

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -**  
**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE**  
**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 : hydro géologie

**THEME**

***ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE LA  
NAPPE DU CONTINENTALE INTERCALAIRE DE LA  
REGION DE TOUAT (WILAYA D'ADRAR)***

*Soutenu publiquement par :*

*Dahali Settou*

*Le 02/07/2013*

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	Mr. ZERROUKI. H	M. A. A Univ. Ouargla
<b>Promoteur :</b>	M. NEZLI .I E	M. C. A Univ. Ouargla
<b>Examineur :</b>	M. HACINI .M	M. C. A Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2012/2013**



# Dédicace:

Je suis heureuse de consacrer mon travail de cette humble à ma chère maman "**Fatima**", sources de tendresse et d'amour de soutien tout le long de ma vie scolaire, qui est la raison de mon existence dans cette vie et mon père "**Moulay Ali**", qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout son possible pour m'aider ,mes frères du plus grand au plus petit ,A tout mes amis et a tout mes collègues de la promotion du master 2013  
Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé à compléter de loin ou à de près ce modeste mémoire.

*Dahali Settou*

# Remerciement:

On tient, au terme de ce travail, à présenter mes vifs remerciement à tous les personnes qui ont contribué, de près ou loin, à son bon déroulement.

On tient à présenter tous nos respects et notre gratitude à Mr. "NEZLI" Pour tenir avec moi tout au long de mon de préparation de cette mémoire et de patience avec moi pour son encadrement et pour l'aide qu'il ma prodigué durant ce rapport.

Mon gratitude s'adresse également à Melle. "HABESS" ainsi qu'à tous mes enseignants et mes amis surtout les gents de "2ème année HYDROGEOLOGIE" je tiene à remercier tous ces meilleur amis pour leur patience et leur indignation pendant deux ans.

On remercie également tout les gens qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail .

*Dahali settou.*

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ;

**A.E.P** : Alimentation en eau potable ;

**C.T** : Complexe Terminal ;

**C.I** : Continental Intercalaire ;

**S.A.S.S** : Système Aquifère du Sahara Septentrional ;

**ABHS** : Agence de Bassins Hydrographique du Sud

**INRA** : L'Institut Nationale des Recherches Agricoles d'Adrar

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé ;

**Tp** : Température annuelle en(C°)

**ETP** : Evapotranspiration potentiel (mm)

**Pr** : Précipitation annuelle (mm)

**ETR** : Evapotranspiration réelle. (mm)

**Exc** : Excédante (mm)

**Def** : Déficit

**RFU** : Refis

**hr** : l'humidité relative (%)

**TA** : Titre Alcalimétrique ;

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet ;

**TH** : Titre Hydrotimétrique ;

**pH** : Potentiel d'Hydrogène ;

## ***LISTE DES UNITES***

**cm** :centimètre ;

**°C** :Degré Celsius ;

**°F** : Degré français ;

**g** : Gramme ;

**g/l** : Gramme par litre ;

**h** : Heure ;

**m** : Mètre ;

**m<sup>3</sup>** : mètre cube ;

**m<sup>3</sup>/h** : mètre cube par heure ;

**m<sup>3</sup>/s** : mètre cube par seconde ;

**m<sup>3</sup>/j** : mètre cube par jour ;

**meq.l<sup>-1</sup>** : Milliéquivalent par litre ;

**mg** : milligramme ;

**mg/l** : Milligramme par litre ;

**mS/cm** : Milli siemens par centimètre ;

**ml** : millilitre;

**mn** : minute;

N°	Tableaux	Page
<b>01</b>	les résultats des calculs de bilan hydrique de la région de Touat d'après C.W.THORNTHAITE de période (1998-2008).	<b>05</b>
<b>02</b>	l'état des foggaras en 1998 et 2010	<b>22</b>
<b>03</b>	critères de sélection des zones favorables de l'aquifère du CI	<b>24</b>
<b>04</b>	Mobilisation des ressources en eau dans la région d'Adrar (forage) selon "ANRH d'Adrar"	<b>25</b>
<b>05</b>	Quantité d'eau mobilisée et travers les daïra de la wilaya d'Adrar, Forage l'AEP (1998/2000) Selon "ANRH d'Adrar"	<b>25</b>
<b>06</b>	Quantité d'eau mobilisée et exploitée à travers les daïra de la wilaya d'Adrar, Forage l'MEV (2000).Selon "ANRH d'Adrar"	<b>26</b>
<b>07</b>	Confrontation entre ressources exploitées et besoin en eau (1998).Selon ANRH d'Adrar"	<b>26</b>
<b>08</b>	synthétise des variations des paramètres physicochimiques afin d'avoir une vue d'ensemble sur les caractéristiques hydrochimiques de la nappe étudiée	<b>35</b>
<b>09</b>	Classification et formule caractéristique des eaux de la nappe CI dans la région de Touat	<b>42</b>
<b>10</b>	Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques	<b>42</b>
<b>11</b>	les cinq classes des eaux d'après Wilcox	<b>50</b>
<b>12</b>	Normes Algériennes de potabilité	<b>51</b>
<b>13</b>	classification la potabilité des eaux d'après la norme algérienne	<b>52</b>

N°	<i>Liste des figures</i>	Page
01	La situation géographique de la zone d'étude	02
02	Les moyennes mensuelles des températures de la période (1990-2008)	03
03	Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008)	0 4
04	les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008)	05
05	la présentation des paramètres climatiques	06
06	la présentation les bilans hydrique de la région d'Adrar	06
07	Carte géologique de la région d'étude (ANRH d'Adrar)	09
08	Coupe lithologique d'unité de CI ( SONATRACH, 2001)	11
09	Coupe du Continental Intercalaire à Ain-ech-Cheikh (G.Conrad,1969)	12
10	Coupe de la falaise du Continental intercalaire à Reggane-Plateau (G.Conrad, 1969).	13
11	Sondage De Recherches Pétrolières Sondage du Tazoult (Tt.1.). (Bourgeois .M. 1957)	14
12	Sondages De Recherches Pétrolières Sondage de Reggane N°6( Bourgeois .M. 1957)	15
13	carte d'inventaires des forages du secteur étudié ( année 2013)	16
14	Coupe lithologique du forage de Tililane VII (ANRH d'Adrar)	17
15	Coupe lithologique du forage de Bouali 04(ANRH d'Adrar).	17
16	Carte Hydrogéologique du Sahara Nord Occidental (d'après G. Gonfiantini,et all. Payne, (1974))	19
17	coupe hydrogéologique synthétique de sahara septentrional (UNESCO 1972).	20
18	Schéma de fonctionnement de la foggara	21
19	Répartition des Foggaras autour du plateau de Tademaït	21
20	les Zones favorables du CI selon SASS 2002	24
21	Carte d'inventaires des forages échantillonnés	29
22	Carte piézométrique de la région de Touat (2013)	34
23	Le diagramme de Piper des eaux de la nappe phréatique	39
24	diagramme de Schoeller –Berkaloff pour les facies Chlorurés sodiques	40
25	diagramme de Schoeller –Berkaloff pour les facies sulfaté sodique	41
26	Le couple Ca –SO4	43
27	Le couple Mg-SO4	44
28	Le couple Na-So4	44
29	Le couple K-So4	45
30	Le couple Mg -Cl	45
31	Le couple Na-Cl	46
32	Le couple Ca-NO3	46

33	diagramme de Riverside	48
34	diagramme de Wilcox	49



## SOMMAIRE

*Remercîment*

*Résumé*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Liste des unités et des abréviations*

### INTRODUCTION GENERALE

## **Partie I : Données bibliographiques sur la zone d'étude**

<b>1. Généralité sur la zone d'étude</b>	<b>2</b>
1. La situation géographique	2
<b>I.1 Caractéristiques climatiques</b>	<b>3</b>
I.1.1 Introduction	3
<b>I.2. LES PHENOMENES THERMIQUES</b>	<b>3</b>
I.2.1. Température	3
I.2.1.a /La température moyenne mensuelles	3
I.2.2 La Précipitation	4
I.3. la régime hydrique	4
I.3.1. L'évaporation	4
<b>I.4 CADRE GEOLOGIQUE LOCALE</b>	<b>8</b>
I.4.1 INTRODUCTION	8
<b>I.5.LA LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE</b>	<b>10</b>
I.5.1. Mésozoïque	10
I.5.1.1 Crétacé inférieur Continental intercalaire	10
I.5.1.1 .a Les coupes de terrain	11
1/La coupe d'Ain-Ech-Cheikh	11
2/La coupe de Reggane-plateau	12
I.5.1.1.b Les données de sondage	13
1) Le sondage du Tazoult (Tt.1.)	14
2) le sondage de Reggane N°6	14

3) Sondages de recherches hydrauliques	15
a). Le forage de Tililane VII	15
b). Le forage de Bouali 04	16
<b>I.6.TECTONIQUE</b>	17
<b>I.7 HYDROGEOLOGIE LOCALE</b>	18
I.7. 1INTRODUCTION	18
<b>I.7.1 .1 HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE</b>	18
I.7.1.1 .a Caractéristique de l'aquifère	18
I.7.2 L'exploitation du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Touat	20
I.7.2.1 Situation des foggaras dans la région de Touat	21
I.7 .3 Qualité des eaux de la région de Touat	22
<b>I. 8 Piézométrie</b>	22
I.8.1 Gradient hydraulique	22
I.8 .2 Conditions aux limites	23
<b>I.9 LA MORPHOLOGIE DE NAPPE (CI) DANS LA REGION D'ETUDE</b>	23
<b>I.10 MOBILISATION DE LA RESSOURCE PAR FORAGE</b>	25
<b>I.11 Conclusion</b>	26

## **Partie II :Matérielles et Méthodes**

<b>II.1.Introduction</b>	28
<b>II.2. Conditions et mode d'échantillonnage</b>	28
<b>II.3 Techniques de mesures et d'analyses</b>	29
II.3.1 Résidu sec (ou sels dissous totaux sur eau filtrée)	30
II.3.2 Conductivité électrique	30
II.3.3 Les <b>Ph</b>	30
II.3.4 Détermination de la Salinité	30
<b>II.4 Outils informatiques</b>	31
II.4 .1 Statistica.v6.1 (Stat Soft France, 2003)	31
II.4 .2Phreeqci v,2,18(Parkhurst and Appelo ,1990)	31
II.4 .3.Le Diagramme de Piper	31
II .4.4 Diagramme (Simler, 2009)	32

<b>II.5.Conclusion</b>	32
------------------------	----

## **Partie III : Résultats et discussions**

<b>III.1 INTRODUCTION</b>	33
<b>III.2. Piézométrie</b>	33
<b>III-3.HYDROCHIMIE</b>	35
III.3 .1 Etudes des paramètres physico-chimiques	35
III.3.2 Les éléments indésirables	37
<b>III.4. Interprétation des résultats des analyses chimiques des éléments majeurs</b>	38
III. 4.1. Identification des faciès chimiques des eaux	38
III.4.1.1. Diagramme de Piper	38
III . 4.1.2. Diagramme de Schoeler Berkaloff	39
<b>III . 5 Origine de chimisme des eaux</b>	42
III . 5 .1 Etude des relations inter-éléments	42
III . 5 .1.a Le couple Ca -SO4	43
III . 5 .1.b Le couple Mg-SO4	43
III . 5 .1.c Le couple Na-So4	44
III .5 .1.d Le couple K-SO4	45
III .5 .1. e Le couple Mg-Cl	45
III .5 .1.f Le couple Na-Cl	46
III .5 .1.g Le couple Ca_ No 3	46
<b>III.6 Indice d'échange de base (i e b)</b>	47
<b>III. 7. Aptitude des eaux à l'irrigation</b>	47
III. 7. 1 Diagramme de REVERSIDE	47
<b>III. 7. 2 Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX)</b>	49
<b>III.8.Potabilité chimique des eaux</b>	50
III.8.1 Les normes de potabilité	50
<b>III . 9 CONCLUSION</b>	53
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	

# Introduction général

## Introduction Générale

Les oasis de Touat ont connu ces dernières années une croissance démographique rapide. Suivi d'une activité humaine importante qui couvre presque tous les domaines (Agriculture, Industrie, Urbanisation et Touristique) en parallèle, les besoins en eau ont augmenté. Pour subvenir aux besoins de croissance de la demande en eau, des nombreux forages ont été réalisés, s'ajoutant au système de captage traditionnel (foggara et puits), des centaines de milliers de mètres cubes sont extraits par an de la nappe aquifère du Continental Intercalaire. D'un point de vue hydrogéologique, la réserve des eaux souterraines du système aquifère du Sahara septentrional est non renouvelable (fossile) donc l'exploitation de ces eaux doit être rationnelle. Cette étude constitue un aperçu sur les caractéristiques hydrogéologiques de la nappe en question et qui a pour objectif: regrouper et exploiter les données des différents projets géologique et hydrogéologique réalisés à l'échelle de la région afin de développer certains aspects se rapportant à l'hydrogéologie et l'hydrochimie des eaux de la nappe du CI. L'étude présentée dans cette mémoire est basée sur les données des récentes (2013) et antérieures (2010) dans la région.

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

-La partie bibliographique : où nous exposons la situation géographique, géomorphologique, géologique, hydroclimatologique, et hydrogéologique.

-la deuxième partie : c'est la méthodologie où on s'est basé les différentes méthodes employées dans ce travail de mémoire.

- finalement partie résultats et discussions dans cette partie nous avons réalisé une carte piézométrique de la nappe afin de reconnaître l'hydrodynamisme de l'aquifère selon les caractéristiques géométriques et lithologiques de la formation aquifère, ensuite et sur la base des analyses physicochimiques réalisées sur les échantillons d'eau prélevés sur le terrain (analysés au laboratoire d'hydrochimie de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH, Sud Ouest Adrar) 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 le sens d'écoulement des eaux. 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

\*

# Partie I : Bibliographie

## I. CADRE GEOGRAPHIQUE GENERALE : (fig. 01 a et b)

La wilaya d'Adrar se situe dans la partie centrale du Sahara algérien, elle s'étend sur une superficie de 427968 Km<sup>2</sup>, occupé par 336046 habitants.

Elle est limitée :

Au nord – ouest par la wilaya de Bechar.

A l'est par la wilaya de GHARDAIA et TAMANRASSET.

A l'ouest par la wilaya de TINDOUF.

Au sud – ouest par la MAURITANIE.

Au sud par le Mali.

Cette wilaya est composée de trois grandes regions

GOURARA

TAOUAT

TIDIKELT

elle est s'étend entre les coordonnées géographiques :

- les longitudes entre 0°30' et 0°30' à l'Ouest-

-les latitudes entre 26°30' et 28°30' au Nord– avec une altitude moyenne de 222m

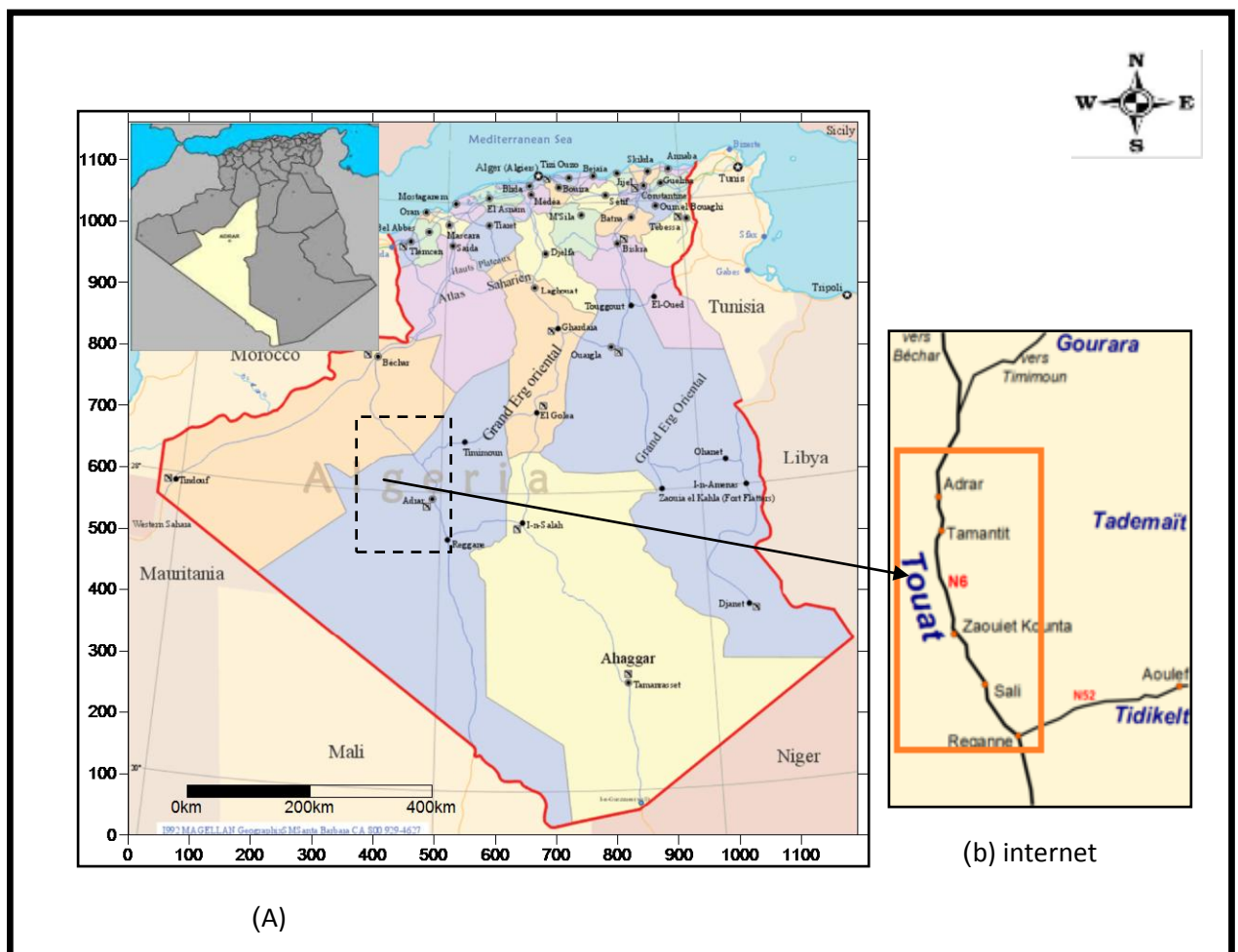


Figure.01 : La situation géographique de région de Touat

## I.1 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

### I.1.1 Introduction :

L'analyse des différents paramètres climatologiques (vitesse du vent, P, ETP, TC° etc.....) Donne une idée précise sur le climat qui caractérise la région et permet d'envisager Les types d'agricultures que l'on peut l'adopter et leurs besoins en eaux. Ainsi elle donne un schéma global sur le mode de fonctionnement hydrologique du système aquifère. on prend l'exemple de la région d'Adrar (Touat) qu'est un climat particulièrement contrasté; elle est caractérisée par un climat sec et aride. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Ces paramètres hydro climatologiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique.

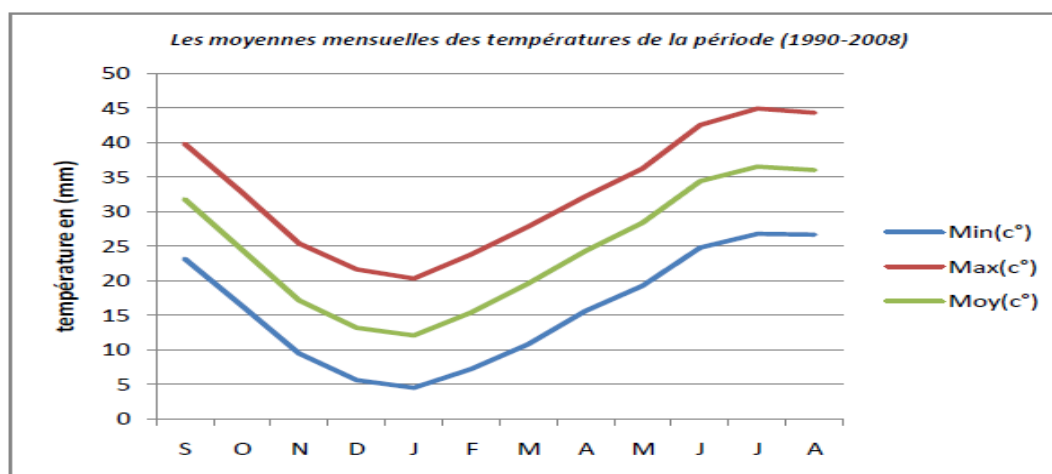
## I.2. LES PHENOMENES THERMIQUES :

### I.2.1. 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.

#### I.2.1.a /La température moyenne mensuelles :

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



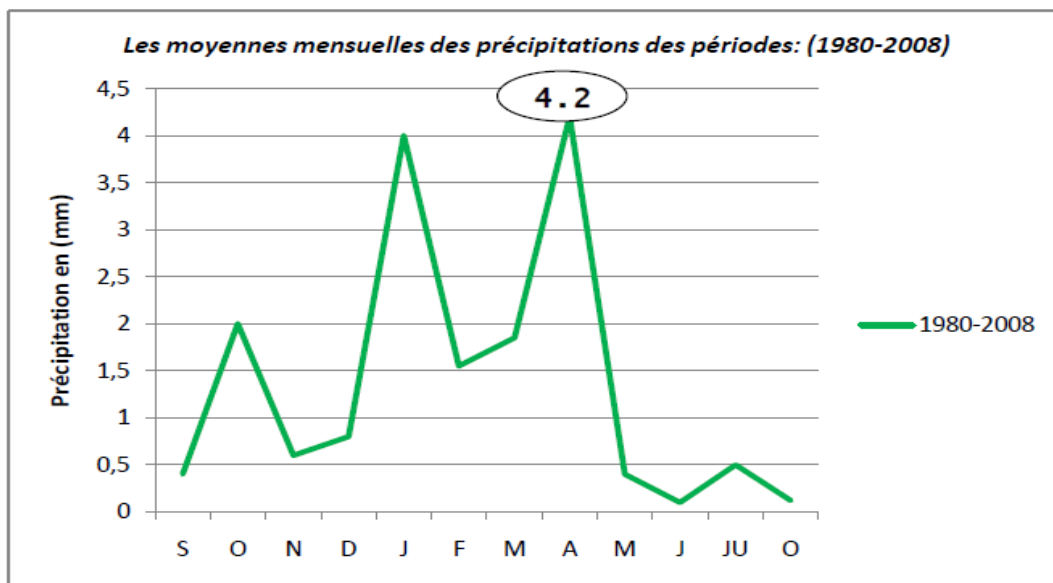
**Figure. 02** :Les moyennes mensuelles des températures de la période (1990-2008)



## I.2.2 La Précipitation :

Par définition c'est la quantité d'eau recueillie dans un pluviomètre pendant les 24 heures quel que soit l'origine de cette eau (pluie, neige ...etc.).

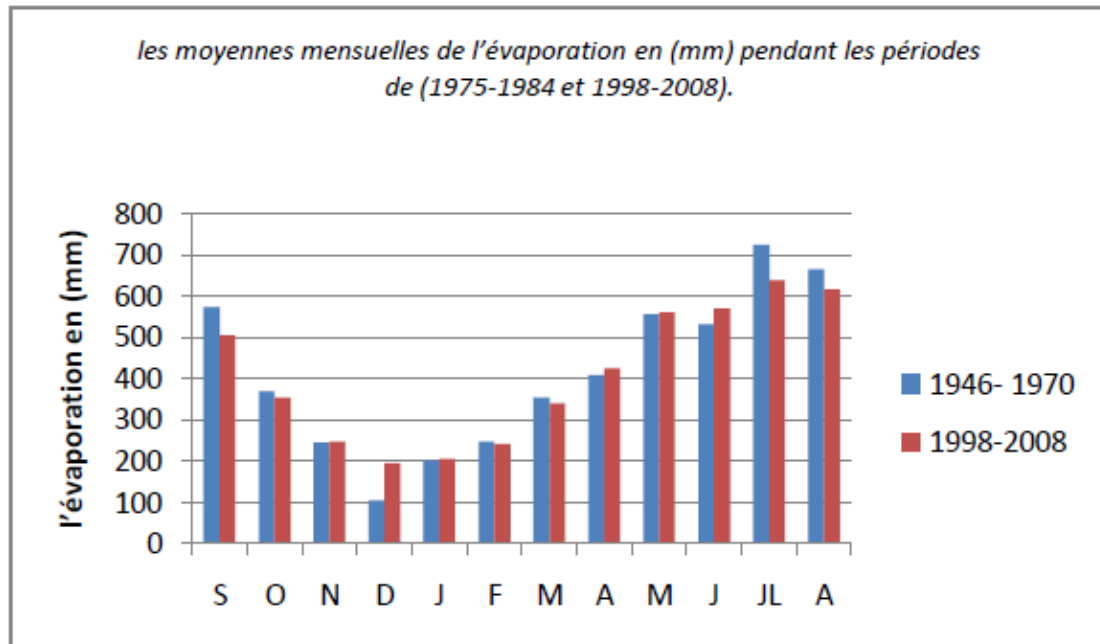
D'après la (fig.3) on remarque que la période la plus pluvieuse est celle de l'hiver (4.2mm en février), alors que l'été est le plus sec. Les précipitations sont presque nulles en juin. On remarque aussi, le pic du mois d'Avril (4.2) où les précipitations atteignent leurs maximums pour la deuxième période. Ce sont les crues du printemps, caractéristiques du climat saharien, ces dernières sont responsables de la recharge de la nappe.



*Figure.03: Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008)*

## I.3. la régime hydrique :

**I.3.1. L'évaporation** : à partir de la Figure N°04 : Des moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008) On observe qu'il y a un pourcentage très élevée de l'évaporation avec un total de 5000 mm/an. Les valeurs mensuelles se trouvent supérieures à 200 mm, alors que le maximum est obtenu au cours de la période (juillet – Août) avec une valeur de 724 mm.



**Figure.04 :** les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).

**Tableau 01:** les résultats des calculs de bilan hydrique de la région de Touat d'après C.W.THORNTHAITE de période (1998-2008).

Mois	Tp	Ig	ETP	Pr	ETR	Def	RFU	Exc
S	31,8	16,5	156,9	0,2	0,2	156,7	0,0	0,0
O	24,5	11,1	72,6	0,4	0,4	72,2	0,0	0,0
N	17,2	6,5	24,5	0,4	0,4	24,1	0,0	0,0
D	13,2	4,3	11,2	0,3	0,3	10,9	0,0	0,0
J	12,1	3,8	9,5	7,6	7,6	1,9	0,0	0,0
F	15,4	5,5	17,9	2,1	2,1	15,8	0,0	0,0
M	19,6	7,9	42,0	1,2	1,2	40,8	0,0	0,0
A	24,3	11,0	80,5	0,9	0,9	79,6	0,0	0,0
M	28,4	13,9	135,5	0,2	0,2	135,3	0,0	0,0
J	34,4	18,5	230,3	0,1	0,1	230,2	0,0	0,0
J	36,5	20,3	275,1	0,1	0,1	275,0	0,0	0,0
A	36	19,9	247,8	0,05	0,1	247,8	0,0	0,0
Annuel	24,5	139,1	1303,9	13,6	13,6	1290,3		0,0

Avec :

Tp : température annuelle en(C°) (1998-2008) /ETP : évapotranspiration potentiel

Pr : précipitation annuelle (mm) (1998-2008) /ETP : évapotranspiration réelle (mm) (1998-2008) /Exc : excédente en (mm) / Def : déficit /RFU : refis

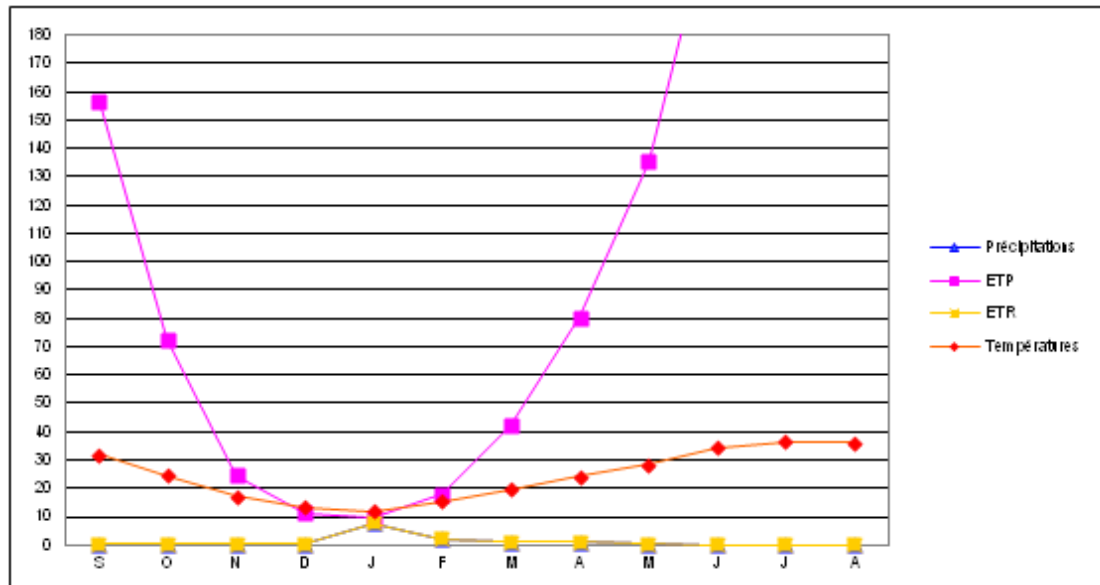


Figure.05 : la présentation des paramètres climatiques

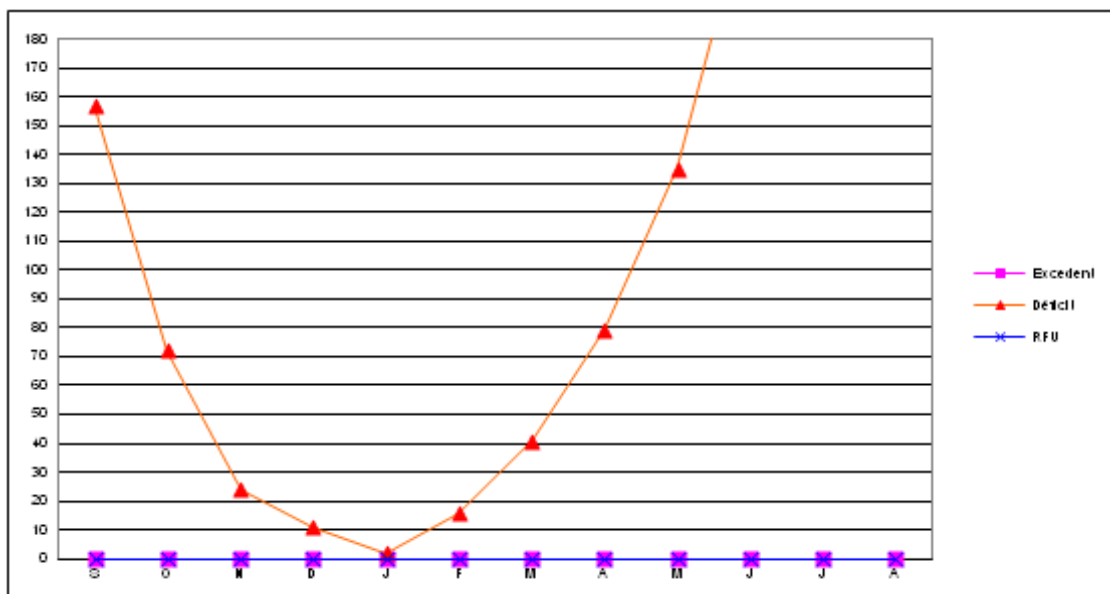


Figure.06 : la présentation les bilans hydrique de la région d'Adrar

A partir de tableau n° 01 on remarque que :  $p < ETP$  dans ce cas puisera dans les réserve du sol jusqu'à ce que l'ETR sera à égale, une fois le stock est épuisé ; sera égal à la pluviométrie ( $ETR = P$ ).

D'après la fig.06 on observé que : le déficit atteint les valeurs minimums en hiver (janvier (1.9)) Et il prend la valeur maximum en aout (247,8) On a aussi l'excédent égale à RFU c'est-à-dire la précipitation plus faible avec des température très élevé.

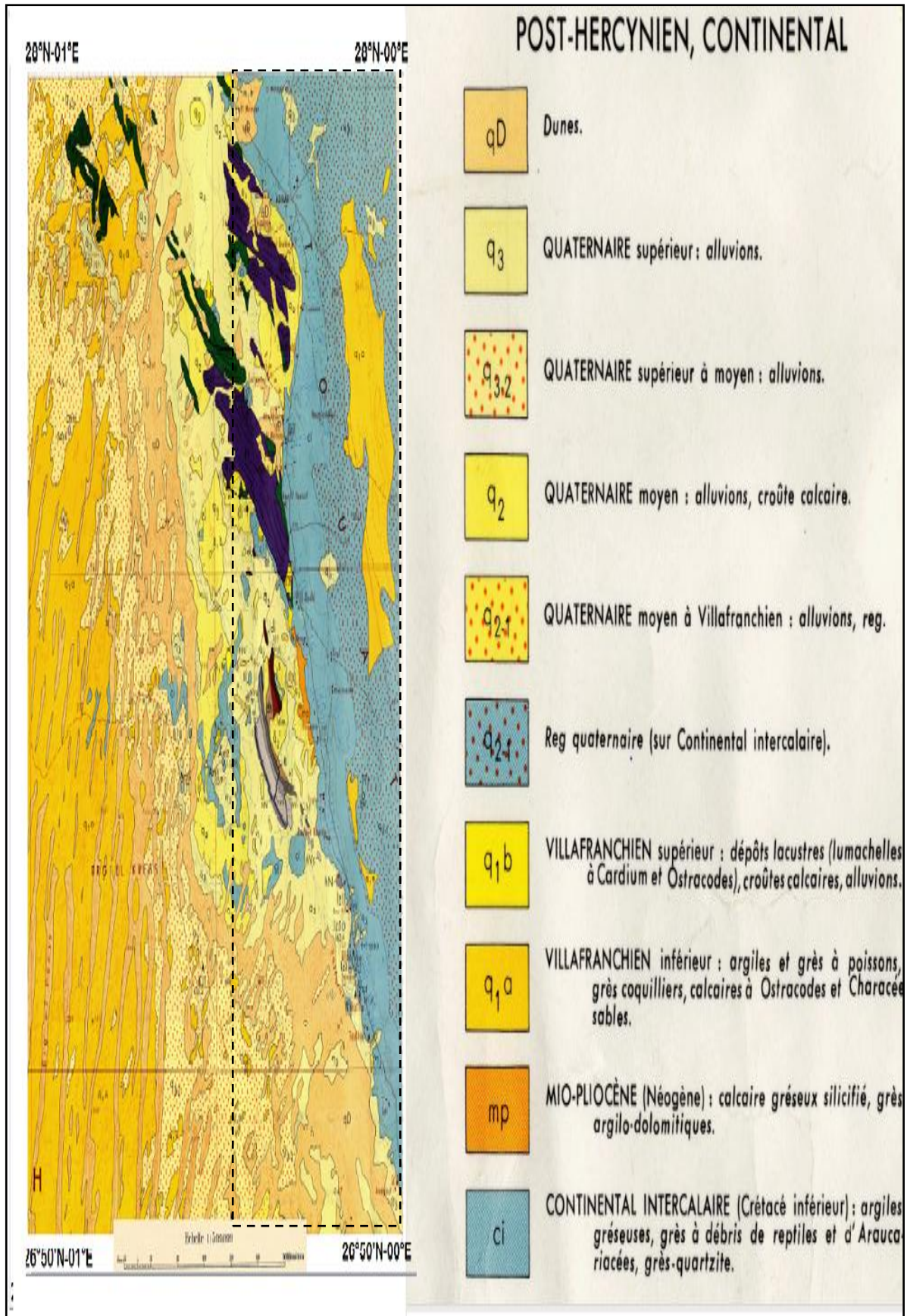
On conclure que La région d'étude est caractérisée par un climat hyper- aride. La précipitation annuelle est très faible, elle de l'ordre 25.42 mm et qui ne constitue que 0.97 % du volume totale de l'évapotranspiration potentielle. Dans la région d'étude la Période sèches qui caractérisé mon climat. La température moyenne mensuelle est très élevée durant toute l'année et la température moyenne annuelle calculée à partir des moyens mensuelles est 25.52 C° et par conséquence L'évapotranspiration potentielle est très élevée, elle est de l'ordre de 2619.63 mm/. L'humidité est très faible et ne dépasse guère le seuil 50 %.et  $p < ETP$  dans ce cas puisera dans les réserve du sol jusqu'à ce que l'ETR sera à égale, une fois le stock est épuisé ; sera égal à la pluviométrie ( $ETR = P$ ). Le déficit variant aux saisons au l'autre mais généralement plus élève sauf en hiver janvier (1.9) ; et RFU presque nulle comme l'excédent.

## **I.4 CADRE GEOLOGIQUE LOCALE :**

### **I.4.1 INTRODUCTION :**

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 Réguibat. 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.



**Figure.07:** Carte géologique de la région d'étude (ANRH d'Adrar).

## **I.5.LA LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE:**

### **I.5.1. 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 dolorites attribuées.

**I.5.1.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 (*Fig.08*). 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. - Au-dessus, 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).

Prof (m)	la lithologie	la description lithologique	la geologie
0		Grès dure grès à rose	Unité D
10		Gravier et sable et peu d'argile	
20		Argile et passage des grès	Unité C
30		Grès argileux	
40		Sable fin argileux et peu marneux	Unité B
50		Grès argileux à passage de marne blanc	
60		Grès dur rouge et blanc très quartzeux	Unité A
70		Argile gréseux rougeatre et marne a passage de grès	
80		Grès blanc à ciment d'argile	Unité A
90		Alternance grès argileux et argile rouge et vert	
100		Argile rouge brique à passage d'argile vert.	Unité A
140		Argile marron plastique .	
200		Argile marron brique à passage d'argile blanc et vert.	Unité A
220		Argile marron avec des gypse à passage d'argile rouge et rarement d'element de grès blanc. argile marron plastique à passage degypse	
240			Unité A
270			

*Figure.08 : Coupe lithologique d'unité de CI (SONATRACH,2001)*

#### I .5.1.1.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.

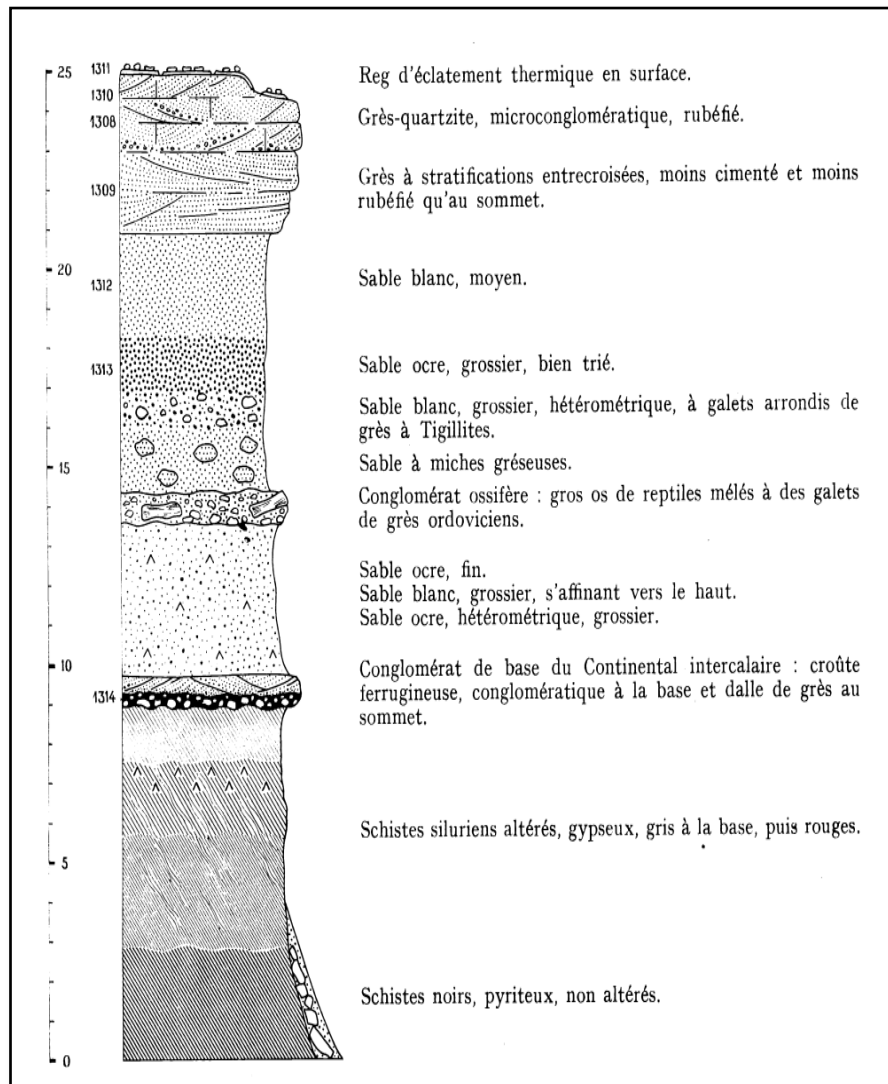
#### 1/La coupe d'Ain-Ech-Cheikh :(fig.09)

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 au-dessus des schistes, la base du conglomérat est cuirassée puis le sédiment devient Gréseux et granulasse, avec stratifications entrecroisées. (G.Conrad, 1969).

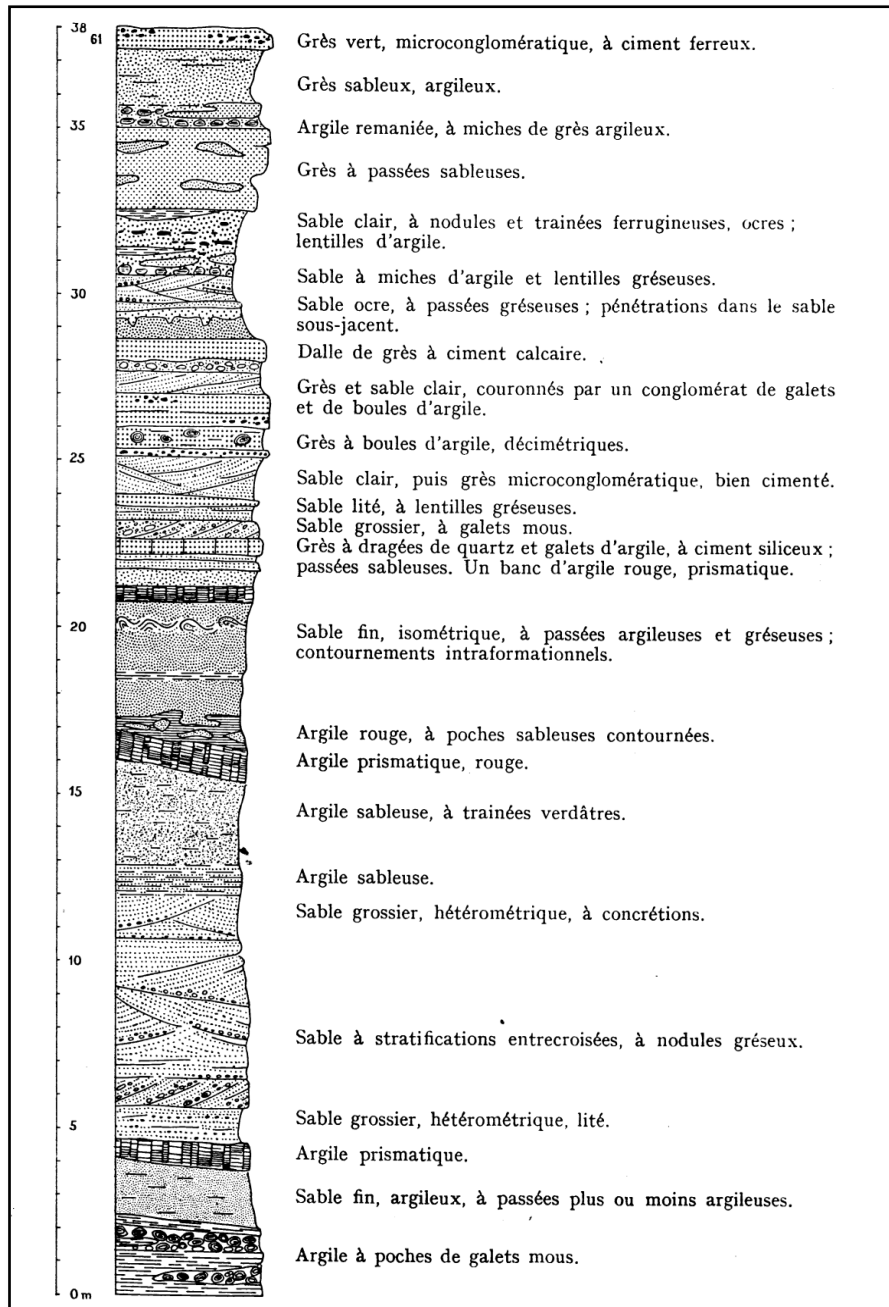


## 2/La coupe de Reggane-plateau :(fig.10)

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 faciès 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.09** : Coupe du Continental Intercalaire à Aïn-ech-Cheikh (G.Conrad,1969).



*Figure.10:* Coupe de la falaise du Continental intercalaire à Reggane-Plateau (G.Conrad, 1969).

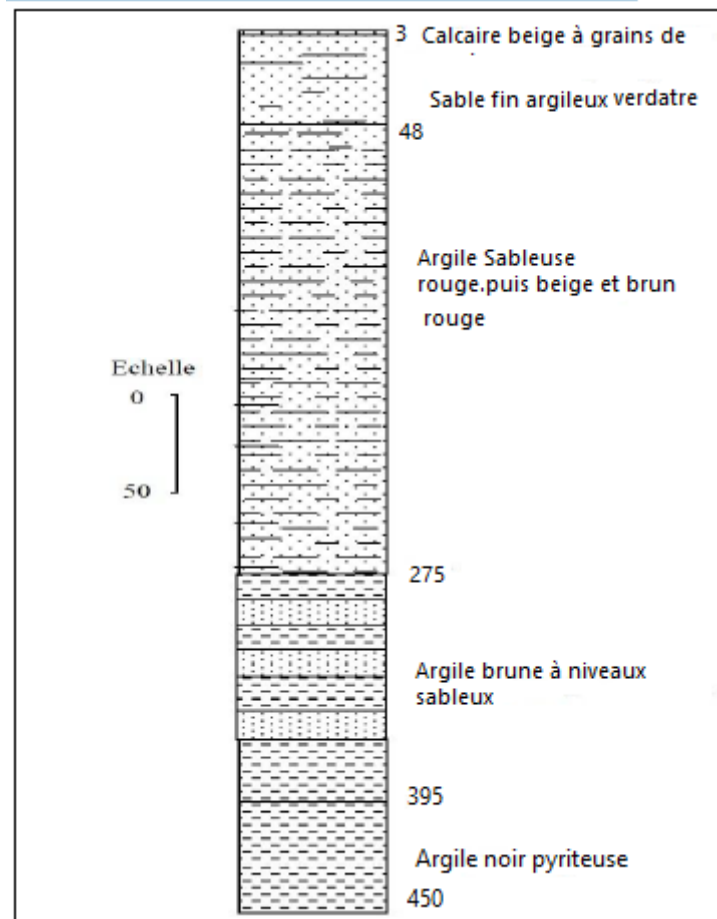
### I .5.1.1.b LES DONNÉES DE SONDAGE :

#### \* Sondages de recherches pétroliers :

Dans la région d'étude les recherches pétroliers est concentrée à 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).

### 1) Le sondage du Tazoult (Tt.1.) :(fig.11)

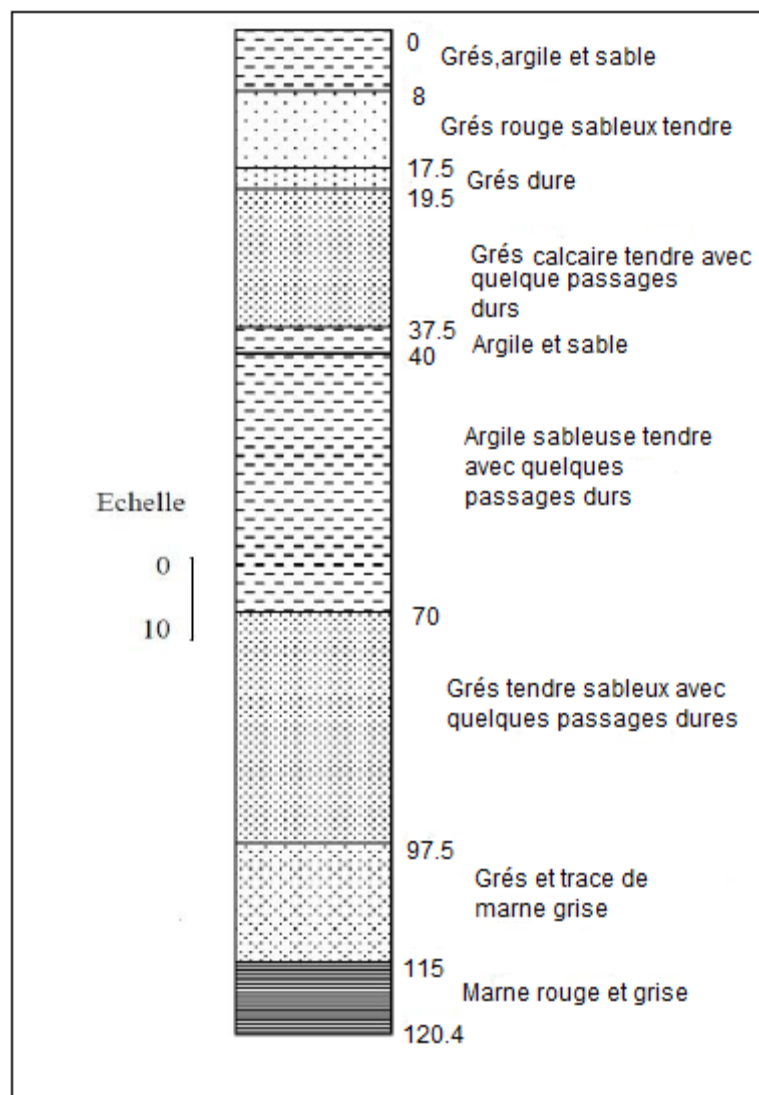
Le profonde de 450m, le Continental Intercalaire à été rencontré sur une épaisseur de 395 m, la lithologie est comme suit : calcaire beige à grains de quartz, sable fin argileux verdâtre, argile sableuse rouge, puis beige et brun rouge, (G.Conrad, 1969).



*Figure.11: Sondage De Recherches Pétrolières Sondage du Tazoult (Tt.1.). (Bourgeois .M. 1957)*

### 2) le sondage de Reggane N°6: (fig. 12)

Il n'est pas profond par rapport 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 marne grise. (G.Conrad, 1969).



*Figure.12 : Sondages De Recherches Pétrolières Sondage de Reggane*

*N°6( Bourgeois .M. 1957)*

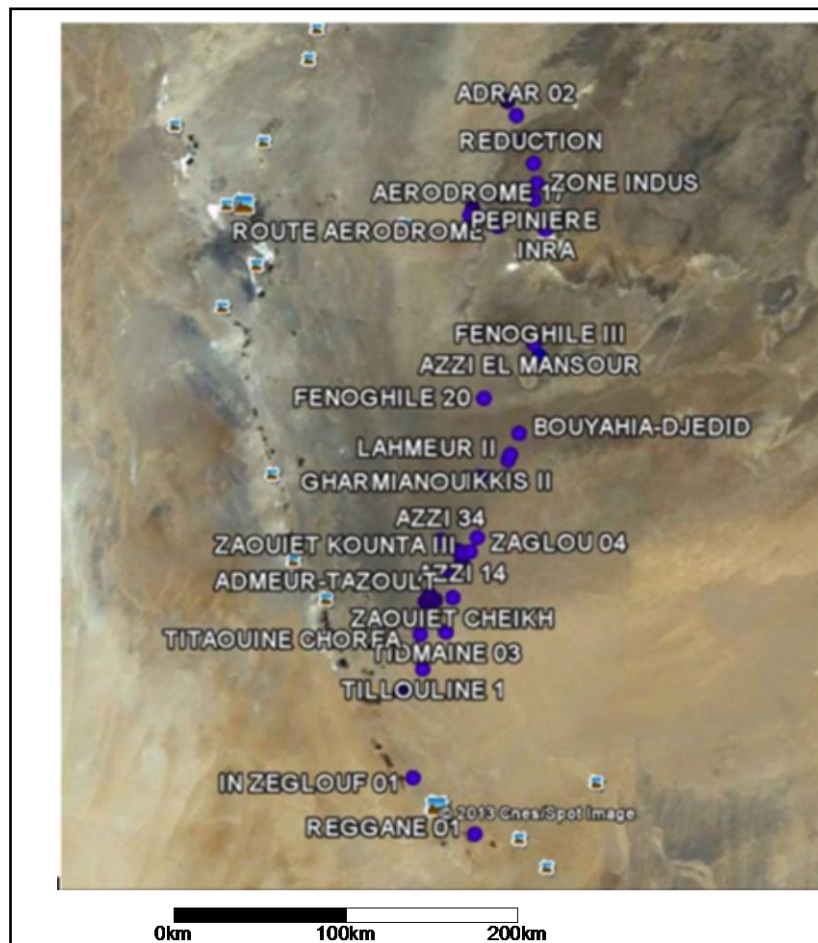
### 3 )Sondages de recherches hydrauliques : (fig.13)

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 vois ça dans les forages suivants.

**a). Le forage de Tililane VII :(fig.14)** Ce forage fait dans la limite Nord de la région d'étude, il est caractérisé généralement par des facies continentaux détritique, ça profondeur est 150m. Grès rouge avec des argile rouge a la base, surmontée par

l'alternance sable rouge et grès rouge, sable rouge et jaunâtre et calcaire blanc à la sommet.

**b). Le forage de Bouali 04: (fig.15)** 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 .13 : carte d'inventaires des forages du secteur étudié( année 2013)*

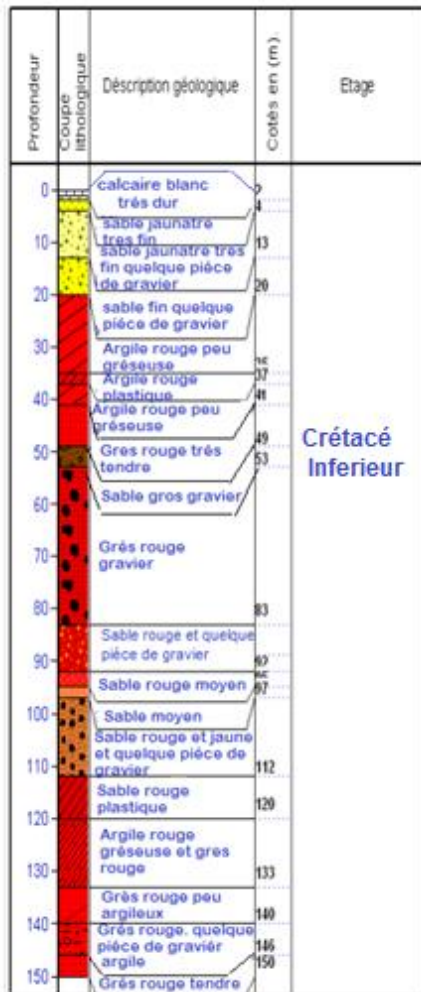


figure.14 coupe lithologique du forage de Tililane VII (ANRH ADRAR)

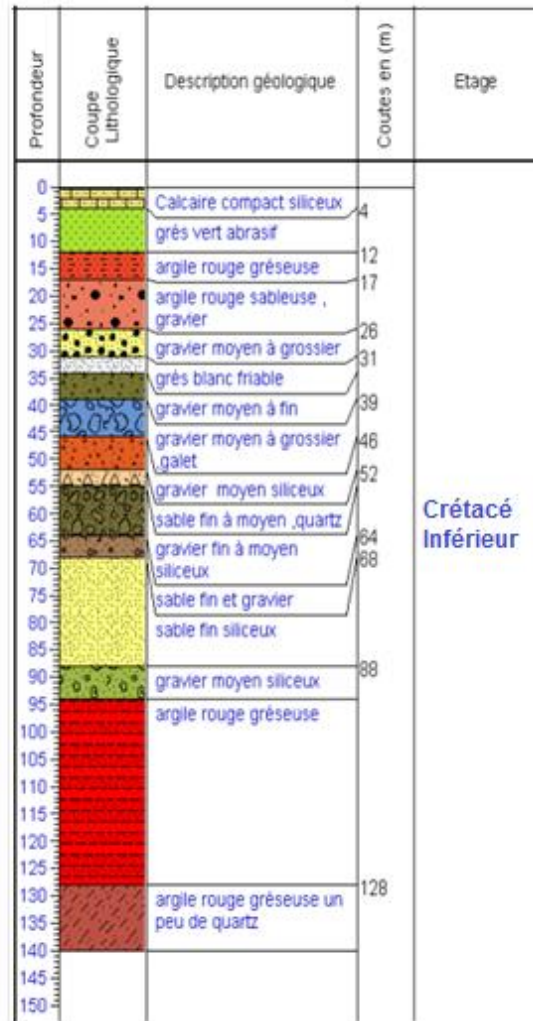


figure.15 Coupe lithologique du forage de Bouali 04 (ANRH ADRAR)

**I.6. 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

## **I.7 HYDROGEOLOGIE LOCALE :**

### **I.7.1 INTRODUCTION :**

La région d'étude située 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 cénomanien 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.

Ce chapitre est consacré à l'étude de la nappe du Continental Intercalaire (C.I)

### **I.7.1.1 HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE :**

Parmi les formations qui affleurent dans la région, la plus importante du point de vue de l'hydrogéologie sont celles du crétacé inférieur et appelé aussi le continental intercalaire ( fig. 16)

#### **I.7.1.1 .a 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  $10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$ .

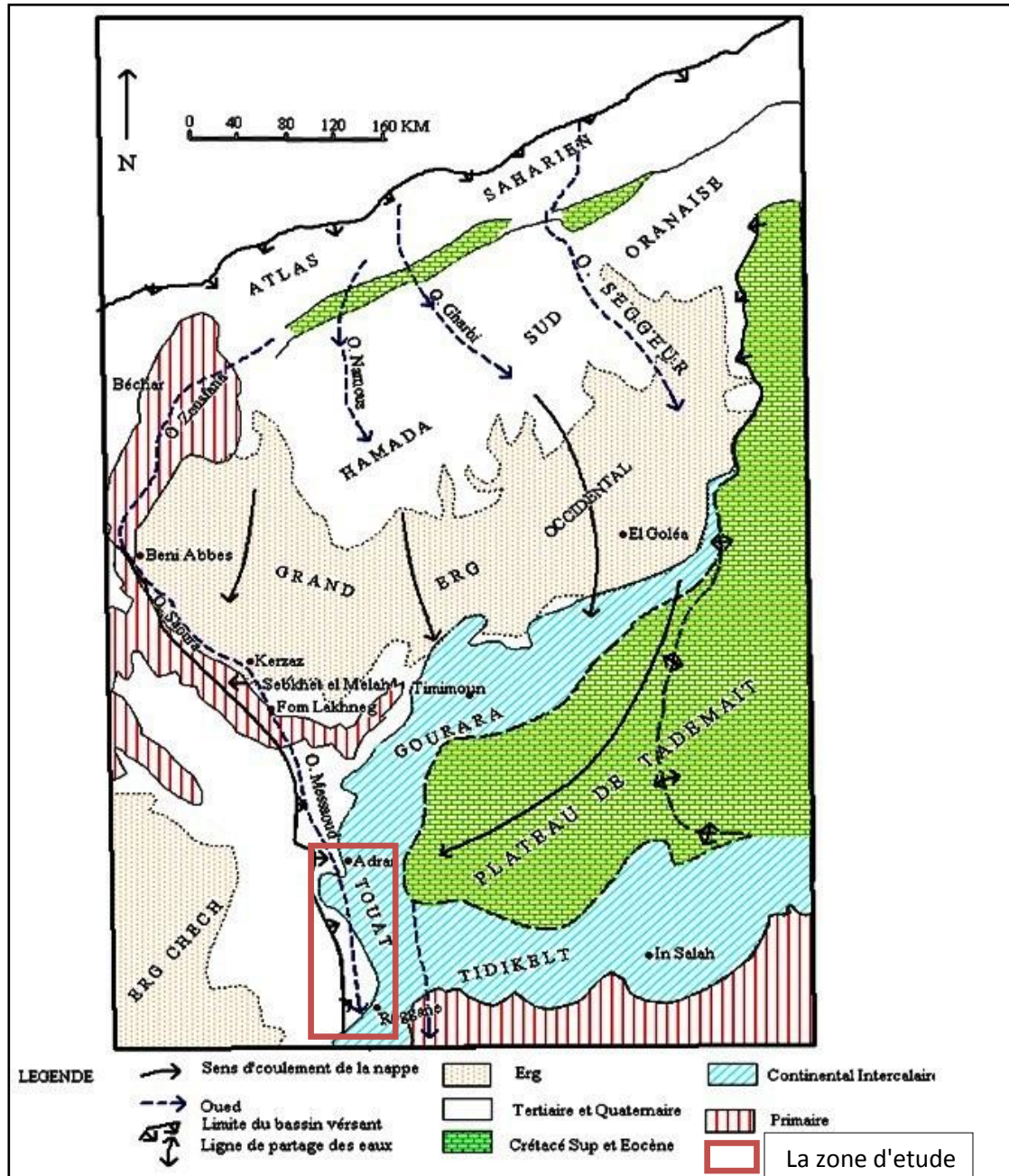
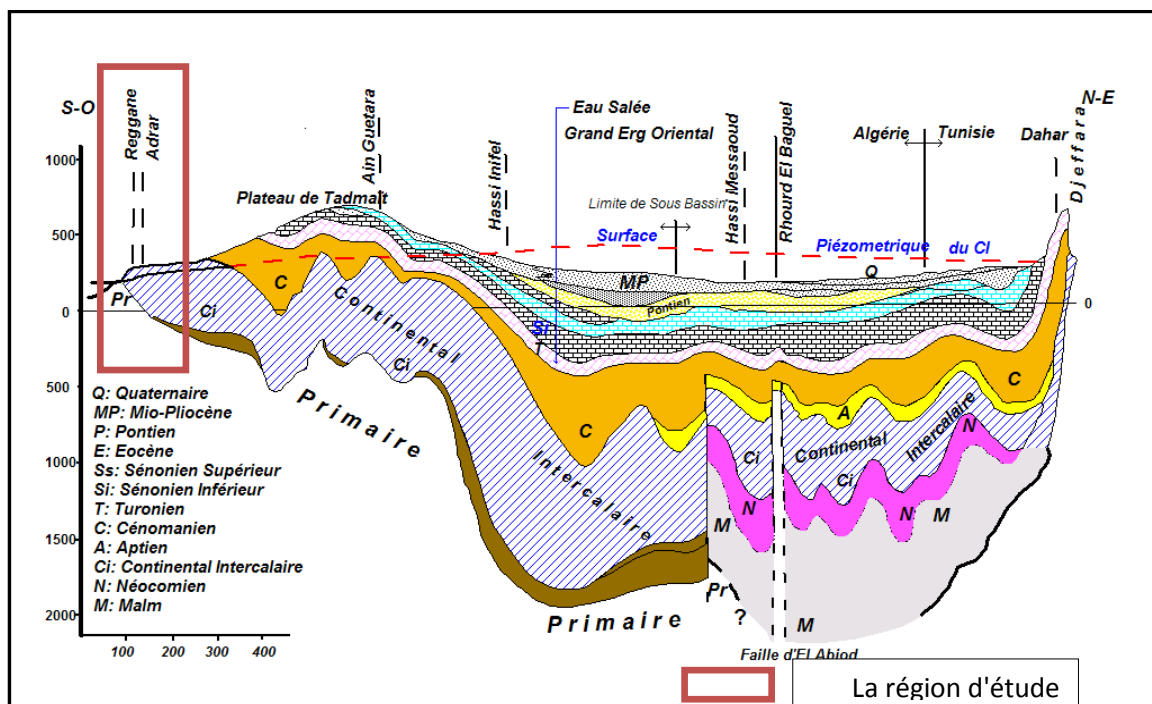


Figure.16 : Carte Hydrogéologique du Sahara Nord Occidental (d'après G. Gonfiantini, et all. Payne, (1974))





*Figure. 17 : coupe hydrogéologique synthétique de sahara septentrional (UNESCO 1972).*

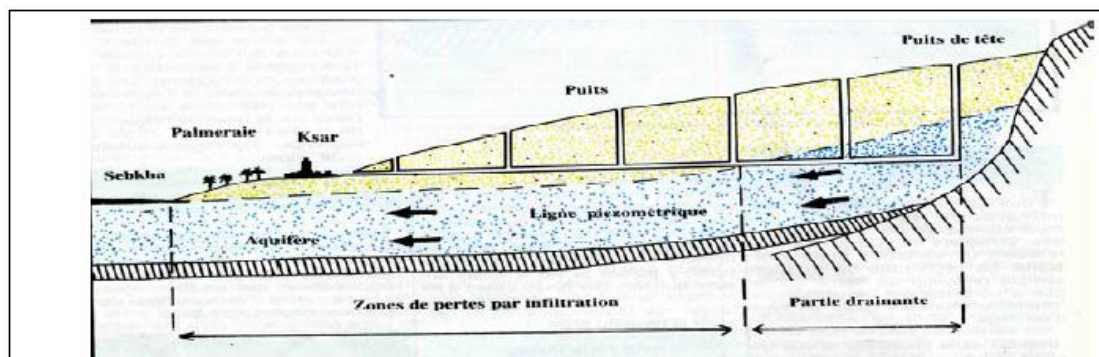
### **I.7.2 L'exploitation du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Touat :**

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



*Photo N°1: photo de Foggara*

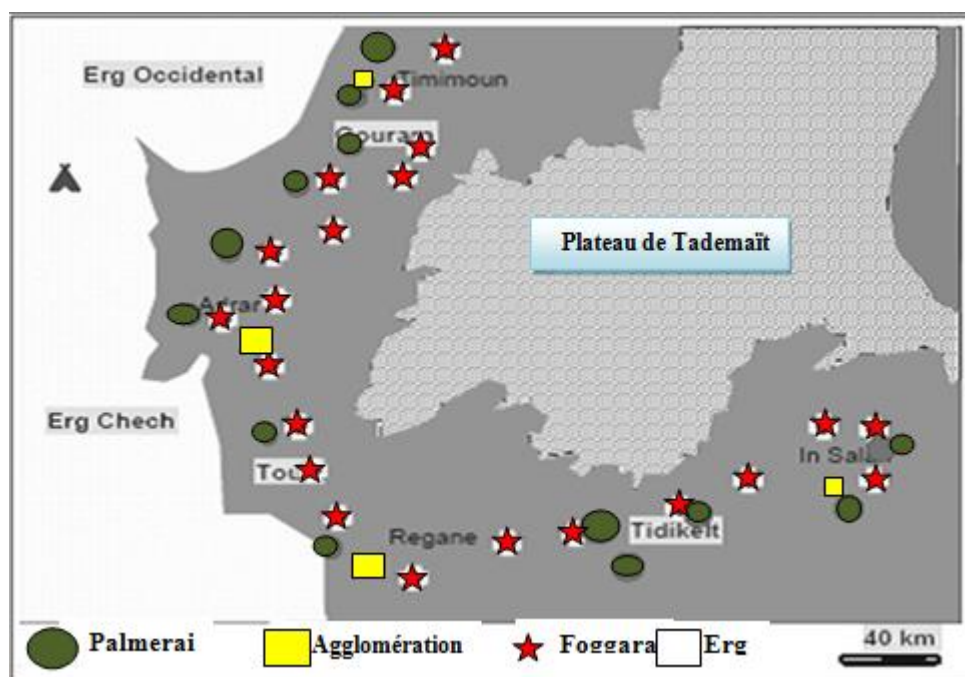
Les foggaras: longues galeries drainant, fonctionnent sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental), plus fréquent dans la région d'étude.



*Figure 18. : Schéma de fonctionnement de la foggara*

### I.7.2.1 Situation des foggaras dans la région de Touat:

Les Foggaras, installées dans les aires périphériques du Grand Erg Occidental, sont des systèmes hydrauliques traditionnels destinés à l'irrigation de nombreuses palmeraies. Elles restituent lentement l'eau du grand réservoir situé sous l'erg. Comme le montre la figure 19, les Foggaras du Sahara sont, pour la plupart, localisées à la lisière sud-ouest du Grand Erg Occidental. Elles sont implantées suivant un axe perpendiculaire à l'axe central de l'erg.



*Figure 19: Répartition des Foggaras autour du plateau de Tademaït*

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.*

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	/	/	/

Source ANRH d'Adrar

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 ne cesse de diminuer chaque année.

### **I.7.3 Qualité des eaux de la région de Touat :**

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.

### **I. 8 Piézométrie :**

La carte piézométrique a pour but de représenter la configuration de l'aquifère et de schématiser la fonction conduite du réservoir et le comportement hydrodynamique de l'aquifère, elle traduit aussi la morphologie de la surface de l'eau de la nappe à une époque déterminée.

#### **I.8.1 Gradient hydraulique :**

le gradient hydraulique (I) : c' est La perte de charge par unité de longueur théoriquement donné par la relation  $(h/l)$  ; d'après CASTANY le gradient hydraulique est déterminé par l'expérience suivante : En plaçant 2 piézomètres distants de (L)

mètres. Le gradient est le rapport entre la différence de niveau (Dh) des piézomètres et la distance (L) Détermination du gradient hydraulique est donnée par la formule suivante:

$$I = \frac{H2-H1}{L}$$

Avec : H1: niveau piézométrique au point 1 (en m).

H2 :niveau piézométrique au point 2(en m).

L : distance séparant les deux points (1, 2) (en m).

I : Gradient hydraulique.

### **1.8.2 CONDITIONS AUX LIMITES :(fig.16)**

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.(DJAAFRI M.(2007))

### **1.9 LA MORPHOLOGIE DE NAPPE (CI) DANS LA REGION D'ETUDE :**

les capacités de production des régions à surface libre de la nappe du Continental Intercalaire, il parait 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

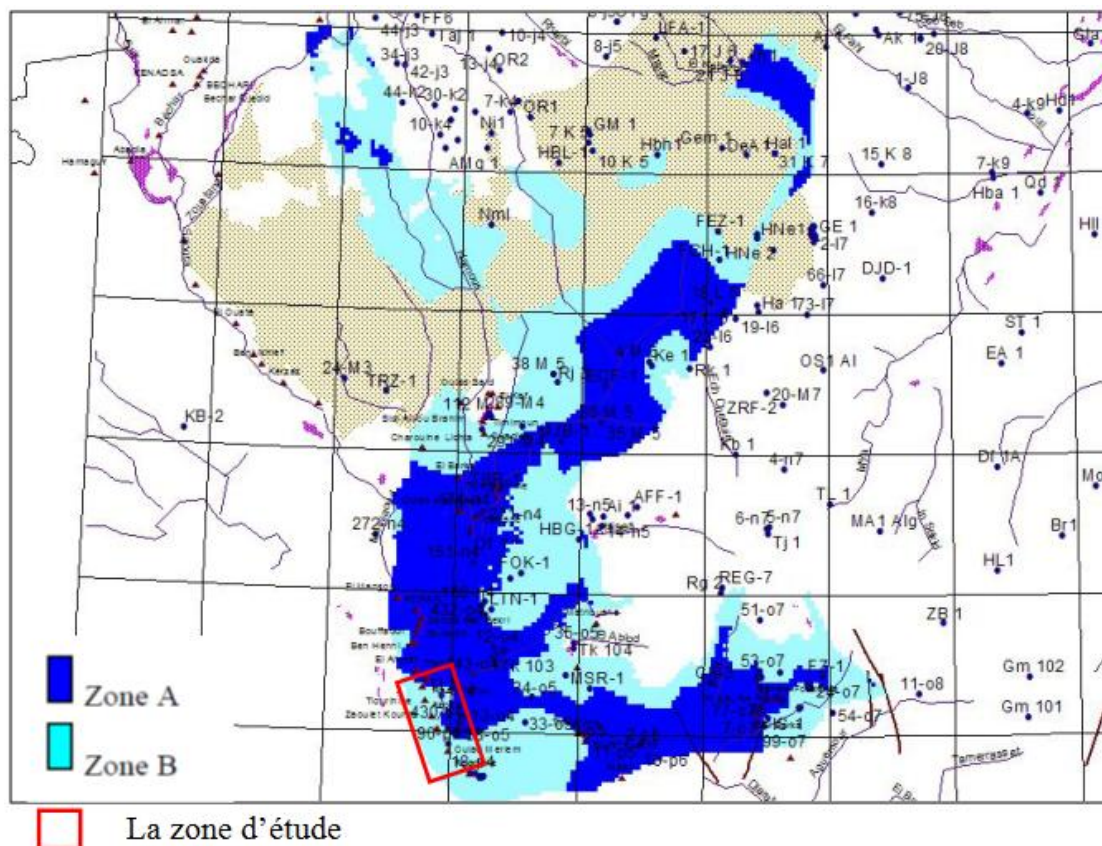
Une épaisseur saturée du CI conséquente

Une épaisseur efficace du CI suffisante

**Tableau 03 : critères de sélection des zones favorables de l'aquifère du CI.**

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.20: les Zones favorables du CI selon SASS 2002**

**L.10 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 (m <sup>3</sup> /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.

### **I.11 Conclusion :**

Dans le cadre hydrogéologique on peut tirer un peu d'information sur les potentialités des formations susceptibles d'être aquifères. Tous les forages recensés captent les formations du Continental Intercalaire. La profondeur des forages 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 parfois roses de sable, de marnes parfois rouges et de grès sableux. L'alimentation de la nappe du continentale intercalaire est très faible dans la région d'étude par contre l'exploitation qui est très important soit par des forages d'eau (296) dans la région de Touat et dans la même région il ya 426 foggara.

Le continental intercalaire de Touat est caractérisé par :

- Epaisseur saturée > 100 m
- Epaisseur efficace > 50 m
- Un niveau piézométrique varie (192m à 268m)
- un sens d'écoulements, prennent tous leurs départ du plateau de Tademaït :

1. Le premier s'écoule dans le sens NE-SE à partir du plateau de Tademaït vers la région de Reggane .

2. Le deuxième s'écoule dans la sens NE-SO à partir du plateau de Tademaït vers la dépression de Touat et erg Chach.

3. Le troisième s'écoule dans la sens NE-NO a partir de plateau de Tademaït vers la région de la ville d'Adrar. Le gradient hydraulique varie (0 .004% à 0.4%)

La nappe du continental intercalaire est une source plus importante de la vie saharienne surtout dans la région de Touat.



Partie II :  
Matérielles et méthodes

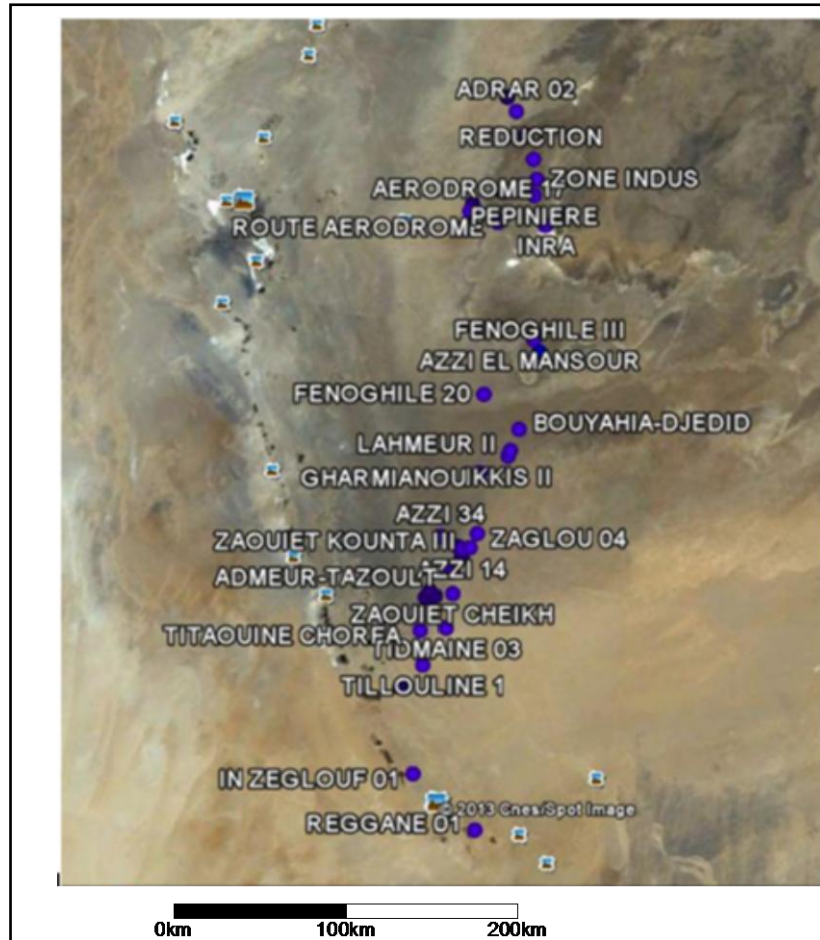
## **II.1.Introduction**

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 biensur 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).

## **II.2. Conditions et mode d'échantillonnage**

- Le choix du lieu de prélèvement des (51) échantillons (fig.21) 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. 21: Carte d'inventaires des forages échantillonnés*

### II.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 (2010-2013)

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 :

### II.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.

### II.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.

### II.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
-

### II.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  $\text{mS}/\text{cm}$ .

## II.4 Outils informatiques

### II.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.

### II.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.

### II.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.

#### **II .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.

#### **II.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.

**Partie III :**  
**Résultat et discussion**

### III.1 INTRODUCTION :

On sait que les caractéristiques chimiques des eaux souterraines sont presque toujours influencées par la nature physico-chimique du terrain constituant leurs aquifères. De plus la vitesse de circulation dans l'aquifère est un facteur important, suivant lequel Les contacts eaux et sol peuvent être court ou long, diminuant ou augmentant l'importance des échanges ioniques entre les eau et le terrain qui les contient, par ailleurs on sait que la perméabilité d'un aquifère est un facteur important agissant sur la vitesse de circulation de la nappe contenue suivant sa pente .

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 physico-chimiques de la nappe aquifère dans la région de Touat et nous allons faire une interprétation des résultat des compositions chimiques. On commençant au premier lieu par l'établissement de la carte piézométrique avec le calcul de gradient hydraulique de cette dernière

### III.2. Piézométrie :

La carte piézométrique (figure 22) de la zone d'étude établie par logiciel Surfer (v8) a été établie et réalisées à partir des données des puits fournies par l'A.N.R.H d'Adrar ( années 2013) dans le but de :

1. Définir le sens de l'écoulement des eaux souterraines .
- 2 .Déterminer les zones de convergences.

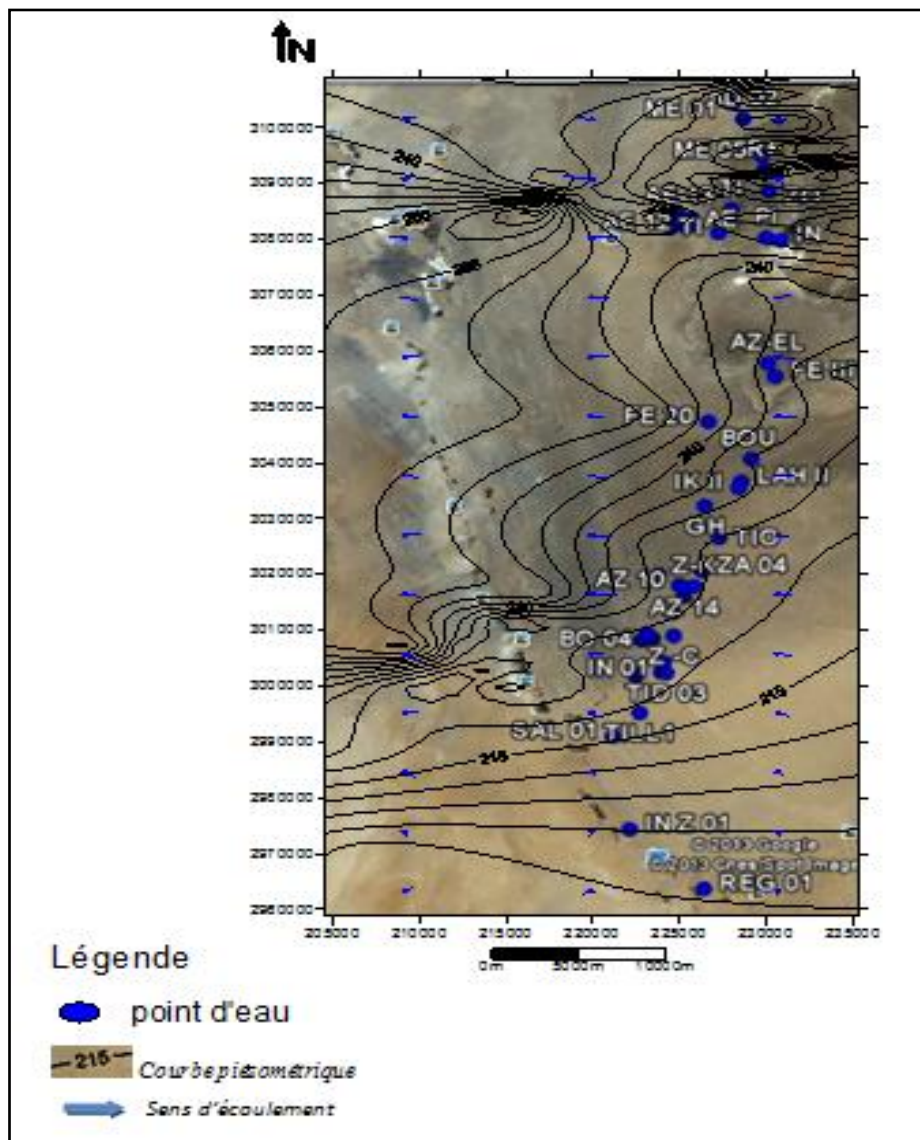
A travers de cette carte, on peut tirer trois sens secondaires d'écoulement dans la région d'étude :

- 1 .Le premier s'écoule dans le sens NE-SE a partir de plateau de Tademaït vert la région de Reggane . les courbes isopièze sont relativement espacé . avec un gradient hydraulique faible de l'ordre 0.16% et par conséquent une perméabilité assez forte, ce qui favorise le déplacement facile des eaux dans la nappe du CI. Donc les valeurs de la transmissivité montre l'existence des zone de forte trasmissivité de valeurs comprises entre  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, ceci coïncide avec la présence de forte épaisseur des formations graveleuses et sableuses
2. La deuxième s'écoule dans le sens NE-SO a partir de plateau de Tademaït vert la dépression de Touat et Erg Chech. Les courbes isopièzes un peu plus serrées d'où un gradient hydraulique de l'ordre de 0.26%, en rencontrant une faible perméabilité est due certainement



a la richesse de la lithologie du centre de la région du Touat par les Argiles, et les calcaires compactes (figure . 15 log du forage Bouali 04)

3. Le troisième s'écoule dans le sens NE-NO a partir de plateau de Tademaït vert la région d'Adrar. Les courbes isopièzes sont serrées indiquant un gradient hydraulique très important à l'échelle de toute la région, de l'ordre de 0.6 % .



*Figure.22 : Carte piézométrique de la région de Touat (2013)*

### III-3.HYDROCHIMIE

#### III.3 .1 ETUDES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES :

Dans le tableau, ci-après, nous avons synthétisé la variation des paramètres physicochimiques afin d'avoir une vue d'ensemble sur les caractéristiques hydrochimiques de la nappe étudiée. Nous avons remarqué que les conductivités (Tableau N°11) des eaux du CI dépassent les normes (>1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) de potabilité de l'OMS, voir supérieure 2500  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , et communiquent une minéralisation excessive d'un côté, à l'autre côté le pH des eaux des forages d'AEP analysées de la région de Touat varie entre 8.98 comme maximum et 6.83 comme minimum avec un écart type très faible de l'ordre 0,5, ces résultats montrent que presque le 100% des eaux analysées n'excèdent pas la concentration maximale admissible donnée par l'OMS et fixé à 8.5. ainsi qu'une valeur élevée surtout pour les sulfates et les chlorure comprise entre (336 mg/l pour les Chlorures et 396 pour les Sulfates) .

*Tableau N°08 : synthèse des variations des paramètres physicochimiques afin d'avoir une vue d'ensemble sur les caractéristiques hydrochimiques de la nappe étudiée .*

Variable	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Ca (mg/l)	51	86,216	9,0000	294,000	56,1321
Mg(mg/l)	51	77,137	5,0000	220,000	47,9779
Na(mg/l)	51	232,225	107,0000	512,000	98,4842
K(mg/l)	51	22,322	10,0000	72,000	11,8528
Cl(mg/l)	51	336,706	125,0000	1000,000	166,2615
SO4(mg/l)	51	396,499	54,8600	1199,000	219,8348
NO2(mg/l)	51	0,007	0,0000	0,240	0,0345
NO3(mg/l)	51	63,087	12,9800	213,600	46,8576
HCO3(mg/l)	51	104,845	0,0000	206,600	63,2463
SiO2(mg/l)	51	2,081	0,0000	13,470	3,9547
pH	51	7,423	6,8300	8,980	0,5013
Cd (Us/cm)	51	2042,549	780,0000	4590,000	860,8550

En l'absence de données de la température dans les données que nous nous disposons, il est recommandées de rappeler que cette dernière joue un rôle très important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique, elle permet de différencier les eaux qui circulent en profondeur ou en surface. L'augmentation de la température est en fonction de la profondeur (1°C pour 33m). en effet de ce fait, et comme la profondeur de la nappe du CI à Touat est comprise entre (80 et 150m), le thermomètre, enregistre des températures des eaux qui oscillent entre 20°C en hiver et 23°C en été.

### ✚ Dureté ( Titre Hydrotimétrique TH)

Les résultats des analyses des forages d'AEP dans la région d'Adrar montrent qu'environ 48% de ces eaux possèdent une dureté inférieure à 50°F, par contre, 52% de ces eaux donnent une dureté supérieure à 50°F. Il est à signaler qu'une faible dureté ne permet pas l'élaboration de couche carbonatée assurant le plus souvent une protection des canalisations contre certains risques de corrosion ; par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartrage des canalisations. Ces eaux marquent une oscillation entre 4°F comme minimum et 236°F comme maximum avec un écart type relativement moyen de l'ordre 39,36°F, la forte teneur de TH a été remarquée spécialement dans les régions de Reggane, Inzegmir et Aoulef.

Variable	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
TH°F	51	49,76471	4,000000	236,0000	39,36475

### ✚ Le Sodium ( Na<sup>+</sup>)

La teneur de l'ion Sodium est toujours supérieure à la CMA (200 mg/l) dans 72 % des eaux analysées donc sa concentration comprise entre 107 et 512 mg/l avec un écart type très marquante de l'ordre 98 mg/l, et environ 28 % des eaux, la concentration de cet ion excède la CMA.

### ✚ Le Calcium ( Ca<sup>2+</sup>)

Les résultats des analyses des eaux de la région de Touat ont montré que la présence des ions Ca<sup>2+</sup> dans les eaux des nappes est liée principalement à la dissolution des formations Carbonatées (CaCO<sub>3</sub>) ainsi que les formations Gypseuses (CaSO<sub>4</sub>). Les teneurs de Ca<sup>2+</sup> de la nappe de continental intercalaire sont comprises entre 9 mg/l comme valeur minimale comme elles vont atteindre la valeur maximale 294 mg/l avec un écart type significative de l'ordre 56 mg/l alors environ 62% des eaux ont une teneur supérieur à la concentration maximale admissible CMA (200 mg/l).

### ✚ Magnésium (Mg<sup>+2</sup>)

Identique en tous points au Calcium, les normes fixent sa concentration maximale à 150mg/l valeur au-delà de laquelle il confère à l'eau une saveur désagréable. dans notre étude la teneur de cette élément est comprise entre 5 et 220 mg/l avec un écart type de l'ordre 47 mg/l.

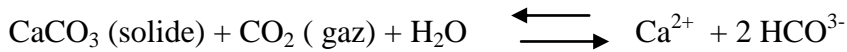
### ✚ le Potassium ( k<sup>+</sup>)

Malgré sont abondance dans certain roche magmatique et sédimentaire ( argile –grés) le Potassium est généralement peut concentré dans les eaux souterraine Sa teneur dans l'eau naturelle est constante et ne dépasse pas habituellement le 15mg/l, Les normes fixent sa

concentration maximale à 20 mg/l. mais en ce cas là on voit que les valeurs de cet élément se dépassent les normes admissibles par le CMA. sa teneur est comprise entre 10 et 72 mg/l avec un écart type est égal à 11 mg/l.

#### ✚ Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Se forme à partir de la dissolution des minéraux Carbonatés par des eaux météoriques qui se charge en  $\text{CO}_2$  libre lors de leur percolation à travers le sol.



Dans les eaux de la nappe de la région de Touat les concentrations moyennes en Bicarbonates observées dépassent la valeur guide (30 mg/l) sont de l'ordre 104,8 mg/l.

#### ✚ Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Quel que soit la lithologie, la teneur en ( $\text{Cl}^-$ ) sont généralement faibles. dans les aquifères libres la concentration en  $\text{Cl}^-$  est directement liée à la teneur en Chlorure des précipitations. Les normes fixent sa concentration maximale à niveau guide 200 mg/l. Dans les eaux de la nappe de la région de Touat les concentrations moyennes en chlorure observées sont de l'ordre 336,7 mg/l sont donc avec des teneurs très élevées.

#### ✚ Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La concentration en ion Sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 100 à 200 mg/l, mais ce chiffre peut être largement dépassé (jusqu'à 1000 mg/l) dans les zones contenant du Gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. Les normes fixent 400 mg/l comme niveau guide donc leur teneur dans la région de Touat très significative sont de l'ordre de 396,4 mg/l (à partir du tableau N°11).

#### ✚ La Silice ( $\text{SiO}_2$ )

Il est quasi inexistant dans les roches Carbonatées, il est en revanche très abondant dans les roches magmatiques, les grès et les argiles. Les eaux de la région d'étude ayant des faibles concentrations de Silice sont de l'ordre 2,08 mg/l.

### III.3.2 Les éléments indésirables

#### ✚ Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les Nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'Azote, et c'est la forme la plus soluble de ce dernier. Les teneurs en Nitrates observées (Tableau N°11), sont de l'ordre 63 mg/l. Cependant, elles sont supérieures aux normes (50 mg/l).

### ✚ Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les teneurs en Nitrites observées (Tableau N°11), sont relativement très faibles, voire nulles dans les eaux de l'Albien. Cependant, elles sont inférieures aux normes (0,2mg.l).elles sont de l'ordre 0,007 mg/l en cette région .

#### III.4. Interprétation des résultats des analyses chimiques des éléments majeurs:

Les échantillons ont été prélevés 2013 et les mesures des paramètres physico chimiques ont été effectuées sur 51 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:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}^{-3}$ ,  $\text{NO}^{-3}$ ,  $\text{NO}^{-2}$ ,  $\text{SiO}_2$

#### III. 4.1. Identification des faciès chimiques des eaux :

Il existe plusieurs classifications des faciès 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.

##### III.4.1.1. 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.23) 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

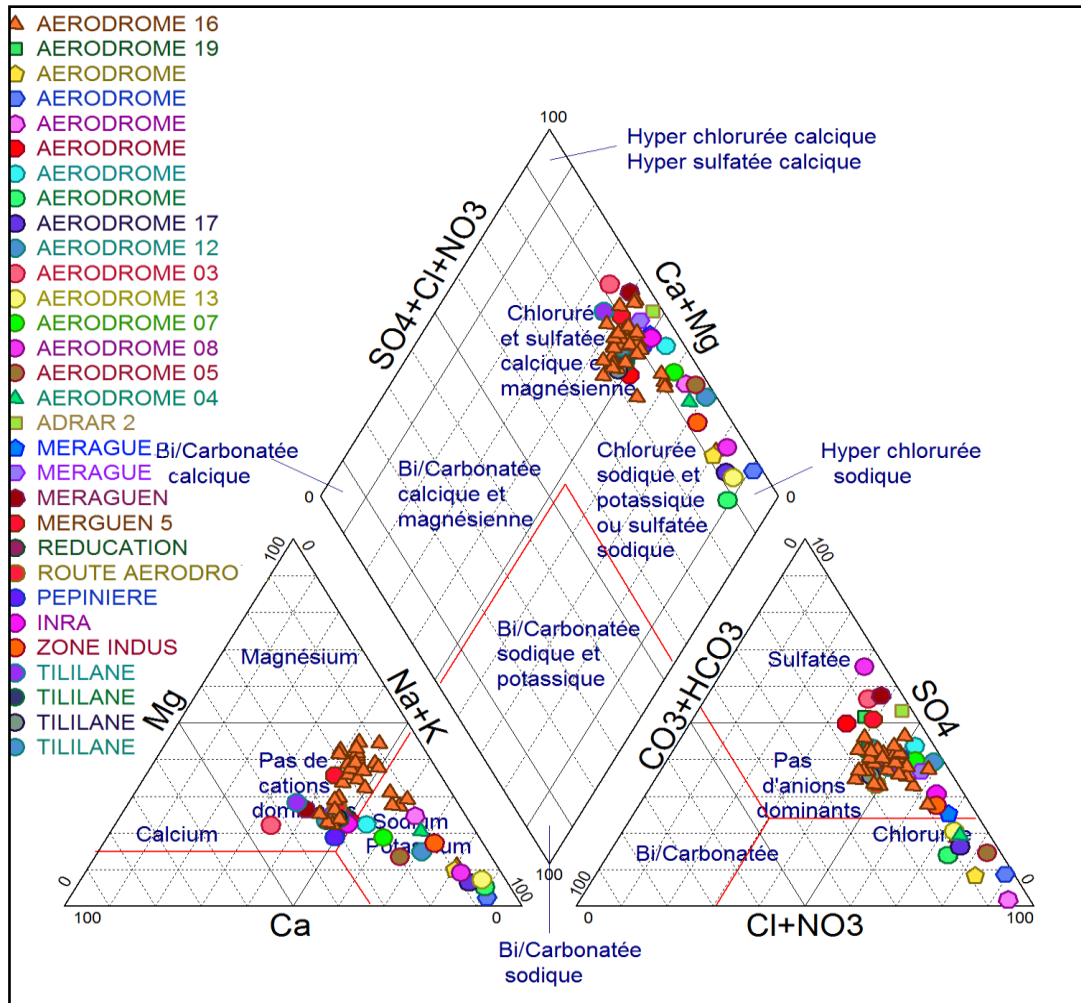


Figure . 23: Le diagramme de Piper des eaux de la nappe phréatique

### III . 4.1.2. Diagramme de Schoeller 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. ce type de diagramme permet de représenter plusieurs points des eaux sur un même diagramme

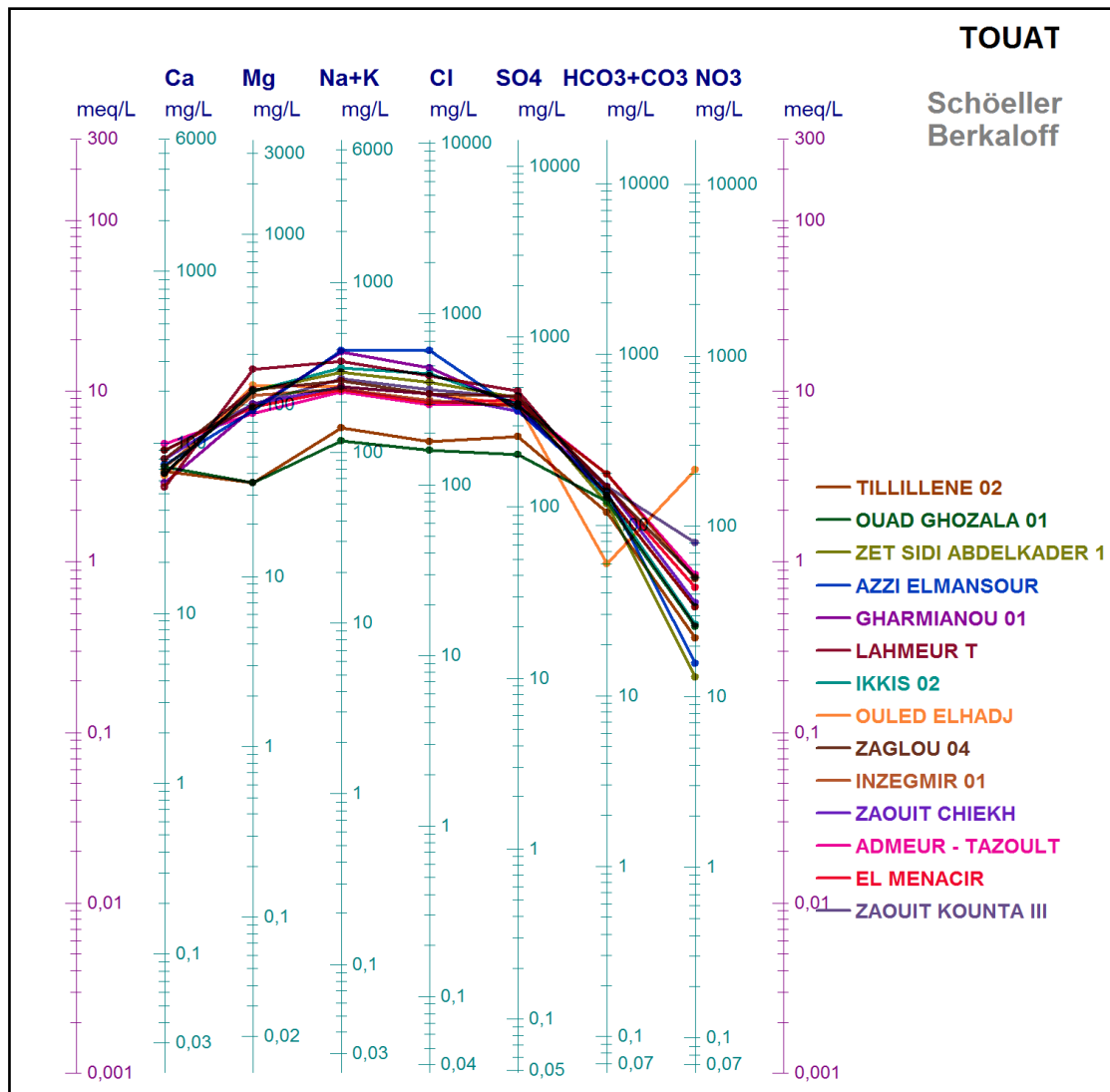
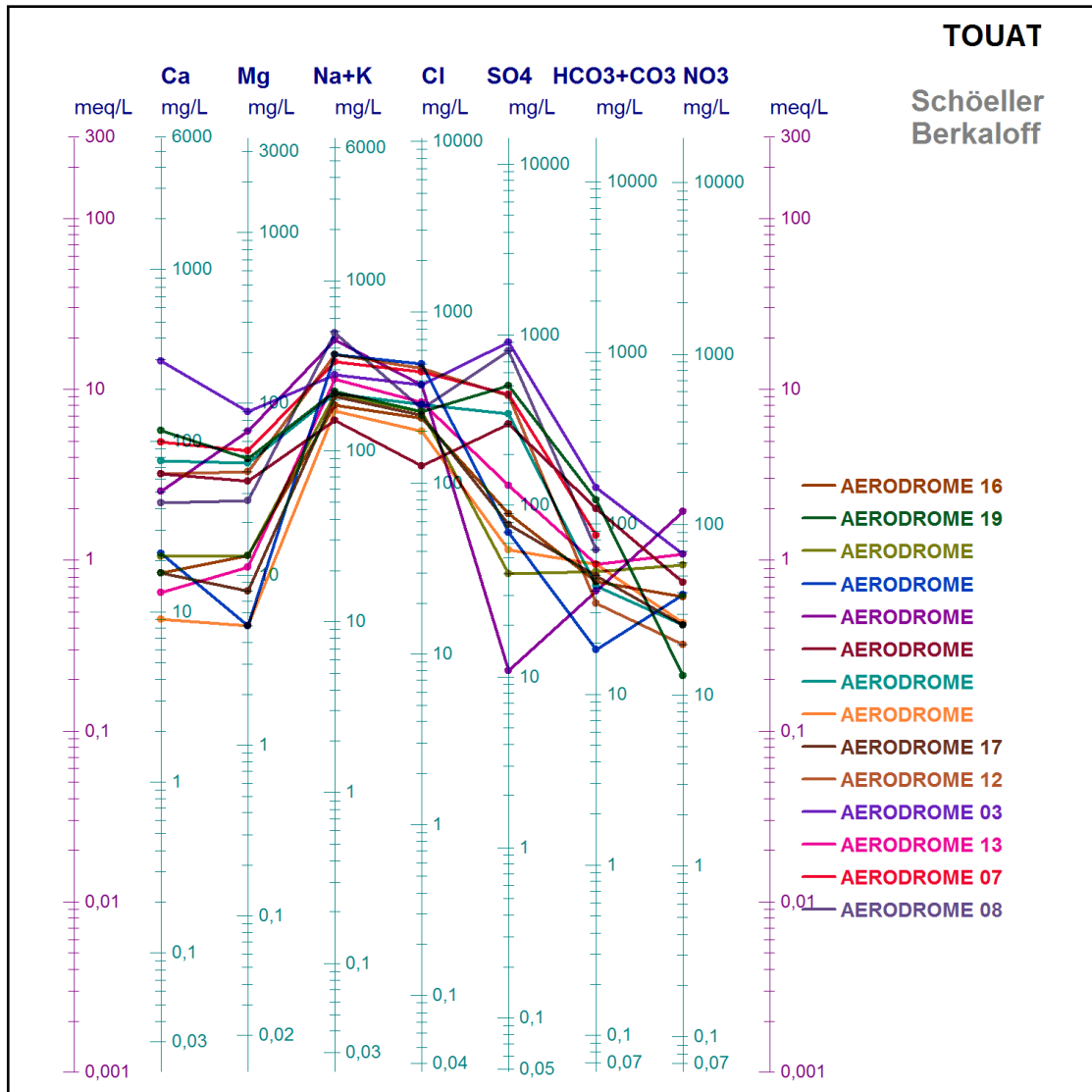


Figure.24 a : diagramme de Schoeller –Berkaloff pour les facies Chlorurés sodiques



**Figure.24 b** : diagramme de Schoeller –Berkaloff pour les faciès sulfaté sodique

A travers ces deux diagrammes on observe que la qualité de la majorité des eaux est passable.

On peut distinguer aussi deux types de faciès :

- ➔ Faciès sulfaté sodique, le cas dans le (fig.24 a)
- ➔ Faciès chloruré sodique, le cas dans le (fig.24 b)

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 N°09: Classification et formule caractéristique des eaux de la nappe CI dans la région de Touat**

Faciès chimique	Formule caractéristique	%	Point de prélèvement
<i>Chloruré Sodique</i>	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{++} > r \% \text{Ca}^{++}$	40 , 32%	AER 16 , AER19 , AER, AER 17, AER12, AER03, AER 13 AER 07, AER 08, AER05, AER 04, MER,PIP,INRA,ZO-IN, ZET SIDI ABDELKADER 1, AZ_ ELM, GHAR 01,LAH- TAM 02,IKKIS 02, O- EL-TABREKANE,INZE 01, ZA-CHI, AZ- 03,BO-04 ,TIO, ,TILLO 1,TID 02, TITA- CH ,INZE 01,TILI,Tili,Tili.
<i>Sulfaté sodique</i>	$r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r \% \text{Ca}^{++} > r \% \text{Mg}^{++}$	59 ,67%	TILLI 02, ZA 04,AD – TAZOULT,ZA-KO III,AZZI 14, AZZI 34, REGG 01,SALI 01,BOU, O- GHO 01,adrar 02,AER 03, AER 08 .....etc

### III . 5 Origine de chimisme des eaux :

#### III . 5 .1 Etude des relations inter-éléments :

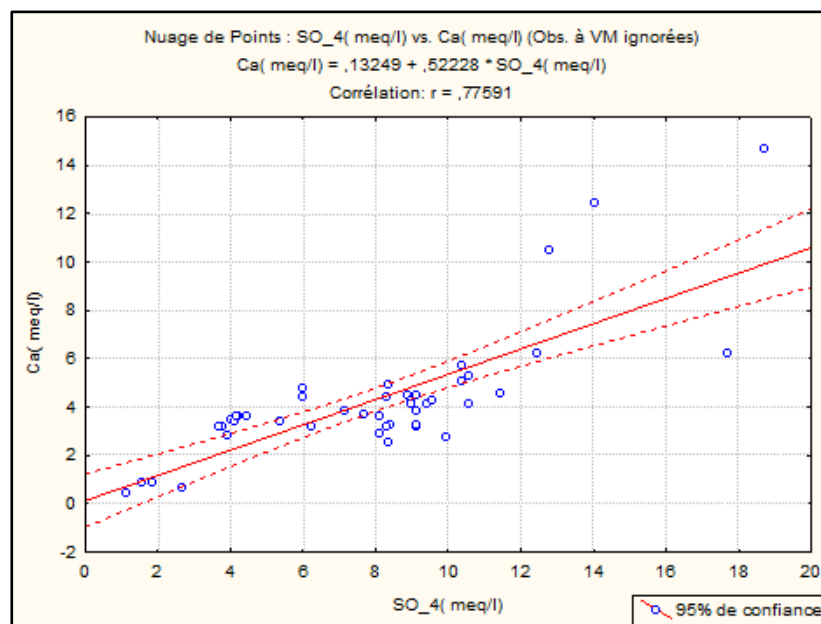
A partir les résultats de tableau ci-dessous on peut montrer que la majorité des éléments sont bien corrélés entre eux, voir mieux avec la conductivité.

**Tableau N° 10: Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques**

Variable	SO_4	Cl	HCO_3	NO_3	NO_2	Ca	Mg	Na	K
SO_4( meq/l)	1,00								
Cl( meq/l)	0,68	1,00							
HCO_3( meq/l)	0,13	0,02	1,00						
NO_3( meq/l)	0,48	0,32	-0,52	1,00					
NO_2( meq/l)	0,01	-0,01	0,08	0,07	1,00				
Ca( meq/l)	0,78	0,54	-0,11	0,59	-0,02	1,00			
Mg( meq/l)	0,79	0,64	0,43	0,24	0,01	0,37	1,00		
Na( meq/l)	0,70	0,97	0,03	0,30	0,01	0,44	0,65	1,00	
K( meq/l)	0,66	0,77	-0,11	0,32	-0,05	0,54	0,47	0,79	1,00

### III . 5 .1.a Le couple Ca -SO<sub>4</sub>:

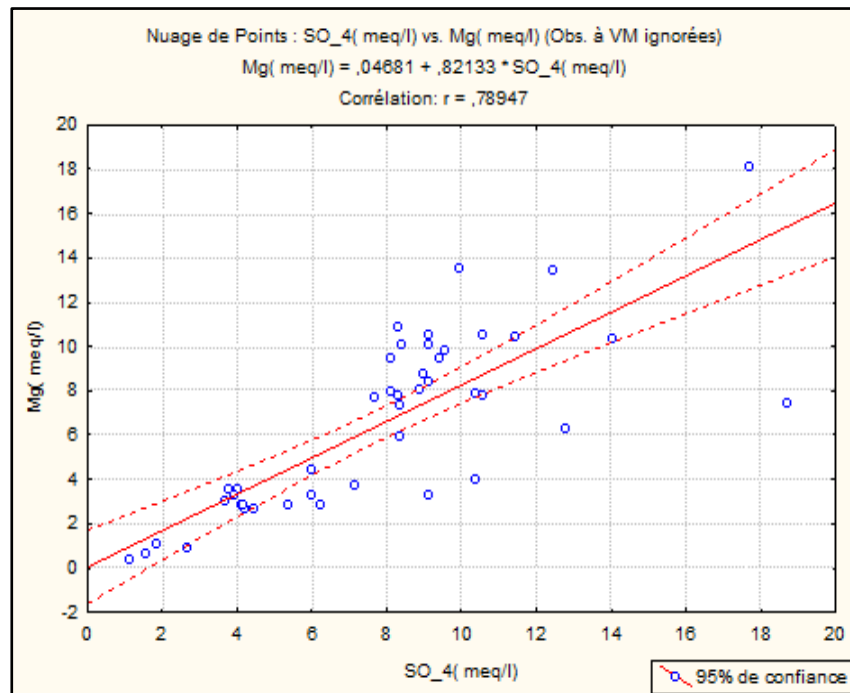
Le graphe ci – dessous (figure .25) montre qu’ il ya une grand corrélation entre les deux éléments (Ca -SO<sub>4</sub>) cette corrélation traduit l'alignement des points presque en même ligne , indiquant probablement une origine commune qui est par exemple l’Anhydrite ( CaSO<sub>4</sub> ) , Gypse (CaSO<sub>4</sub> :2H<sub>2</sub>O) et le Pentahydrate (MgCl<sub>2</sub> :6H<sub>2</sub>O)



*Figure. 25: Le couple Ca –SO<sub>4</sub>*

### III . 5 .1.b Le couple Mg-SO<sub>4</sub>

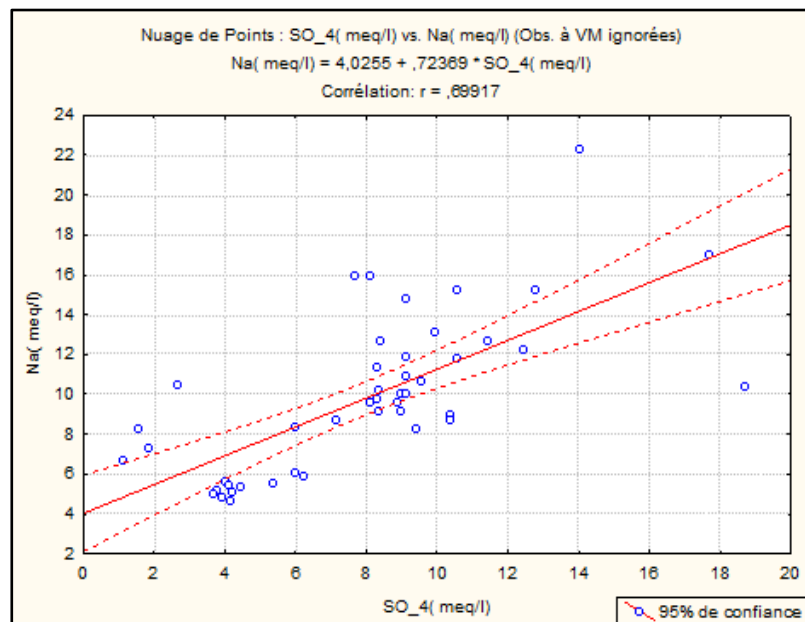
Le Magnésium effectue un alignement suivant les Sulfates, selon deux droites (nuages des points) de différentes pentes (Figure .26), ce qui traduit par le fait que ces deux éléments ont la même origine. Epsomite ( Mg SO<sub>4</sub> : 6H<sub>2</sub>O ) , Kieserite ( Mg SO<sub>2</sub> :H<sub>2</sub>O ) ....etc



*Figure. 26: Le couple Mg-SO<sub>4</sub>*

### III . 5 .1.c Le couple Na-SO<sub>4</sub>:

Le graphe ci – dessous montre qu' il ya une grand corrélation entre les deux éléments (Na -SO<sub>4</sub>) cette corrélation traduit l'uniformité d'alignement des points , indiquant probablement une origine commune (figure.27) l'exemple de la Mirabilite ( Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :10H<sub>2</sub>O).



*Figure. 27: Le couple Na-So<sub>4</sub>*

### III .5 .1.d Le couple K-SO<sub>4</sub> :

La comparaison de variation des éléments (k et SO<sub>4</sub>) (Figure . 28), montre qu'il y a certain corrélation entre ces deux éléments présentant l'homogénéité d'origine de ces 2 éléments sont donc d'origine Arcanite (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) par exemple .

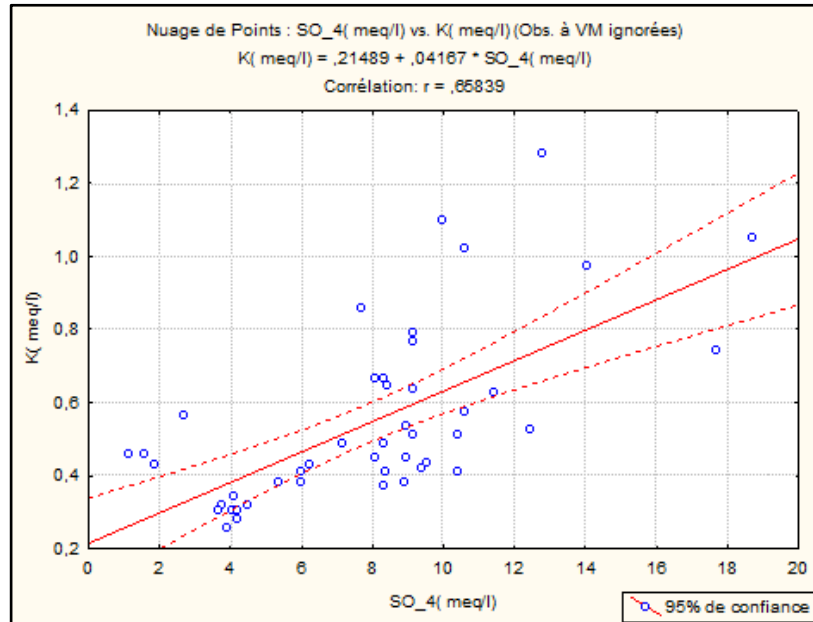


Figure. 28: Le couple K-So<sub>4</sub>

III .5 .1. e Le couple Mg-Cl : Le graphe (Figure. 29 ) montre qu'il ya une corrélation entre ces deux éléments indiquant la même origine de ces dernière le Bischofite (Mg Cl<sub>2</sub> :6H<sub>2</sub>O) par exemple .

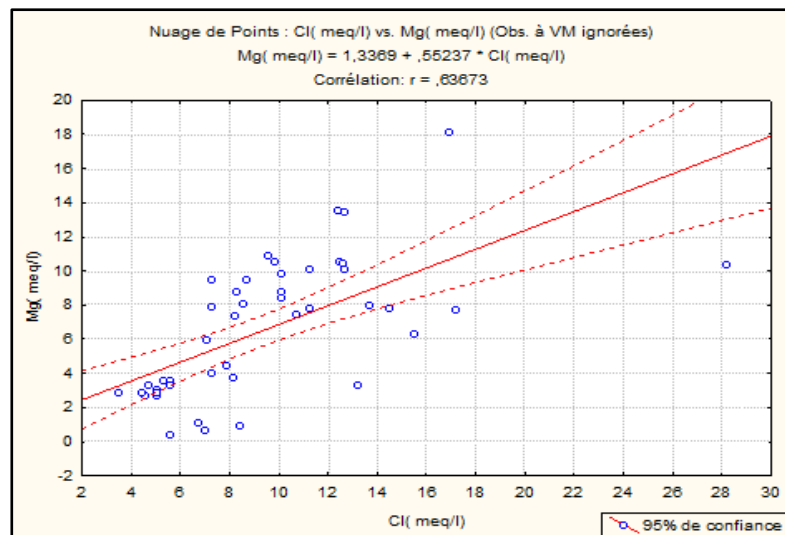
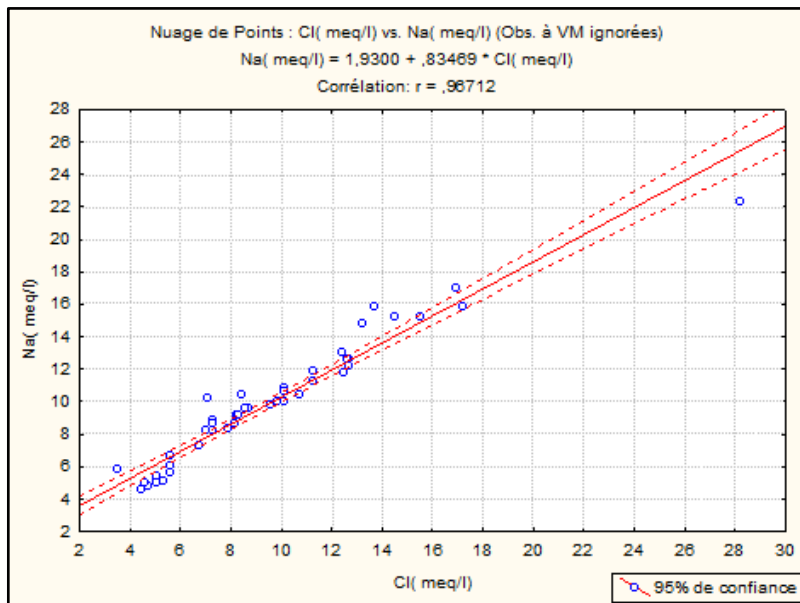


Figure.29: Le couple Mg -Cl

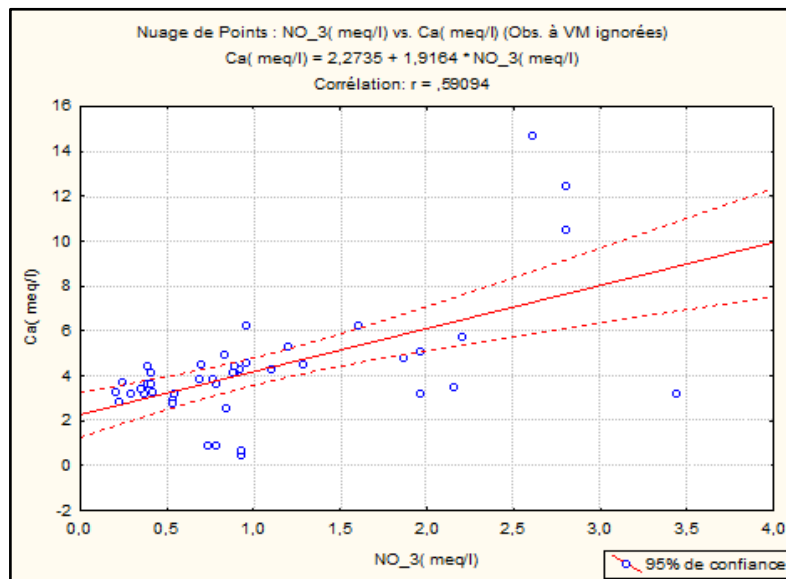
**III .5 .1.f Le couple Na-Cl :** Le graphe ci – dessous (figure . 30 ) montre qu' il ya une très grand corrélation entre les deux éléments (**Na-Cl**) cette corrélation traduit l'uniformité d'alignement des points , indiquant une origine commune qui est l'Halite (Na Cl)



*Figure. 30: Le couple Na-Cl*

**III .5 .1.g Le couple Ca\_ No 3 :**

Le graphe (Figure. 31) montre une tendance à l'alignement des points cependant, quelques points présentent un excès des nitrates d'origine des produit chimique ( pesticide) d'autres un excès des calcium qui est probablement provient de la roche mère (Anhydrite) L'importance de l'excès de l'un ou de l'autre élément détermine la dominance du faciès de cet élément sur l'autre .



*Figure. 31: Le couple Ca-NO3*

### III.6 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 contenues 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 :

$$i e b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

si  $i e b > 0 \Rightarrow$  les eaux échangent des ions de  $Na^{++}K^+$  contre les ions de  $Ca^{+2}$  et  $Mg^{+2}$  du terrain encaissant.

si  $i e b = 0 \Rightarrow$  il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant.

si  $i e b < 0 \Rightarrow$  l'encaissant libère les ions de  $Na^+ + K^+$  et fixe les ions de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  de l'eau. L'indice d'échange de base calculé dans le cas présent varie de 3,05 à 28,16. On remarque que tous les échantillons d'eaux analysés ont un ( $i e b$ ) supérieur à zéro, donc les eaux échangent des ions de  $Na^+ + K^+$  contre les ions de  $Ca^{+2}$  et  $Mg^{+2}$  du terrain encaissant,

### III. 7. Aptitude des eaux à 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 lesquels :

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

#### III. 7. 1 Diagramme de REVERSIDE :

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale.

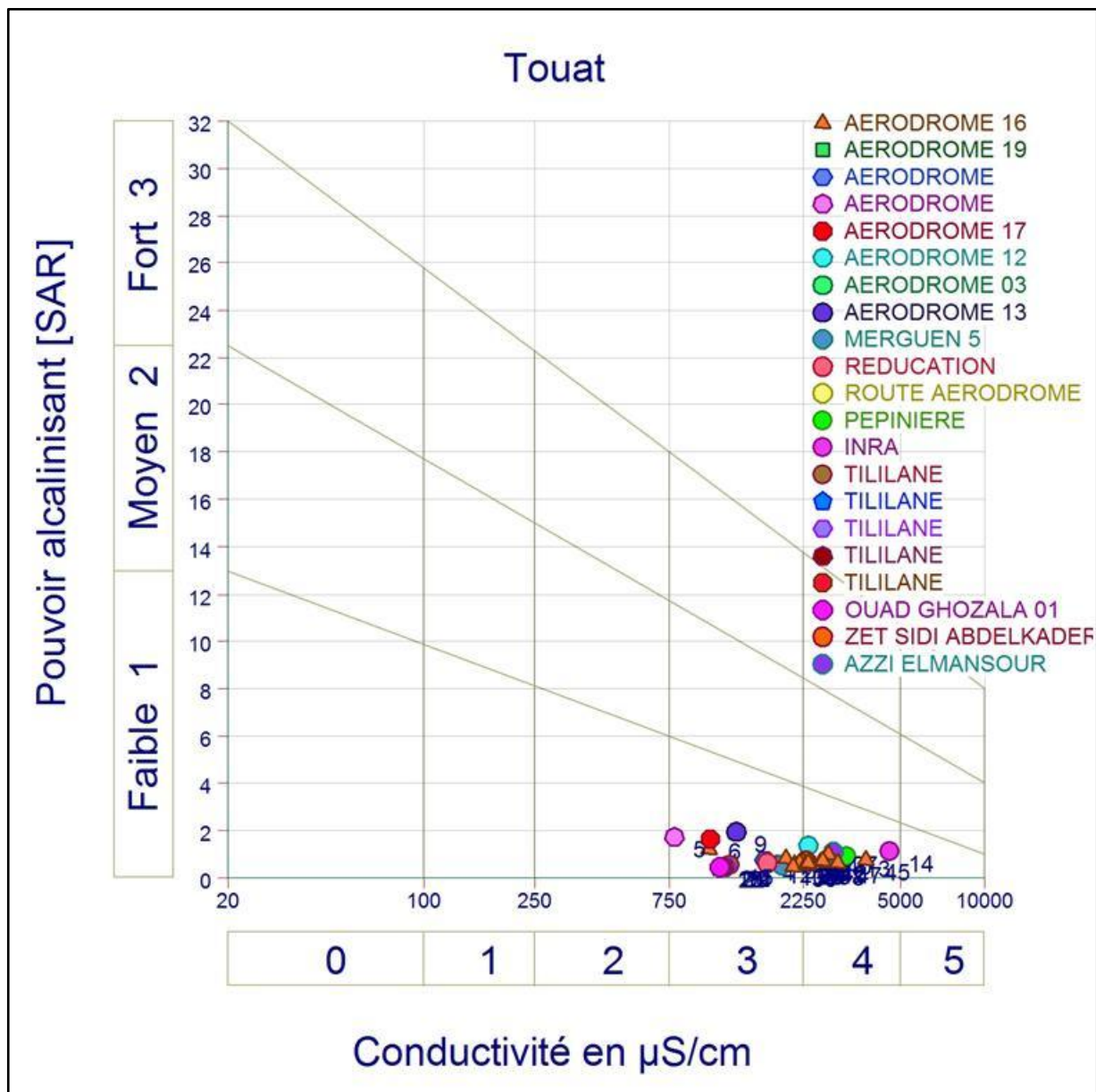
Le S.A.R est un indice qui mesure le danger que représente l'existence d'une teneur donnée en sodium dans l'eau. Il se calcule par la formule suivante

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

Le diagramme de Riverside (Fig.32) qui comporte les subdivisions suivantes :

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

2.  $10 < \text{S.A.R} < 18$  : eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation
3.  $18 < \text{S.A.R} < 26$  : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation.
4.  $\text{S.A.R} > 26$  : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.



*Figure.32 : 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 ( $\text{S.A.R} > 26$ ).

### III. 7. 2 Le pourcentage de sodium (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 (fig.33)

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 :

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

Les éléments sont exprimés en meq/l

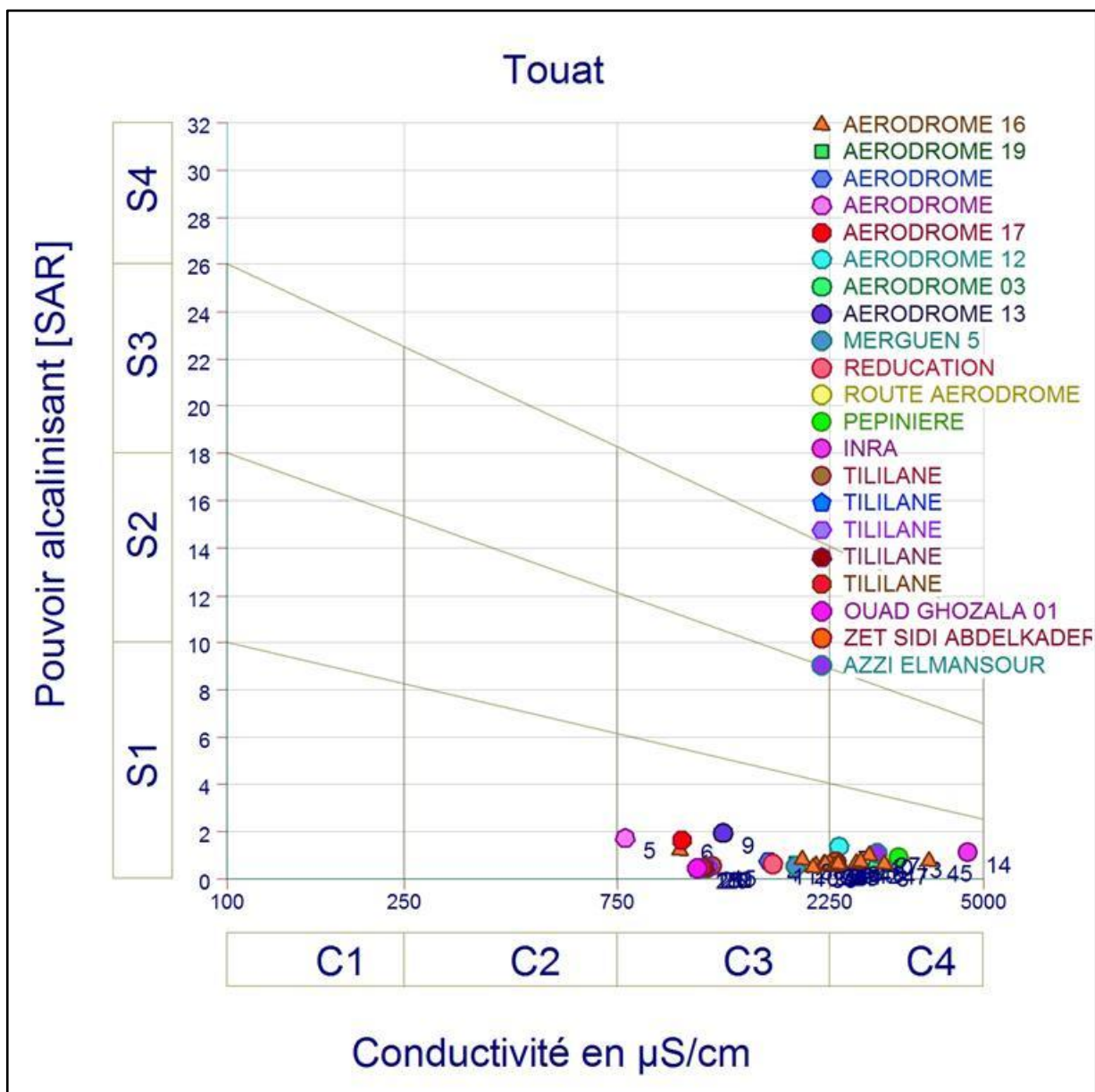


Figure.33 : diagramme de Wilcox



Tableau N °11 : les cinq classes des eaux d'après Wilcox

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

On peut donc tirer deux classes :

1. C4-S1 : 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
2. C3-S1: 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 .

### III.8. Potabilité chimique des eaux :

#### III.8.1 Les normes de potabilité :

On a examinée dans cette partie la qualité chimique des eaux, en le comparant aux normes Normes Algériennes de potabilité l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S).

*Tableau N°12: Normes Algériennes de potabilité*

paramètre	valeur	Unite
<b><i>PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES</i></b>		
TEMPÉRATURE	25	°C
PH	6.5-8.5	-
Conductivité	2500	µS/cm
Résidu sec (180°C)	2000	mg/l
Calcium	200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Sodium	250	mg/l
Potassium	15	mg/l
Chlorure	600	mg/l
Sulfates	400	mg/l
<b><i>SUBSTANCES INDÉSIRABLES</i></b>		
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l

Tableau N°13 : classification la potabilité des eaux d'après la norme algérienne

NOM	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	Cd	remarque
NORME	200	150	250	15	600	400	50	6.5 -8.5	2500	potable
AERODROME 16	17	13	168	16.8	240	89.78	45.89	8.52	1040	potable
AERODROME 19	115	48	205	20	260	499	136.7	7.38	1890	NON POTABLE
AERODROME 03	294	90	239	41	380	898.8	161.8	7.5	2890	Non potable
ADRAR 2	264	138	482.5	40	740	1199	63.95	7.33	4500	Non potable
MERGUEN 5	102	96	200	16	260	499	121.8	7.15	1890	Non potable
REDUCATION	96	54	192	15	280	289.4	115.7	7.1	1680	Non potable
ROUTE AERODROME	70	43	130	12	200	194.5	133.7	7.41	1200	Non potable
PEPINIERE	209	76	350	50	550	614.1	173.8	7.01	3210	Non potable
INRA	248	125	512	38	1000	674.4	173.9	7.07	4590	Non potable
ZONE INDUS	22	22	168	10	230	131.7	45.89	7.07	1000	Non potable
TILILANE	64	37	115	12	180	177.6	18.46	7.15	1160	Non potable
TILILANE	72	35	107	11	160	201.5	25.94	8.52	1140	Non potable
ZET SIDI ABDELKADER 1	66	122	273	25	400	439.2	12.98	7.38	2320	Non potable
AZZI ELMANSOUR	74	93	365	33.5	610	369.4	15.67	8.98	2880	Non potable
GHARMIANOU 01	58	97	365	26	486	389.3	33.74	7.76	2520	Non potable
LAHMEUR T	55	164	300	43	440	479.2	33.74	8.8	2640	Non potable
IKKIS 02	66	122	290	25.3	450	405.3	26.45	7.58	2400	Non potable
OULED ELHADJ	64	132	225	19	340	399.3	213.6	7.56	2270	Non potable
INZEGMIR 01	72	115	220	17.5	310	389.2	48.91	7.5	2100	Non potable
ADMEUR - TAZOULT	98	89	210	16	293	402.2	51.9	7.29	2180	Non potable
EL MENACIR	90	98	220	15	305	427.2	43.91	7.05	2190	Non potable
ZAOUIT KOUNTA III	90	102	250	20	360	439.2	79.85	7.17	2250	Non potable
AZZI 14	85	106	210	17.5	296	431.2	57.39	7.33	2190	Non potable
AZZI 34	82	106	230	21	360	431.2	55.89	7.15	2200	Non potable
AZOUA 03	51	72	235	14.5	252	401.2	52.4	7.1	1960	Non potable
BOUALI 04	82	115	190	16.5	260	452.1	54.89	7.41	2070	Non potable
BOUYAHIA	82	94	350	40	515	509.2	25.96	7.01	2760	Non potable
TIOURIRINE	88	94	260	26	400	399.3	55.9	7.07	2370	Non potable
TILLOULINE 1	106	128	270	22.5	442	509.2	74.88	7.07	2590	Non potable
TIDMAINE 02	77	128	230	31	350	439.2	47.91	7.15	2310	Non potable
TITAOUINE CHORFA	85	119	245	17	360	459.2	68.87	7.73	2350	Non potable
REGGANE 01	124	220	390	29	600	849	99.89	7.2	3760	Non potable
INZEGLOUF 01	91	127	290	24.5	448	549.1	59.9	7.07	2650	Non potable
TILLILLENE 02	68	35	126	15	180	260	22	7,05	1230	potable
OUAD GHOZALA 01	72	35	107	11	160	202	26	7,1	1140	potable

Donc le tableau ci-dessus il montre que :

- ➔ Dans la région de Touat on a des eaux potables et à bonne qualité dans les forages de Tillillene 02 et OuadGhozala01.
- ➔ Dans les autres forages les eaux ils signalent comme non potable parce que les concentration des plus par éléments chimique sont dépasse la norme ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ce qui implique l'utilisation des méthodes de traitements de ces eaux avant qu'ils sont consommés par les êtres humain .

### III . 9 CONCLUSION :

A partir de la carte piézométrique réalisée on peut dire que les eaux de la nappe du continental intercalaire (Albien) de Touat tiennent comme amont la dénivellation du plateau de Tademaït à l'Est, et convergent en aval vers la dépression de Touat à l'Ouest, comme sens d'écoulement principal. Cependant, des écoulements secondaires peuvent apparaître :

1. Le premier s'écoule dans le sens NE-SE a partir de plateau de Tademaït vert la région de Reggane . les courbes isohypses sont relativement espacés. Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.16%.
2. La deuxième s'écoule dans la sens NE-SO a partir de plateau de Tademaït vert la dépression de Touat et erg Chech. Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.26%.
3. Le troisième s'écoule dans la sens NE-NO a partir de plateau de Tademaït vert la région de ville d'Adrar. Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.6 % .

les résultats d'analyses physicochimiques montrent que les eaux de la nappe de continentale intercalaire de la région de Touat sont caractérisées par pH neutre et une conductivité moyenne a élevés avec une grande augmentation de concentration de quelque éléments chimiques tels que : ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ).et d'autre éléments presque nul tel que ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^-$ ).

Deux faciès chimiques y prédominent:

- ➔ Un faciès Chlorurés sodique avec un taux de 40,32%
- ➔ Un faciès Sulfaté sodique avec un taux de 59,67%

Donc A partir tous les classification utilisés dans mon étude (*Stabler* ,*Wilcox*, *Reverside* ,*Piper*, *Schoeller –Berkaloff* ) On peut affermie le type des eaux de cette région.

L'utilisation de ces eaux pour l'AEP sans traitement préalable est déconseillé du point de vue agricole, les eaux de la région ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisé sous certaines conditions, pour certaines cultures dans certains sols.

Donc, on conclut que cette nappe peut être exploitée du point de vue hydrochimique, plus au Nord Est surtout dans Tillillene et Ouad Ghozala où se trouvent de bonnes qualités des eaux dans la région, par rapport aux parties Sud de Touat (moyenne à mauvaise qualité des eaux). Donc le sud de la région elle est très minéralisée par rapport au Nord.

Conclusion général

## CONCLUSION GENERALE :

L'objectif de cette étude hydrogéologique et hydrochimique était de la reconnaissance des ressources en eaux souterraines et leur qualité dans la région de Touat.

En effet notre contribution a aboutit selon les données qui nous ont été disponibles, que le climat aride avec de faibles précipitations (25.42 mm/an), et de températures élevées (45 °C), et une évapotranspiration potentielle de plus de 2500 mm /an, ce qui se traduit par un déficit hydrique le long de l'année.

Le Continental Intercalaire est une série monotone d'âge crétacé inférieure 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 et Une substratum argileux d'âge primaire sur lequel repose les sables et sable argileux et de grés, grés argileux ...etc

L'étude hydrogéologique a mis en évidence l'existence d'une nappe du continental intercalaire, d'un intérêt hydrogéologique important.

L'exploitation de la nappe du continental intercalaire de la région de Touat est non rationnelle selon nos observations sur terrain lors de la campagne piézométrique où nous avons constaté les forages, foggaras, et les puits traditionnelles existant contribuent énormément dans l'épuisement de cette richesse fossile souterraine.

Dans un stade ultime, l'étude hydrochimique, basée sur les résultats d'analyses effectuées en 2013, nous avons peu caractériser les eaux de la nappe du continental intercalaire par l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines, ainsi que les différentes classification utilisés dans notre étude tel que (Stabler ,Wilcox, Reverside ,Piper, Schoeller – Berkaloff ) Montre que ces eaux sont de deux types :

- ➔ Une eau moins minéralisé au nord de la zone d'étude.
- ➔ Une eau plus ou moins chargé dans les périphériques des sebkhas et au sud de la zone d'étude.

La chimisme des eaux se caractérise par une grande variabilité dans l'espace. Elle augmente vers l'exutoire de la nappe du continental intercalaire sous l'influence du substratum argileux d'âge primaire de cette nappe (CI) par l'interaction eau/roche. ainsi que les eaux caractérisé par une dureté totale élevé (de l'ordre 4mg/l comme minimum à 236 mg /l comme maximum) .

L'étude Hydrochimique montre deux types de familles d'eau :

- ➔ Le faciès chloruré sodique de l'ordre 40, 32%

- Le faciès sulfaté sodique de l'ordre 59,67%

En fin, Selon les prescriptions de l'O.M.S et les normes algériennes, les eaux de la nappe du continental intercalaire de la région de Touat sont d'une qualité médiocre l'exemple de Reggane à admissible donc favorables à la consommation humaine par exemple : Tillillene .



# Bibliographie

## BIBLIOGRAPHIE :

1. 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*
2. 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
3. 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.
4. 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
5. 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.
6. 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
7. 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
8. 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.
9. 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)

10. FABRE J. (2005).Géologie Du Sahara Occidental Et central, vol 8 édition Terouren Africain Géosciences collection Belgique.
11. 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
12. GILLI E.MANGAN C .MUDRY J. (2008), Hydrogéologie Objets, Méthodes, Applications. Vol2 édition Dunod, Paris.
13. 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. Khennous,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
14. 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
15. KHADRAOUI A. sols en algerie (gestion et impact sur l'environnement)
16. KHDRAOUI A. Eau Et Impact Environnemental Dans Le Sahara Algérien Définition Et Perspectives De Développement .pp 55-87
17. OULD BABA SY M. (2005),Recharge et Paleorecharge Du Système Aquifère Du Sahara Septentrional univ; *Thèse Doc*, univ : de Tunis EL MAN
18. 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**

Le Sahara algérien est une partie du grand Sahara, son climat est celui des zones hyperarides caractérisé par des faibles précipitations, des très faibles taux d'humidité relative, des températures de l'air très élevées et des fortes pertes par évaporation, ces conditions climatiques sont à l'origine de la rareté des eaux superficielles dans ces zones, d'où la nécessité de penser à exploiter les eaux des nappes souterraines pour couvrir les besoins en eau pour la population, l'agriculture et l'industrie. On a étudié la nappe du continental intercalaire de la région de Touat dans la wilaya d'Adrar au deux façons, hydrogéologique pour déterminer le niveau piézométrique et les zones saturées aussi l'affleurement de cette nappe dans la région d'étude et va toucher le système de captage traditionnel comme une très ancienne méthode de captage d'eau dans la wilaya d'Adrar (exutoires importants).

L'évaluation hydrochimique du réservoir hydrogéologique superficiel de la région de Touat a porté sur le prélèvement de 51 échantillons d'eau qui ont fait l'objet d'analyses chimiques avec détermination des teneurs en calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorure, sulfate, bicarbonate et nitrate, La conductivité électrique et le pH.

On résulte que l'alimentation de CI plus faible, il y a trois sens sans d'écoulement dans la région d'étude: Le premier s'écoule dans le sens NE-SE à partir de plateau de Tademaït vers la région de Reggane et la deuxième s'écoule dans le sens NE-SO à partir de plateau de Tademaït vers la dépression de Touat et erg Chech. et le troisième s'écoule dans le sens NE-NO à partir de plateau de Tademaït vers la région de ville d'Adrar.

Donc La forme générale de la nappe nous montre que c'est une nappe radiale à exploitation intense. L'étude hydrochimique montre que il y a deux faciès chimiques des eaux dans la région de Touat sont :

Un faciès Chlorurés sodique avec un taux de 40,32%

Un faciès Sulfaté sodique avec un taux de 59,67%

**Les mots clés :** Touat, Tademaït, eaux souterraines, CI, hydrogéologie, sens d'écoulement, hydrochimie, nappe, foggara, Adrar.

## 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 Tuat 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 Tuat focused on the collection of 51 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 Tuat 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 Tuat region are:

Facies sodium chloride at a rate of 40.32%

Facies sodium sulfate at a rate of 59.67%

**Key words:** Tuat, 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، لالهيدروجيولوجية *déterminiez* مستوى المياه الجوفية والمنطقة المشبعة مثل نتوء من المياه في منطقة الدراسة، والمفتاح النظام التقليدي لجمع كوسيلة من وسائل قديمة جدا لإزالة المياه في ولاية أدرار (المنافذ المهمة). تقييم الهيدروجيولوجية الكيميائي من المساحة السطحية للخزان توات تركز على جمع 51 عينة المياه التي تم تحليلها كيميائيا مع تقرير من الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريتات والنترات وبيكربونات، والتوصيل ودرجة الحموضة.

ويترتب على ذلك قوة CI أصغر، وهناك ثلاثيات التدفق الحر في منطقة الدراسة: إن NE-SE الأول الذي يتدفق في الاتجاه من علبة Tademaït منطقة خضراء ورقان الثاني يتدفق في الاتجاه NE-SW من علبة Tademaït الخضراء الاكتئاب توات والثالث أرج Chech.et هذا يصب في اتجاه NE-NW من علبة Tademaït الخضراء منطقة مدينة أدرار .

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

سحنة كلوريد الصوديوم بمعدل 40.32%.

الوجه كبريتات الصوديوم بمعدل 59.67%.

**الكلمات الرئيسية:** توات، Tademaït، المياه الجوفية، CI، الهيدروجيولوجيا، دون تدفق، كيمياء المياه، والمياه،