile, avec les outils dont nous pouvons d'ores et déjà disposer, qui sont des

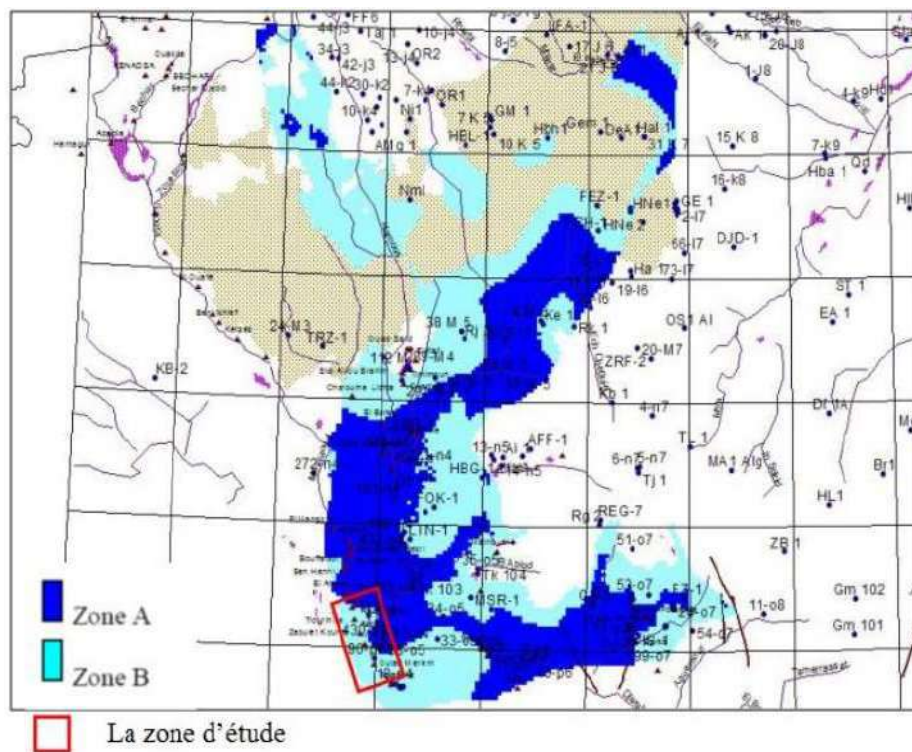
paramètres purement géométriques, de tenter d'identifier quelques indices de reconnaissance des zones les plus favorables de l'aquifère. Parmi ces indices, on peut citer :

- L'appartenance à la zone à surface libre
- Une valeur acceptable de la profondeur du Niveau d'eau
- Une épaisseur saturée du CI conséquente
- Une épaisseur efficace du CI suffisante

**Tableau 03 :** critères de sélection des zones favorables de l'aquifère du CI (Source ANRH d'Adrar).

Critère	Zone A	Zone B
Epaisseur saturée	> 200 m	> 100 m
Epaisseur efficace	> 100 m	> 50 m
Profondeur du N.S	< 60 m	< 120 m
Surface libre	<b>oui</b>	<b>oui</b>

Le résultat correspondant : la zone A, pour laquelle les critères de sélection sont beaucoup plus draconiens, possède en conséquence une extension plus réduite que la zone B.



**Figure 19 :** les Zones favorables du CI selon SASS 2002

### 5.2.6. Mobilisation de la ressource par forage

Ce système d'exploitation est actuellement le plus répandu pour satisfaire les besoins sans cesse croissant de l'AEP et la MEV (mise en valeur). Globalement le nombre de forages réalisés a atteint 747 forages (en 2000) mobilisant un débit de 30.4 m<sup>3</sup>/s soit 319 millions de m<sup>3</sup>/an avec un débit de 22.03 m<sup>3</sup>/s pour la MEV soit 72 % du volume total.

**Tableau 04 :** Mobilisation des ressources en eau dans la région d'Adrar (forage) selon "ANRH d'Adrar"

Utilisation	Débit mobilisable l/s	Nombre de forages	Débit utilise l/s	Nombre de forages
Débit destiné à AEP	8094	187	4223	186
Débit destiné à MEV	22036	535	8598	186
Débit destiné à AEI	296	25	115	18
Débit total	30426	747	12836	390

**Tableau 05 :** Quantité d'eau mobilisée et travers les daïra de la wilaya d'Adrar, Forage l'AEP (1998/2000) Selon "ANRH d'Adrar".

Daïra	Nombre de forage		Débit exploité (l/s)		Durée de pompage en (h)	Volume exploité en (m3/j)	
	1998	2000	1998	2000		1998	2000
Adrar	21	18	635	485	8	18288	13968
Fenoughil	22	22	512	475	8	14745.6	14745.6
ZtKonta	18	18	475	475	8	13680	13680
Reggane	24	25	352	402	8	10137.6	1157.6
Total	85	83	1974	1837		31968	27648

On peut conclure finalement, que le volume destiné MEV est plus grand que celui destiné l'AEP.

**Tableau 06 :** Quantité d'eau mobilisée et exploitée à travers les daïra de la wilaya d'Adrar, Forage l'MEV (2000).Selon "ANRH d'Adrar"

Daïra	Nbre de forage réalisé	Nbre de forage exploité	Débit mobilisable (l/s)	Débit exploité (l/s)	Durée de pompage (h)	Volume exploité (m <sup>3</sup> /j)
Adrar	50	32	2290	1612	8	46425.6
Fenoughil	61	23	2767.5	1030	8	29664
ZtKonta	156	60	6069	2718	8	78278.4
Reggane	29	14	754	352	8	10137.6
Total	296	129	9113	5712		29664

**Tableau 07 :** Confrontation entre ressources exploitées et besoin en eau (1998). Selon ANRH d'Adrar''

Daïra	Besoin en eau (m <sup>3</sup> /j)	Volume exploité réel (m <sup>3</sup> /j)	Déficit ou excédent (m <sup>3</sup> /j)	Confrontation ressources /Besoins
Adrar	12237	10972.8	1264.2	-
Fenoughil	4882	8847.36	3956.36	+
ZtKonta	5708.8	8208	2499.2	+
Reggane	5086.2	6082.56	996.36	+

Donc le tableau suivant nous aidait que la ressource en eau destinée à la consommation n'est pas bien répartie surtout en fonction de la population. Cela peut s'expliquer par : l'insuffisance des équipements hydraulique tels que les canalisations de transfert inadéquates et le manque des réservoirs de stockage suffisants.

## 6. CONCLUSION

La zone d'étude intéresse la partie centrale de la wilaya d'Adrar. Elle correspond à ce que l'on qualifie à Adrar le « TOUAT », il est constitué par 12 communes sous forme d'un ruban d'oasis qui s'égrènent du TSABIT au Nord à REGGANE au Sud.

La région d'Adrar fait partie de Sahara occidental, la surface du sol est occupée par les formes géomorphologiques suivants:

- la plaine
- la dépression
- les sebkhas
- les ergs
- Les terrasses d'apport éolien
- Le Reg

La région d'étude est caractérisée par un climat hyper- aride. La précipitation annuelle est très faible, elle de l'ordre 25.42 mm et qui ne constitue que 0.97 % du volume totale de l'évapotranspiration potentielle. Dans la région d'étude la Période sèches qui caractérisé mon climat. Le bilan hydrique d'Adrar est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, pendant toute l'année, le réserve facilement utilisable est nulle pendant toute l'année. Le déficit agricole est présent pendant douze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 264mm.

Le Mésozoïque qui est couverte la grande partie de la région d'étude Touat sert ou les terrains d'âge crétacé inférieure qu'il contient le Continental Intercalaire qui est plus important sur le plan hydrogéologie.

De point de vue hydrogéologique la région de Touat renferme une seule nappe, elle s'agit de la nappe de Continental Intercalaire.

Tous les forages recensés captent cette nappe à une profondeur varie entre (80 à 150). En générale, les forages réalisés dans cette région ont mis en évidence des terrains constitués dans l'ensemble, de grès quartzeux, d'argile, d'argile sableuse, de grès, de marnes rouges et de grès sableux. L'alimentation de la nappe du continental intercalaire est très faible dans la région d'étude par contre l'exploitation est très importante soit par des forages d'eau (296) soit par les foggaras (426). Le continental intercalaire de Touat est caractérisé par une épaisseur saturée > 100 m et une épaisseur efficace > 50 m.

## 1 INTRODUCTION

avant de traité et discuté les différentes résultats d'analyse des données obtenus dans les eaux de la nappe du continental intercalaire de la région de Touat on a besoin de définir les principaux méthode a suivre avec bien sur les différentes matériel on basant spécialement sur les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse des échantillons sans oublier l'outil informatique ( surfer , diagramme de piper, Phreeqci, v, 2.18 , Statistica.v6.1, Diagramme).

## 2 CONDITIONS ET MODE D'ECHANTILLONNAGE

Le choix du lieu de prélèvement des (26) échantillons (figure.20) est basé sur la répartition spatiale des différents points d'eau de façon à couvrir tout le secteur étudié (variation horizontale).

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).

en outre Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté ou en polyéthylène haute densité avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau distillée puis séchés, est recommandé. Ces flacons sont susceptibles de réutilisation après un lavage adéquat si l'échantillon n'est pas excessivement pollué. Les flacons destinés au prélèvement pour l'analyse des éléments minéraux seront traités à l'acide nitrique .tout ces étapes sont réalisés a l'aide de laboratoire d'ANRH d'Adrar , donc j'ai seulement prend les résultats de ces analyses et je les utilisé pour interpréter et démontré les différentes paramètres physico-chimique de cette région.



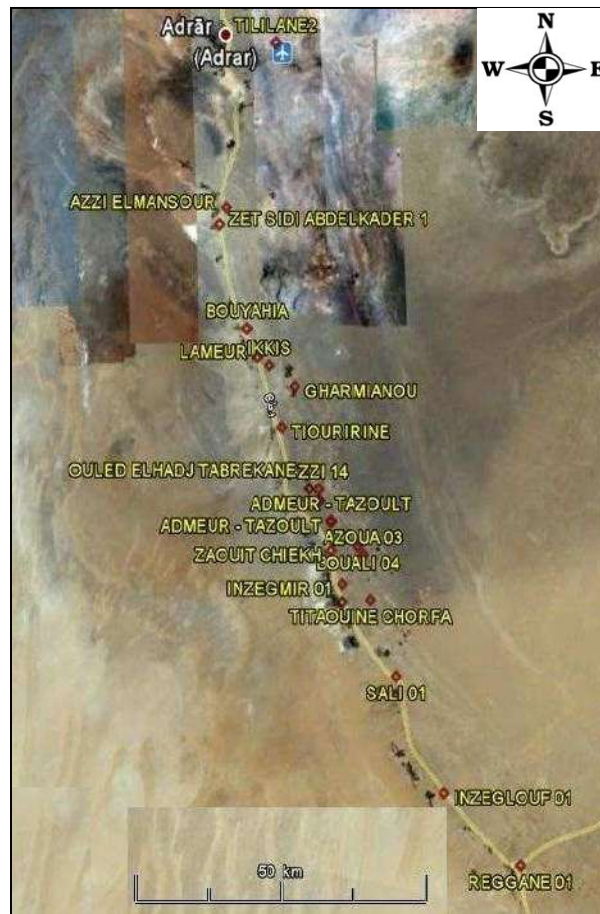


Figure 20 : Carte d'inventaires des forages échantillonnés

### 3 TECHNIQUES DE MESURES ET D'ANALYSES

Les paramètres physico-chimiques caractéristiques ont été mesurés pour tous les prélèvements et les analyses ont été faites au sein du laboratoire de chimie des Eaux de l'ANRH d'Adrar (2010-2016)

Les résultats des analyses chimiques de l'eau sont portés dans les tableaux et représentés sur les différents diagrammes à l'utilisation d'outil informatique tel que (Surfer, diagramme de piper, Phreeqci, v, 2.18, Statistica.v6.1, Diagramme...etc) dans le but de :

1. démontré les différents paramètres possède une influence sur l'évolution du chimisme des eaux.
2. Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux.
3. Déterminer l'origine de la forte salinité et la répartition quantitative des différents éléments majeurs.

Selon la technique standard (Rodier, 2005) nous avons déterminé quelques paramètres tel que :

### 3.1 Résidu sec (ou sels dissous totaux sur eau filtrée) Principe

Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

#### Matériel spécial:

- Capsule en aluminium, en verre borosilicaté ou en platine.
- Bain-marie.
- Étuve réglable à 105-110 °C et 175-185 °C.

#### Expression des résultats

La masse du résidu sec multipliée par 2 donne la masse du résidu sec de 1 litre d'eau.

### 3.2 Conductivité électrique

#### Définition et principe

La conductivité électrique d'une eau ( $\gamma$ ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique ( $\rho$ ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

$\gamma$  : conductivité (S/m ou bien  $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ).

$\rho$  : résistivité (en  $\Omega. m$ ).

R : résistance (en  $\Omega$ ).

L : distance entre les deux électrodes (en m). S : surface de chaque électrode (en m<sup>2</sup>).

#### Matériel spécial

Conductimètre. Quel que soit l'appareil employé, utiliser de préférence le courant alternatif.

### 3.3 Les pH

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène [H<sup>+</sup>] présent dans l'eau ou les solutions.

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H<sup>+</sup>.

- **Appareil** : pH Mètre
- **Electrode** : Electrode de pH combinée
- **Réactifs** : Tampon pH = 9, Tampon pH = 7, Tampon pH = 4





Figure 21: Conductimètre



Figure 22 : pH Mètre

### 3.4 Détermination de la Salinité :

#### Principe de la méthode

La Salinité offerte d'une eau au passage du courant électrique est fonction directe de la concentration ionique de la solution. Sa détermination donne donc une mesure indirecte des substances dissoutes.

#### Mode opératoire

On lave soigneusement les électrodes à l'eau distillée, et on les plonge dans l'échantillon, agitée. Ensuite, on lit la température de l'échantillon et on la fixe sur le compensateur du conductimètre. Enfin, on lit la conductivité sur l'échelle, le résultat est exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et  $\text{mS}/\text{cm}$ .

## 4 OUTILS INFORMATIQUES

### 4.1 Statistica.v6.1 (Stat Soft France, 2003)

Nous nous sommes servis de ce logiciel afin de déterminer les paramètres statistiques de nos données physicochimiques. Il s'agit de coefficient de corrélation, les valeurs max, min, ainsi que l'écart type. Une méthode de classification hiérarchique ascendante (CHA), a été réalisée par ce programme qui consiste à classer "**p**" variables, "**n**" observations, par construction d'une

matrice de distances entre les variables et les observations. On définit ensuite une règle de calcul de distances entre les groupements disjoints de variables ou d'observations. Les deux groupements dont la distance est la plus faible (selon ce critère) se réunissent et on réitère le processus jusqu'au regroupement complet de classes (Saporta, 1990). On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un dendrogramme ou arbre de classification.

#### **4.2 Phreeqci v.2,18 (Parkhurst and Appelo, 1990)**

L'étude hydrochimique a été effectuée par simulation à l'évaporation naturelle (température de l'échantillon), en utilisant le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqci.v.2.15. Le calcul de l'indice de saturation ( $IS = \log(Q) / \log(Kps)$ ) des minéraux dissous dans l'eau a été mené en utilisant la loi de Debye-Hückel, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.

#### **4.3. Le Diagramme de Piper**

Permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle.

Afin de matérialiser une étude se rapportant à l'hydrochimie des aquifères du CI de Touat, nous avons repéré dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute cette région. Des analyses ont été effectuées par le laboratoire d'ANRH d'Adrar et ont porté sur un certain nombre de paramètres physicochimiques. Des programmes informatiques ont été utilisés pour représenter les paramètres sus indiqués et en tirer des informations spécifiques.

#### **4.4 Diagramme (Simler, 2009)**

À l'aide de ce logiciel, on peut réaliser par le diagramme de Piper de Schoeller, et Reverside pour tester le faciès chimique des eaux, leurs aptitudes à l'alimentation en eau potable, et à l'irrigation.

#### **4.5 surfer v9**

Le traitement des données s'est effectué à l'aide de logiciels SURFER 9 qui a permis de construire la base de données physique de la zone d'étude. La réalisation des cartes en courbes d'isovaleurs ont été déterminées par krigeage linéaire.

Le krigeage est une interpolation qui estime les valeurs aux points non échantillonnés par une combinaison de données. La pondération des points est réalisée par une fonction de structure issue des données. Il est donc tenu compte des distances, des valeurs et des corrélations. C'est une technique de

calcul de moyennes mobiles utilisant les paramètres d'un variogramme pour obtenir une bonne estimation de la relation entre les points de données. Le variogramme correspond à l'évolution de la semi-variance en fonction du décalage entre les points.

## **5 CONCLUSION**

Afin d'accomplir une étude se remettant à l'hydrochimie des aquifères du CI de la région de Touat, nous avons essayé de délimiter dans notre mesure le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région de Touat. Quelques mesures et analyses physicochimiques au laboratoire d'ANRH d'Adrar, ont été effectuées. Des programmes informatiques ont été utilisés pour représenter les paramètres et caractériser les eaux de la nappe du CI dans cette région.

## 1 INTRODUCTION

On sait que les caractéristiques chimiques des eaux souterraines sont presque toujours influencées par la lithologie du réservoir. De plus la vitesse de circulation dans l'aquifère est un facteur important, suivant lequel les contacts eau et sol peuvent être court ou long, diminuant ou augmentant l'importance des échanges ioniques entre l'eau et le terrain traversé, par ailleurs on sait que la perméabilité d'un aquifère est un facteur important agissant sur la vitesse de circulation des eaux.

C'est la raison pour laquelle les rapports entre les caractéristiques physico-chimiques de l'aquifère et sa perméabilité d'une part et les caractéristiques chimiques de l'eau contenue d'autre part sont très étroites. Nous exposons dans ce chapitre les caractéristiques physicochimiques de la nappe aquifère dans la région de Touat et nous interprétons les résultats des analyses hydrochimiques. On commençant au premier lieu par l'établissement de la carte piézométrique avec le calcul de gradient hydraulique de cette dernière

## 2 PIEZOMETRIE

Dans la région de Touat les eaux du Continental Intercalaire sont destinées essentiellement à l'AEP et l'irrigation, les profondeurs de ces forages varient entre (80 et 150m). La carte piézométrique a été établie à partir des données fournies par l'A.N.R.H d'Adrar dans le but de définir le sens de l'écoulement des eaux souterraines, de déterminer les zones de convergences et de calculer le gradient hydraulique de la nappe de CI.

La carte piézométrique de la nappe de continentale intercalaire de la région de Touat (Adrar) établie en septembre 2016 par logiciel Surfer 9, montre que la partie haute de la nappe est située au Nord est avec une cote de près de 260m et la partie basse est située au Sud-Ouest, avec une cote de moins de 180m.

L'écoulement de la nappe se fait en général de Nord est vers Sud ouest. Cependant on peut aussi déterminer trois sens d'écoulement dans la région d'étude :

- Le premier s'écoule de NE-SE à partir du plateau de Tademaït vers la région de Reggane.
- La deuxième s'écoule de NE-SO à partir du plateau de Tademaït vers la dépression de Touat et erg Chech.
- Le troisième s'écoule de NE-NO à partir du plateau de Tademaït vers la ville d'Adrar.

La carte piézométrique montre des déformations des courbes isopièzes dans les centres urbains, avec apparition des dépressions piézométriques localisées principalement dans les zones de concentrations des captages par forages et par foggaras.

Le gradient hydraulique dans la zone d'étude (Figure 24) oscille entre 0.06% à 0.16%.

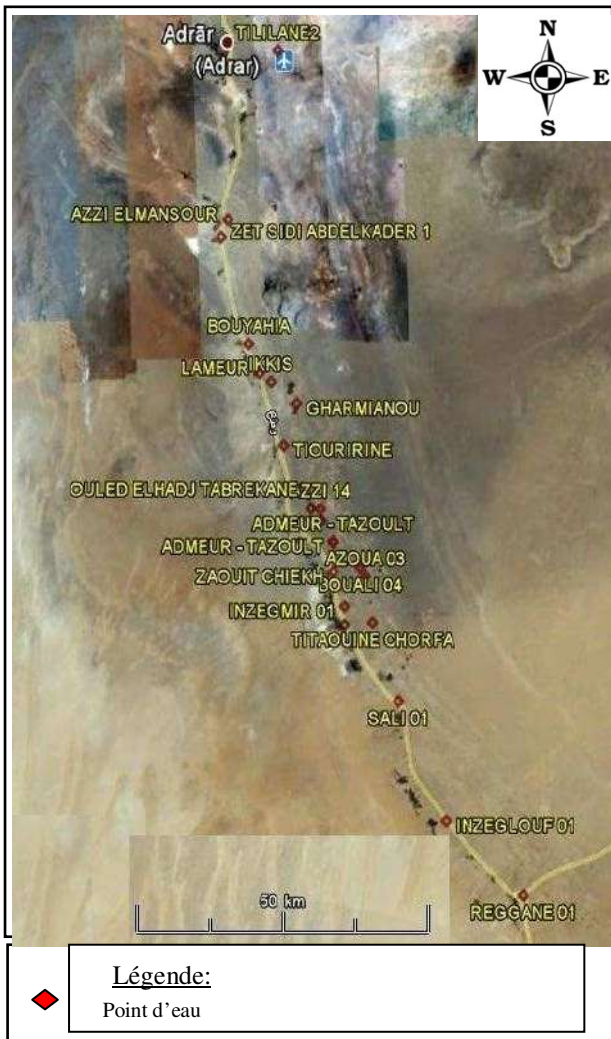


Figure23 : la situation géographique des forages d'eaux dans la région de Touat

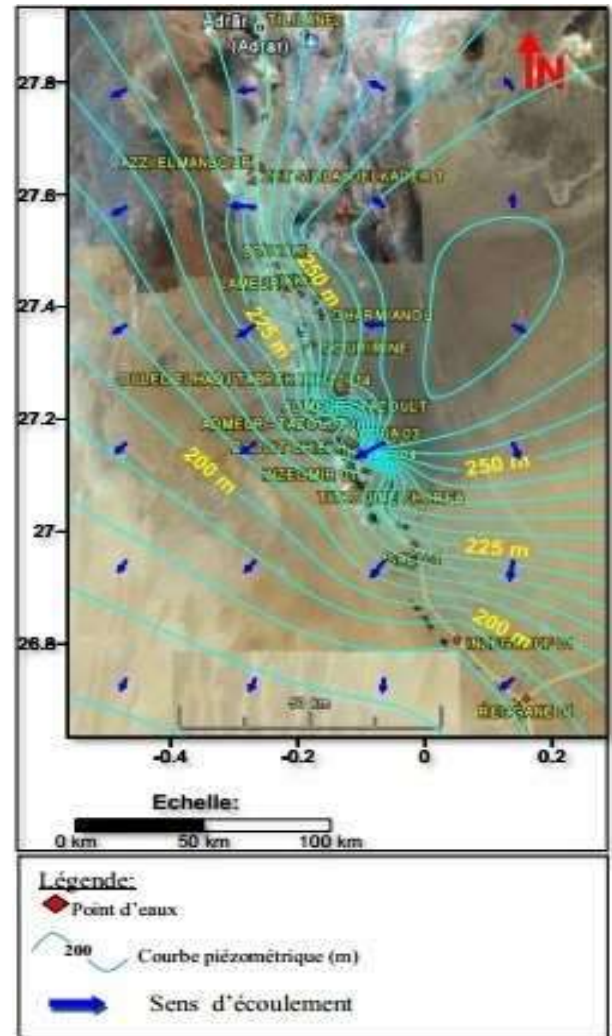


Figure24 : Carte piézométrique de la région de Touat

### 3 QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE LIBRE

#### 3.1 Les normes algériennes pour l'eau potable

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricte fixée par les responsables de la santé. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon le degré de développement des pays, c'est pour cette raison que les normes des pays développés (les Etats unis, Canada, l'Union Européen etc.) sont plus sévère en comparaison avec les pays en voie de développement (Algérie, Egypte, Tunisie etc.), où les moyens techniques de traitement des eaux sont moins disponibles. L'OMS fixe des normes moins sévères que celles des pays développés. Il existe ainsi près de 63 critères pour une eau propre à la consommation : ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile, portent sur plusieurs paramètres fixés avec l'aide de l'U.E. En Algérie, l'article 10 du 26 juillet 2000 fixe la norme algérienne pour l'eau potable (Tableau 08).



**Art.10.** l'état assure une surveillance des différentes composantes de l'environnement. L'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte, et les objectifs de qualité, notamment pour l'air, l'eau, le sol et le sous-sol, ainsi que les objectifs de surveillance de ces milieux récepteurs et les mesures qui doivent être précisées par voie réglementaire. Sur cette base, l'Algérie a établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n°51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation émanant du ministère du commerce. Ces normes ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 4 catégories: les paramètres organoleptiques, les paramètres physico chimiques, les substances indésirables et les substances toxiques.

**Tableau 08:** variation des paramètres physico-chimiques des eaux du CI dans la région de Touat.

Eléments	Normes Algériennes	Min	Max	Moyenne
PH	6.5<pH<8.5	6,82	8,5	7,30
CE	2800 $\mu$ S/cm	1130	4000	2467,90
RS	2000 mg/l	700	2500	1591,23
MIN	/	701	3298	1529,85
TH	35 °F	56	2500	59,75
TDS	/	744	3209	1559,53
Ca <sup>2+</sup>	200 mg/l	56	264	116,94
Mg <sup>2+</sup>	150 mg/l	27	150	75,42
Na <sup>+</sup>	200 mg/l	107	400	279,47
K <sup>+</sup>	20 mg/l	15	42	23,90
Cl <sup>-</sup>	200-500 mg/l	160	600	409,49
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	250 mg/l	60	207	152,62
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	200-400 mg/l	200	820	448,19
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50 mg/l	10	214	53,37
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1 mg/l	0	0,24	0,01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,5 mg/l	0	0,06	0,03

### 3.2 Paramètres physico-chimiques

**3.2.1 Température :** La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure (l'air), de saison, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Le gradient de température géothermale est de 3°C par 1 kilomètre. Cela signifie que les eaux souterraines sont d'autant plus chaudes qu'elles sont profondes.

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques, c'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique puisque sa teneur est fonction de la température. Une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs.

Les températures de l'eau de la nappe libre sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. La valeur maximale est de l'ordre de 26 °C, alors que la valeur minimale est d'ordre de 21°C. Les températures mesurées sont conformes à la norme algérienne de l'eau potable (25°C).

**3.2.2 Le pH :** La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions ( $H^+$ ) dans l'eau, il indique le degré d'acidité du milieu. Il dépend de l'origine des eaux souterraines et de la nature géologique des terrains dont elles circulent. Les valeurs de pH mesurées varient entre 6,5 minimum à 8.5 maximum, avec une moyenne globale de l'ordre de 7.3 dans l'ensemble de la région étudiée. Les valeurs du pH sont conformes à la norme algérienne de l'eau potable.

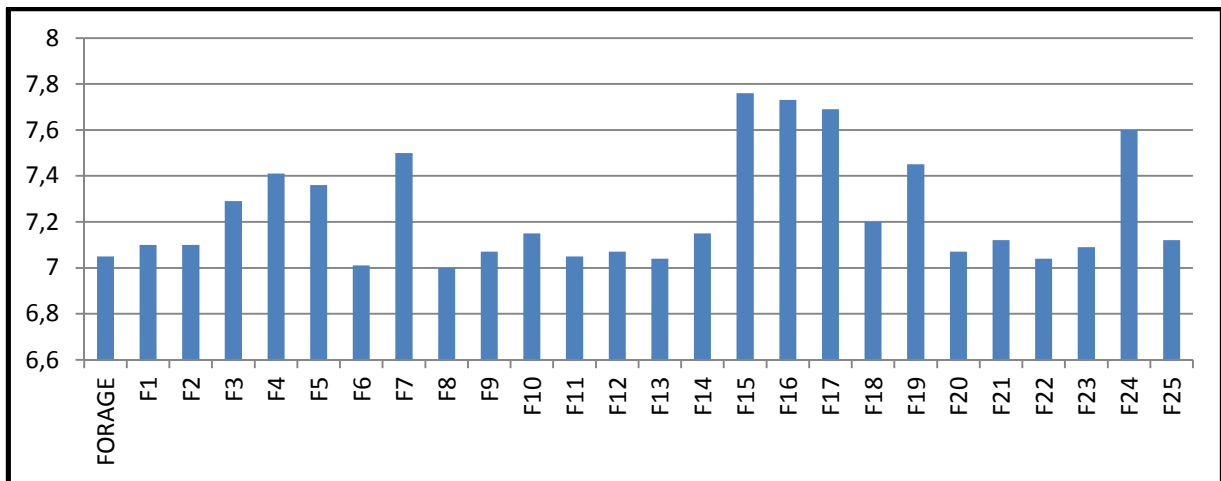


Figure 25 : Histogramme de variation de la pH des eaux de CI

**3.2.3 Oxygène dissous ( $O_2$ ) :** La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction. La teneur de l'oxygène dans les eaux profondes ne dépasse rarement 10 mg/l. Elle est fonction de l'origine de l'eau. La cause de toute variation peut être due à la présence des germes aérobies, des végétaux, des matières organiques oxydables,..., etc. (Rodier, 1984).

Les teneurs sont importantes dans les endroits où les formations aquifères sont les plus perméables. A l'inverse dans les endroits où la perméabilité diminue. La présence d'une couverture argileuse peut diminuer les teneurs en oxygène.

Les eaux du CI dans notre région semblent être caractérisées par des faibles teneurs en  $O_2$  dissous variant entre 3 et 7.5 mg/l (nous disposons des valeurs de certains points seulement)

**3.2.4 La dureté (TH) :** La valeur maximale de TH est de 127 °F, la valeur minimale observée est 30 °F. La moyenne étant de 59,75 °F. Donc 92,59 % des forages présentent des eaux dures à très dures par rapport au seuil fixé à 35 °F par l'OMS. La dureté semble la principale caractéristique des eaux de la nappe du CI dans la région de Touat. Ce qui entraîne des désagréments pour les usages domestiques à savoir :

- la mauvaise cuisson des légumes.
- le non moussage du savon.
- le bouchage des chauffe-bains.

- la formation des couches jaunes sur les baignoires...etc.

**3.2.5 La conductivité :** La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimés en  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Les résultats doivent être présentés pour une conductivité équivalente à 25°C.

La conductivité traduit globalement le degré de minéralisation d'une eau. Elle est liée à la présence d'ions en solution. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C.

Les eaux de la nappe libre (Figure 27) affichent des conductivités électriques ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable (2800  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) sauf les forages F23, F4 et F25. La plage des conductivités rencontrées s'étale entre 1130  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et 5400  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

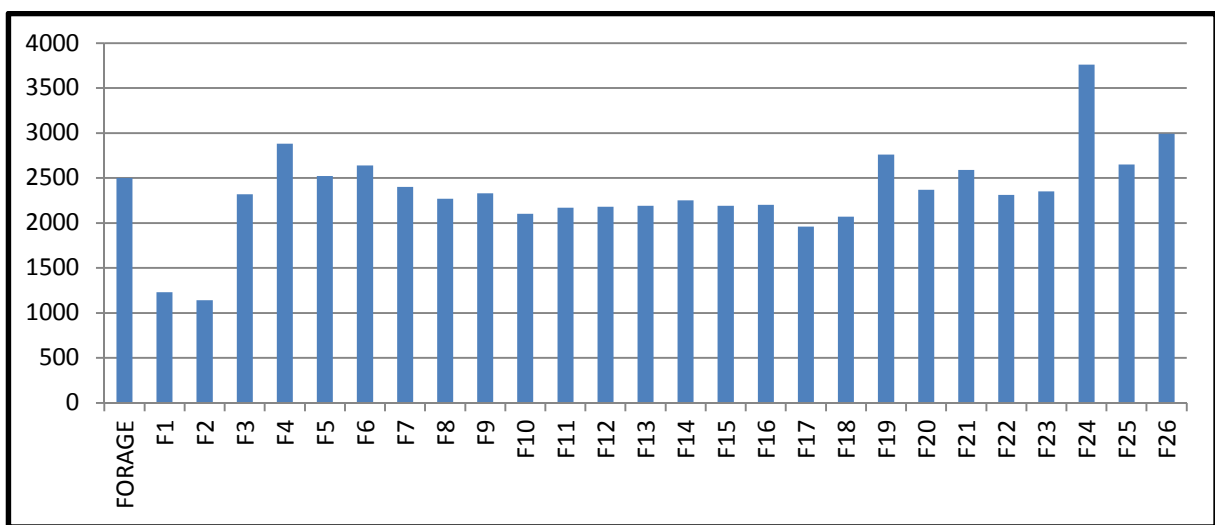


Figure26: Histogramme de variation de la conductivité des eaux de CI

**3.2.6 La TDS (Total Dissolved Solid) :** La teneur total en sels dissous (TDS) égale à la somme des ions majeurs contenus dans un litre d'eau. Elle est calculée à l'aide de logiciel Diagramme. Dans les eaux de CI de Touat, elle varie entre 744 mg/l et 3209 mg/l avec une moyenne de 1559,53 mg/l.

Tableau 09: variation des Total Dissolved Solid des eaux

(TDS (mg/l)	Type d'eau
1000 >	Eau douce
TDS<9999>1000	Eau saumâtre
TDS<99999>10000	Eau salée

- 11,12 % des échantillons ont une TDS<1000 mg/l.
- 88,88 % des échantillons ont une 1000 mg/l <TDS<9999 mg/l.

**3.2.7 Résidu Sec :** Le résidu sec exprime la totalité des sels dissous dans l'eau et des matières minérales et organiques en suspension. Ses valeurs permettent comme la conductivité, d'apprécier la minéralisation totale de l'eau. Pour des valeurs inférieures à 600 mg/l, l'eau peut être considérée comme bonne à la consommation humaine, mais au dessus de 1500 mg/l, elle



est désagréable. Les valeurs du résidu sec (Figure 27) s'échelonnent de 700 mg/l jusqu'à 2500 mg/l avec une moyenne de 1591,23 mg/l. Parmi les facteurs contrôlant la composition chimique des eaux souterraines, la lithologie joue un rôle déterminant, soit directement comme source de minéraux mis en solution dans l'eau, soit indirectement en favorisant ou en limitant, selon la perméabilité, les écoulements.

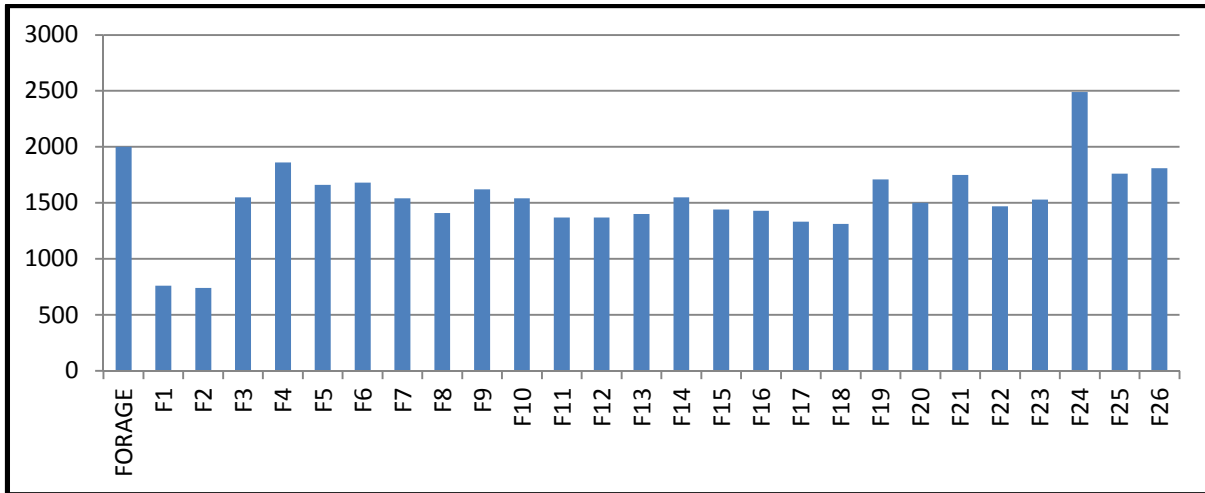


Figure 27 : Histogramme de variation de la Résidu Sec des eaux de CI

**3.2.8 Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :** Le calcium est un élément alcalino-terreux, il peut provenir des formations gypsifères (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O) et la dissolution de calcaire (CaCO<sub>3</sub>).

La teneur en calcium dans les eaux de la nappe libre (Figure 28) ne dépasse pas la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l), sauf au forage F24.

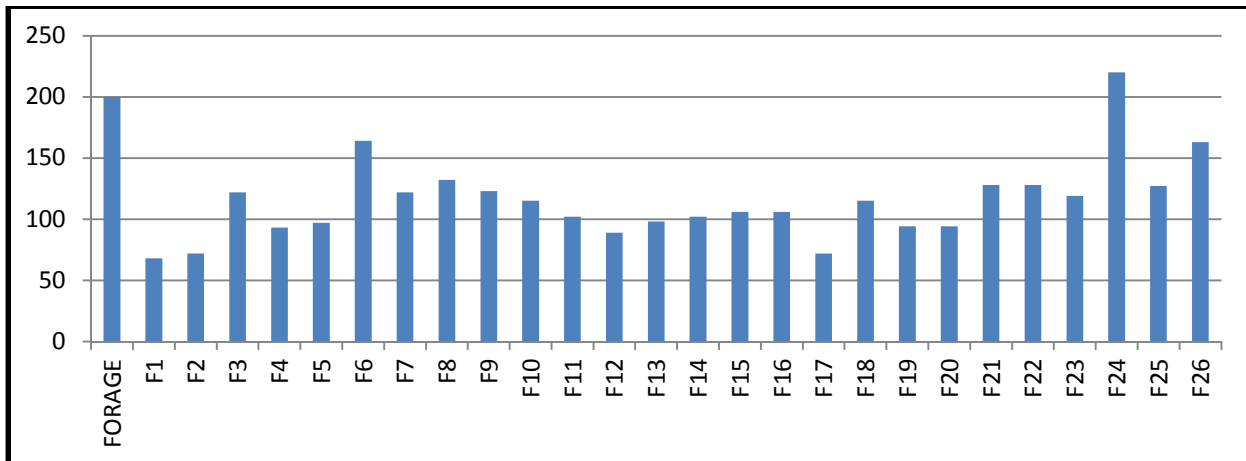


Figure28: Histogramme de variation de la teneur en calcium des eaux de CI

**3.2.9 Le Magnésium (Mg<sup>2+</sup>) :** Le magnésium est un métal alcalino-terreux, il provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens. C'est un élément qui a un rôle très important dans de nombreuses réactions enzymatiques intracellulaires. Il participe aussi à la transmission neuromusculaire de l'influx nerveux.

Les eaux de la nappe CI (Figure 29) renferment des concentrations de Mg ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable (150mg/l); la teneur maximale est de l'ordre de 161 mg/l alors que la valeur minimale est de 27 mg/l.

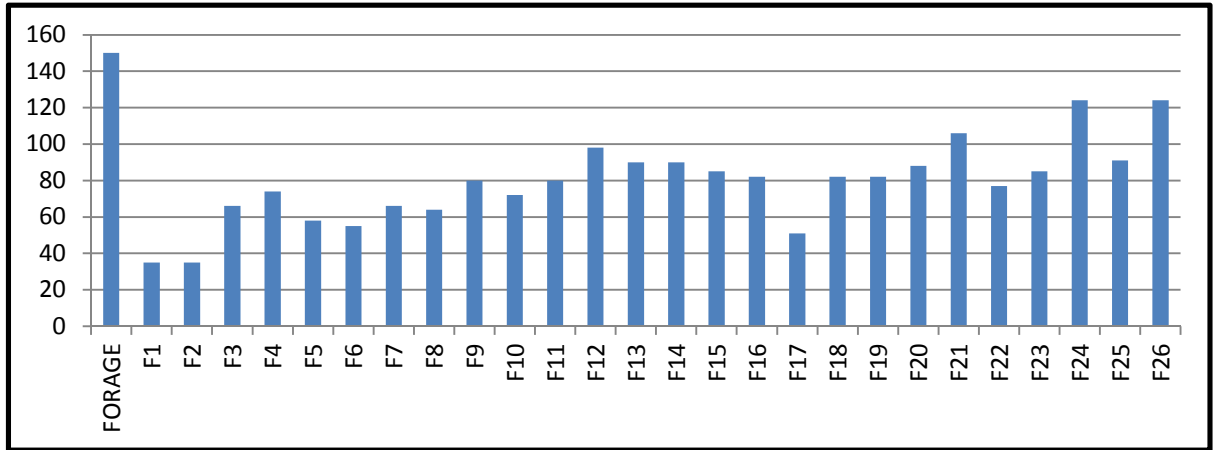


Figure 29 : Histogramme de variation de la teneur en Magnésium des eaux de CI

**3.2.10 Le Sodium (Na<sup>+</sup>) :** Dans notre région l'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques (halite) se fait selon la réaction suivante :  $NaCl = Na^+ + Cl^-$ . Elle peut aussi avoir comme origine l'échange de base causé par les formations argileuses intercalées dans les formations du Crétacé inférieur. Les teneurs en sodium (Figure 30) présentent en général des valeurs qui varient entre 107 mg/l et 740 mg/l avec une moyenne de 279,47 mg/l. Elles sont en majeure partie supérieures aux normes de potabilité (200 mg/l) de l'OMS et la norme algérienne.

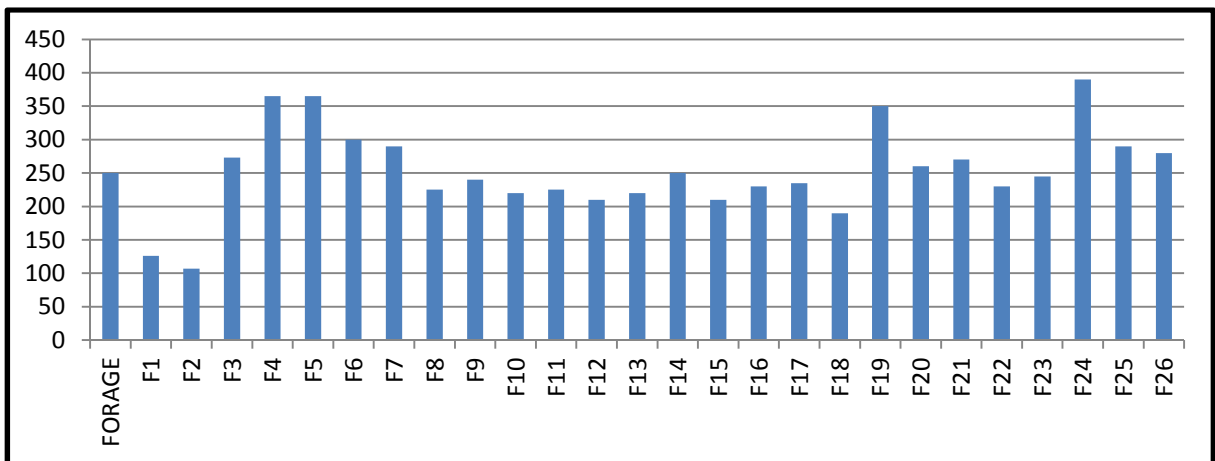


Figure 30 : Histogramme de variation de la teneur en Sodium des eaux de CI

**3.2.11 Le Potassium (K<sup>+</sup>) :** Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium. Dans la zone d'étude on le retrouve dans les évaporites comme le Sylvite et les produits chimiques utilisés en agriculture (le sulfate de potassium).

Les valeurs observées (Figure 31) montrent des concentrations variant entre 10 et 78 mg/l, avec une moyenne de 23,9 mg/l. plus de 60 % des points ont des concentrations supérieures à la norme algérienne de potabilité (20 mg/l).

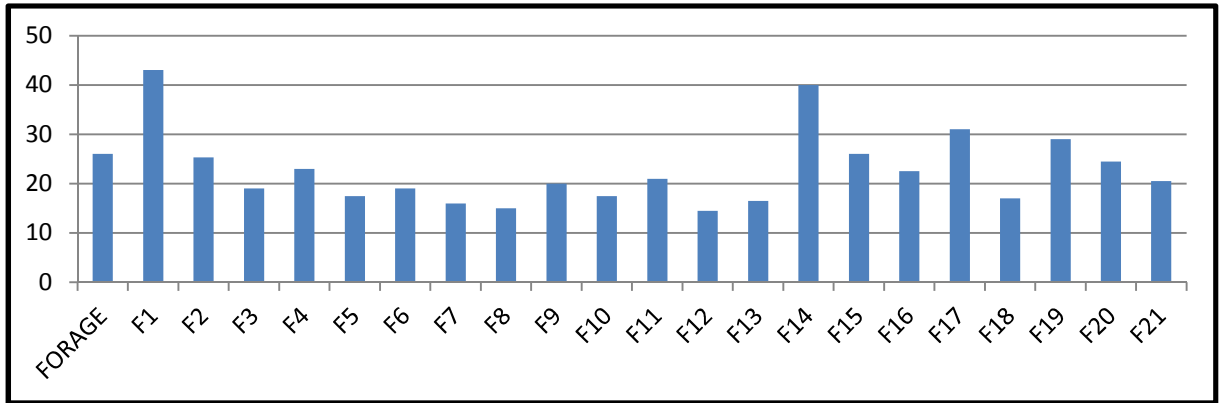


Figure 31 : Histogramme de variation de la teneur en Potassium des eaux de CI

**3.2.12 Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :** L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères.

Les teneurs enregistrées (Figure 32) montrent des valeurs importantes qui varient entre 160 mg/l et 600 mg/l. Elles ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable qu'est 500 mg/l sauf les forages F1, F4 et F24.

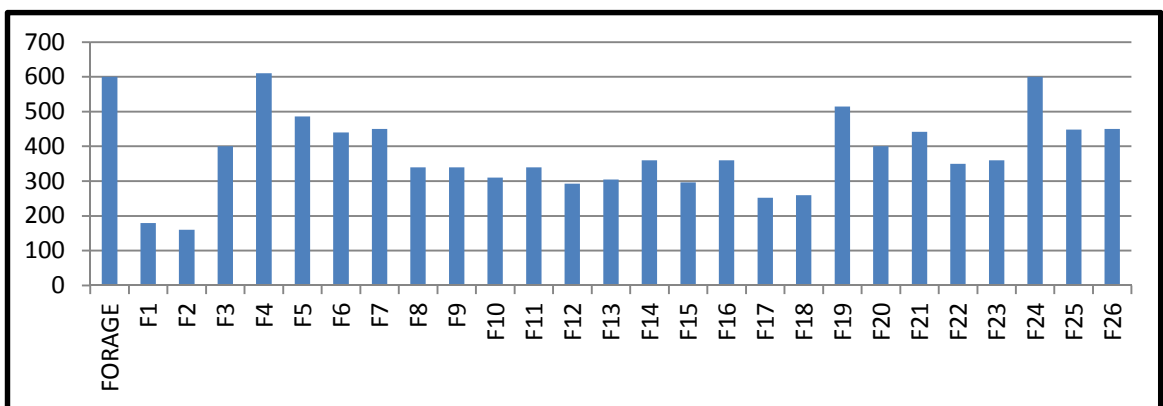


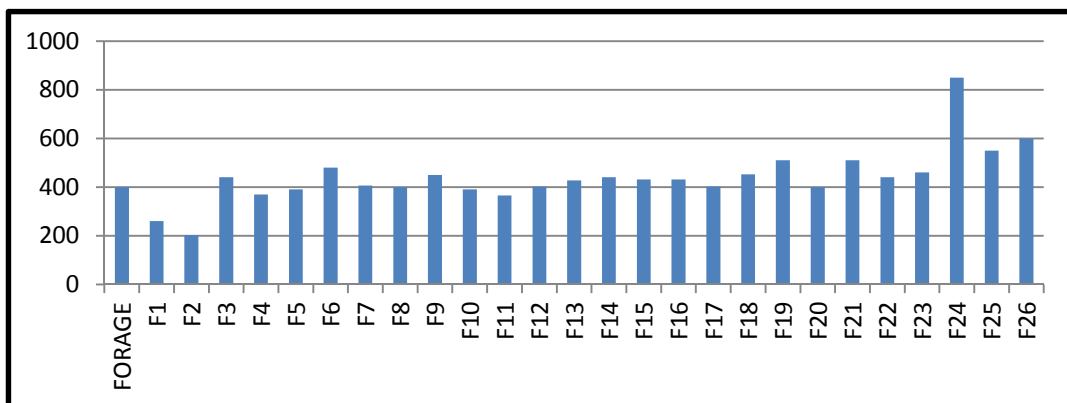
Figure 32 : Histogramme de variation de la teneur en Chlorures des eaux de CI

**3.2.13 Les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :** La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et par les eaux chargées en gaz carbonique. Les teneurs enregistrées montrent des valeurs qui varient entre 60 mg/l et 207 mg/l avec une moyenne de 152,62 mg/l. elles sont inférieures à la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l.

**3.2.14 Les Sulfates ( $\text{SO}_4^-$ ) :** La concentration en sulfates des eaux naturelles des terrains à faibles teneurs en minéraux sulfatés est généralement inférieure à 50 mg/l (Rodier1980). L'augmentation des sulfates peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires et/ou de pollution urbaine, industrielle et agricole. Des concentrations importantes en sulfates peuvent être corrosives pour les tuyauteries en particulier celles en cuivre. Dans les endroits où on trouve des concentrations importantes en sulfates, il est commun d'utiliser des matériaux résistants à la corrosion, comme des tuyaux en plastique.

L'histogramme de teneurs des sulfates (Figure 33), montre des valeurs très élevées variant de 200 mg/l à 820 mg/l, ils peuvent être liés à la dissolution des évaporites montrée par l'étude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude. Une deuxième origine serait attachée à l'activité anthropique liée à l'agriculture utilisant des produits chimiques à base de sulfates (le sulfate de potassium, le sulfate d'ammoniaque et le sulfo-phosphate d'ammoniaque).

Les valeurs de sulfate mesurées dans les eaux de la nappe CI dépassent largement dans la majorité la norme algérienne de l'eau potable qu'est 400 mg/l.



**Figure 33 :** Histogramme de variation de la teneur en Sulfates des eaux de CI

### 3.3 Les substances indésirables

**3.3.1 Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :** Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation des engrais chimiques en agriculture et aux rejets des eaux usées. Les teneurs observées (Tableau 10) varient entre 10 et 214 mg/l avec une moyenne de 53, 37 mg/l, soit 48 % des concentrations sont supérieures à la norme de potabilité (50mg/l) d'après L'OMS. Les valeurs les plus élevées (>100 mg/l) sont observées au niveau des forages.

**3.3.2 Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :** Ils représentent une forme moins oxygénée et moins stable, un intermédiaire entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. Les teneurs observées varient entre 0 et 0,24 mg/l avec une moyenne de 0,01 mg/l. Presque tous les points présentent des concentrations inférieures à norme algérienne de l'eau potable.

Elles sont dues à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium et à la réduction de la forme du nitrate. Sa présence dans l'eau avec des teneurs élevées témoigne d'une grande pollution organique.

**3.3.3 L'ammonium (NH<sup>+</sup><sub>4</sub>) :** C'est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels dans les sebkhas qui donnent des concentrations élevées, soit par réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites.

Les teneurs observées varient entre 0 et 0,06 mg/l. Presque 3 points présentent des concentrations supérieures à la norme de potabilité (0,1 mg/l).

**3.3.4 Les Phosphates (PO<sup>-</sup><sub>4</sub>) :** L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques, les teneurs en phosphates des eaux des forages sont inférieures à 0.5 mg/l.

### 3.4 Potabilité de l'eau de continentale intercalaire (CI)

A l'issue d'interprétation des analyses chimiques des eaux de la nappe de continentale intercalaire de la région d'Adrar, on constate que la majorité des forages sont non potable, elles nécessitant un traitement avant l'utilisation.

**Tableau 10 :** classification la potabilité des eaux d'après la norme algérienne

NOM	PH	Conductivity	RS	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Remarque
<b>NORME</b>	6,5 - 8,5	2500	2000	150	200	250	15	600	400	50	potable
<b>F1 TILLILLENE</b>	7,05	1230	760	35	68	126	15	180	260	22	potable
<b>F2 OUAD</b>	7,1	1140	740	35	72	107	11	160	202	26	potable
<b>F3 ZET SIDI</b>	7,1	2320	1550	66	122	273	25	400	440	13	non potable
<b>F4 AZZI</b>	7,29	2880	1860	74	93	365	33	610	370	15,7	non potable
<b>F5 GHARMIANOU 1</b>	7,41	2520	1660	58	97	365	26	486	390	33,8	non potable
<b>F6 LAHMEUR</b>	7,36	2640	1680	55	164	300	43	440	480	33,8	non potable
<b>F7 IKKIS 02</b>	7,01	2400	1540	66	122	290	25,3	450	406	26,5	non potable
<b>F8 OULED</b>	7,5	2270	1410	64	132	225	19	340	400	214	non potable
<b>F9 ZAGLOU 04</b>	7	2330	1620	80	123	240	23	340	450	50	non potable
<b>F10 INZEGMIR</b>	7,07	2100	1540	72	115	220	17,5	310	390	49	non potable
<b>F11 ZAOUIT</b>	7,15	2170	1370	80	102	225	19	340	366	36	non potable
<b>F12 ADMEUR -</b>	7,05	2180	1370	98	89	210	16	293	403	52	non potable
<b>F12 EL MENACIR</b>	7,07	2190	1400	90	98	220	15	305	428	44	non potable
<b>F13 ZAOUIT</b>	7,04	2250	1550	90	102	250	20	360	440	80	non potable
<b>F14 AZZI 14</b>	7,15	2190	1440	85	106	210	17,5	296	432	57,5	non potable
<b>F15 AZZI 34</b>	7,76	2200	1430	82	106	230	21	360	432	56	non potable
<b>F16 AZOUA 03</b>	7,73	1960	1330	51	72	235	14,5	252	402	52,5	non potable
<b>F17 BOUALI 04</b>	7,69	2070	1310	82	115	190	16,5	260	453	55	non potable
<b>F18 BOUYAHIA</b>	7,2	2760	1710	82	94	350	40	515	510	26	non potable
<b>F19 TIOURIRINE</b>	7,45	2370	1500	88	94	260	26	400	400	56	non potable
<b>F20 TILLOULINE</b>	7,07	2590	1750	106	128	270	22,5	442	510	75	non potable
<b>F21 TIDMAINE</b>	7,12	2310	1470	77	128	230	31	350	440	48	non potable
<b>F22 TITAUINE</b>	7,04	2350	1530	85	119	245	17	360	460	69	non potable
<b>F23 REGGANE 01</b>	7,09	3760	2490	124	220	390	29	600	850	100	non potable
<b>F24 INZEGLOUF</b>	7,6	2650	1760	91	127	290	24,5	448	550	60	non potable
<b>F25 SALI 01</b>	7,12	2990	1810	124	163	280	20,5	450	600	60	non potable

## 4 QUALITE DES EAUX DE CI POUR L'IRRIGATION

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de

coefficients plus ou moins fiables parmi les quels :

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

**4.1 Diagramme de REVERSIDE**

Les critères d’eau d’irrigation dépendent du type de sol, des conditions climatiques et de la qualité chimiques de l’eau. La qualité de la salinité de l’eau d’irrigation est généralement exprimée par des classes de convenance relatives.

Cet échange ionique peut être estimé par le « Sodium Adsorption Ratio » (SAR) qui s’exprime comme suit :

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

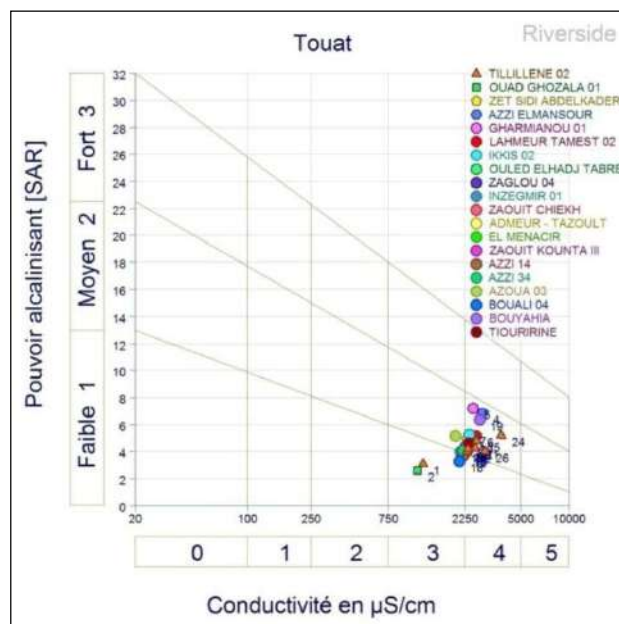
Le diagramme de Riverside (Figure 34) qui comporte les subdivisions suivantes :

1. S.A.R < 10 : eaux utilisées avec peu de danger d’alcalinisation des sols.
2. 10 < S.A.R < 18 : eaux utilisées avec un danger appréciable d’alcalinisation
3. 18 < S.A.R < 26 : eaux pouvant provoquer un danger d’alcalinisation.
4. S.A.R > 26 : eaux présentant un danger d’alcalinisation très fort

**Tableau 11:** Variation du SAR des eaux du CI dans la région du Touat.

Descripteurs	Min	Max	Moyenne
SAR	2,58	10,45	4,96

Les échantillons utilisés dans cette étude (Tableau 11) présentent un SAR < 10, il est compris entre 2,58 et 9.5, avec qui dépasse légèrement le seuil (10,45).



**Figure 34 :** diagramme de Riverside

On peut tirer de ce diagramme que la majorité des pions d’eaux sont des eaux présentant un danger d’alcalinisation très fort parce que la valeur de S.A.R élève (S.A.R > 26 ).

4.2 Classification de WILCOX

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti au diagramme de la (figure 35).

Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de « Wilcox », fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau (Louvrier 1976), pour examiner ce problème.

Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :  $\%Na = \frac{(Na + K)}{(Ca + Mg + Na + K)} * 100$

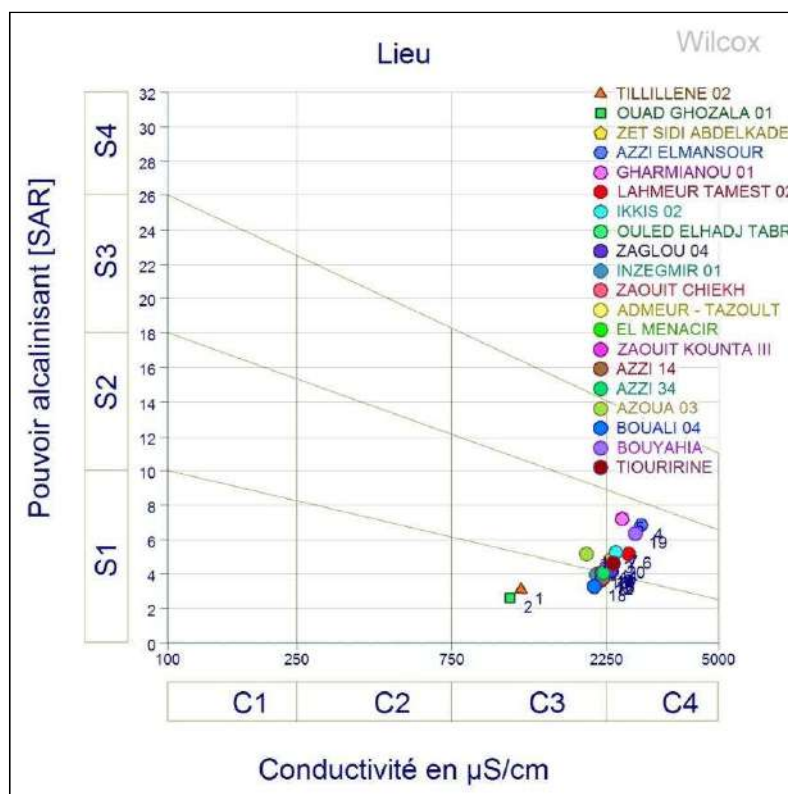


Figure 35 : diagramme de Wilcox

L'interprétation du diagramme de Wilcox (Figure35) indique que les eaux de la nappe CI, se trouvent dans deux classes :

1. C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub> : En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés( la majorité des échantillons présentés dans cette classe )
2. C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>: En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.



## 5 FACIES CHIMIQUES DES EAUX DE CI

Les échantillons ont été prélevés 2016 et les mesures des paramètres physico chimiques ont été effectuées sur 26 échantillons (forage), dans laboratoire d'analyse physico-chimique de l'ANRH à Adrar.

Le dosage a porté sur les éléments majeurs suivants:

- Cation :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$
- Anions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SiO}_2$

Il existe plusieurs classifications des facies des eaux naturelles ; on distingue deux critères fondamentaux de classification :

- La composition chimique.
- L'origine et le gisement des eaux.

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles sont celles de STABLER-SAULINE, ALKENINE, SCHELLER, PALMER et PIPER mais les plus utilisées sont celles de STABLER, PIPER et SCHELLER.

### 5.1 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter graphiquement le faciès hydro chimique. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celles des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Dans ce losange, le pôle haut correspond à 100 % de sulfates et chlorures et 100 % de calcium et magnésium, le pôle bas représentant 100 % de carbonate et bicarbonate et 100% de sodium et potassium. Ainsi, dans ce diagramme, une eau bicarbonatée calcique serait située au pôle gauche du losange alors qu'une eau chlorurée sodique serait située au pôle droit. La superposition de plusieurs analyses sur un même diagramme permet de comparer leur faciès hydrochimique , La représentation des éléments chimiques des différents échantillons sur le diagramme de Piper (Figure 36) montre que la majorité des échantillons se coïncident sur les pôles caractérisant les faciès Chloruré et sulfatée calcique et magnésienne et Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.

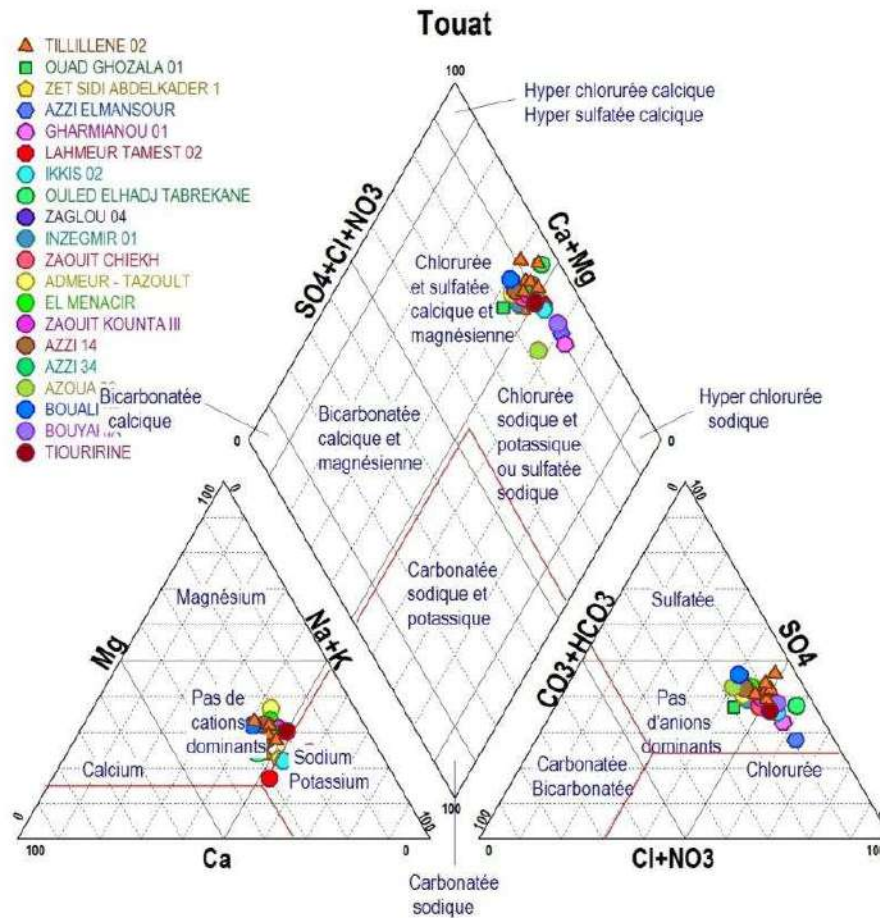


Figure 36 : diagramme de Piper

Selon ce diagramme en remarque qu'on a deux types de faciès :

- faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésienne (Tillillene 02, Zaglou 04, Admeur – Tazoult Et ZaouitKounta III)
- faciès Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (Zet Sidi Abdelkader Gharmianou 01, Lahmeur Tamest 02, Ikkis 02 Et Ouled ElhadjTabrekane)

Cela confirme les résultats par des diagrammes suivants. (Schoeller –Berkaloff et STABLER)

### 5.2 Classification de SCHELLER–Berkaloff

C'est un diagramme semi logarithmique Schoeller –Berkaloff est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux.

Tous les éléments chimiques sont reportés en (mg/l) sauf pour ( $\text{Na}^{++} + \text{k}^{+}$ ) et ( $\text{HCO}_4$ ) en méq/l, ce type de diagramme permet de représenter plusieurs points des eaux sur un même diagramme

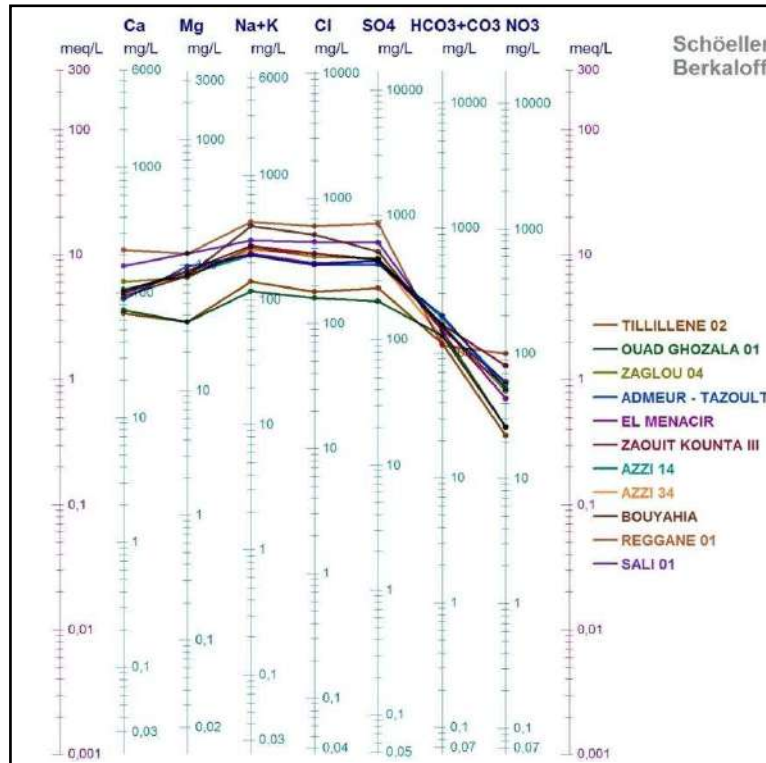


Figure 37a : diagramme de Schoeller –Berkaloff pour les facies sulfaté sodique

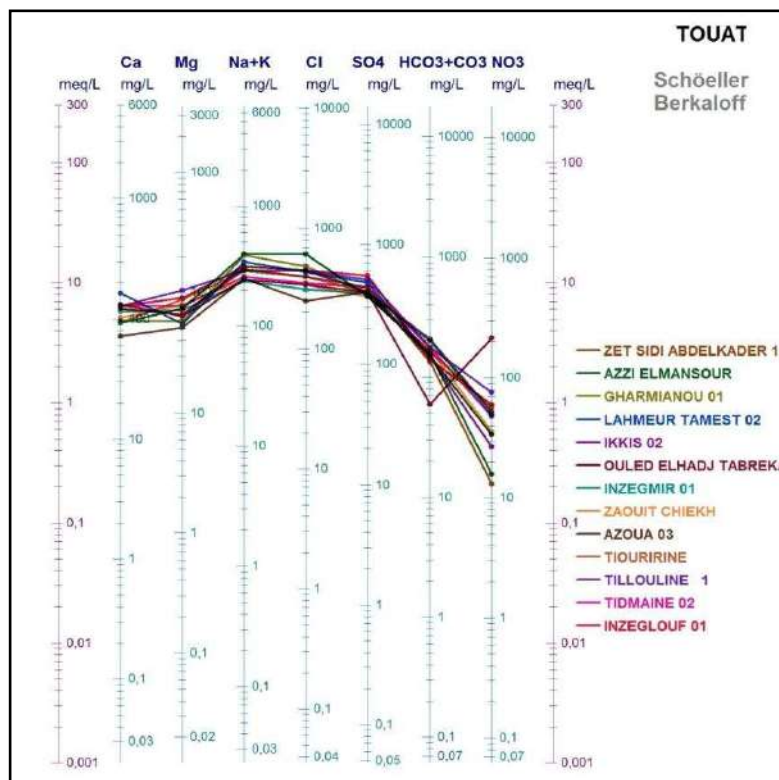


Figure 37b : diagramme de Schoeller –Berkaloff pour les facies Chlorurés sodique

Selon ce diagramme en observe que la qualité de la majorité des eaux est passable. On remarque aussi qu'on a deux types de faciès :

- Faciès sulfaté sodique à dominance calcique le cas dans le (Figure 37a)
- Faciès chloruré sodique à dominance magnésienne le cas dans le (Figure 37b)

Le tableau suivant porte les faciès chimiques et les formules caractéristiques des analyses d'eau des puits de la nappe de continental intercalaire de la région de Touat.

**Tableau 12:** Classification de STABLER des eaux de la nappe CI dans la région de Touat.

Faciès chimique	Formule caractéristique	%	Point de prélèvement
Chloruré sodique	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^{2-} > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++}$	57.70%	●ZET SIDI ABDELKADER1●AZZI ELMANSOUR●GHARMIANOU01●LAHMEUR TAMEST02●IKKIS 02● OULED ELHADJ TABREKANE●INZEGMIR 01● ZAOUIT CHIEKH● AZOUA 03● BOUALI 04 ●TIOURIRINE●TILLOULINE 1●TIDMAINE 02●TITAOUINE CHORFA●INZEGLOUF 01
Sulfaté sodique	$r\% \text{SO}_4^{2-} > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++}$	42.30%	TILLILLENE 02● ZAGLOU 04● ADMEUR – TAZOULT● ZAOUIT KOUNTA III●AZZI 14● AZZI 34● REGGANE 01●SALI 01● BOUYAHIA ●OUAD GHOZALA 01

Le tableau montre que les eaux de la nappe de continental intercalaire ont les faciès chimiques suivants :

- Chlorurés sodique représente (57.70%) des échantillons.
- Sulfaté sodique représente (42.30%) des échantillons.

## 6 ORIGINE DE CHIMISME DES EAUX

### 6.1 La matrice de corrélation des éléments chimiques

La matrice de corrélation des éléments chimiques (Tab.13) montre, une corrélation positive significative entre  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ - $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ - $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ - $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Na}^+$ - $\text{SO}_4^{2-}$ . Ces liaisons témoignent de l'influence évaporitique sur le chimisme de l'eau de la nappe de CI.

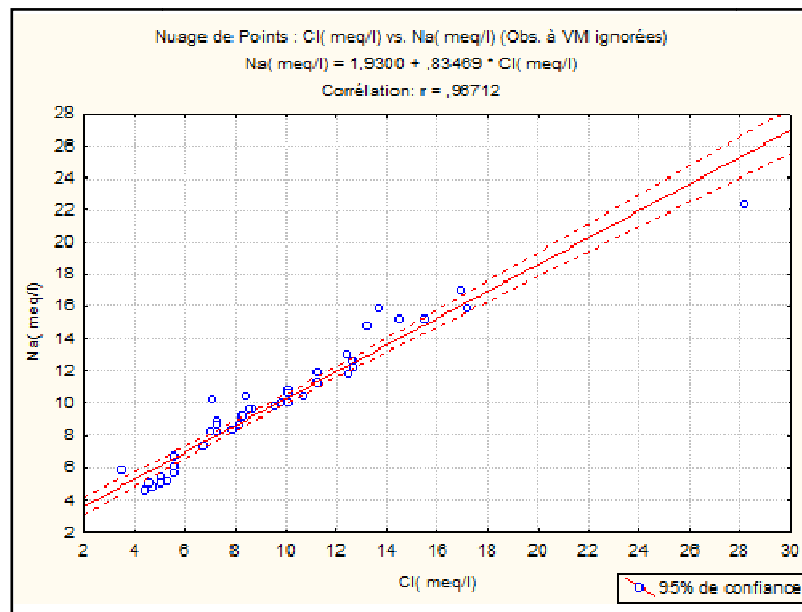
**Tableau 13 :** Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques de la nappe du CI.

	PH	CE	RS	MIN	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
PH	1											
CE	-0,01	1										
RS	-0,05	0,99	1									
MIN	-0,01	1,00	0,99	1								
Ca	0,00	0,64	0,65	0,64	1							
Mg	-0,12	0,68	0,70	0,68	0,54	1						
Na	0,00	0,93	0,92	0,93	0,40	0,47	1					
K	0,04	0,81	0,80	0,81	0,26	0,35	0,88	1				
Cl	0,00	0,91	0,89	0,91	0,37	0,43	0,97	0,90	1			
SO <sub>4</sub>	-0,02	0,81	0,82	0,81	0,78	0,80	0,63	0,48	0,53	1		
NO <sub>3</sub>	0,07	0,17	0,17	0,17	0,45	0,39	-0,01	-0,13	-0,04	0,35	1	
HCO <sub>3</sub>	-0,20	-0,11	-0,08	-0,11	-0,08	0,00	-0,15	-0,16	-0,15	-0,13	-0,19	1

## 6.2 Étude des rapports caractéristiques

L'étude des rapports caractéristiques permet déterminer l'origine géologique des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux.

**6.2.1 Sodium-Chlorure (Na-Cl) :** Ces deux éléments chimiques sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution du sodium est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau. Le graphe (Figure 38) montre un alignement des points sur la droite de dissolution de l'halite, ce qu'il confirme que les eaux de la nappe résultent de la dissolution de l'halite. Cette relation confirme par l'existence du faciès chloruré sodique. Cependant quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cela s'explique par l'existence d'une autre origine des ions de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .



**Figure 38 :** La variation de Sodium-Chlorure (Na-Cl)

**6.2.2 Sulfate Calcium ( $\text{SO}_4\text{-Ca}$ ) :** La variation de  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction de  $\text{SO}_4^{2-}$  donne une bonne corrélation linéaire ( $R^2 = 0,78$ ). L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du calcium (Figure 39). Cette relation traduit la dissolution de gypse et anhydrite. Cependant quelques points présentent un excès de sulfate (provient d'une origine autre que le gypse et l'anhydrite). Cette relation est confirmée par l'existence du faciès sulfaté calcique.

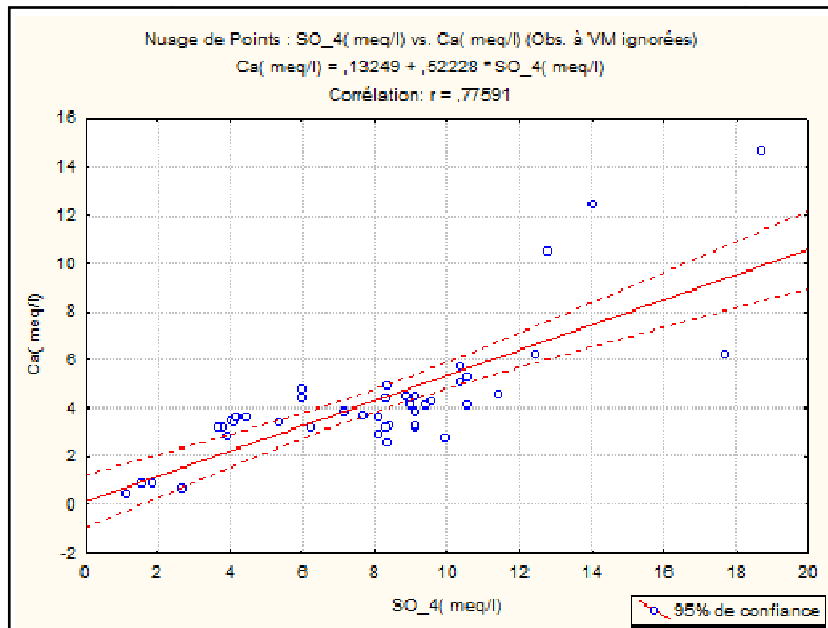


Figure 39: La variation de Sulfate Calcium (Ca –SO<sub>4</sub>)

**6.2.3 Sulfate- Magnésium (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Mg<sup>2+</sup>):** La variation de Mg<sup>2+</sup> en fonction de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> donne une bonne corrélation linéaire (R<sup>2</sup> = 0,80). L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du Magnésium (Figure 40). Cette relation traduit la dissolution de Epsomite( MgSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O), Kieserite ( MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) ...etc. Cependant quelques points présentent un excès de sulfate (provient d'une origine, qui peut être l'échange de base).

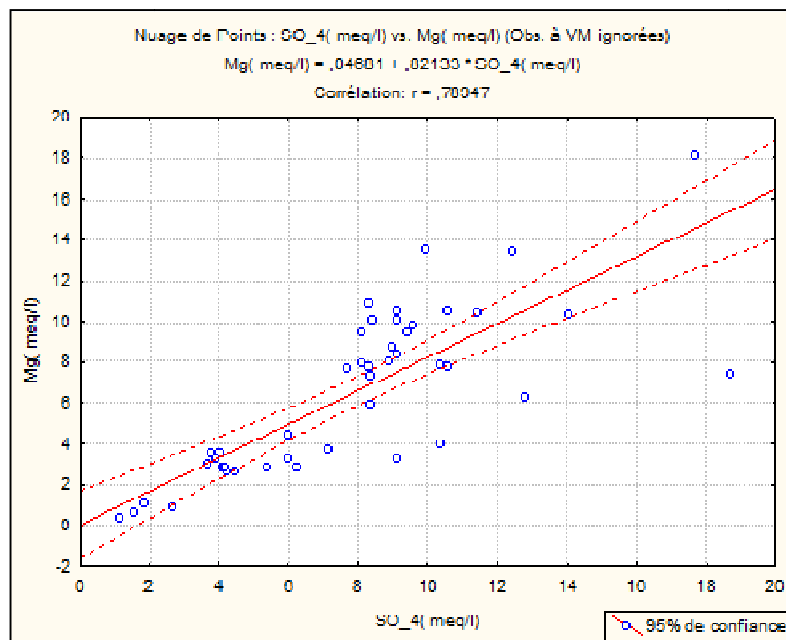


Figure 40: La variation de Sulfate- Magnésium (Mg<sup>2+</sup>-SO<sub>4</sub>)

**6.2.4 Sulfate-Sodium (SO<sub>4</sub>-Na):** L'examen de graphe (Figure41) montre une évolution proportionnelle des sulfates et du sodium. Cette relation indiquant probablement une origine commune l'exemple de la Mirabilite ( Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O).

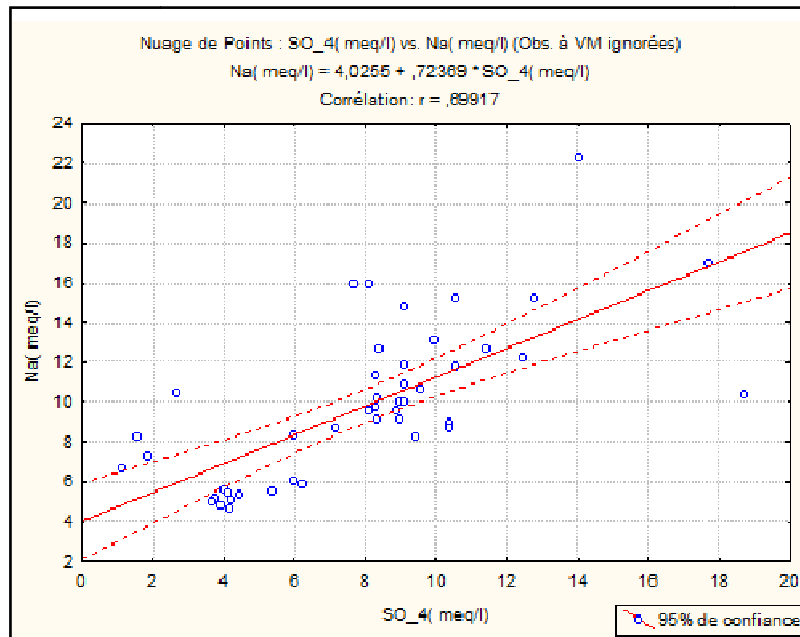


Figure 41 : La variation de Sulfate-Sodium (Na-So<sub>4</sub>)

### 6.3 Indice d'échange de base (i.e.b)

L'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'eau au cours de son séjour souterrain entre une relation avec différentes substances ayant la propriété d'échanger les ions contre ceux contenus dans les eaux parmi ces substances nous avons (minéraux, l'hydroxyde ferrique ....etc.)

D'après SCHELLER (1943), l'indice d'échange de base est exprimé par la formule suivante :

$$i.e.b = rCl - r(Na^+ + K^+) / rCl$$

- Si  $i.e.b > 0$  : l'eau est d'origine sédimentaire, soit 8,64 % des échantillons ont un i.e.b supérieur à 0, c'est le cas de 07 forage.

- Si  $i.e.b < 0$  : l'eau est d'origine cristalline, soit 91,36 % des échantillons ont un i.e.b inférieur à 0 c'est le cas des forages restants.

Pour les eaux analysées des 07 forages on a des valeurs positives, ce qui indique que l'enrichissement des eaux en Chlorures qu'en Alcalins. Donc, les eaux sont d'origine sédimentaire. Les autres forages montrent des valeurs négatives, ceci peut être expliquer par un apport d'eau salée (transgression cénomaniennne) car il peut déjà y avoir un déséquilibre d'origine, comme dans l'eau de mer où  $rCl > rNa + rK$ , comme dans les eaux issues des roches cristallines où  $rCl < rNa + rK$ , sans qu'il y ait eu échange des bases, et par l'influence du régime climatique de la région car d'après Schoeller, en climat, semi-aride et aride l'i.e.b négatif représente l'origine sédimentaire des eaux.



**7 CONCLUSION**

L'interprétation de la carte piézométrique de la nappe de continentale intercalaire de la région de Touat (Adrar) établie en septembre 2016, montre que l'écoulement de la nappe se fait en général de Nord est vers Sud ouest. On constate aussi l'existence de déformations des courbes isopièzes dans les centres urbains, avec apparition des dépressions piézométriques localisées principalement dans les zones de concentrations des captages par forages et par foggaras. Le gradient hydraulique dans la zone d'étude oscille entre 0.06% à 0.16%.

Les résultats d'analyses physicochimiques montrent que les eaux de la nappe de continentale intercalaire de la région de Touat sont non potables nécessitant un traitement avant l'utilisation et elles sont de qualité médiocre pour l'irrigation à cause de la forte minéralisation. Elles sont dominées par deux types de faciès (Chlorurés sodique et Sulfaté sodique).

La minéralisation des eaux de la nappe de CI est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier), au phénomène d'échange de base et des apports anthropiques (pollution).

## CONCLUSION GENERAL

La région d'Adrar est située dans la partie sud de l'Algérie, elle représente la limite Sud-ouest du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS). Le climat est hyper-aride avec une température très élevée et une précipitation annuelle très faible d'ordre de 25.42 mm et qui ne constitue que 0.97 % du volume total de l'évapotranspiration potentielle.

La géologie de la région de Touat est constituée de sédiments d'âge Crétacé inférieur, reposant en discordance sur le socle Précambrien. Les formations du Crétacé inférieur (continental intercalaire) qui affleurent largement sont constituées essentiellement d'un faciès grès-argileux (grès, argiles, sables et graviers à divers proportions). Ces formations renferment une importante nappe libre, qui constitue la principale ressource en eau de la région.

L'étude hydrogéologique a permis de montrer que la nappe du Continental Intercalaire constitue la seule ressource en eaux dans la Région, Tous les forages recensés captent cette nappe à une profondeur varie entre 80m à 150m. En générale, les forages réalisés dans cette région ont mis en évidence des terrains constitués dans l'ensemble, de grès quartzeux, d'argile, d'argile sableuse, de grès, de marnes rouges et de grès sableux. L'alimentation de la nappe du continental intercalaire est très faible dans la région d'étude par contre l'exploitation est très importante soit par des forages d'eau (296) soit par les foggaras (426). Le continental intercalaire de Touat est caractérisé par une épaisseur saturée > 100 m et une épaisseur efficace > 50 m.

La carte piézométrique régionale de la nappe du CI, montre deux directions principales d'écoulement: généralement du Nord vers le Sud (piémonts de l'Atlas saharien vers Gourara et Touat) et de l'Est vers l'Ouest (du Plateau de Tademaït vers Touat). Elle montre aussi des déformations des courbes isopièzes dans les centres urbains, avec apparition des dépressions piézométriques localisées principalement dans les zones de concentrations des captages par forages et par foggaras. Le gradient hydraulique dans la zone d'étude oscille entre 0.06% à 0.16%.

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région de Touat montre que les eaux de la nappe de continental intercalaire sont non potable nécessitant un traitement avant l'utilisation et elles sont de qualité médiocre pour l'irrigation a cause de la forte minéralisation. Elles sont dominées par deux types de facies (Chlorurés sodique et Sulfaté sodique). La minéralisation des eaux de la nappe de CI est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier), au phénomène d'échange de base et des apports anthropiques (pollution).

1. BENHAMZA M mémoire de magister 2013 aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « foggara » dans la région d'Adrar
2. AKKOUCHE M. (2007) - Application De La Datation Par Traces De Fission a L'analyse De La Thermicité De Bassins A Potentialités Pétrolières.Exemple De La Cuvette De Sbaa Et Du Bassin De L'ahnet-Nord (Plate-Forme Saharienne Occidentale, Algérie) Ecole Doctorale Des Sciences Du Vivant, *Thèse Doc*
3. BENBRAHIM Z. BOUDOUAYA F Z. ( 2009)-Les Analyses Physico-Chimiques Des Eaux Souterraines Destinées A L'alimentation En Eau Potable De La Ville D'Adrar – Univ: *Mém licence LMD* Colonel Ahmed DRAÏA D'Adrar
4. BESBES M, LARBES A, BABASY M, MERZOUGUI B.(2005),Modélisation Du Système Aquifère Du Bassin Occidental Du Sahara Septentrional ,Première Phase :Hydrogéologie Et Modèle Conceptuel .rapport final d'OSS.
5. BOUTADARA Y.(2009) , Etude Hydrogéologique Des Systèmes De Captage Traditionnels Dans Les Oasis Sahariennes Cas Des Foggaras De La Région Du Touat (Adrar) univ : *Mém, Magister*, USTO ORAN
6. CONRAD G. (1969). L'évolution Continentale Du Sahara Algérien (Saura, Erg Chach, Tanezrouft, AhnetMoydir), édition du centre national de la recherche scientifique Paris. *pp.* : 49-65.
7. DJAAFRI M.(2007) ,Etablissement d'une carte vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par la méthode DRASTIC cas de la région d'Adrar (Touat) ,univ : senia Oran
8. DRAOUI A.(2009) ,Etude Géologique De La Région D'el Ahmer D'âge Dévonien Inferieur Et Moyen : Implication Lithostratigraphique Et Sédimentologique (Bassin De Reggane, Sahara Occidental, Algérie) -Univ : Es-Sénia d'Oran
9. DUBIEF J. (1953), Essai Sur L'hydrologie Superficielle Au Saharien, direction du service de la colonisation et de l'hydraulique service des études scientifiques Clairbois – BIRMANDEIS, ALGERIE. *pp* : 163-168.
10. exploitation des eaux dans les zones arides L'évolution De L'exploitation Des Eaux Souterraines Dans La Daïra D'Adrar, Fenoughil Et ZaouiteKounta. ANRH

D'ADRAR (2004)

11. FABRE J. (2005).Géologie Du Sahara Occidental Et central, vol 8 édition Terouren Africain Géosciences collection Belgique.
12. Gilbert G.(1973), Régime économique et structure du pouvoir : le système des foggara du Touat.Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°13-14.pp. 437-457
13. GILLI E.MANGAN C .MUDRY J. (2008), Hydrogéologie Objets, Méthodes, Applications. Vol2 édition Dunod, Paris.
14. H. Askri, A. Belmecheri, B. Benrabah, A. Boudjema, K. Boumendjel, M. Daoudi, M. Drid,T. Ghalem, A. M. Docca, H. Ghandriche, A. Ghomari, N. Guellati, M. Khenous,R. Lounici, H. Naili, D. Takherist, M. Terkmani.- Géologie De L'Algérie vol 1 édition( 2001) S C H L U M B E R G E R W E C S O N A T R A C H
15. KARROUMI A – KARROUMI K. (2010). Réalisation D'une Cartographie De La Qualité Des Eaux Des Foggaras De DELDOUL Mém licence LMD, univ: Colonel Ahmed DRAÏA D'Adrar
16. KHADRAOUI A. sols en algerie (gestion et impact sur l'environnement)
17. KHDRAOUI A. Eau Et Impact Environnemental Dans Le Sahara Algérien Définition Et Perspectives De Développement .pp 55-87
18. OULD BABA SY M. (2005),Recharge et Paleorecharge Du Système Aquifère Du Sahara Septentrional univ; Thèse Doc, univ : de Tunis EL MAN
19. RAISSI O. (2004),Etude Agro-Pédologique Des Périmètres De la Wilaya D' Adrar Pour La Création D'oasis, rapport technique d'ANRH d' Adrar.

## Résumé

La région d'Adrar est située dans la partie sud de l'Algérie, elle représente la limite Sud-ouest du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS). Les formations du Crétacé inférieur qui affleurent largement dans la région sont constituées essentiellement de grès quartzeux, d'argile, d'argile sableuse, de grès, de marnes rouges et de grès sableux, elles renferment une importante nappe libre de continental intercalaire qui constitue la principale ressource en eau de la région. Tous les forages recensés captent cette nappe à une profondeur varie entre 80m à 150m, l'épaisseur saturée > 100 m et une épaisseur efficace > 50 m.

La carte piézométrique régionale de la nappe, montre deux directions principales d'écoulement: généralement du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest. Elle montre aussi des déformations des courbes isopièzes dans les centres urbains, avec apparition des dépressions piézométriques localisées principalement dans les zones de concentrations des captages par forages d'eau (296) soit par foggaras (426).

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région de Touat montre que les eaux de la nappe de continental intercalaire sont non potable nécessitant un traitement avant l'utilisation et elles sont de qualité médiocre pour l'irrigation a cause de la forte minéralisation. Elles sont dominées par deux types de facies (Chlorurés sodique et Sulfaté sodique). La minéralisation des eaux de la nappe de CI est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier), au phénomène d'échange de base et des apports anthropiques (pollution).

**Mots clés :** Touat, Continental Intercalaire, foggara, piézométrique, facies chimique.

## Summary

The Algerian Sahara is part of the Great Sahara, its climate is that of hyper areas characterized by low rainfall, very low relative humidity, very high air temperatures and high evaporation losses, these climatic conditions are the cause of the scarcity of surface water in these areas, hence the need to think about water use of groundwater to meet the water needs for the population, agriculture and industry. We studied the intermediate layer of the continental region of Touat in the wilaya of Adrar in two ways, for hydrogeological déterminez the groundwater level and the saturated zone as the outcrop of the water in the study area and is the key traditional system of collecting as a very ancient method of water removal in the wilaya of Adrar (important outlets).

The hydrochemical hydrogeological evaluation of the surface area of the tank Touat focused on the collection of 26 water samples that were chemically analyzed with determination of calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride, sulfate, nitrate and bicarbonate, the conductivity and pH.

It follows that the power of CI smaller, there are trios free flow in the study area: The first that flows in the direction NE-SE from tray Tademaït green area and the second Reggane it flows into the NE-SW direction from tray Tademaït green depression Touat and the third erg Chech. et this flows into the NE-NW direction from tray Tademaït green area city of Adrar. So the general form of the water shows that it is a radial ply to intense exploitation. The study hydrochemistry watches there are two chemical facies of water in the Touat region are: Facies sodium chloride at a rate of 57.70%

Facies sodium sulfate at a rate of 42.30%

**Key words:** Touat, Tademaït, underground waters, CI, hydrogeology, without flow, water chemistry, water, foggaras, Adrar.

## ملخص

الصحراء الجزائرية هي جزء من الصحراء الكبرى، مناخها هو أن من المناطق شديدة تتميز قلة سقوط الأمطار، والرطوبة النسبية منخفضة جدا، ودرجات حرارة الجو العالية جدا والتبخر عالية، وهذه الظروف المناخية هي السبب في ندرة المياه السطحية في تلك المناطق، ومن هنا كانت الحاجة إلى التفكير في استخدام المياه الجوفية لتلبية الاحتياجات المائية للسكان والزراعة والصناعة. درسنا طبقة وسيطة من المنطقة القارية من توات في ولاية أدرار في طريقتين، للهيدروجيولوجية لتحديد مستوى المياه الجوفية والمنطقة المشبعة مثل نوء من المياه في منطقة الدراسة، والمفتاح النظام التقليدي لجمع كوسيلة من وسائل قديمة جدا لإزالة المياه في ولاية أدرار (المنافذ المهمة)

تقييم الهيدروجيولوجية الكيمائي من المساحة السطحية للخران توات تركز على جمع 26 عينة المياه التي تم تحليلها كيميائيا مع تقرير من الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريتات والنترات والتوصيل ودرجة الحموضة. ويترتب على ذلك ضعف التغذية للقاري المتداخل، وهناك ثلاثيات التدفق الحر في منطقة الدراسة: الأول NE-SE الذي يتدفق في الاتجاه من هضبة تادمايت منطقة خضراء ورقان الثاني يتدفق في الاتجاه NE-SW من هضبة تادمايت الخضراء الاكتتاب توات والثالث عرق شاش وهذا يصب في اتجاه NE-NW من هضبة تادمايت الخضراء منطقة مدينة أدرار.

وبالتالي فإن الشكل العام من المياه ويبين أنه هو رقانق شعاعي للاستغلال المكثف. بالكيمياء الهيدروجيولوجية ساعات الدراسة هناك نوعان من الوجه الكيمائي للمياه في منطقة توات هي:

سحنة كلوريد الصوديوم بمعدل 57.70%

الوجه كبريتات الصوديوم بمعدل 42.30%

**الكلمات الرئيسية:** توات، تادمايت، المياه الجوفية، القاري المتداخل، الهيدروجيولوجيا، دون تدفق، كيمياء المياه، والمياه.

