

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**Faculté des Hydrocarbures, des Energies renouvelables et des Sciences**  
**de la Terre et des l'Univers**  
**Département des sciences de la Terre et de l'Univers**



**Mémoire**  
**INGENIEUR ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers**  
**Filière : Géologie**  
**Spécialité : Géologie de L'Ingénieur**

**Présenté par : GHETTAS Amal**

**Thème**

***ETUDE ET SYNTHÈSE HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUEFERE CI***  
***DANS LES BASSINS AHNET, GOURARA ET REGGANE***

Soutenu publiquement

Le 11/06/2014

Devant le jury :

Mr. BELEKSEIR Mohamed S	MA(A)	Président	UKM Ouargla
Mr. ZEDDOURI Aziez	MC(A)	Encadreur	UKM Ouargla
Mme. HABES Sameh	MC(B)	Examinateur	UKM Ouargla

**Année universitaire : 2013/2014**

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(( وَإِنَّ مِنْ الْحِجَارَةِ لَمَا يَتَفَجَّرُ مِنْهُ أَنْهَارٌ ))

وَإِنَّ مِنْهَا لَمَا يَشْقَقُ فِيْهَا مَاءٌ مِنْهُ الشَّعْبُ

وَإِنَّ مِنْهَا لَمَا يَهْبِطُ مِنْ خَشْيَةِ اللَّهِ

وَمَا آتَاهُ بِغَافِلٍ عَمَّا تَعْمَلُونَ ((

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ



# REMERCIEMENTS

*En premier lieu je tiens à remercier DIEU tout puissant de m'avoir donné la force pour accomplir ce modeste travail.*

*Au terme de travail présenté dans le cadre de mémoire fin d'étude pour l'obtention du Diplôme : Ingénieur à l'état. Option Géologie, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadreur ZEDDOURJ.A et Monsieur BELEKSEJR.M S- Melle HABES.S et aussi à Monsieur BEDROUN.M le chef de Département hydrogéologie et Monsieur CHERFAOUJ.A le chef de Département Surface et Monsieur KJDARJ le chef de Département Géologie de la Sonatrach (DOE) pour toutes leurs aides et conseils au cours du stage effectué à Hassi Messaoud.*

*Mes remerciements également à Monsieur KHLJF.A et FARDJ.F superintendants forage.*

*Mes remerciements SAYAH.Y ingénieur et Mr MESLEM.M, HASSAN, ESNOUSSJ ;*

*Melle BEN ECHJK.S.*

*Enfin, je tiens à remercier tous les travailleurs de DE-DOE-SONATRACH en générale*

*Tous ceux qui ont participé de prêt ou de loi à l'établissement de ce Modeste travail.*

*J'espère que je sois à la hauteur et je souhaite le bon courage à toute la promotion.*



# DEDICACES

*Au terme de ce mémoire je voudrais exprimer ma profonde gratitude au bon DIEU.*

*Je dédie ce modeste travail avec un grand bonheur à ceux que j'ai de plus chers au monde :*

*Ma mère et mon père.*

*Mes chères sœurs et frères : Zineb-Abd Elfatah-Khadidja-Yousef-Sabrina-Aicha-Mohamed-Batoul-Basmala*

*A toute la famille GHETTES sans exception.*

*A mes amis : Islam-Zoubida-Noura-Rabia-Hizia-Roumayssa-Fatima-Lidia-Mohamed-Souhil-Zineb-Rida.*

*Atous mes disciples de la promotion 2013-2014 Option, géologie d'ingénieur de l'université de Ourgla.*

*Merci pour le parcours heureux et fructueux que vous m'avez permis de passer avec vous.*

*Merci à tous.*

# SOMMAIRE

**Introduction Générale .....01**

**Chapitre I :**

## **CADRE GENERALE**

<b>1-Situation Géographique .....02</b>	<b>02</b>
<b>2-La Géomorphologie.....03</b>	<b>03</b>
<b>2.a-Les Hamadas .....03</b>	<b>03</b>
<b>2.b-Les Regs .....03</b>	<b>03</b>
<b>2.c-Les accumulations .....03</b>	<b>03</b>
<b>2.d-Les dépressions .....03</b>	<b>03</b>
<b>3-Etude climatologique .....03</b>	<b>03</b>
<b>3.1-Introduction .....03</b>	<b>03</b>
<b>3.2-Température .....04</b>	<b>04</b>
> <b>L'insolation .....05</b>	<b>05</b>
<b>3.3-Précipitation .....05</b>	<b>05</b>
<b>3.4-La Courbe pluviométrique .....06</b>	<b>06</b>
<b>3.4.1-Méthode d'Eu Vert .....07</b>	<b>07</b>
<b>3.4.2-Indice d'Aridité de Demartonne .....07</b>	<b>07</b>
<b>3.5-Le Vent .....08</b>	<b>08</b>
<b>3.6-L'Humidité .....08</b>	<b>08</b>
<b>3.7-L'Évapotranspiration .....09</b>	<b>09</b>
<b>a-L'Évapotranspiration réelle (ETR) .....09</b>	<b>09</b>
<b>b-L'Évapotranspiration potentielle (ETP) .....10</b>	<b>10</b>
<b>4-Conclusion .....11</b>	<b>11</b>

## Chapitre II :

### ETUDE GEOLOGIQUE

<b>1-La Plate forme Saharienne .....</b>	<b>12</b>
<b>2-La Subdivision la plate forme Saharien .....</b>	<b>12</b>
<b>2.a-La province Occidental .....</b>	<b>12</b>
<b>2.b-La province Centrale .....</b>	<b>13</b>
<b>2.c-La province Orientale .....</b>	<b>13</b>
<b>3-Bassin de la province Occidentale .....</b>	<b>15</b>
<b>4-Situation Géologique .....</b>	<b>16</b>
<b>5-Cadre structural régionale .....</b>	<b>17</b>
<b>6-Stratigraphie .....</b>	<b>17</b>
<b>A-Le Précambrien .....</b>	<b>17</b>
<b>B-Le Paléozoïque .....</b>	<b>18</b>
<b>1-Le Cambro-Ordovicien .....</b>	<b>18</b>
<b>2-Le Silurien .....</b>	<b>20</b>
<b>3-Le Dévonien .....</b>	<b>20</b>
<b>4-Le Carbonifère .....</b>	<b>21</b>
<b>C-Le Mésozoïque .....</b>	<b>22</b>
<b>➤ Le Crétacé .....</b>	<b>22</b>
<b>7-Les Coupes de corrélation .....</b>	<b>24</b>
<b>➤ L'interprétation des coupes .....</b>	<b>25</b>
<b>1-La coupe du bassin d'Ahnet .....</b>	<b>25</b>
<b>2-La coupe du bassin de Reggane .....</b>	<b>26</b>
<b>3-La coupe Ouest-Est .....</b>	<b>26</b>
<b>8-Conclusion .....</b>	<b>26</b>

## Chapitre III :

### SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

1-Introduction .....	27
2-Cadre Hydrogéologie de la région .....	27
3-Définition des aquifères .....	27
3.1-L'aquifère du Complexe Terminal .....	27
3.2-L'aquifère du Continentale Intercalaire .....	28
3.2.a-Les paramètres hydrodynamique de la nappe CI .....	29
3.2.b-Les paramètres hydrogéologiques locales de la zone d'étude .....	29
4-Les puits dans la région d'étude .....	30
5-La coupe hydrogéologique .....	33
6-Piézométrie .....	33
6.1-Carte piézométrique du CI .....	33
6.2-L'interprétation des cartes .....	36
6.2.a-La carte piézométrie .....	36
6.2.b-La carte iso-épaisseur .....	37
6.2.c-La carte isobathe au mur .....	37
6.2.d-La carte de profondeur (au Toi).....	37
7-Débit de l'écoulement souterrain du bassin hydrogéologique et de l'aquifère .....	38
8-L'exutoires du CI .....	39
8.1-Exutoires naturels .....	39
8.2-Exutoires artificiels .....	39
9-Conclusion .....	39

## Chapitre IV :

### L'HYDROCHIMIE

1-Introduction .....	40
2-Etude des paramètres physico-chimiques.....	40
2.1-Les paramètres physiques .....	40
a-Température .....	40
b-Le potentiel d'hydrogène (PH) .....	41
c-La minéralisation .....	41
d-Conductivité .....	42
e-Dureté total .....	42
f-Résidu sec .....	43
2.2-Les paramètres chimiques.....	43
a-Les cations .....	44
b-Les anions .....	46
3-Etude des valeurs relatives .....	48
3.1-Indice d'échange de base .....	48
3.2-Rapports caractéristique .....	49
a-Rapports ( rMg/rCa ) .....	49
b-Rapports ( rSo4/rCl ) .....	49
c-Rapports ( rNa/rMg ) .....	49
4-Les paramètres Hydrochimiques de la nappe Cl.....	52
5-Classification des eaux .....	52
5.1-La classification du Stabler .....	52
5.2-Classification de Schoeller-Berkalof .....	54
5.3-Classification de Piper .....	57
6-Potabilités des eaux .....	59
7-Conclusion .....	61
Conclusion Générale .....	62

#### Annexes

#### Liste des tableaux

#### Liste des figures

#### Bibliographie



# INTRODUCTION

# Introduction

L'eau est la ressource naturelle la plus précieuse, elle est essentielle pour les êtres humains, les animaux et les végétaux, elle est indispensable à la vie et est le lubrifiant de la nature ;

Partout présente sur Terre, l'eau a conditionné le développement économique et social des sociétés humaines.

L'eau douce nécessaire à l'homme dont il tire profit pour ses activités de production et principalement ses aliments, ne représente que 3% de l'eau totale présente sur la planète, les 97% qui restent sont sous forme d'océans.

On distingue :

Les eaux peuvent être soit superficielles circulant à la surface du sol et facilement accessibles, ou bien souterraines circulant sous le sol et difficilement accessibles.

Dans les régions d'études les services concernés de production ont émis un besoin pour l'étude des deux aquifères potentiels qui sont « le complexe terminal » et « le continental intercalaire » ces derniers présentent des caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques très distinctes.

Depuis une cinquantaine d'années, on a commencé à exploiter cette réserve d'eau souterraine, le prélèvement de 600 Hm<sup>3</sup>/ans en 1970 à environ 2500Hm<sup>3</sup>/ans dans les années 1995-2000(Sonatrach-Exploitation 2003), le volume d'eau exploiter pour l'activité pétrolière est de 80,3 Hm<sup>3</sup> en 2004, dont 63Hm<sup>3</sup> proviennent du CI et 17,3 Hm<sup>3</sup> pour le CT.

Il existe différents types de captage d'eau qui permettent de recueillir l'eau en un seul endroit, ces différents types de captage sont :

- Puits (trou vertical à grand diamètre de 2 à 3 mètres).
- Forage (trou vertical à petit diamètre équipé en tube en acier ordinaire ou galvanisé).
- foggara (galerie souterraine pour l'irrigation, utilisée dans le Sahara).
- Source (point d'émergence à la surface du sol de l'eau emmagasinée à l'intérieur).

-nappes : dans le Sahara algérien, les formations détritiques et carbonatées du méso-cénozoïque constituent des nappes d'eau souterraine, il s'agit du Complexe terminal(CT) d'âge mio-pliocène fortement exploité néanmoins avec des qualités des salinités très élevées et le Continental Intercalaire(CI), nappe captive très profonde avec un potentiel hydrique assez conséquent et chimiques acceptables.

Le but de ce mémoire est d'étudier l'hydrogéologie et l'hydrochimie et les limites de l'aquifère CI dans la région SW des bassins (Ahnet-Gourara et Reggane).

Cette étude s'articule autour des chapitres suivants :

- **Cadre général** : Présentation générale de la région,
- **Géologie** : Description de la colonne stratigraphique locale et les formations susceptibles d'être aquifères.
- **Hydrogéologie** : Définir le système aquifère existant dans la région et la piézométrie.
- **Hydrochimie** : basé sur les analyses chimiques réalisées sur les échantillons d'eau prélevés sur le terrain.
- **Conclusion générale.**

# *Chapitre I*

## *Généralités*

# I – Généralité

## 1. Situation Géographique : (Fig.1)

La zone d'étude est située au Sud-ouest du Sahara de l'Algérie à 1200Km au Sud de la capitale Alger, et à 700Km à l'Ouest de Hassi Messaoud.

Elle se situe entre les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude 01° 00' Ouest – 03° 00' : Est.

Et latitude 26° 00' – 30° 00' : Nord.

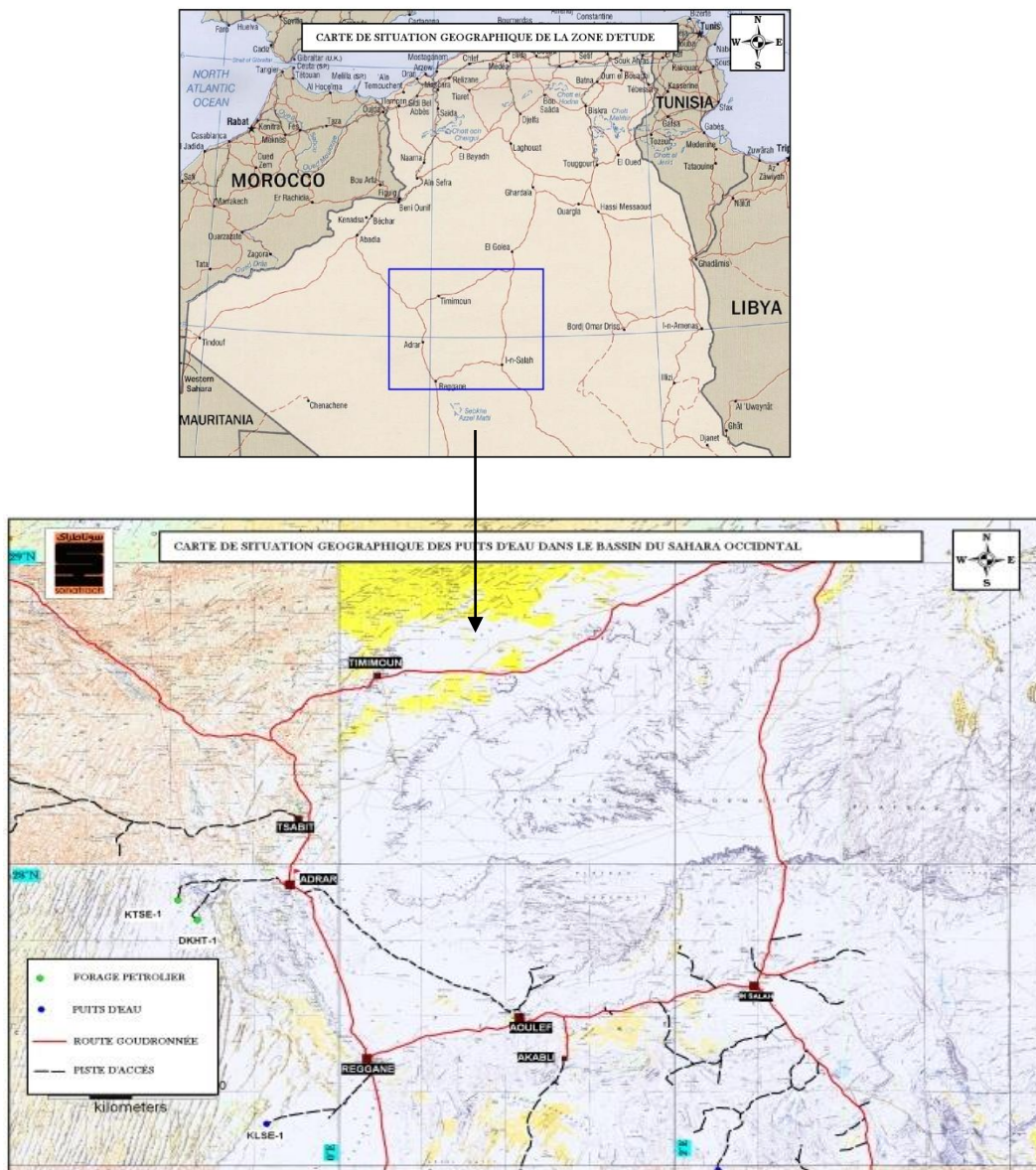


Fig.01: Situation Géographique de la région d'étude (Département Topographique).



## 2- La Géomorphologie :

LELUBRE (1952) admet que, s'il y est une région du globe, où les formes de relief sont particulièrement nettes et visibles, c'est bien le Sahara Algérien et si les processus morphogénétiques (Vent, eau...etc.) à l'œuvre dans ce milieu sont caractéristiques, rien n'est étonnant à ce que les formes qui en résultent le soient aussi.

Les principales familles du paysage saharien sont:

**2. a- Les Hamadas :** Plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue (MONOD, 1992).

**2. b- Les Regs :** Plaines de graviers et de fragments rocheux. Au Sahara, ils occupent des Surfaces démesurées (MONOD, 1992).

**2. c- Les accumulations sableuses :** Le sable est un élément essentiel du paysage saharien. Cependant, les dunes sont loin de recouvrir la totalité du Sahara, mais se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées les ergs (LELUBRE, 1952).

D'après GARDI (1973), les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante du vent.

### 2. d- Les dépressions

- **Les daya :** Petites dépressions circulaires, résultant de la dissolution locale des dalles Calcaires ou siliceuses qui constituent les Hamadas (OZENDA, 1991).

- **Les Sebkhass et les Chottes :** Lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, Des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (Phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhass (MONOD, 1992).

- **Les lits d'Oueds:** C'est l'espace qui peut être occupé par des eaux d'un cours d'eau. Ses matériaux peuvent avoir comme origine soit des roches en place, soit des matériaux transportés par le cours (DERRUAU, 1967).

## 3- Etude Climatologique:

### 3.1-Introduction :

Le climat de la région SW (Exemple : la région d'In Salah) est typiquement désertique : forte amplitude thermique, faible précipitations, ensoleillement important, et forte évaporation et cela pour une altitude de 300m, sachant que cette région se situe au centre du Sahara, plus loin des pays tropicaux.

- Les conditions climatiques sont dues à la situation « Bio-climatique » de la région d'étude par rapport à la zone tempérée du nord, qui fait que les précipitations y sont fréquentes.

- Le bas Sahara incluant la région d'In Salah touche la zone hyper-aride par les chaleurs accrues de l'été qui provoquent un dessèchement et une évaporation maximale.

- Le sol et les basses couches de l'atmosphère sont toujours avides d'eau, de ce fait dans le cas de précipitation, qui est d'ailleurs assez rare, une partie de l'eau s'évapore dans l'atmosphère en cours de chute même.

L'étude climatologique proposée a examiné les différents paramètres climatologiques sous :

- un aspect qualitatif qui consiste à déterminer le type du climat de la région d'In Salah, ainsi que les phénomènes qui lui sont associés {humidité, température, vent....}

- un aspect quantitatif consacré au calcul des valeurs moyennes des {précipitations, évapotranspirations}.

Car ses paramètres influent directement sur les ressources hydriques et modifient le régime des cours d'eau et le volume des nappes ainsi que le niveau d'eau des aquifères.

Les données climatologiques fournies par l'O.N.M de Tamanrasset sont représentées dans les tableaux suivants :

### 3.2-Température :

Le tableau ci-dessous représente les différentes valeurs de la température de la région d'In Salah, d'après l'O.N.M de Tamenrasset, sur une période de 40 ans (1970-2010).

**Tab-01:Températures mensuelles en (°C)**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	An
Tmoy	13,8	16,9	21,1	25,5	30,6	35,8	37,4	36,7	33,4	26,9	19,8	14,6	26,1
Tmaxmoy	21,5	24,9	28,8	33,3	38,3	43,3	45,1	44,3	40,7	34,7	27,5	22,2	33,7
Tmax abs	33,9	35,9	40,0	45,4	47,6	49,0	50,6	49,3	47,7	43,6	38,0	33,6	50,6
Tminmoy	6,9	9,5	13,1	17,2	22,3	27,5	29,5	29,1	26,0	19,9	13,0	7,8	18,5
Tmin abs	- 3,0	- 2,0	1,0	3,1	10,4	14,6	22,1	22,8	16,7	9,6	1,9	- 1,7	- 3,0

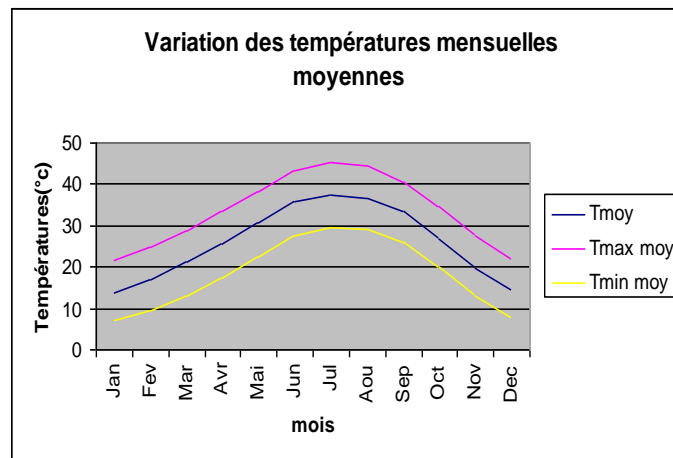
Tmoy: températures mensuelles moyennes.

Tmax moy:températures maximales moyennes.

Tmax abs:températures maximales absolues.

Tmin moy:températures minimales moyennes.

Tmin abs: températures minimales absolues.



**Fig.02:Variation des températures Mensuelles moyennes**

Selon les figures 2et3 le maximum des températures est atteint au mois de juillet, et le minimum est au mois de janvier, on peut remarquer que les valeurs des températures mensuelles moyennes minimales ne dépassent pas les 29,5°C pendant le mois le plus chaud qui est juillet et descendent jusqu'à 6,9°C pendant le mois le plus froid de la l'année qui est le mois de janvier.

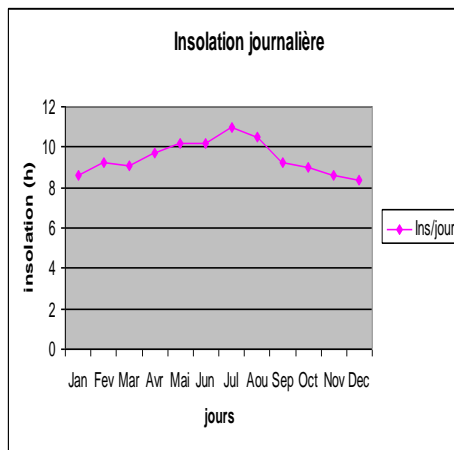
Par contre les valeurs des températures maximales moyennes peuvent atteindre les 45,1°C durant le mois de juillet et pas moins de 21,5 °C durant le mois de janvier.

➤ L'insolation : (en heure)

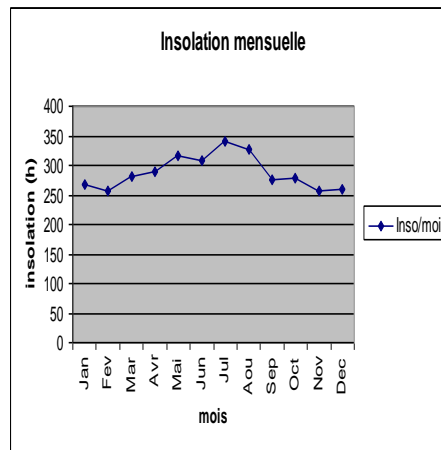
Elle représente la durée d'ensoleillement pendant le mois. Les valeurs journalières, mensuelles et la valeur annuelle d'insolation de la région d'In Salah sur une période de 40ans(1970-2010) sont représentées dans le tableau suivant :

**Tab-02:Insolation mensuelle et journalière en(h).**

Mois/jours	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	An
Inso/mois	268	258	282	290	316	307	340	327	276	278	258	259	3463
Ins/jour	8.6	9.2	9.1	9.7	10.2	10.2	11.0	10.5	9.2	9.0	8.6	8.4	9.5



**Fig.03:Insolation journalière.**



**Fig.04:Insolation mensuelle.**

La durée d'insolation mensuelle peut atteindre jusqu'à 340 heures au mois de juillet avec une moyenne mensuelle de 288,6 heures et la valeur journalière pendant le même mois est de 11 heures avec une moyenne journalière de 9,5 heures, ce qui explique que c'est une région sèche.

**3.3-Précipitations : en (mm).**

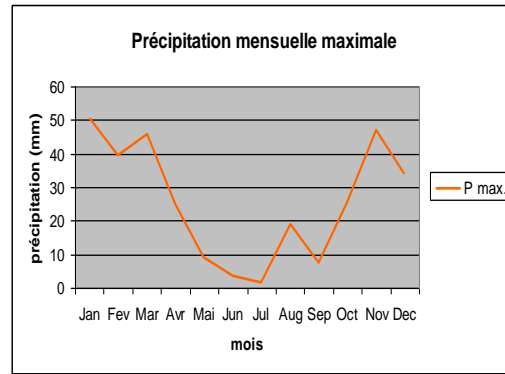
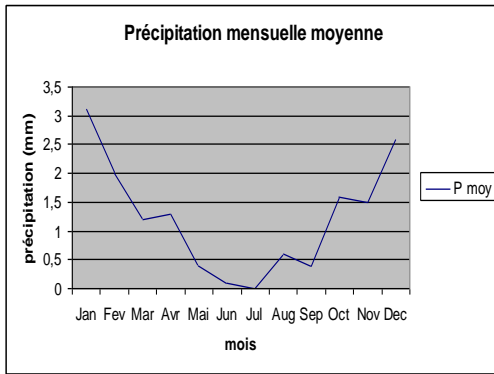
Dans cette région la pluie est rare et aléatoire. Le tableau ci-dessous donne les valeurs des précipitations mensuelles (moyennes et maximales).

**Tab-03:Précipitations mensuelles moyennes et maximales en(mm).**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	An
Pmoy	3.1	2.0	1.2	1.3	0.4	0.1	0	0.6	0.4	1.6	1.5	2.6	14.8
Pmax.	50.4	39.3	45.6	24.9	9.2	3.4	1.6	19.0	7.5	25.4	46.8	34.0	70.9
Année max	192 8	196 7	1953	1990	1990	1996	199	192 9	1925	1924	1934	1985	1990

Pmoy: précipitations mensuelles moyennes.

Pmax : précipitations mensuelles maximales



**Fig.05:Précipitation mensuelle moyenne. Fig.06:Précipitation mensuelle maximale.**

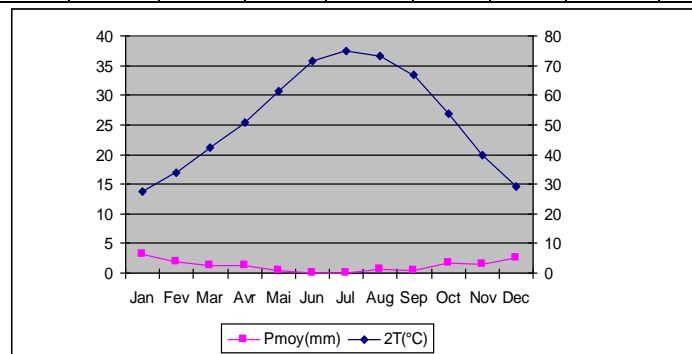
Contrairement à la température et l’insolation le mois de juillet est le moins pluvieux de la région car les précipitations baissent jusqu’à s’annuler pendant ce mois, les précipitations atteignent leur maximum durant le mois de janvier mais elles restent toujours très faibles

**3.4-La Courbe Pluviométrique :**

Un mois est dit sec si ses précipitations en (mm) sont inférieures ou égales au double de la température moyenne exprimée en °C .En utilisant le tableau N°4 on classifie le climat de notre région.

**Tab-04:Précipitations et Températures mensuelles.**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pmoy(mm)	3,1	2,0	1,2	1,3	0,4	0,1	0	0,6	0,4	1,6	1,5	2,6
Tmoy(°C)	13,8	16,9	21,1	25,5	30,6	35,8	37,4	36,7	33,4	26,9	19,8	14,6
2T(°C)	27,6	33,8	42,2	51	61,2	71,6	74,8	73,4	66,8	53,8	39,6	29,2



**Fig.08:Courbe pluviométrique**

D’après le diagramme on peut constater que tous les mois de l’année sont largement secs ce qui confirme le climat aride.

➤ Relation température-précipitation :

Les températures avec les précipitations constituent les éléments majeurs qui régissent le climat d’une région, il existe plusieurs méthodes pour déterminer le climat d’une région, ces méthodes sont :

- ✓ Méthode d’Euverts.
- ✓ Indice d’Aridité de Demartonne.



### 3.4.1-Méthode d'Eu Vert :

Le principe de la méthode est d'établir le rapport entre la précipitation P (mm) et la température T(°C), en calculant le rapport  $P/T$  on peut déterminer quatre types de régime.

- ❖ Un régime très sec :  $P/T < 1$ .
- ❖ Un régime sec :  $1 < P/T < 2$ .
- ❖ Un régime sub humide :  $2 < P/T < 3$ .
- ❖ Un régime humide :  $P/T > 3$ .

**Tab-05:Relation température-précipitation, méthode d'Euverts.**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pmoy(mm)	3,1	2,0	1,2	1,3	0,4	0,1	0	0,6	0,4	1,6	1,5	2,6
Tmoy(°C)	13,8	16,9	21,1	25,5	30,6	35,8	37,4	36,7	33,4	26,9	19,8	14,6
P/T	0,22	0,12	0,06	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,06	0,08	0,18

D'après le tableau on remarque que toutes les valeurs de P/T sont inférieures à 1, donc il s'agit bien d'un climat **très sec**.

### 3.4.2-Indice d'Aridité de Demartonne.

D'après Demartonne l'indice d'aridité est exprimé comme suit :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec : P : les précipitations moyennes mensuelles.

T : les températures moyennes mensuelles

**Tab-06:Classification des climats en fonction de l'indice de DEMARTONE.**

Valeurs de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Très aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide
$30 < I < 55$	Humide

Les calculs des indices de Demartonne de la région d'étude ont donné les résultats dans :

**Tab-07:Indice d'Aridité de Demartonne.**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pmoy(mm)	3,1	2,0	1,2	1,3	0,4	0,1	0	0,6	0,4	1,6	1,5	2,6
Tmoy(°C)	13,8	16,9	21,1	25,5	30,6	35,8	37,4	36,7	33,4	26,9	19,8	14,6
$I = P/T + 10$	0,13	0,07	0,04	0,04	0,01	0,00	0	0,01	0,01	0,04	0,05	0,11

En comparant les valeurs calculées de l'indice d'aridité avec la classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de Demartonne, on conclut que le type de climat de notre région est **très aride**.

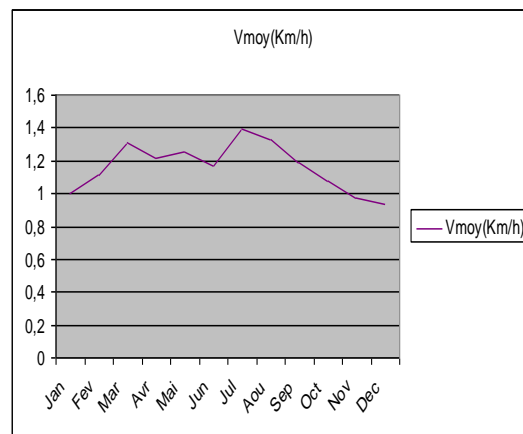
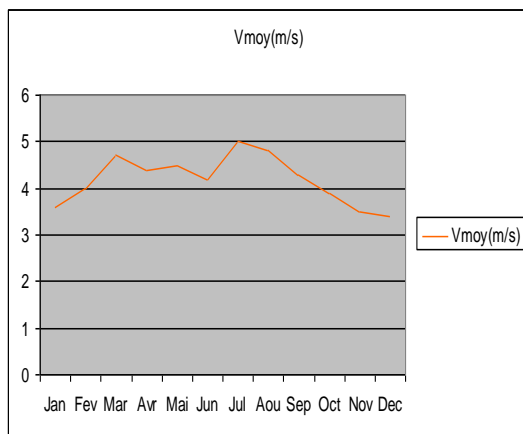
**3.5-Le Vent en :(m/s)**

Le vent joue un rôle de dessèchement puisqu'il diminue l'humidité de l'air. La région est connue par les vents de sable d'où le vent a une grande influence sur la géomorphologie et les facteurs climatiques.

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs des vitesses du vent enregistrées.

**Tab-08:Vitesses moyennes mensuelles des vents.**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	An
Vmoy(m/s)	3.6	4.0	4.7	4.4	4.5	4.2	5.0	4.8	4.3	3.9	3.5	3.4	4.2
Vmoy(Km/h)	1,0	1,11	1,31	1,22	1,25	1,17	1,39	1,33	1,19	1,08	0,97	0,94	1,17



**Fig.08:Vitesses moyennes des vents (m/s) Fig.09:Vitesses moyennes des vents (Km/h).**

Le vent atteint sa valeur maximale au mois de juillet (5m/s ou 1,39Km/h) et a une valeur minimale au mois de Decembre(3,4m/s ou 0.94Km/h).

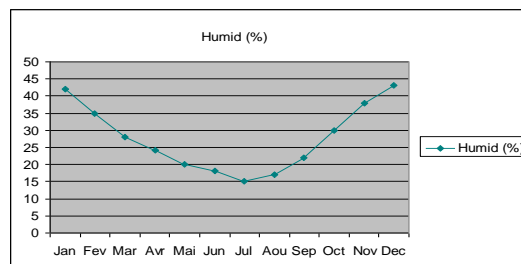
**3.6-L'humidité : en (%)**

C'est le taux d'eau présente dans l'air et elle intervient dans la possibilité de formation des nuages et des précipitations.

L'humidité relative compare la quantité d'eau que contient l'air à la quantité nécessaire pour saturer cet air à une température donnée.

**Tab-09:Humidité moyenne mensuelle.**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	An
Humid (%)	42	35	28	24	20	18	15	17	22	30	38	43	28



**Fig.10:Humidité mensuelle (%).**

L'humidité atteint son maximum au mois de décembre avec une valeur de 43% et son minimum au mois de juillet avec une valeur de 15% et c'est normal car le vent durant ce mois est minimum, alors on peut dire que le vent et l'humidité sont inversement proportionnels.

### 3.7-L'évapotranspiration :

C'est le phénomène combiné de perte en eau par transpiration et évaporation directe de l'eau du sol et des surfaces d'eau libres.

On distingue deux types d'évapotranspiration :

- L'évapotranspiration réelle(ETR) : c'est la quantité d'eau réellement évaporée et qui dépend des conditions naturelles (végétation, nature des sols ...).
- L'évapotranspiration potentielle(ETP) : c'est la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par le sol saturé en eau et elle peut être égale ou supérieure à l'évapotranspiration réelle.

Diverses formules permettent d'évaluer l'évapotranspiration.

a) L'évapotranspiration réelle(ETR) :

✓ Formule de TURC :

C'est une formule qui s'applique à tous les climats.

$$ETR = P / \sqrt{(0,9 + p^2/L^2)}$$

Ou :

L : pouvoir évaporé avec  $L = 300 + 25T + 0,05T^2$

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

T : températures moyennes annuelles en (°C).

Application numérique :

On a  $P = 14,8$  mm.

$T = 26,1$  °C

$L = 986,56$  m.

Donc  $ETR = 15,59$  mm.

On remarque que l'évapotranspiration réelle est supérieure à la précipitation annuelle pour cela on peut conclure que notre région se caractérise par un climat **très-aride**.

✓ Formule de COUTAGNE :

Le déficit d'écoulement est rapproché, COUTAGNE fait intervenir

La pluviométrie et la température selon la formule suivante :  $ETR = D = P - \lambda P^2$

D'où :  $\lambda = 1/(0,8 + 0,14T)$ .

D : Déficit d'écoulement en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Cette valeur est applicable pour les valeurs de P comprises entre  $1/8 \lambda$  et  $1/2 \lambda$ .

Application numérique :

$P = 14,8$  mm.

$T = 26,1$  °C.

$$\lambda=0,22. \quad 1/2\lambda=2,27 \quad 1/8\lambda=0,57$$

Cette formule ne peut pas être applicable car P est largement supérieure à  $1/8 \lambda$  et  $1/2 \lambda$ .

b) L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

✓ Méthode de THORNTHWAITE :

Pour le calcul de l'ETP nous avons utilisé les températures moyennes mensuelles.

$$ETP (c) = 16(10T/I)^{\alpha} K = ETP * K$$

Avec :

$$i : \text{Indice thermique mensuel} \quad i = (T/5)^{1,514}$$

$$I : \text{Indice thermique annuel} \quad I = \sum i$$

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

$\alpha$  : Exposant climatique.  $\alpha = 0,49239 + (1792 * 10^{-5} * I) - (771 * 10^{-7} * I^2) + (675 * 10^{-9} * I^3)$ .

Application numérique :

$$\alpha = 3,97 \quad I = 155,88.$$

**Tab-10: Valeurs d'ETP et ETP<sub>C</sub> par THORNTHWAITE.**

Mois	T (°C)	I	K	ETP (mm)	ETP <sub>C</sub> (mm)
Jan	13,8	4,65	0,89	9,86	8,77
Fev	16,9	6,32	0,86	22,05	18,96
Mar	21,1	8,85	1,03	53,23	54,83
Avr	25,5	11,78	1,08	113,13	122,18
Mai	30,6	15,53	1,19	232,84	277,08
Jui	35,8	19,69	1,19	434,17	516,66
Juil	37,4	21,00	1,21	516,47	624,93
Aou	36,7	20,45	1,15	479,14	551,01
Sep	33,4	17,73	1,03	329,62	339,51
Oct	26,9	12,78	0,98	139,59	136,8
Nov	19,8	8,03	0,88	41,35	36,39
Dec	14,6	5,07	0,87	12,34	10,73
Moyenne annuelle	26,1	155,88	-	2383,79	2697,85

L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 2697,85 mm, elle est très importante dans cette région comparée aux précipitations annuelles P=14,8 mm, alors on constate un déficit d'écoulement, absence de couvert végétal citons aussi les facteurs contribuant à l'importance de l'évapotranspiration : la température moyenne supérieure à 11°C, l'insolation avec une durée minimale de 258 heure/mois pendant les périodes froides de l'année, et l'humidité qui est proportionnelle à l'évapotranspiration.



✓ Méthode de SERRA :

On a critiqué à juste titre le nombre impressionnant de décimal que comportent les différentes expressions et qui n'est nullement justifié par la précision de la méthode de THORNWAITE.

L.SERRA a proposé de s'en tenir, avec une approximation largement suffisante, aux expressions :  $i=0,09T^{3/2}$   $I=\sum_{i=1}^{12} i=149,17\alpha=(1,6/100)I+0,5=2,9$

**Tab-11: Valeurs d'ETP et ETP<sub>C</sub> par SERRA.**

Mois	T (°C)	I	K	ETP (mm)	ETP <sub>C</sub> (mm)
Jan	13,8	4,61	0,89	12,77	11,37
Fev	16,9	6,25	0,86	22,98	19,76
Mar	21,1	8,72	1,03	43,74	45 ,05
Avr	25,5	11,59	1,08	75,75	81,81
Mai	30,6	15,23	1,19	128,54	152,96
Jui	35,8	19,28	1,19	202,63	241,13
Juil	37,4	20,6	1,21	230,02	278,32
Aou	36,7	20,01	1,15	217,76	250,42
Sep	33,4	17,37	1,03	165,7	170,67
Oct	26,9	12,56	0,98	88,46	86,7
Nov	19,8	7,93	0,88	36,37	32,00
Dec	14,6	5,02	0,87	15,03	12,02
Moyenne annuelle	26,1	149,17	-	1239,75	1382,21

On obtient une évapotranspiration annuelle de 1382,21mm pour un indice thermique de 149,17

#### 4-Conclusion :

La région d'étude est située au Sud-ouest de l'Algérie. Elle est caractérisé par :  
L'étude Géomorphologie : les Hamadas ;les Regs ;les Accumulations sableuses ;  
les Dépressions.

Et l'étude climatologique de la région d'In Salah basée sue les données fournies par l'A.N.R.H de Ouargla et l'O.N.M de Tamanrasset nous informe que notre région de Sahara SW se caractérise par :

- Des hautes températures avec une insolation importante.
- De faibles précipitations avec des pluies rares et aléatoires.
- Un climat très sec et très aride.
- beaucoup de vents de sable.
- Et pendant les périodes ou ces paramètres sont importants et atteignent leurs valeurs maximales on a une faibles humidité.

# *Chapitre II*

# II-ETUDE GEOLOGIQUE

## 1-La Plate Forme Saharienne :

Elle est située au sud de l'Algérie alpine et appartient au Craton Nord Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes.

On distingue d'ouest en est:

les bassins de Tindouf et de Reggan situés sur les bordures nord et nord-est du bouclier Reguibat. La couverture sédimentaire atteindrait 8000m dans le bassin de Tindouf et 6500 m dans celui de Reggan.

Dans cette zone peu explorée, les formations paléozoïques pourraient se révéler à hydrocarbures liquides et gazeux;

le bassin de Béchar limité au nord par le Haut Atlas, au sud et à l'ouest par la chaîne d'Ougarta.

Sa couverture sédimentaire atteindrait 8000 m. Les réservoirs se trouvent dans le détritique paléozoïque inférieur et les récifs carbonifères;

le bassin d'Ahnet-Timimoun limité au nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta, au sud par le bouclier Touareg et à l'est par la dorsale d'Idjerane-M'zab.

La couverture serait en moyenne de 4000 m. Dans le Sud, les réservoirs ordoviciens et dévoniens inférieurs sont gazéifères.

Au nord, dans la cuvette de Sbaa, de l'huile a été découverte dans la totalité du Paléozoïque; les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued M'ya sont limités à l'ouest par la dorsale d'Idjerane-M'zab et à l'est par la dorsale Amguid-El Biod.

Au sud, les sédiments paléozoïques affleurent dans le Mouydir. Au nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued Mya, comblée par une puissante série paléozoïque et Mésocénozoïque (5000m à Oued Mya), d'importants gisements ont été mis en évidence dans le Cambrien (Hassi Messaoud) et le Trias (Hassi R'mel); la synclise d'Illizi-Ghadamès est limitée à l'ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod et à l'est par le môle de Tihemboka et les confins tuniso-libyens.

Dans le bassin de Ghadamès, la couverture sédimentaire (supérieure à 6000 m), renferme des gisements d'hydrocarbures dans le Paléozoïque et le Trias.

## 2- La Subdivision De La Plate Forme Saharienne :

La plate forme saharienne est constituée par trois (03) provinces

### 2. a- La province Occidentale : (Fig.12-a)

La province occidentale comprend les bassins de Béchar, Tindouf, Reggane, Ahnet, Mouydir, Timimoun et Sbaa.

Ces dépressions sont à remplissage paléozoïque, Cambrien à Namurien. Le Mésocénozoïque y est peu développé.

La puissance des séries varie de 3500 à 8000 m. Les bassins de Tindouf et de Reggane sont des dépressions dissymétriques situées sur les bordures N et NE du massif des Eglab.

Les sédiments paléozoïques atteindraient 8000m dans le bassin de Tindouf et 6000m dans celui de Reggane.

Le bassin de Béchar est limité au nord par le Haut Atlas, au sud et à l'ouest par la chaîne de l'Ougarta et à l'est par le haut fond de Meharez.

La puissance des séries est de l'ordre de 8000 m.

Le bassin de l'Ahnet-Timimoun est limité au nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'ouest par la chaîne d'Ougarta, au sud par le bouclier Touareg et à l'est par les dorsales de Foum Belrem et du Mzab.

Le bassin du Mouydir est limité à l'ouest par la dorsale de Foum Belrem et à l'est par celle d'Amguid-El Biod. La série sédimentaire peut atteindre plus de 3000 m.

### **2. b- La province Triasique ou Centrale : (Fig.11-b)**

Située dans la partie septentrionale de la Plate-forme Saharienne, la province triasique est un anticlinorium de direction Est -Ouest où les éléments majeurs suivants ont été individualisés:

la voûte de Tilrhemt et le haut fond de Talemzane;

le système structural de Djemâa-Touggourt;

le système de dislocation d'El Agreb-Messaoud;

le môle de Dahar.

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued M'ya) où l'on rencontre les séries types de la province triasique.

Les dépôts paléozoïques sont souvent très érodés, aussi profondément que l'Ordovicien ou le Cambrien.

Le Mésozoïque, discordant sur le Paléozoïque, est présent du Trias au Crétacé.

Le Cénozoïque est représenté par une série détritique du Miopliocène.

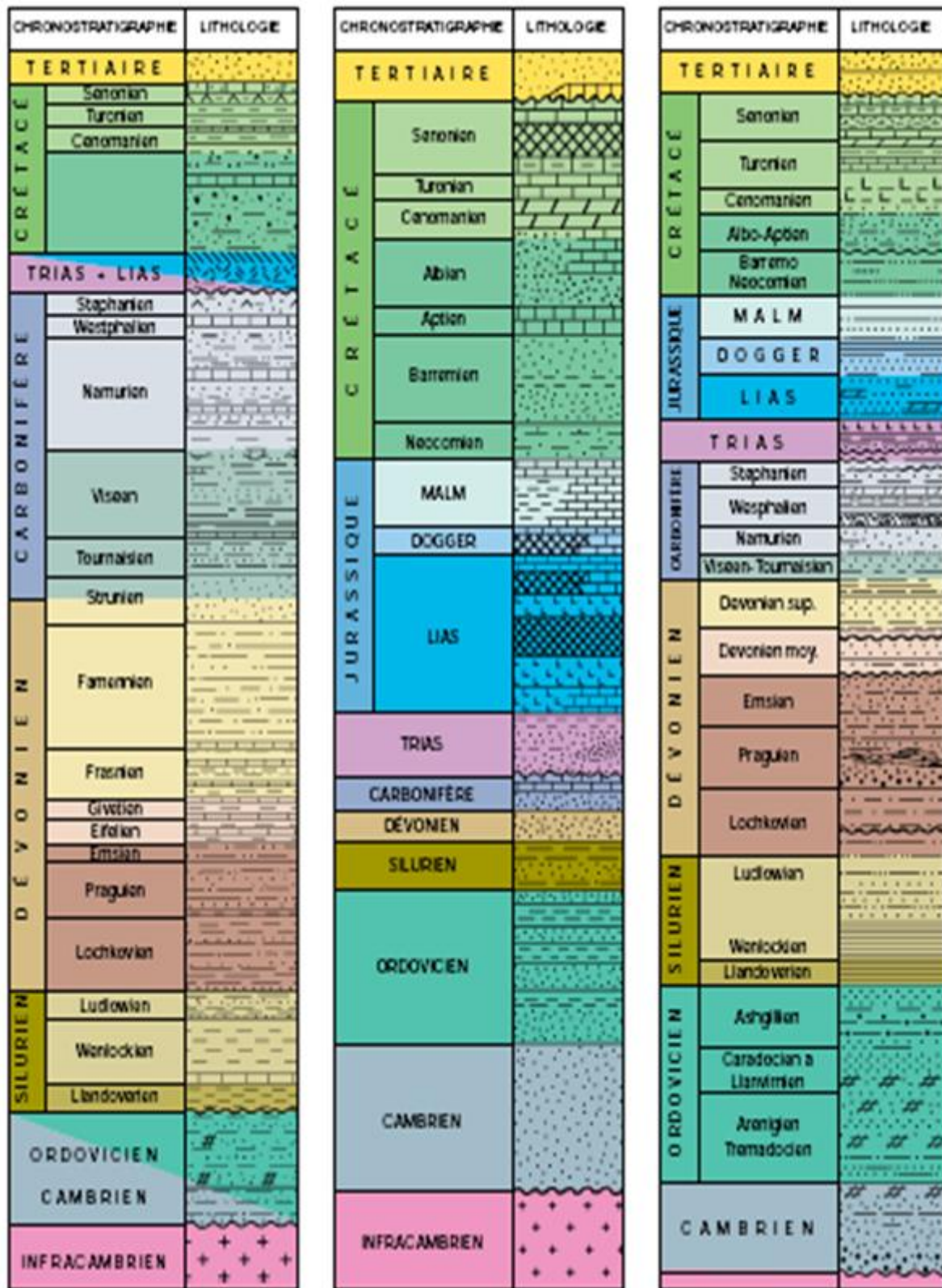
### **2. c-La province orientale : (Fig.11-c)**

Cette province, appelée synéclise Est Algérie, se compose des bassins d'Illizi et de Ghadamès séparés par le môle d'Ahara.

La série sédimentaire type est en discordance sur le Précambrien, présente tous les termes, du Cambrien à l'Actuel. Une série sableuse d'âge Miopliocène recouvre localement les formations terminales du Mésozoïque.

Enfin le Quaternaire discontinu, de faible épaisseur, constitue le dernier élément de la série stratigraphique.





(fig.a)

(fig.b)

(fig.c)

Fig.11: Les différents colons stratigraphies des provinces de la plate forme saharienne (WEC 2008)

### **3-Bassins de la province occidentale : (Fig.12)**

La région ouest de la plate-forme saharienne englobe sept bassins géologiques totalisant une superficie de plus de 650 000 km<sup>2</sup>, dont 195 710 km<sup>2</sup> sont actuellement exploités pour la recherche et 206 620 km<sup>2</sup> consacrés à laprospection.

Il s'agit des bassins de l'Ahnet-Gourara, de Béchar, de Reggane, de Tindouf, de Taoudenni, de la cuvette de Sbâa et de Gourara Nord.

Ces bassins sont séparés par des hauts structuraux (Azzel Mati, Djoua, Azzène, Ougarta et Bou Bernous).

La première découverte de gaz du Sahara a été réalisée dans le puits Djebel Berga-1, dans le bassin de l'Ahnet en 1953, foré sur la base d'une anomalie de surface.

Depuis, plusieurs découvertes de gaz ont été réalisées, principalement dans le Cambro-Ordovicien et le Dévonien.

Plus connue comme une région à gaz, elle renferme cependant plusieurs gisements d'huile. Les premiers indices d'huile ont été rencontrés dans les bassins de Reggane et de Tindouf dès le début de l'exploration, dans les années 1950. Ce n'est qu'au début des années 1980 que la première découverte d'huile en quantité commerciale a été réalisée dans le bassin de Sbâa dans un niveau du Carbonifère, dénommé grès de Sbâa, et dans le Dévonien supérieur. L'huile a également été mise en évidence en quantité commerciale dans l'Ordovicien à la surprise des géologues, qui ont de tout temps considéré ce réservoir, souvent très enfoui, comme étant uniquement à gaz sec dans cette partie de la plate-forme saharienne.

Suite à ce résultat, la recherche d'hydrocarbures liquides est devenue un élément non négligeable dans les programmes d'exploration de cette région. La présence de condensat associé au gaz dans de nombreux réservoirs, comme l'a montré l'une des dernières découvertes dans le nord de Gourara, ne fait que confirmer l'existence d'un potentiel en hydrocarbures liquides non négligeable dans la région Ouest.

Plus de 320 forages d'exploration et de délinéation ont été réalisés sur l'ensemble de la région totalisant 60 découvertes dont 7 gisements de gaz.

D'après les modélisations géochimiques, les volumes découverts à ce jour sont loin de représenter tous les volumes d'hydrocarbures probablement piégés.

Aussi, l'introduction progressive, ces dernières années, de la sismique 3D en exploration vient-elle confirmer la volonté et le besoin de rechercher des types de piège non conventionnels de plus en plus complexes, tels que les chenaux et biseaux stratigraphiques, qui pourraient avoir renfermé de très grands volumes d'hydrocarbures.

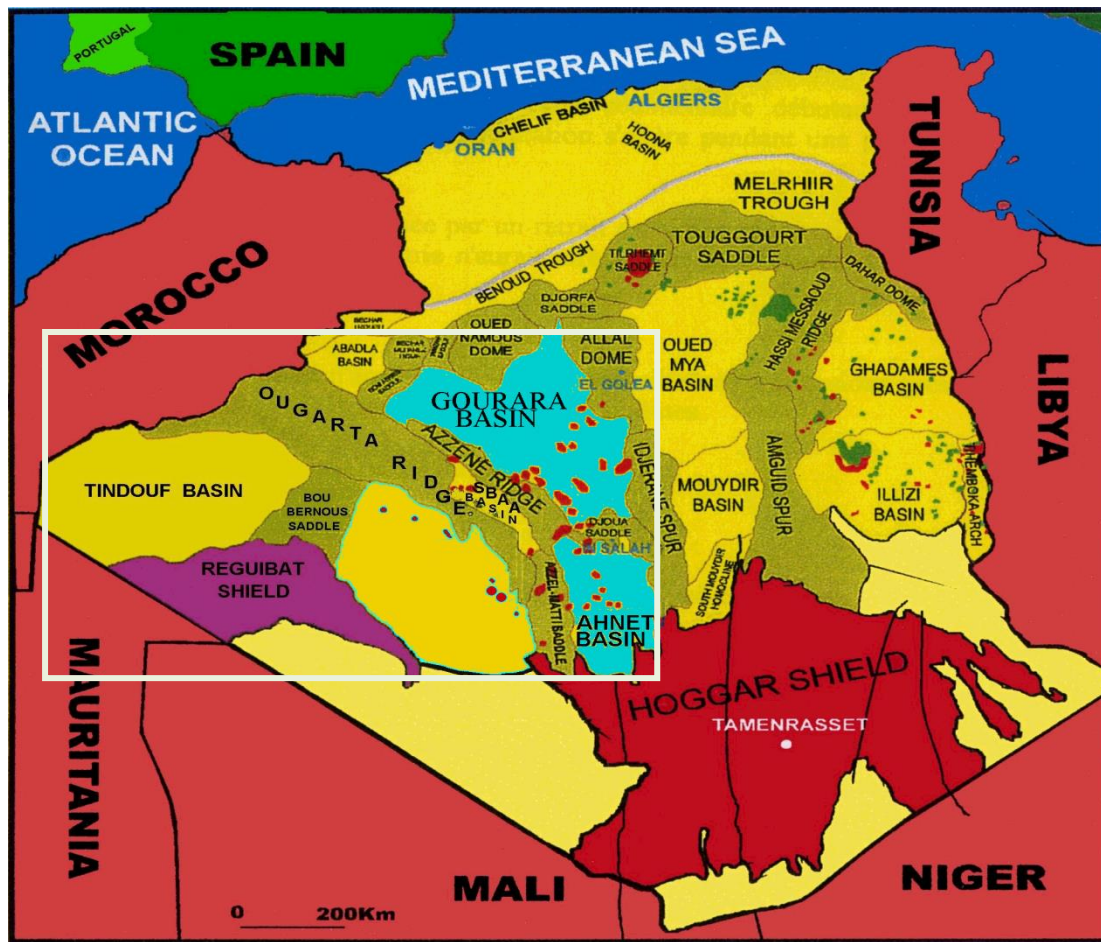


Fig.12: Carte de situation géologique des bassins de la province occidentale (WEC 2008)

#### 4- Situation Géologique de zone d'étude :

De point de vue géologique, les bassins de l'Ahnet-Gourara et Reggane occupent la partie Sud-Ouest de la synclise Occidentale de la plate-forme saharienne.

Il est limité :

- ✚ Au Sud, par la partie septentrionale de la plate-forme Saharienne (sillon de Benoud).
- ✚ A l'Est, par la Djebel Azreg (Laghout) et les bassins Oued Mya et Mouydir.
- ✚ A l'Ouest, par le Haut-Atlas marocain.
- ✚ Et au Nord, par la ligne des Monts de Tilemcen Dj-Nador.



### 5-Cadre Structural Régional :

Les bassins des l'Ahnet-Gourara et Reggane se distinguent des autres bassins de la plate-forme saharienne par son degré de structuration intense liée certainement à l'histoire évolutive de la jonction du craton Ouest Africain considéré comme stable il y a environ 2 milliards d'années et du craton Est Africain qui est considéré comme mobile et cratonisé lors de l'orogénèse panafricaine il y a environ 550-600 millions d'années, par sa position même les bassins des l'Ahnet-Gourara et Reggane se trouvent donc liés à la zone de jonction de ces deux (02) cratons.

Leur collision a certainement créé une tectonique cassante au niveau du substratum, cette tectonique est vraisemblablement d'âge Paléozoïque.

Cette vieille tectonique a été reprise durant les phases :

- **Taconique** (fin de l'Ordovicien)
- **Calédonienne** (fin du Silurien début Dévonien (Siégénien)).
- **Hercynienne** : phase la plus importante (fin Permien).
- **Autrichienne** : phase essentiellement de compression post-hercynienne (Crétacé supérieur).

L'image structurale actuelle a principalement été acquise durant l'orogénèse hercynienne qui a complètement modelé ce bassin (failles, zones broyées, structures anticlinales, intenses érosions, etc...).

La phase de plissement autrichienne a provoqué des rejeux en décrochement qui ont donné naissance à des plis d'entraînement le long d'axes préférentiels.

D'autre part, ce bassin a été aussi fortement influencé par la tectonique liée au Hoggar.

Cette tectonique est caractérisée par la présence de Trends structuraux de direction subméridienne, rattachés au prolongement Nord des déformations en lanière du socle qui sont typiques au Hoggar.

### 6-Litho-Stratigraphie :

La série stratigraphique type du bassin d'Ahnet-Gourara comprend : (Fig.13)

Un substratum précambrien.

Un Paléozoïque bien développé dans la région, limité à sa base par la discordance infratassilienne et à son sommet par la discordance hercynienne.

Un Mésozoïque représenté par le continental intercalaire.

La séquence pré-hercynienne comprend les roches du Précambrien jusqu'au Namurien. La séquence la plus épaisse se trouve au Nord du bassin de l'Ahnet, où elle excède les 3000m de sédiments paléozoïques préservés et où le Précambrien peut avoir quelques 400m d'épaisseur.

La discordance hercynienne érode les séquences du Nord vers le Sud épargnant seulement quelques 2000m du Paléozoïque dans le Sud du bassin.

#### A-Le Précambrien : (Socle)

Il est largement développé dans la dépression d'Ahnet-Gourara (Djebel Mouahdrine, MH-102; -1153,3m, Anasmit-Est, ANTE-1 ; -1641m), correspond à d'épaisses séries peu ou pas métamorphiques, conservées dans les bassins et correspondant au démantèlement des chaînes antécambriennes.

Elles sont connues sous le nom des « séries pourpres ».

Il a subi une érosion intense, se traduisant par une discordance de pénépléation infratassilienne.

### **B-Le Paléozoïque :**

La couverture sédimentaire paléozoïque dont l'épaisseur varie de 2000 à 3000m est discordante sur le socle, constituée essentiellement par des alternances de grès et d'argiles avec des niveaux carbonatés.

Elle comprend de bas en haut :

#### **1- Le Cambro-Ordovicien :**

La limite entre le Cambrien et l'Ordovicien demeure énigmatique dans le Sahara algérien, cependant les nomenclatures locales définies par de nombreux auteurs sont basés sur plusieurs critères, qui ont servi de repères, tel que :

Le changement de faciès (grès conglomératiques de base).

Le changement de milieu de dépôt (fluvial, glaciaire).

L'apparition de fossiles (Tigillites, Graptolites).

Ces critères subdivisent les séries cambro-ordoviciennes dans la dépression d'Ahnet-Gourara en trois unités (II, III, IV) : (Tab-12) dans le permis de In Bazzène, il est essentiellement détritique et subdivisé en trois formations :

#### **La formation des Ajjers : (Unité II+III-1+III-2).**

Elle se repose en discordance sur le socle et les séries intermédiaires.

La datation de cette formation est encore mal définie, elle correspond soit au Cambrien supérieur ou à l'Ordovicien inférieur.

Cette formation est subdivisée en trois unités :

\* **L'unité II (grès conglomératiques de base) :** On attribue à cette formation un âge Cambrien, elle est constituée par des grès à grains grossiers conglomératiques, à stratifications obliques, elle s'est déposée dans un milieu fluvial à une influence marine vers le sommet.

\* **L'unité III-1 :** elle regroupe la zone d'alternance, les argiles d'El Gassi et les grès d'El Atchane. Son absence au Sud de l'Ahnet s'expliquerait probablement par un non dépôt.

\* **L'unité III-2 (Quartzite de Hamra) :** elle est d'âge Arénigien, constituée d'une barre assez homogène à Tigillites et par des grès à grain fins à moyens, durs et quartzitiques.

#### **La formation d'In Tahouite (Unité III-3) :**

Cette formation argilo gréseuse témoigne d'un épisode marin transgressif d'âge Llanvinién. Elle comprend une partie inférieure, essentiellement argileuse (argiles de Tiferouine, argiles d'Azzel déposées en milieu marin), surmontées par les grès d'Oued Saret dont la limite supérieure est marquée par la discordance Taconique (ravinement glaciaire)

#### **La formation de Tamadjert (Unité IV) :**

Elle comprend de bas en haut :

Les grès d'El Goléa.

Les argiles microconglomératiques.

La dalle de M'Krata.

Cette unité s'est déposée dans un environnement complexe glacio-marin à fluvio-marin avec des variations d'épaisseurs très importantes.

L'unité IV repose sur diverses formations jusqu'au socle grâce a une surface d'érosion.

**Tab-12:Nomenclature des formations Cambro-ordoviciennes**

Chronostratigraphie		Nomenclature			
		Unités	Formation	Lithostratigraphie	
<b>Ordovicien</b>	Ashgilien Caradocien Supérieur	IV	Formation De Tamadjert	Dalle de M'Kratta Argile micro-conglomératique Grès d'El Goléa Grès d'Oued Saret	Complexe Terminal (C.T)
	Caradocien Inférieur Llandéillien Llanvirnien Arénigien Supérieur	III-3	Formation d'In Tahouite	Argile d'Azzel Argile de Tiferouine Grès d'Ouargla	Ensemble Argilo-Gréseux Supérieur (A.G.S)
	Arénigien Moyen	III-2	Formation Des	Quartzites De Hamra	Grès Intermédiaires (G.I)
	Arénigien Inférieur Trémadocien inférieur	III-1		Grès d'El Atchane Argile d'El Gassi Grès de Meribel	Ensemble Argilo-Gréseux Inférieur (A.G.I)
<b>Cambrien</b>		II	Ajjers	Formation De Hassi	Ensemble Grèso-Conglomératique de base (G.C.B)



## 2- Le Silurien :

Il est subdivisé en deux unités lithologiques :

- Le Silurien argileux a la base.
- La zone de passage du Siluro-Dévonien au sommet

### a- Le Silurien argileux :

Il est composé d'argiles marines franches connues régionalement sous le nom des argiles à Graptolites du Silurien. Dans le permis de In Bazzène, ces argiles sont schisteuses, avec quelques rares intercalations de calcaires gréseux et des grès argileux. Son épaisseur varie entre 342m à Djebel Beida (Djba-1) et 809m

A Djebel Mouïma (DM-101).

### b- La zone de passage du Siluro-dévonien :

Elle est représentée par une série argilo-gréseuse avec une épaisseur moyenne de 150m, les argiles sont parfois schisteuses en quelques niveaux ou bien sous formes de petites lentilles irrégulières, comme on rencontre des intercalations grès-calcaires, cas de l'Anasmit (Ant-1).

## 3- Le Dévonien :

### 3-1- Le Dévonien inférieur :

Cet ensemble avec une épaisseur de 235m, est globalement argilo-gréseux.

- **Le Gédinnien :**

Il est représenté par des grès gris, fin à moyen, Silico-argileux, localement quartzitique, légèrement carbonaté, avec des passées d'argiles noires.

- **Le Siégénien :**

Il s'agit d'un ensemble de grès, fortement quartzitiques, qui forment une barre massive et compacte au sein des dépôts du Dévonien inférieur.

Vers le sommet on observe fréquemment dans les niveaux gréseux l'apparition des intercalations argileuses millimétriques à centimétriques, indurées, feuilletées (In Bazzène Nord et Anasmit Ouest).

- **L'Emsien :**

Il est représenté par des dépôts argilo-gréseux, compris entre le toit de la barre gréseuse et le mûr des calcaires du Dévonien moyen.

La série est essentiellement argileuse, indurée feuilletée et fossilifère dans laquelle se développent des corps gréseux d'épaisseurs et d'extensions variables. Ces corps gréseux et perméables constituent avec ceux du Siégénien des aquifères à Anasmit Ouest.

### 3-2- Le Dévonien moyen :

Il est caractérisé par une épaisseur sensiblement faible (une moyenne de 80m), subdivisé en deux parties :

- **Le Couvinien :**

C'est un ensemble argileux gréseux, induré, parfois feuilleté, siliteux a la base, avec des passées de calcaires ou de marnes.

- **Le Givetien :**

Il est représenté par une alternance de calcaires argileux, tendres, bioclastiques

(Calcaires coquilliers, fossilifères). A ce niveau on a mis en évidence l'existence de constructions récifales, qui atteignent 85,5m d'épaisseur (Récif de Gouiret Es Soud au Nord de Garet Azzel Matti).

### 3-3- Le Dévonien supérieur :

Cet ensemble est représenté globalement par des argiles gris foncée, indurées et feuilletées dont l'épaisseur atteint les 800 m. Ces argiles sont nommées localement « séries de Maden Yahia », elles comprennent :

- **Le Frasnien :**

Il est représenté par une formation localement argileuse, tendre, avec des passées de calcaires dolomitiques, son épaisseur moyenne est d'environ 360m.

La limite entre le Givetien et le Frasnien se situe au toit des calcaires zoogènes du Givetien.

- **Le Faménnien :**

Il est caractérisé par une épaisseur variant entre 660m a In Bazzène Nord et Anasmit Ouest, et 46,5m a Anasmit Est, il est généralement représenté par un ensemble argileux homogène, feuilleté, tendre avec de rares petites passées de calcaires. La variation d'épaisseur est expliquée par le fait que la formation est érodée sous la discordance hercynienne. Cette érosion s'intensifie d'Ouest vers l'Est, en particulier à Anasmit.

- **Le Strunien :**

Cette formation est représentée par des alternances de grès siliceux a silico-agileux, moyennement durs et d'argiles rarement silteuses et feuilletées. Elle est plus affectée par la discordance hercynienne responsable de son absence dans certaines localités, telles que Mahbès Guénatir et Djebel Mouahdrine.

### 4- Le Carbonifère :

Cette série est largement érodée et n'affleure que dans l'Ahnet central. A l'Ahnet seuls deux forages ; Tit-1 et Tirechoumine-1 traversent la série, dont l'épaisseur a atteint 900m. Elle comprend uniquement le Tournaisien et le Viséen.

- **Le Tournaisien :**

Il débute par des couches de grès fins, compacts, légèrement carbonatés, avec un ciment siliceux, parfois quartzitique et de fines passées d'argiles dans la partie médiane de ces couches. Vers le sommet de cette formation, les épaisseurs des niveaux carbonatés et argilo-gréseux augmentent.

- **Le Viséen :**

Il est formé d'argiles silteuses, parfois légèrement carbonatées a bioclastes (Crinoïdes, débris de Lamellibranches et de Brachiopodes), avec des bancs centimétriques de grès fins a très fins, légèrement micacés. Dans la partie supérieure, les intercalations gréseuses deviennent nombreuses.

- **Le Namurien :**

Cette séquence n'est représentée en sondage que dans le synclinal de Berga (Ahnet central). Elle est subdivisée en deux parties :

- Une partie inférieure, représentée par des argiles indurées, peu silteuses, a débris de végétaux, des silstones ou grès fins et des dolomies a bioclastes, l'ensemble est couronné par un banc de calcaire d'une épaisseur de 3m.

- Une partie supérieure, marquée par une alternance d'argiles légèrement micacées, avec des intercalations de silstones argileux et de rares et minces bancs de calcaires et de dolomie grise.

Les formations paléozoïques post-namuriennes sont érodées dans la région de In Bazzène lors de l'érosion hercynienne.

### **C- Le Mésozoïque :**

Le Mésozoïque est caractérisé par des dépôts continentaux intercalaires ou de roches tertiaires plus jeunes (proposé par KILLIAN en 1931, pour les séries continentales post-paléozoïques plus vieilles que la transgression cénomaniennes).

L'érosion intense qui a bien marqué la fin de l'orogénèse hercynienne (phases Saalienne et Palatine) a atteint même le Carbonifère, à cet effet, les dépôts mésozoïques composés d'argiles silteuses avec quelques passées de grès fins (200 à 300m), d'âge Jurassique inférieur à moyen, surmontés de grès (600 – 700m) du Crétacé inférieur suivis de boues silteuses (200 – 300m) du Cénomano-Turonien.

#### ➤ **Le Crétacé :**

- **Le Crétacé supérieur :**

Il est représenté par des formations gypsifère à gypse saccharoïde argiles, et des bancs de dolomie, ainsi que des anhydrites massives avec des argiles plastiques rouges légèrement carbonatées.

- **Le Crétacé inférieur :**

Il est représenté par des argiles versicolores, avec des passées de calcaire dolomitique micro cristallin.

Systeme	Epaisseur (m)	Etage ou Formation	Lithologie	Description sommaire
Crétacé	500	Continental Intercalaire		Argiles silto-sableuses intercalées, de sable moyen à grossier parfois argilo-carbonaté. Présence de traces de dolomie. Discordance hercynienne
Carbonifère	450	Viséen		Argiles silto-micacées et grès très fins argileux.
		Tournaisien		Grès fins silto-micacés et grès très fins argileux.
Dévonien	1000	Faménien		Argiles noires silto-micacées avec traces de calcaire, pyrite et fossiles.
		Frasnien		
		Givétien		Argiles noires silteuses.
		Couvinien		
		Emsien		Grès moyens à grossiers silico-carbonatés à passées d'argile grises.
		Siéginién		
		Gédimien		
Silurien	500	Silurien argileux		Argiles gris-foncé silteuses, micacées.
Ordovicien	600	Grès d'Elgoléa		Grès moyens silico-quartzitiques. Grès fins à moyens silico-quartzitiques, avec de fines passées d'argiles.
		Argiles d'Azzel		Argiles sombres, silto-micacées.
		Quartzites de Hamra		Grès fins à moyens, siliceux et quartzitiques.
Cambrien	200			Quartzites et grès moyens à grossiers, à passées d'argiles grises à sombres.
I-C				

Fig.13: Colonne Stratigraphique type-Bassin l'Ahnet-Gourara

7-Les Coupes De Corrélation : (Fig.14.15.16)

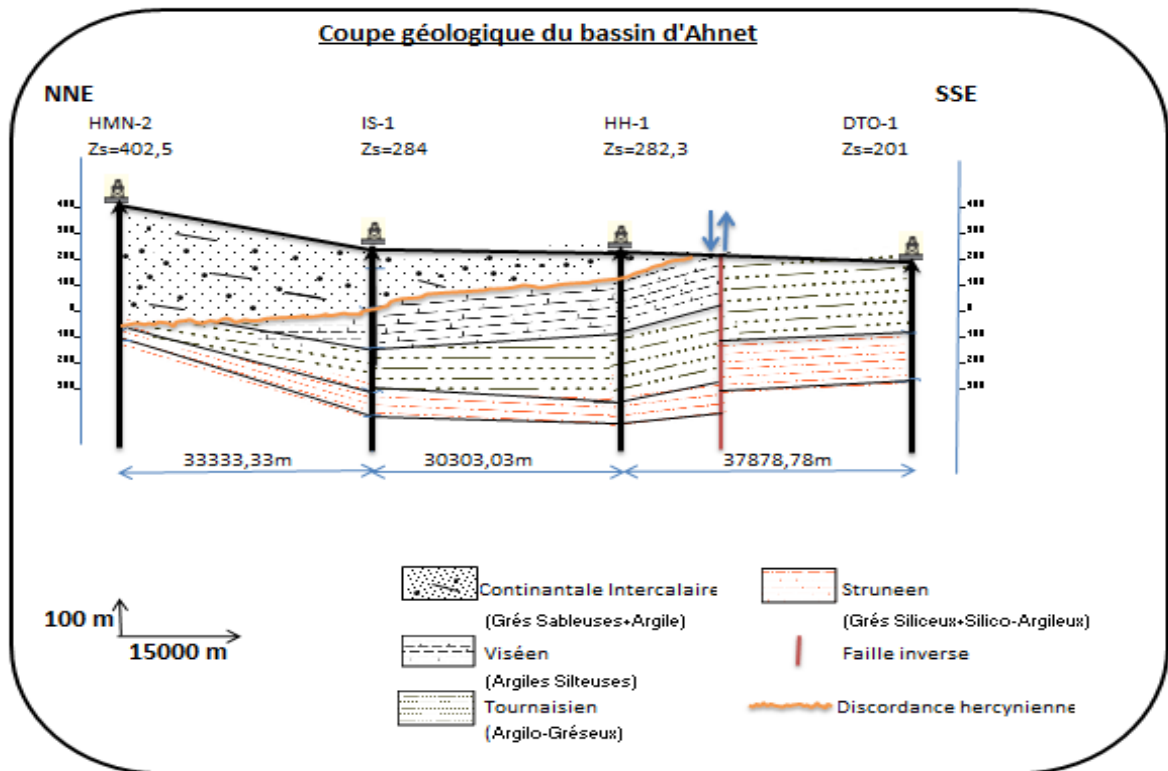


Fig.14: Coupe géologique NNE-SSW.

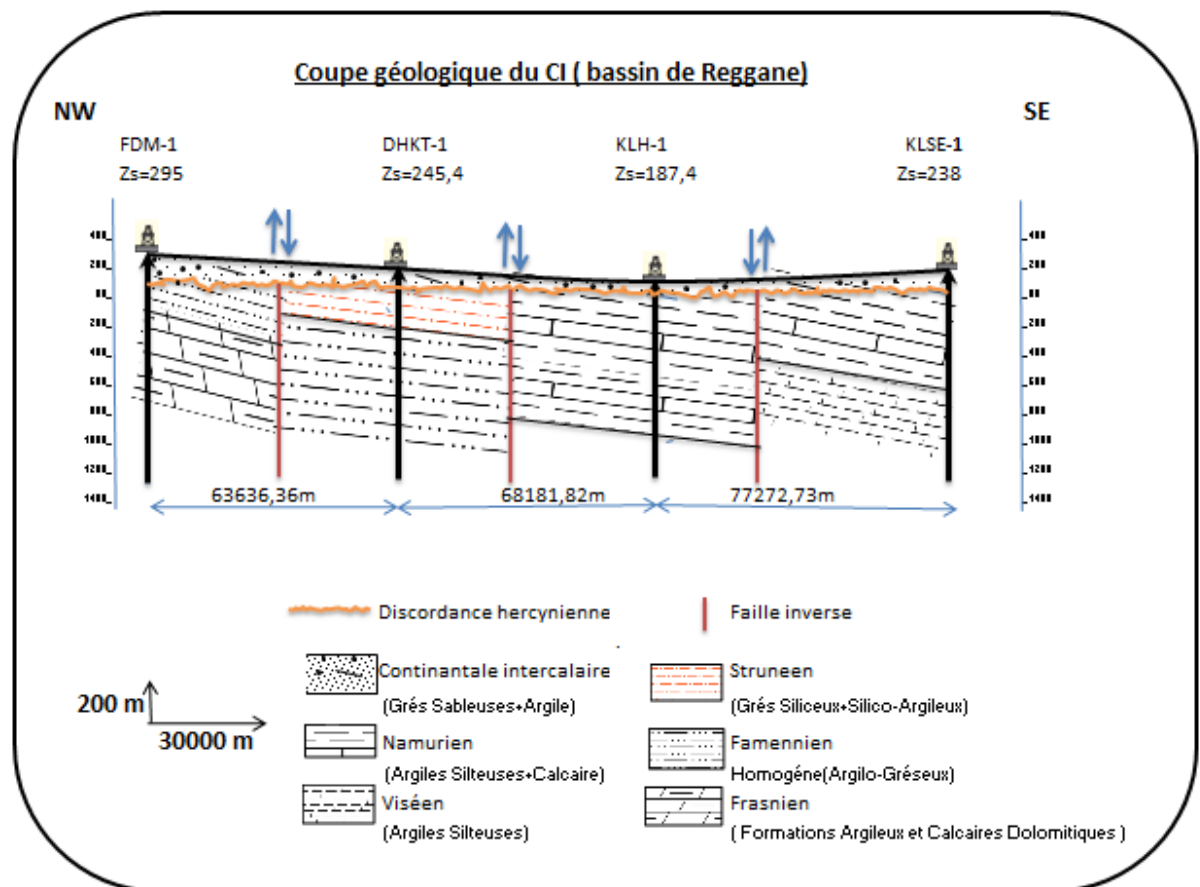


Fig.15 : Coupe d'orientation NW-SE

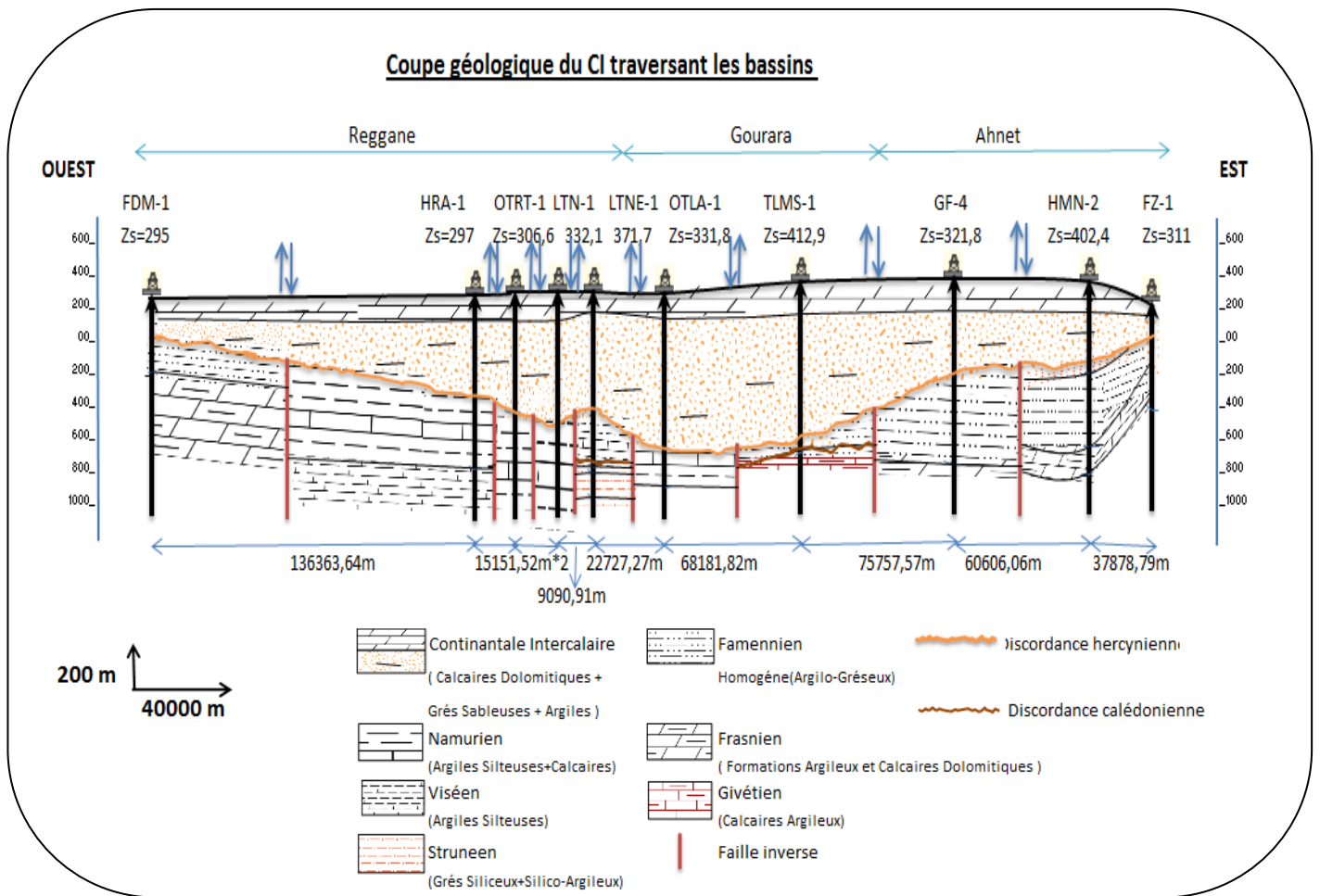


Fig.16 : Coupe géologique du CI traversant les bassins (Ahnet-Gourara et Reggane) WE.

➤ L'Interprétation Des Coupes :

La zone d'étude est caractérisée par l'abondance des Failles conduisant à un changement des couches géologiques influé pour le positionnement original et naturel.

📍 1-La coupe du bassin d'Ahnet : (Fig.14)

Cette coupe d'orientation NNE-SSW, et de longueur de 100Km passe par les forages du Nord vers le Sud : HMN-1(e = 489 m), IS-1(e = 255.5m), HH-1(e=80.5m), DTO-1. Dans le partie Sud on remarque l'affleurement des argiles gréseuses d'âge Tournaisien. Une faille verticale se trouve à 15Km au Sud du puits HH-1 permis l'apparition des argiles Carbonifère(Viséen) épaisses d'environ 180m,surmontées par les grés du CI qui commence avec une faible épaisseur de l'ordre de 60m et augmente eu allant vers le Nord pour atteindre 450m au niveau du forage HMN-2 le substratum est constitué de grés siliceux d'âge strunéen.

📍 2-La coupe du bassin de Reggane : (Fig.15)

Cette coupe d'orientation NW-SE et de longueur de 209Km passe par les forage du NW vers le SE : FDM-1 (e=135m), DHKT-1(e=100m),KLH-1(e=35m), KLSE-1(e=90m).



CI de cette coupe en faible épaisseur et le substratum dans la partie Ouest on remarque l'affleurement des grès-argileuses d'âge Famennien et grés siliceux d'âge Struneeen ; Et la partie Sud l'apparition des argiles silteuses+calcaire d'âge Namurien. Avec l'existence de plusieurs failles verticales pouvant affecter la nappe.

### 3-La coupe Ouest-Est : (Fig.16)

Cette coupe d'orientation Ouest-est s'étale sur plus de 301Km à travers les 03 bassins(Reggane,Gourara,Ahnet)en passant par les forages suivants: FDM-1(e=135m),HRA-1(e=570m),OTRT-1(e=708m),LTN-1(e=745.4m),LTNE-1(e=736.7m),OTLA-1(e=924.2m), TLMS-1 (e=781m),GF-4(e=440m),HMN-2(e=489m),FZ-1(e=221.3m).

Le CI est captif suivant cette coupe, l'épaisseur est maximale au centre de la coupe dans la région de Sbaa((au niveau des puits OTLA-1,TLMS-1)) ; et minimale aux extrémités((au niveau du puits FDM-1,FZ-1)). L'épaisseur maximale est de l'ordre de 924m à OTLA-1,et la valeur minimale est enregistrée 135m à FDM-1.

Le substratum du CI est constitué de différentes formations parfois argilo-gréseux d'âge Famennien et parfois Argiles silteuses+calcaires d'âge Namurien ;avec l'existence de plusieurs failles verticales pouvant affecter la nappe (drainance).

### 8-Conclusion :

Les bassins d'Ahnet-Gourara et Reggane est un «Forme Méga graben » a l'échelle de la plate-forme saharienne, ses limites sont assurées par des failles majeures réactivées durant toute l'histoire évolutive de la plate-forme saharienne.

Ainsi la structuration actuelle des bassins d'Ahnet-Gourara et Reggane résulte de la superposition des effets de ces différentes phases qui ont modifié tout au long du Mésozoïque et du Cénozoïque la structure acquise à l'hercynien.

Le CI évolue d'Ouest en Est ;En effet, son épaisseur est minimale dans la région de Reggane et maximale au cœur du Synclinal de Sbaa ((au niveau des forages :OTLA-1,TLMS-1))à l'Ouest la nappe du CI est libre, mais elle devient captive en Ouest vers le Nord-est ;le toit est constitué de calcaire dolomitique.

# *Chapitre III*

# III- Synthèse Hydrogéologique

## 1-Introduction :

Les richesses souterraines de la région sont très importantes, en effet cette région des plus arides du monde, des ressources stratégiques en eau souterraine s'étendent sur des milliers de kilomètres carrés.

Ils existent deux types d'aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques de la base Crétacé supérieur.

## 2- Cadre hydrogéologie du Sahara Algérien :

Le Sahara occidental Algérienne comprend quatre complexes hydrogéologique profond, présentant des eaux salées situés dans les terrains primaires (Combro – ordovicien, le Silurien supérieur, le Dévonien inférieur, Dévonien supérieur, Carbonifère), et les terrains secondaires, par la suite une série supérieure du continental intercalaire qui renferment des eaux de bonne qualité chimique.

## 3-Définition des aquifères : (Fig.18)

### 3.1-L'aquifère du Complexe Terminal :

La nappe du complexe terminal (CT) se localise dans le Sahara septentrional et s'étend sur une superficie de 350.000 km<sup>2</sup> avec une profondeur qui varie entre 100 et plus de 600 m.

- Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, qui sont appelés nappe des sables et nappe des calcaires.
- Le C.T est constitué par des formations d'âge et de lithologie différents, à la base il y a le Sénono-eocène Carbonaté et au sommet on trouve le Mio-pliocène sablo-argileux.
- La nappe du C.T est en charge sous les formations argileuses du Mio-pliocène dans la partie Nord et libre dans la partie Sud.
- L'écoulement général se fait vers les chotts et vers le golf de Gabes.
- Les eaux de cet aquifère se caractérisent par une température peu élevée.
- Cette eau est moins chargée en sel sur les bordures et relativement élevée au centre (plus de 3g/l).

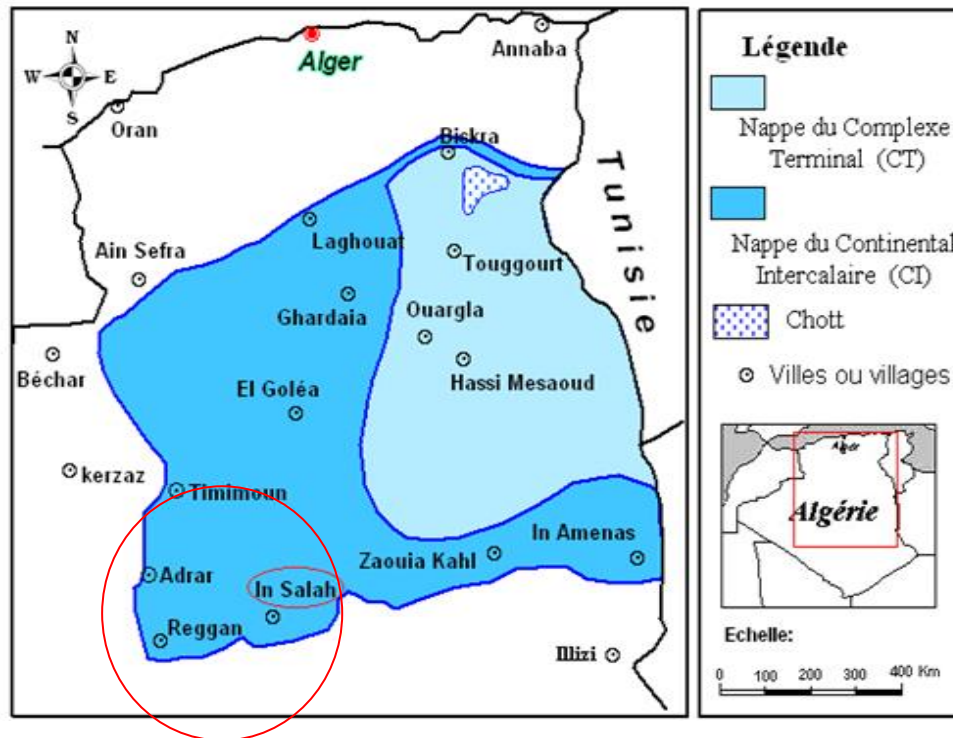


Fig.17: Cadre général du système aquifère post-paléozoïque du Sahara

### 3.2- L'Aquifère du Continental Intercalaire :

La nappe dit, du Continental intercalaire. Constitué par des sédiments post-paléozoïques qui vont du Trias à l'Albien et représenté par une alternance de couche grésosableux et argileuse où les niveaux perméables sont prédominants.

La nappe est continue du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'au Tassili du Hoggar et d'Est en Ouest depuis la vallée du Guir-Saoura, jusqu'à la Hamada El Hamra. A l'Ouest de la dorsale, l'épaisseur du réservoir est de 200 à 400 m elle atteint 125 m au niveau du Chott El Gharsa.

Le substratum de la nappe est constitué de formations argileuses, argilo-sableuses ou carbonatées. Au Sud et Sud-ouest, ce sont en discordance les terrains du Paléozoïque (Dévonien). Au Nord-est de la dorsale du M'zab, le Paléozoïque est remplacé par le Néocomien argileux ou le Jurassique. Le Jurassique supérieur constitue le mur de la nappe dans toute la partie centrale, de Hassi-Messaoud jusqu'aux grands Chotts.

La couverture de l'aquifère du CI est constituée essentiellement par les formations argileuses avec des évaporites du Cénomaniens et les sables des ergs. A l'Ouest de la dorsale du M'zab, il arrive que les formations de couverture du Crétacé supérieur soient érodées et que le réservoir affleure ou ne soit recouvert que par des dépôts continentaux du Tertiaire ou les étendues sableuses du Quaternaire. Au Nord-Ouest vers l'Oued Saoura, le Cénomaniens est totalement érodé. A l'Ouest et au Sud, le CI affleure largement dans l'Ahnet-Gourara et le Reggan.

La nature lithologique des terrains constituant le réservoir est assez uniforme. Au centre des bassins, au niveau de la dorsale du M'Zab, la nappe est profonde ; elle est captive

et artésienne ou ascendante. Elle est, par contre, plus superficielle et libre vers l'Ouest et le Sud-ouest.

### 3.2-a- Les paramètres hydrodynamiques de la nappe (CI) :

Les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir sont bonnes. La porosité moyenne est de 26% et les transmissivité varient de 6 à 30x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s, respectivement au centre, à Oued Rhir et au Nord-Est, au niveau du Chott-Djérid.

Le schéma hydraulique de l'aquifère, fait apparaître trois zones de directions d'écoulement différentes :

- une direction d'écoulement Ouest-Est draine la zone du Nord-Est de la nappe, vers le chott Djérid, où les eaux s'évaporent. Un drainage dans la même direction souterraine se fait vers le golfe de Gabes.
- Une direction Sud-Nord alimente la zone du sous bassin hydrogéologique du bas Sahara au Nord-est à partir de la zone d'alimentation de Tinhert.

Les grands accidents subméridiens et verticaux du Hoggar se prolongent vers le Nord dans la couverture, déterminant un compartimentage dans le réservoir.

Cependant la continuité lithologique existe et assure une continuité hydraulique dans l'aquifère ; L'anomalie piézométrique sur la dorsale d'Amguid-el-Abiod s'explique par des fuites ascendantes des eaux du Continental intercalaire, vers les aquifères supérieurs.

Les zones d'alimentation de la nappe, dans sa partie orientale sont limitées aux zones d'affleurement du réservoir : au Nord, l'Atlas saharien, à l'Est, la région du Dahar et le Tidikelt orientale. Dans sa partie occidentale, il y a un déversement des eaux du Grand Erg occidental dans le Continental intercalaire.

Dans les régions, l'Ahnet-Gourara et Reggane occidental, la nappe du Continental intercalaire Est, au contraire, drainée par des lignes de dépression qui cernent les affleurements du réservoir. L'exutoire naturel en est les foggaras dont une partie des débits non captés s'évapore au niveau des sebkhas, l'autre partie s'échappe vers le bassin de Taoudéni.

Au Nord-est le continental intercalaire alimente la nappe artésienne de la zone côtière du Golfe de Gabes. L'apport se fait par les zones de passage préférentielles des accidents d'El Hamma et de Madenine.

### 3.2-b- Les caractéristiques Hydrogéologiques locales de la zone d'étude:

La nappe du continental intercalaire (CI) dans la région d'Ahnet-Gourara et Reggane est caractérisé par :

- ✚ Sa faible profondeur.
- ✚ La nappe est libre et terminée en biseau sous les formations des primaires
- ✚ La température de l'eau est faible (inférieure à température de l'air en été et supérieure à la température de l'air en hiver).
- ✚ Un résidu sec de l'eau variant entre 0.4 et 3 mg/l.

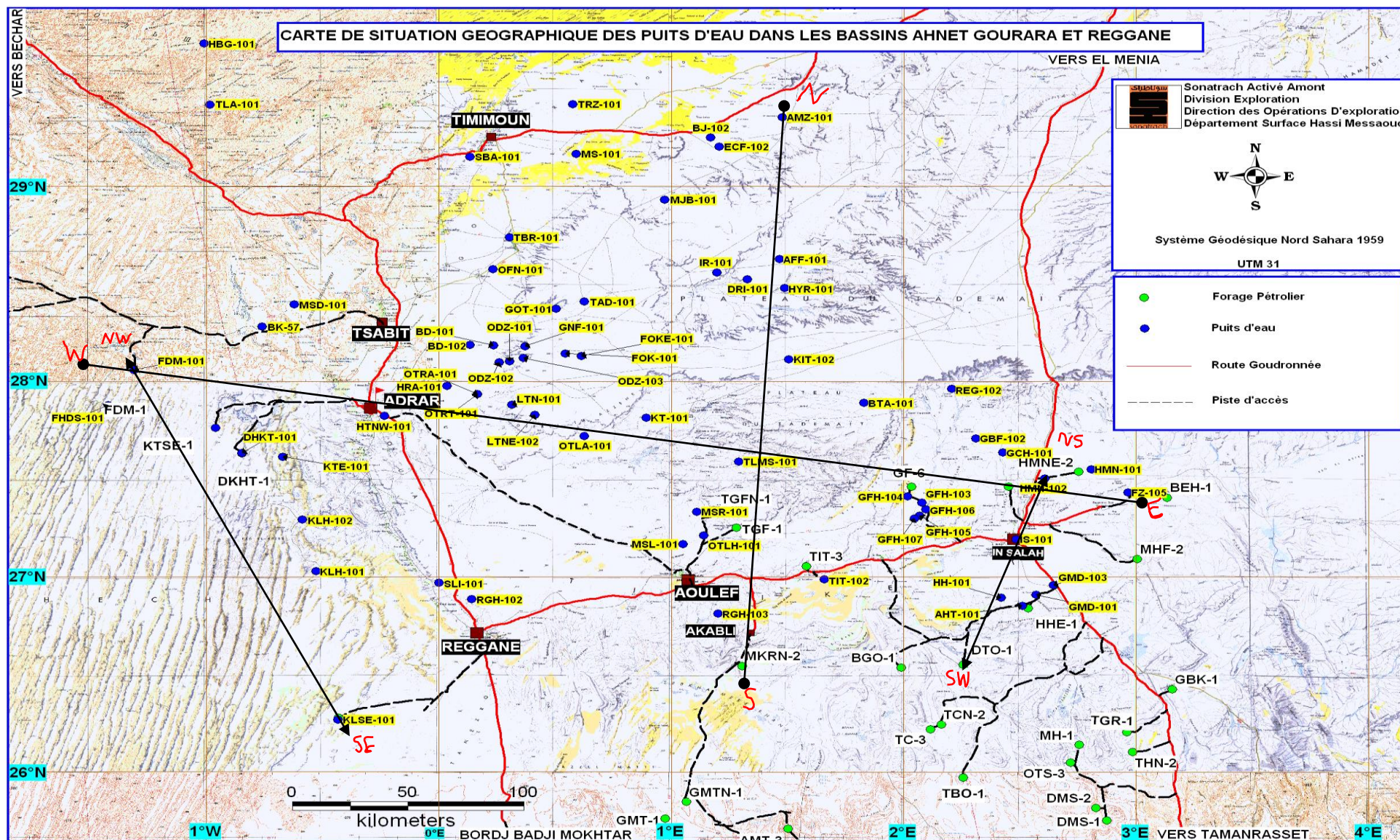
#### **4-Les puits dans la région d'étude : (Fig.18)**

La figure suivante représente les différents puits existant dans le Continental Intercalaire dans chacun bassins (Ahanat-Gourara et Reggane).  
Il nous montre aussi les coupes géologiques prises.

La plupart des puits sont situés au nord du bassin d'Ahnet à l'absence de CI dans le sud.  
L'Oued Sbaa se trouve entre les trois bassins.

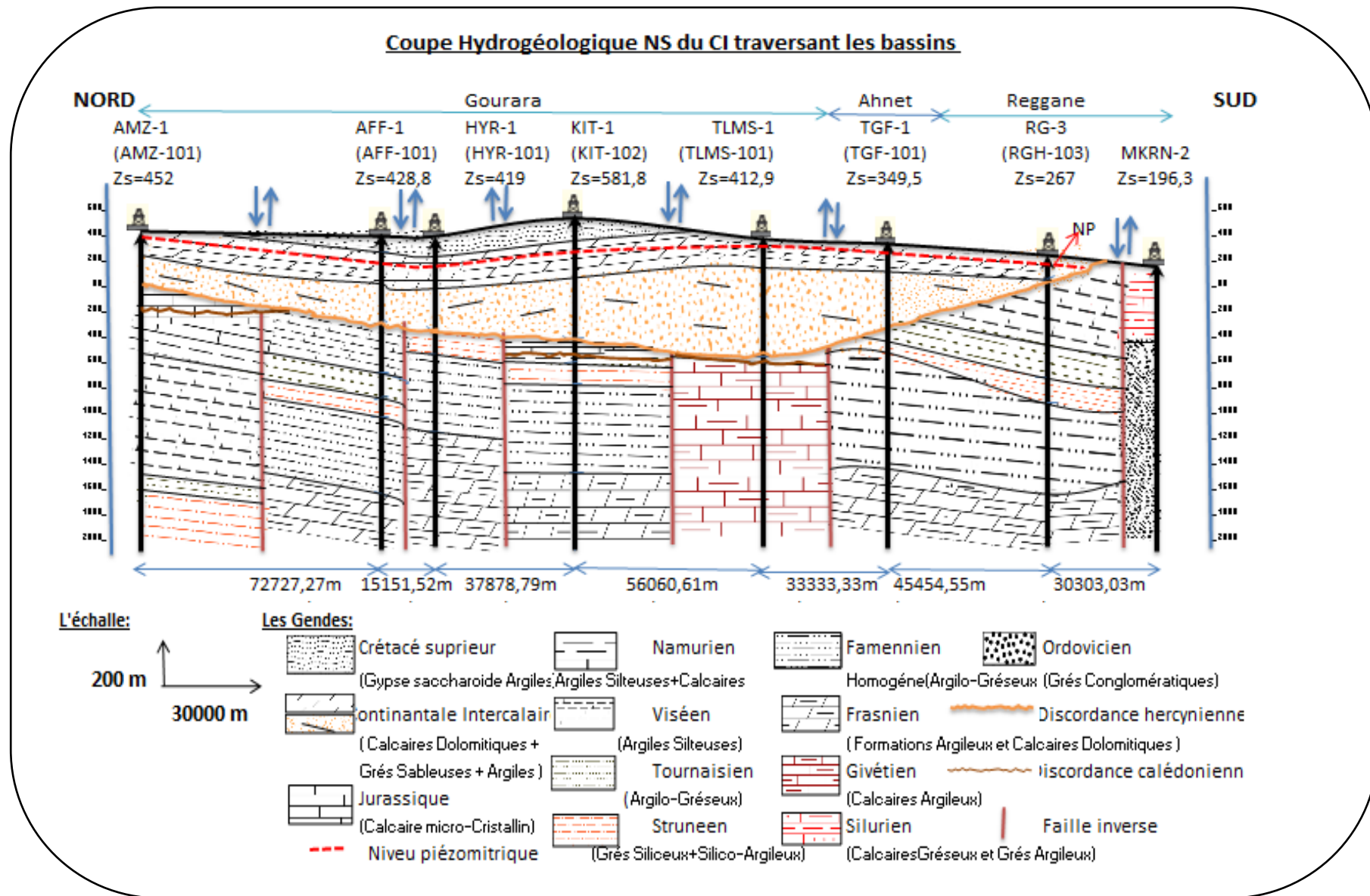
#### **Carte de positionnement des puits du Continental Intercalaire.**





(Fig.18): Carte de positionnement des puits du Continental Intercalaire.





(Fig.29): La coupe Hydrogéologique

## 5-La coupe Hydrogéologique : (Fig.19)

### L'interprétation de la coupe Nord-Sud :

Cette coupe présente le système Hydrogéologique de la région, elle est orientée Nord-Sud s'étale sur plus de 275Km ;à travers les 03 bassins (Gourara-Ahnet et Reggane)en passant par les forage suivant :AMZ-1(e=433m),AFF-1(e=622.5m),HYR-1(e=695m),KIT-1(e=786m),TLMS-1 (e=781m),TGF-1,RG-3,MKRN-2.

Le CI est captif suivant cette coupe. L'épaisseur est maximale au centre de la coupe dans la région de Sbaa((au niveau des puits KIT-1et TLMS-1)) ;et minimale aux extrémités((au niveau du puits RG-3 et AMZ-1.

La nappe disparaît au Sud de Reggane (forage MKRN-2).

L'épaisseur maximale est de l'ordre de 781m à TLMS-1,et la valeur minimale est de 185m enregistrée à RG-3.

Le niveau piézométrique change de 240m à 440m du Sud vers le Nord indiquant un sens d'écoulement du Nord vers le Sud suivant ce profile.

Le substratum est constitué de différentes formations parfois perméables (calcaire)et parfois imperméables (argiles) ;avec l'existence de plusieurs failles verticales pouvant affecter la nappe(drainance).

## 6-Piézométrie :

L'établissement des cartes piézométriques est une étape importante dans l'étude hydrogéologique. Elle permet d'étudier la nappe d'eau souterraine tenant compte de ses paramètres hydrodynamiques, telles les transmissivités et le coefficient d'emmagasinement, et renseigne sur les sens d'écoulement souterrain, le gradient hydraulique et les axes de drainage. Cet aspect constitue l'un des objectifs de cette étude.

### 6.1-Carte piézométrique de la région d'étude : (Fig.20)

En traçant la Carte piézométrique de la région d'étude on pourra déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines, connaissant ce dernier on peut interpréter cette carte pour mettre en évidence les lignes de partage des eaux et les zones de captage.

Pour établir la Carte on s'est servi des données de base concernant les différents puits existants dans la région :

### Inventaire des points d'eau :

La carte d'inventaire des forage d'eau (fig.20) représentent les puits pris en considération pour établir les cartes piézométriques on après 58 forage d'eau réalisé par Sonatrach.

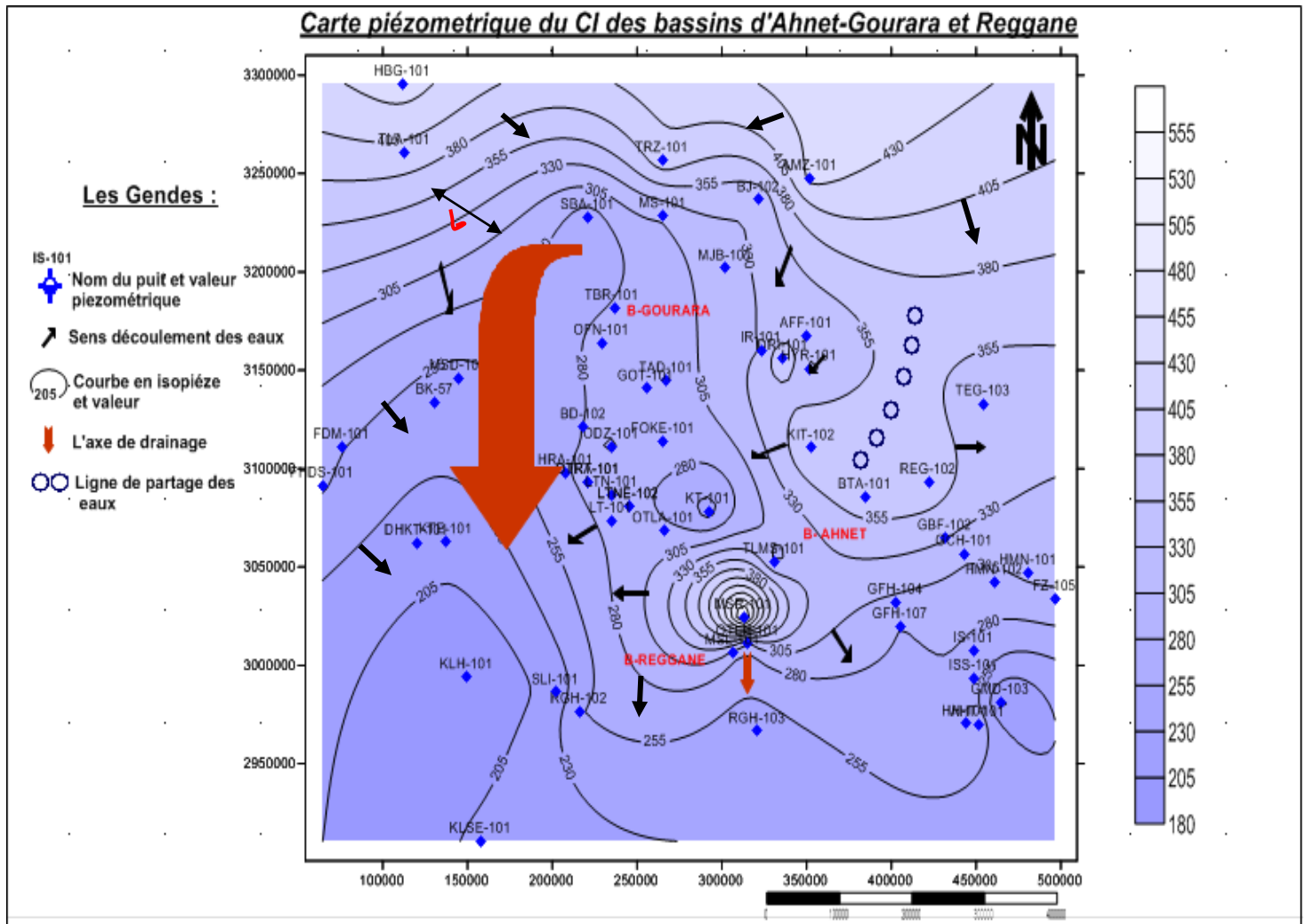
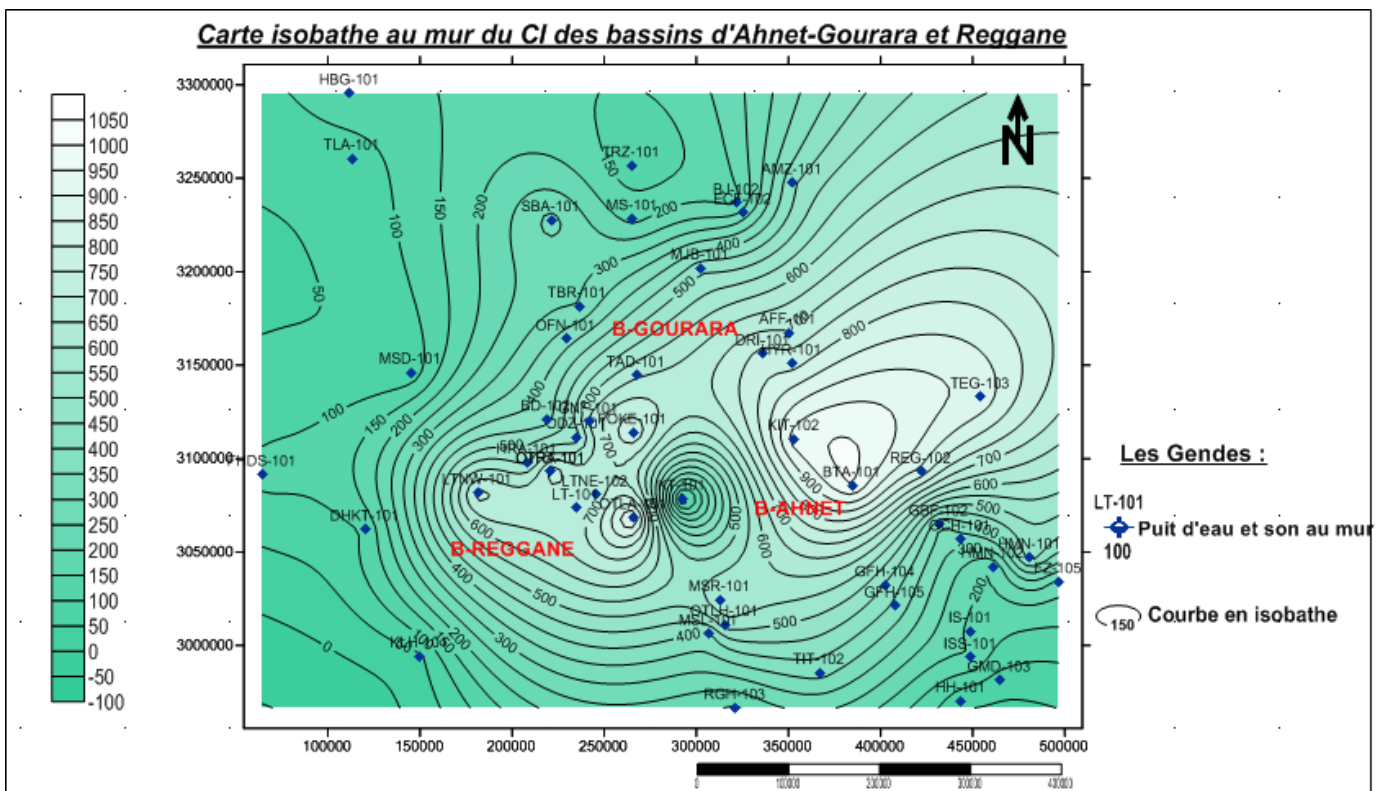
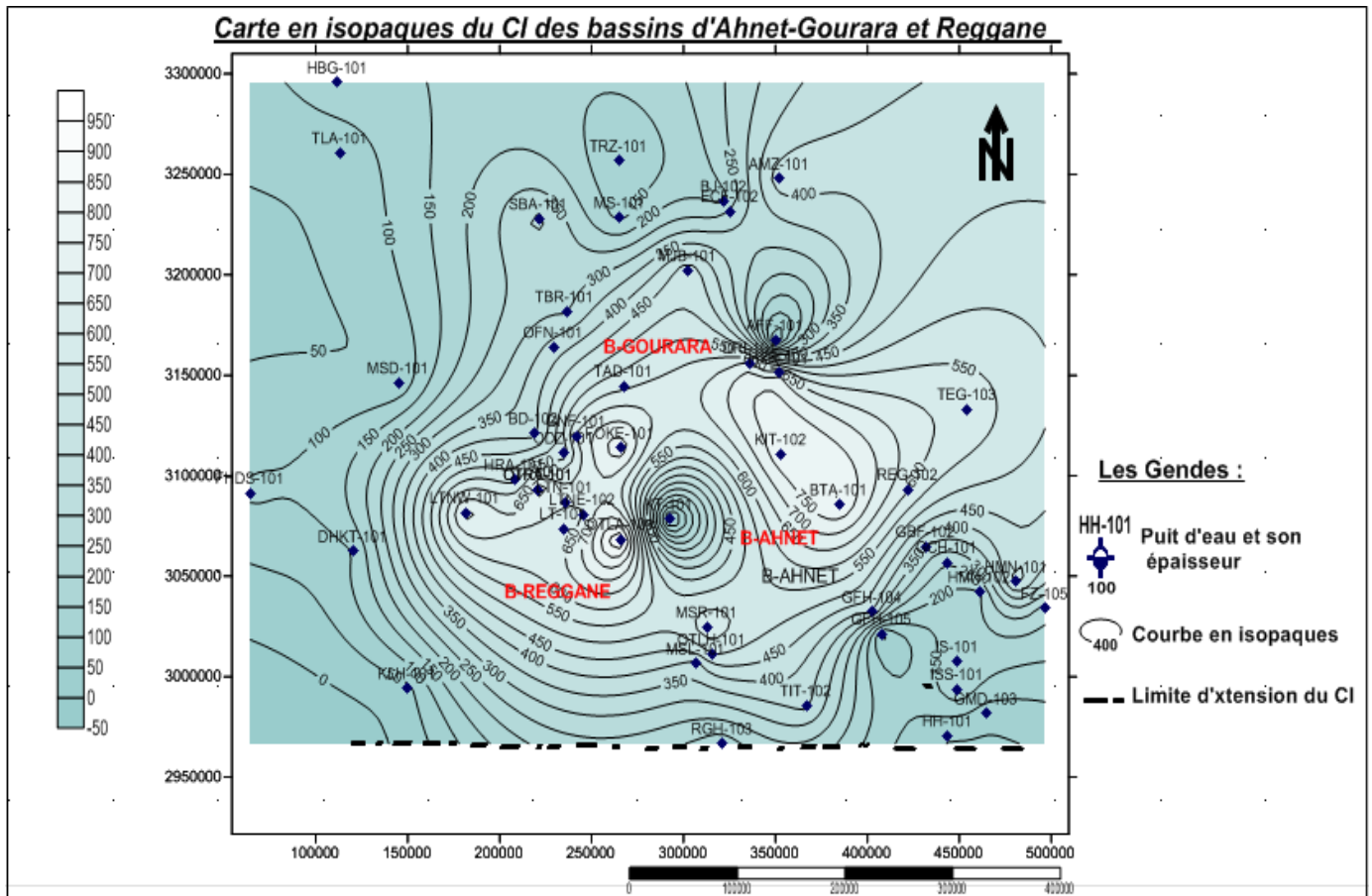
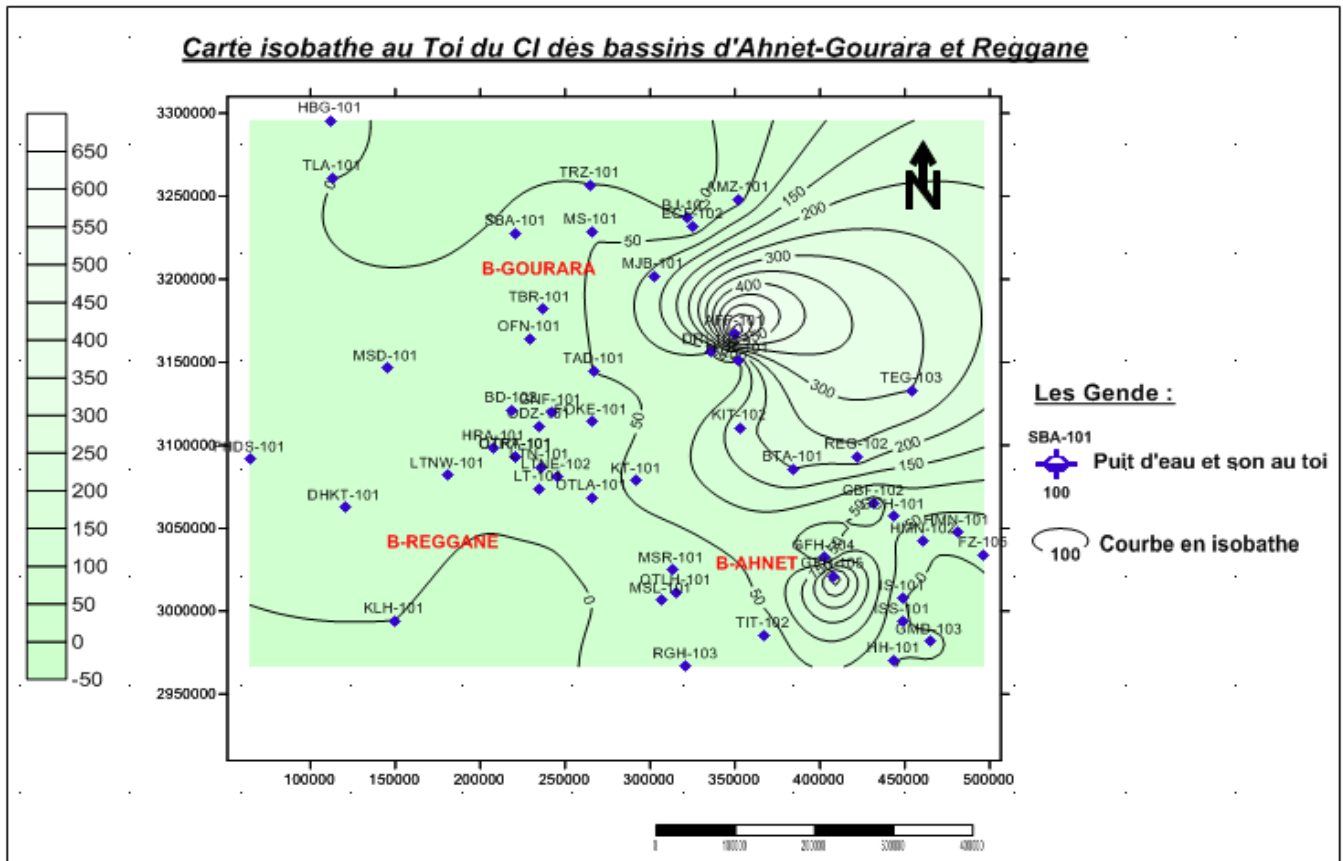


Fig.20: Carte piézométrique de la région d'étude.





**Fig.24: Carte de profondeur de CI**

## 6.2-L'interprétation des carte:

### a- La carte piézométrique :

L'examen de la carte piézométrique dressée à l'échelle de la région montre que les niveaux piézométriques varient de 180 m à 555 m, et fait apparaître les éléments suivants :

- Resserrement des courbes isopièzes dans la partie Nord-Ouest avec un gradient hydraulique s'écartent vers le Oued Sbaa avec un gradient hydraulique ( $i = \frac{\Delta h}{L}$ ).

- le sens d'écoulement régional est : NE-SW et N-S

- Le sens de drainage est du Nord vers le Sud et NW vers SE.

La direction écoulement se devisée en deux parties par l'axe de drainage (permis de Gourara à permis de Reggane) dans la partie Est, l'écoulement général des eaux souterraines se fait vers le Sud Est, par contre dans la partie Ouest l'écoulement se fait vers le Sud- Est. L'apparition de dépression près de Reggane signifié que cette région caractérisée par surexploitation. Dans la partie Nord de la carte les courbes sont serrées signifiant un écoulement lent, dans la partie Sud de la carte les courbes sont espacés signifiant un écoulement rapide.

- On observe la présence d'une ligne de partage des eaux au Nord-est de la région d'Ahnet.



**b- La carte iso-épaisseur :**

Cette carte nous montre les limites d'extension du CI.

L'épaisseur de l'aquifère CI varie d'un bassin à l'autre du nord au sud.

dans le bassin Reggane elle varie entre 40m à 200m dans le Sud-ouest, et 650m-920m dans le Nord ; dans le bassin Gourara ; l'épaisseur du CI varie dans le Nord et Nord-Ouest entre 50m à 400m, elle atteint la valeur maximale dans le Nord-est( 800m).

Dans le bassin l'Ahnet la nappe flectue entre 50m à 450m dans le nord et disparaît dans le Sud.

**c- La carte isobathe au mur :**

Cette carte représenter les variations de la profondeur du substratum de CI, les valeurs sont comprises entre 50m à 1010m.

Le mur du CI coïncide avec la discordance hircynienne sous le plateau de Tademaït et de Tinhert. Les forages sont situés dans le prolongement Nord du dorsal d'Amguid, le CI repose également sur le Primaire.

En s'éloignant de ces trois zones, le substratum du CI est de plus en plus récent : Trias, Lias, Dogger et enfin Malm. Au Nord d'une ligne joignant approximativement El Abiod à Rhadamés, soit approximativement sur la moitié du Sahara, on trouve partout le Malm sous le CI. C'est principalement à l'Ouest, autour et sous le Grand Erg Occidental, que le CI recouvre le Lias.

**d- La carte de profondeur (au Toit) :**

Nous notons sur cette carte la profondeur du réservoir sous la surface de la terre, qui varie de 0m à 660m, où nous constatons que la plupart des puits commencent là où le niveau du réservoir CI à la surface sont la plupart du temps confiné entre 0 m et 50m.

La partie Ouest est masquée par l'affleurement de la nappe qui devient libre.

Sur les bordures du grand erg occidental et sous les plateaux du Tademaït et du Tinhert, le CI est considéré comme Crétacé inférieur.

Sur le plateau du Tinhert, la série d'In Akamil pose souvent un problème car elle est tantôt argilo-gréseuse, tantôt argilo-calcaire ou argilo-gypseuse ; contrairement à certains auteurs, on ne l'a fait appartenir au CI qu'au niveau des forages où elle est à prédominance argilo-gréseuse.

Dans le reste du Sahara, le CI commence presque toujours au toit de l'Albien. Deux exceptions toutefois : la zone de Belhirans où il comprend le Vraconien (période de transition entre l'Albien et le Cénomaniens).

## **7- Débit de l'écoulement souterrain du bassin hydrogéologique et de l'aquifère :**

Le débit de l'écoulement souterrain naturel moyen représente les sorties du bassin hydrogéologique ou de l'aquifère. C'est-à-dire son drainage par les cours d'eau et l'alimentation des sources du bassin hydrologique. Il assure le débit des cours d'eau en absence des précipitations.

Les débits d'étiage sont égaux au débit de l'écoulement souterrain des aquifère. C'est donc le débit total des eaux souterraines dans l'exutoire compris dans le bassin hydrologique : sources, surface d'eau libre, dépressions fermées et mer.

En équilibre naturel, sur une longue période, il est égal à l'infiltration pour le bassin hydrogéologique et à l'infiltration efficace pour l'aquifère. En termes de système c'est donc le débit des apports, fraction de l'écoulement total ou des précipitations efficaces qui, après avoir transité avec modulation dans l'espace considéré, alimente le débit des écoulements. Il ne doit pas être confondu avec le mouvement de quantités d'eau dans les aquifères ou écoulement de l'eau souterrain ou flux souterrain qui est étudié par l'hydrodynamique souterrain.

L'écoulement total est la somme de l'écoulement souterrain et de l'écoulement de surface.

Dans les évaluations de l'alimentation (infiltration et infiltration efficace) la priorité doit être donnée à la mesure des écoulements, laquelle apporte la plus grande précision.

## **8-L'exutoires du CI :**

### **8.1-Exutoires naturels :**

Les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent une zone d'exutoire naturel importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de Sebkhass qui occupent le fond des dépressions de l'Ahnet-Gourara et Reggane,

La seconde grande zone d'exutoire naturel se situe en Tunisie. Elle consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et à un écoulement vers la nappe de la Geffara Tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine.

Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent la dorsale d'Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mise à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental, le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs.

### **8.2-Exutoires artificiels :**

L'exploitation du CI c'est d'abord effectué, depuis de longs siècles, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur le plateau du Tademaït dès le X<sup>e</sup> siècle.

Leur débit total connu au travers de campagnes de mesures effectuées en 1932-1950 et 1960, est resté invariable jusqu'aux années 1970 et de l'ordre de 3,6 m<sup>3</sup>/s

Actuellement le débit total exploité au travers de quelques 1 200 forages atteint 19 m<sup>3</sup>/s.

### **9-Conclusion :**

Le CI est constitué par des sédiments déposés entre le Trias à l'Albien il est constitué par une alternance des couches sableuses et argileuses.

La carte piézométrique est le document de base de l'analyse du comportement hydrodynamique de l'aquifère étudié, et la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

L'analyse de cette carte nous a surtout renseignés sur les sens d'écoulement.

On observe une convergence des écoulements NW-SE et Nord-sud vers cette zone.

L'autre écoulement se fait depuis le Sud-est vers le Sud-ouest et du Nord vers le Sud-ouest.

Le synclinal de Sbaa offre les meilleurs potentiels en eaux avec une épaisseur maximale qui atteint plus de 900m, et une profondeur du toit de l'ordre de 50m.

# *Chapitre IV*

# IV- L'Hydrochimie

## 1-Introduction :

L'étude hydrochimique de l'eau souterraine permet non seulement de juger la salubrité des eaux, vis-à-vis de l'usage domestique et agricole, mais elle constitue un complément très utile pour l'étude hydrogéologique. Elle permet de déceler toute perturbation susceptible d'atteindre une nappe en modifiant sa qualité chimique, telle que la percolation verticale, l'infiltration, l'aimantation etc...., et précise aussi la qualité chimique en eaux souterraines, leur potabilité, ainsi que la relation qui existe avec les formations géologiques.

Les échantillons des forages prélevés, ont été analysés au laboratoire d'hydrochimie du C.R.D Sonatrach à HMD déduisant les éléments chimiques des eaux des forages d'eau de la région il s'agit surtout de :

- ✚ Potentiel d'hydrogène (pH).
- ✚ Résidu sec (mg/l).
- ✚ Dureté total.
- ✚ Cations:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .
- ✚ Anions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Les résultats des analyses chimiques de l'eau sont portés dans les tableaux et représentés sur les différents diagrammes dont le but est :

- Définir d'apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution de la qualité des eaux du l'Albien.
- Déterminer la répartition quantitative des différents éléments majeurs.
- Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux.

## 2- Etude Des Paramètres Physico-chimiques :

### 2.1-Les paramètres physiques :

Ces paramètres sont très importants, car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité de l'eau et aident à la détermination de son origine, donc on a mesuré les paramètres suivants: température, PH, minéralisation et la conductivité, le résidu sec, dureté totale.

#### a-Température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous. La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que l'origine est moins profond.

### b- Le potentiel d'hydrogène (Ph) : (Fig.24)

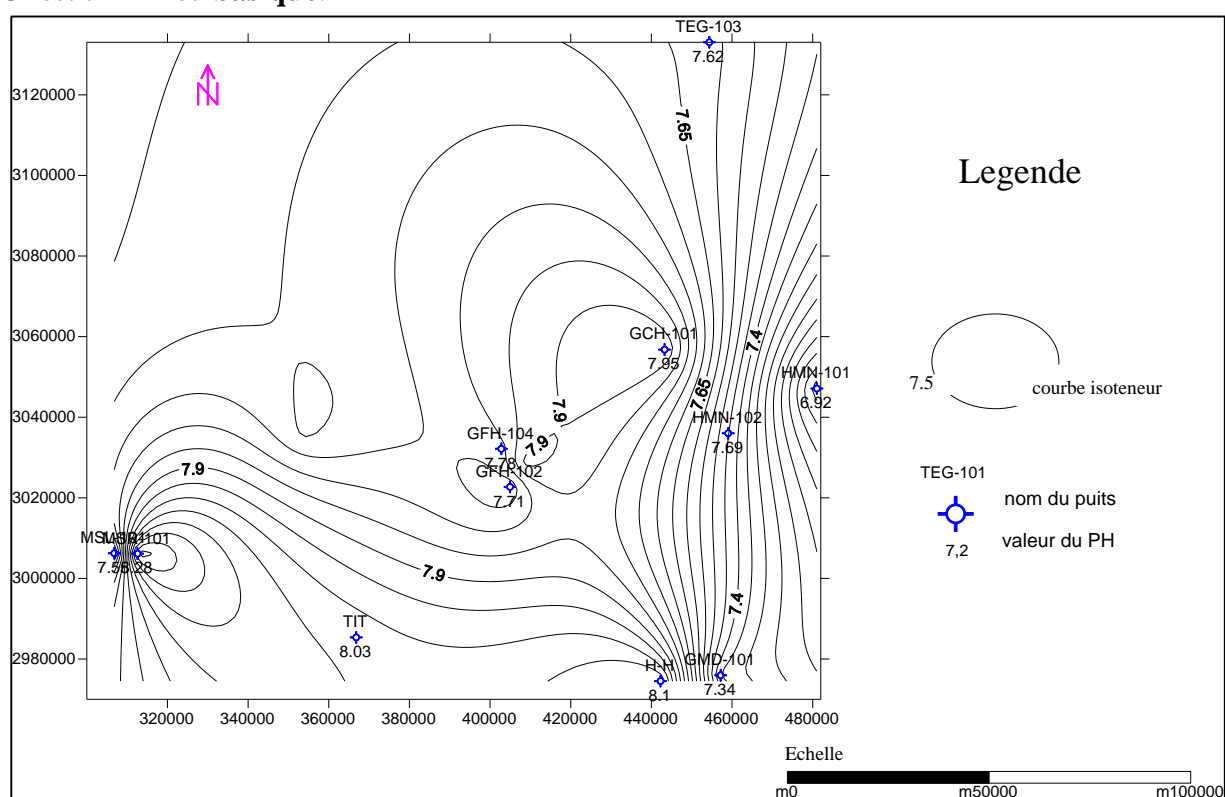
C'est le mode de la concentration en ion ( $H^+$ ) d'une solution. C'est-à-dire l'acidité ou la basicité du milieu, il représente le logarithme décimal de l'inverse de cette concentration.

$$pH = \log (1/H^+)$$

C'est un élément important pour la détermination du caractère agressif ou incrustant, l'échelle du pH varie en fonction de la force ionique :

- pH > 7 milieu basique.
- pH < 7 milieu acide.
- pH = 7 milieu neutre.

Le CI est un milieu **basique**.



**Fig.24: Carte de pH (BELLAOUI ABDELKADER, 2010-2011).**

### c- La minéralisation :

Elle représente la totalité des sels dissous dans l'eau, elle est en relation avec la conductivité.

Elle varie en fonction de la géologie des terrains traversés. L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en  $CO_2$  dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physico-chimiques qui caractérisent l'eau de la roche emmagasinant.

La qualité de l'eau du CI est bonne (minéralisation totale < 1,5 g/l) à très bonne (< 0,5g/l) sur ses zones d'affleurement et à proximité de celle-ci, à l'exception du secteur de bassin d'Ahnet où l'on rencontre des eaux plus salées à proximité des zones d'évaporation.

Encore relativement bonne (<2,5 g/l) à Ghardaïa et El Oued, la nappe se sale assez rapidement vers le centre du bassin.

**d-Conductivité :**

Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes de 1cm la conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau, sa valeur varie en fonction de la température. Alors on peut exprimer la minéralisation d'une eau à partir de la conductivité.

**e- La dureté des eaux : (Fig.25)**

C'est la teneur totale en sel (calcium et magnésium) dissous dans l'eau. Elle est exprimée en degré français (°F).

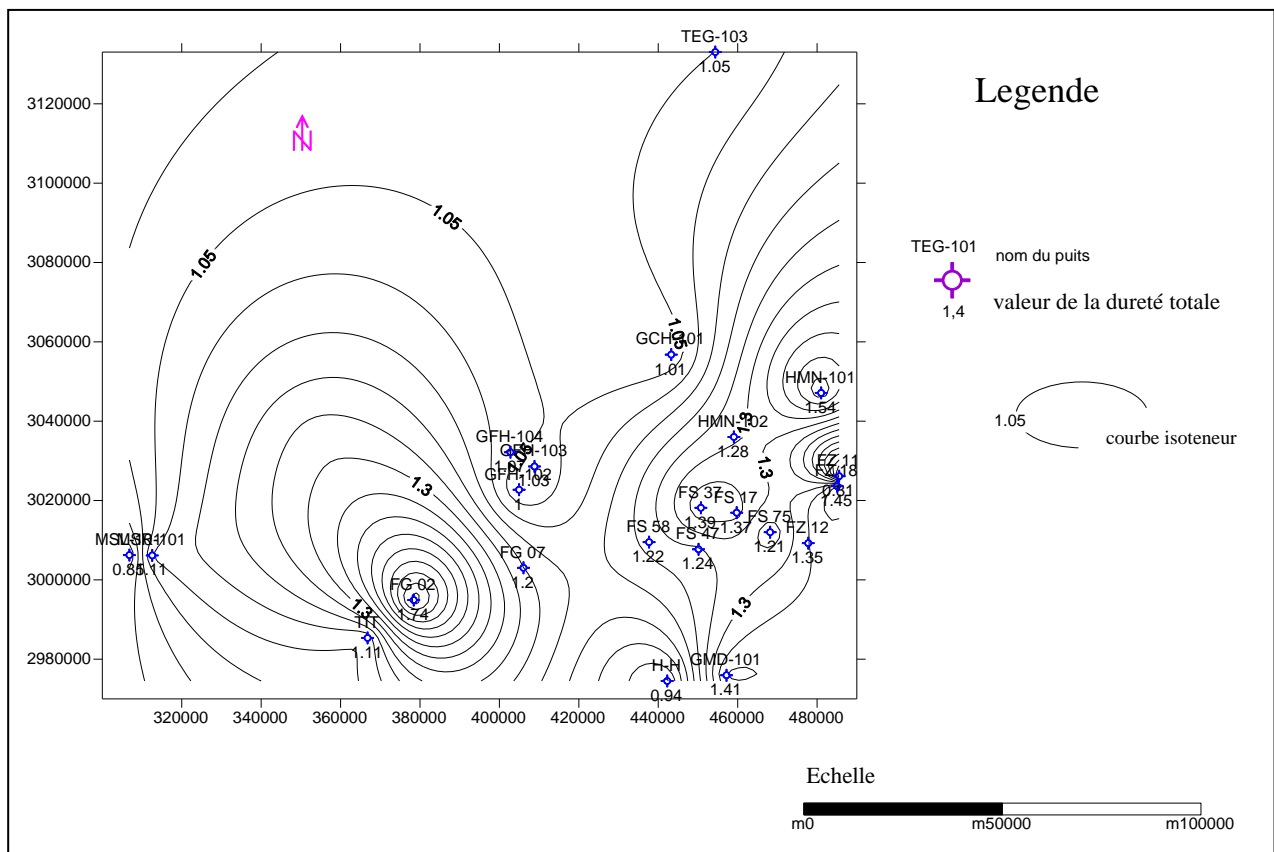
$$- \text{DHT} = \{(rCa + rMg) 5\} \text{ } ^\circ\text{F}$$

Le tableau suivant nous permet de classer les différentes eaux par rapport à la dureté totale.

**Tab-13:Classification des eaux par rapport à la dureté totale.**

D.H.T. °F	0-7	7-22	22-32	32-54	54 <
Dureté totale de l'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	dure	Très dure

La dureté dans le CI de la région d'étude est comprise entre 0-7 °F donc il s'agit bien d'une **eau douce**.



**Fig.25:Carte de la dureté totale (°F) (BELLAUI ABDELKADER, 2010-2011).**

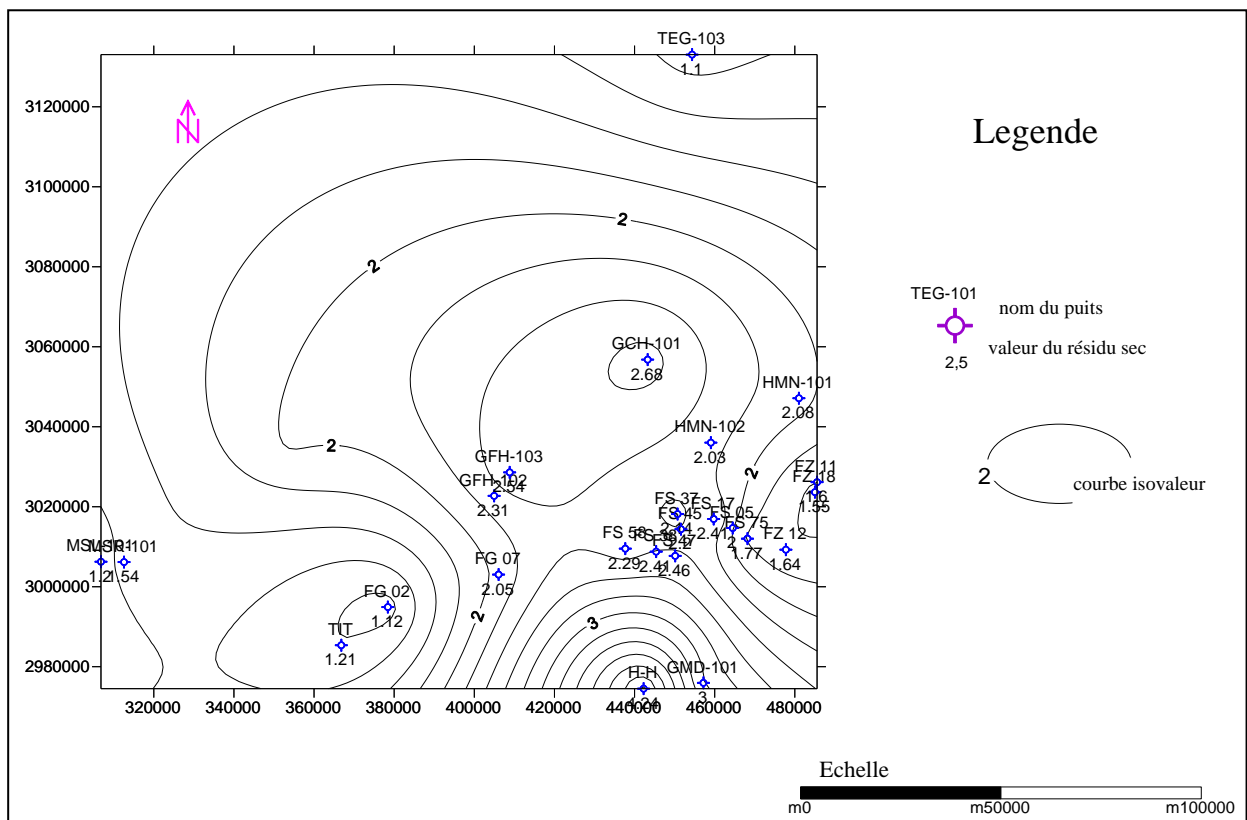


**f-Résidu sec : (Fig.26)**

C'est la totalité des sels dissous dans l'eau en suspension (organiques et minérales), obtenue par pesées (évaporation à 105 °C exprimée en mg/l) et correspond à la minéralisation totale de l'eau.

La norme de potabilité impose le taux de 1 à 5 NTU en terme de minéralisation l'Albien est fortement minéralisé que le Moi-pliocène et les deux doivent être corrigés.

Lors de sa circulation à travers les roches, l'eau subit plusieurs réactions chimiques avec les compositions que contiennent les différents aquifères, et plus le temps de séjour des eaux entre ces roches est long, plus l'eau s'enrichi en sels minéraux.



**Fig.26: Carte du résidu sec(mg/l) (BELLAOUI ABDELKADER, 2010-2011).**

**2.2-Les Paramètres Chimiques :**

La nature des eaux dépend des roches traversées lors de leur circulation dans les formations aquifères et du temps de séjour que leur permet de s'enrichir en sels des minéraux voir Tableau 14 en annexe.

### a- Les Cations :

#### ✓ Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) : (Fig.27)

L'eau s'infiltré à travers les formations néogènes et le Sénonien carbonaté transportant du gaz carbonique, ce qui provoque la dissolution des roches carbonatées suivant l'équation suivante :



Le Calcium peut aussi provenir du lessivage des terrains gypseux ( $\text{CaSO}_4$ ), il peut atteindre la valeur de 685.4mg/l pour le CI (dans la région d'étude).

#### ✓ Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) : (Fig.28)

C'est le résultat de la dissolution des formations du Sénonien carbonaté, par dissolution des dolomies dans le terrain anhydritique ( $\text{MgSO}_4$ ), ou soit par formations dolomitiques libérant le magnésium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique, la valeur de  $\text{Mg}^{+2}$  présent dans le CI (dans la région d'étude) varie entre 17.3 et 492.5 mg/l.

#### ✓ Potassium et Sodium ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ): (Fig.29)

L'eau contient toujours du Sodium, qui provient du lessivage des formations géologiques riches en Na Cl, ou bien de dissolution des formations argileuses et marneuses. Les valeurs de  $\text{Na}^{+1}$  présent dans le CI (région d'étude) varie entre 200 et 500 mg/l.

Contrairement au Potassium qu'on trouve difficilement dans l'eau, sa valeur dans le CI (région d'étude) est entre 24 et 962 mg/l.

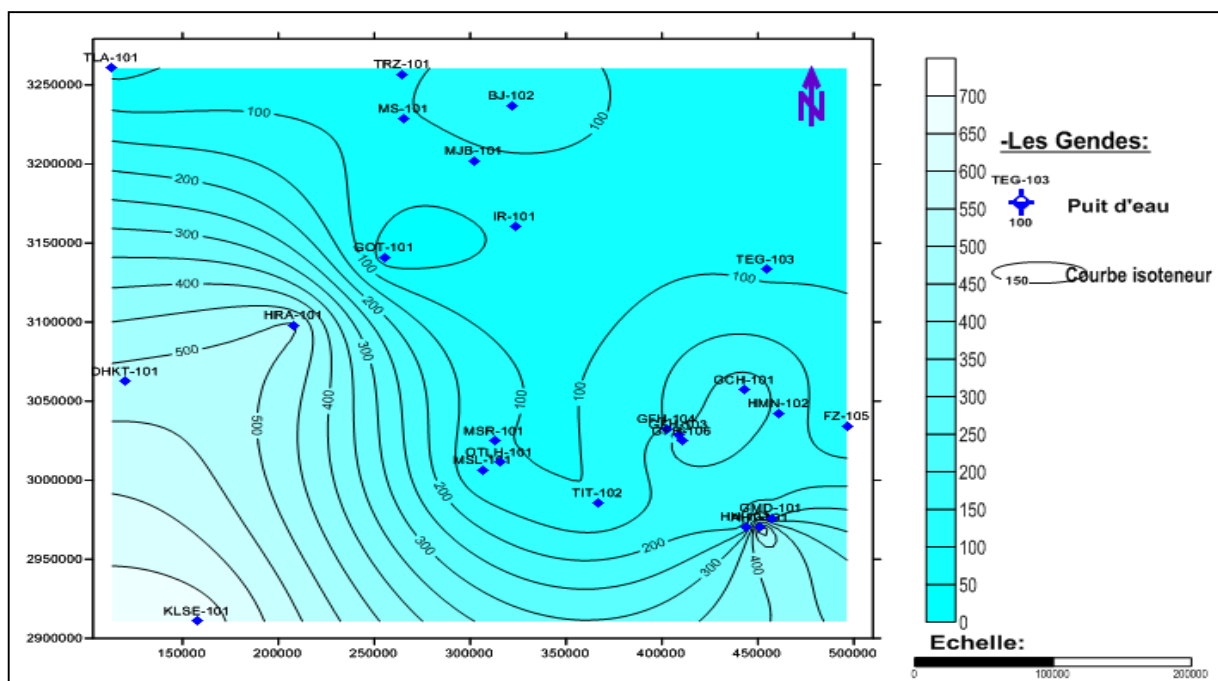


Fig.27: Carte d'iso-teneur en Calcium  $\text{Ca}^{+2}$  (mg/l).

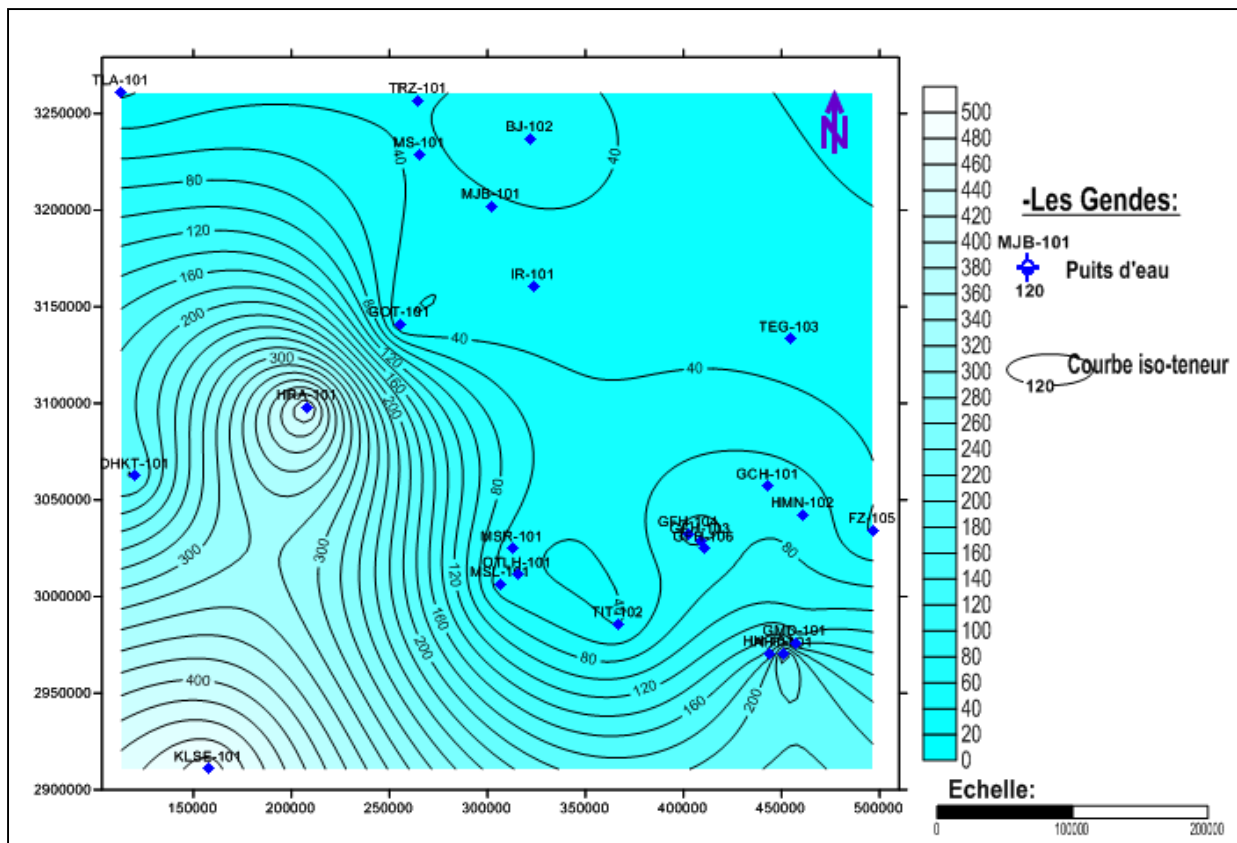


Fig.28: Carte d'iso-teneur en Magnésium  $Mg^{+2}$  (mg/l).

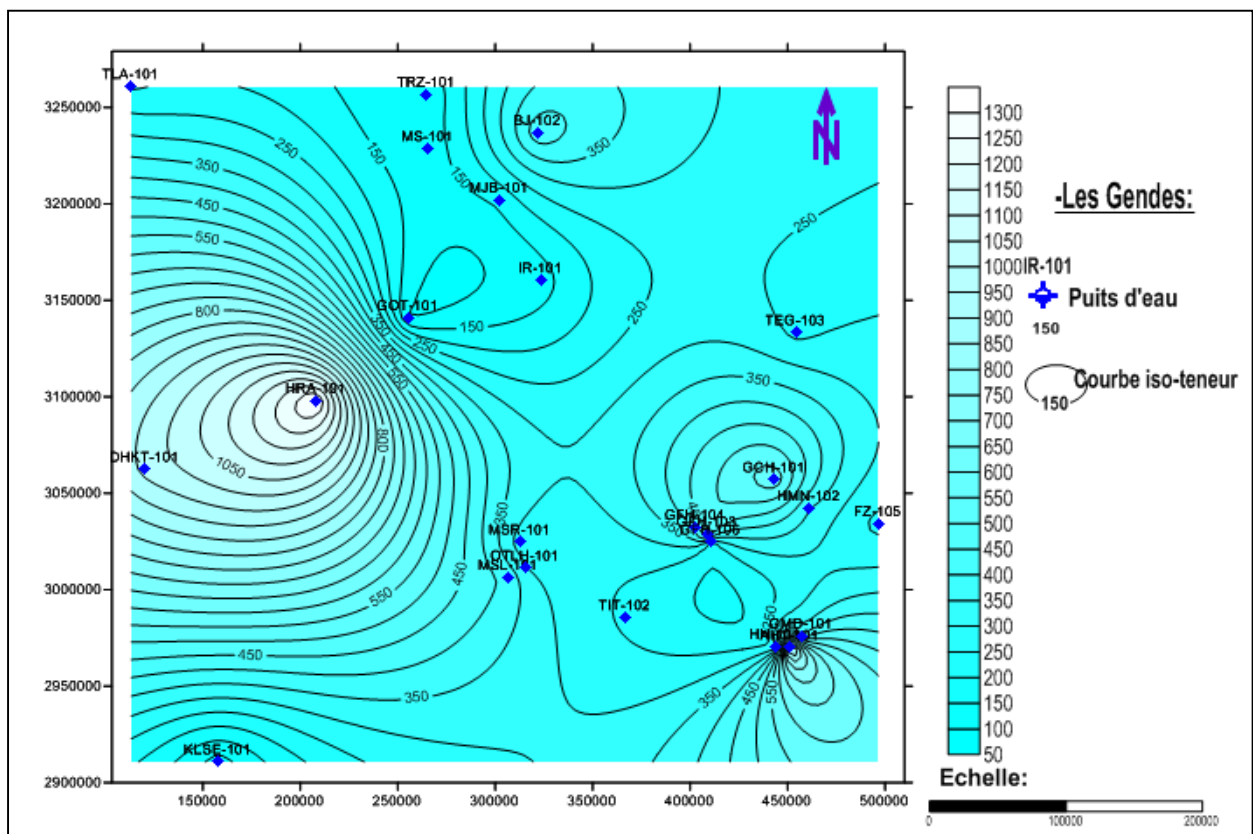


Fig.29: Carte d'iso-teneur en Sodium et Potassium  $Na^{+}+k^{+}$  (mg/l).

## b-Etude des anions :

✓ Chlorure (Cl<sup>-</sup>) : (Fig.30)

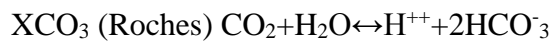
Dans les eaux souterraines on rencontre les chlorures en grande quantité, qui proviennent de la dissolution et de lessivage des terrains salifères, leurs valeurs dans le CI (région d'étude) varient entre 152 et 1241 mg/l.

✓ Sulfates (SO<sub>4</sub>): (Fig.31)

Ils apparaissent dans les eaux naturelles, résultat d'une légère solubilité des sulfates de Calcium (CaSO<sub>4</sub>) des formations gypseuses, ou bien du lessivage des terrains argileux et marneux, la teneur admissible dans l'eau est de 83 mg/l mais dans la région d'étude peut atteindre jusqu'à 2450 mg/l.

✓ Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) : (Fig.32)

Résultat de l'équilibre physico-chimique entre les roches, l'eau et le gaz carbonique selon la réaction suivante :



Proviennent de la dissolution de roches carbonatées dans l'eau, en fonction de la teneur en CO<sub>2</sub>, de la température, du PH et de la nature lithologique des terrains traversés, la valeur maximale peut atteindre 2.30mg/l et peut descendre jusqu'à 191 mg/l.

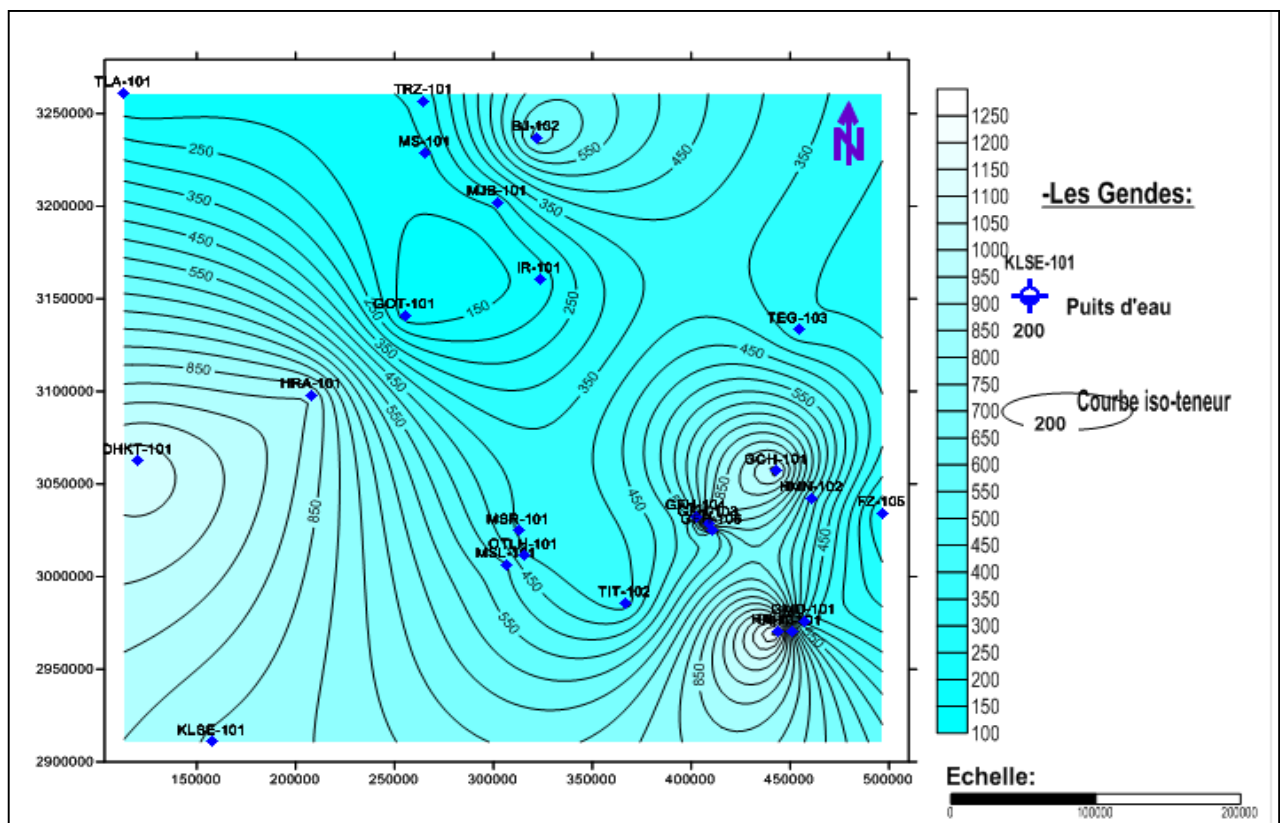


Fig.30: Carte d'iso-teneur en Chlorure Cl<sup>-</sup> (mg/l).



### 3-Etude des valeurs relatives :

#### 3.1-Indice d'échange de base : (Fig.33)

C'est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant, quand il ya échange de ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) contre les alcalino-terreux des argiles, l'i.e.b est défini par la formule suivante :

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

i.e.b.> 0: Cela traduit que l'eau est d'origine sédimentaire.

i.e.b< 0 : Cela traduit que l'eau est d'origine cristalline.

Les valeurs de l'indice d'échange de base sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tab-15: Indice d'échange de base (i.e.b) des eaux de CI dans la région d'étude.**

Puits	i,e,b
HH-101	74,3922366
HMN-102	57,3637591
HRA-101	63,1926213
GOT-101	47,458287
KLSE-101	53,4892965
AHT-101	42,0080849
DHKT-101	56,5409179
TRZ-101	65,4402405
TLA-101	54,619181
BJ-102	74,9833995
MJB-101	63,1160561
MS-101	60,9617059
IR-101	57,7988131
MSR-101	70,2953032
MSL-101	65,8213802
OTLH-101	73,6777233
GMD-101	31,1189701
GFH-103	81,7024077
GFH-104	70,6841622
TEG-103	45,0840246
TIT-102	48,4264942
GFH-106	61,1753401
FZ-105	30,447806
GCH-101	72,9120695

Les échantillons qui ont un i.e.b > 0 dans la région, sont plus riches en Chlorure qu'en Sodium, liée probablement à des terrains riches en fractions d'argile traversés par les eaux souterraines.

Dans notre cas les valeurs de cet indice sont toutes supérieures à 1, ceci dis qu'il s'agit d'une eau riche en Chlorure qu'en Sodium.

Les cations de Sodium sont remplacés par des cations de Calcium ou de Magnésium. Na est capturés par les argiles qui libèrent des Ca et des Mg.



### 3.2-Rapports caractéristiques:

On appelle rapport caractéristique, le rapport des teneurs de certains éléments chimiques, exprimés aussi en milligramme par litre (mg/l).

Les rapports étudiés sont :  $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$ ,  $r \text{SO}_4^{-} / r \text{Cl}^{-}$ ,  $r \text{Na}^{+} / r \text{Cl}^{-}$ .

Ces rapports donnent des indications sur la zone d'alimentation, le contact des eaux avec le milieu solide, ainsi que l'évolution des eaux pendant leur trajet souterrain.

#### a- Rapport ( $r\text{Mg}^{+2}/r\text{Ca}^{+2}$ ) : (Fig.34)

D'après les résultats de ce rapport, on remarque que leurs valeurs sont inférieures à 1 traduisant une prédominance du faciès (Ca) ce qui laisse supposer que les eaux de ces puits ont circulé dans des formations calcaires.

#### b- Rapport ( $r\text{SO}_4^{-2}/r\text{Cl}^{-}$ ) : (Fig.35)

Dans ce cas, nos puits sont partagés en deux parties :

-ce qui ont une valeur de ce rapport qui est inférieure à 1 comme ( TLA-101,DHKT-101,KLSE101,HRA-101,TIT-102,TRZ-101,IR-101,MS-101,BJ-102,MJB-101,GFH-106, , MSL101, MSR101, GFH103, GFH104, HMN102, OTLH-101,GCH-102,GOT-101) donc leurs eaux ont circulé dans des formations carbonatées.

-et ce qui ont une valeur du rapport qui est supérieure à 1 comme (GMD-101,AHT-101,TEG-101,FZ-105,HH-101) leurs eaux ont circulé dans des formations du .

Sénonien carbonaté.

#### c-Rapport ( $r\text{Na}^{+}/r\text{Mg}^{+2}$ ) : (Fig.36)

Les valeurs obtenues pour ce rapport sont supérieures à 1, donc prédominance du Sodium dans les eaux.

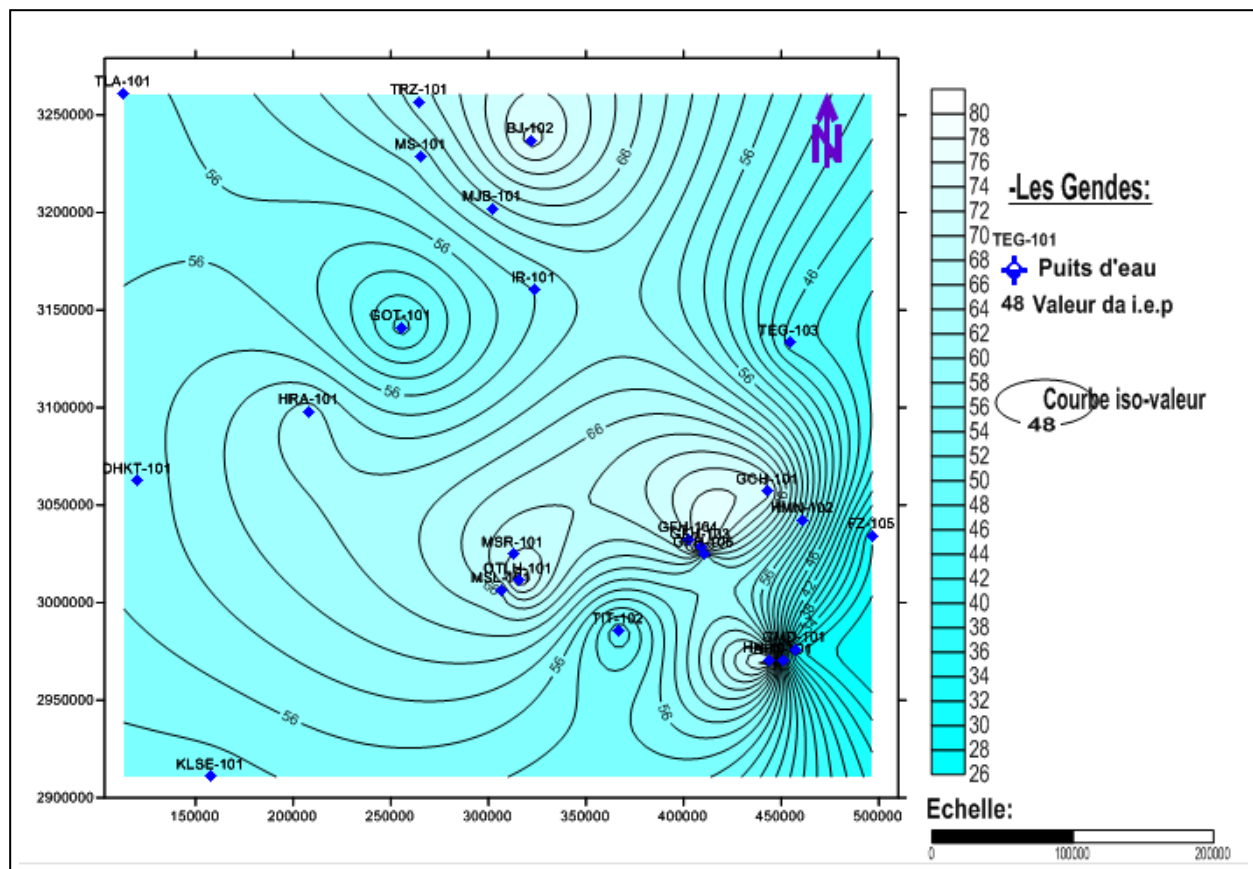


Fig.33: Carte indice d'échange de base i.e.p.

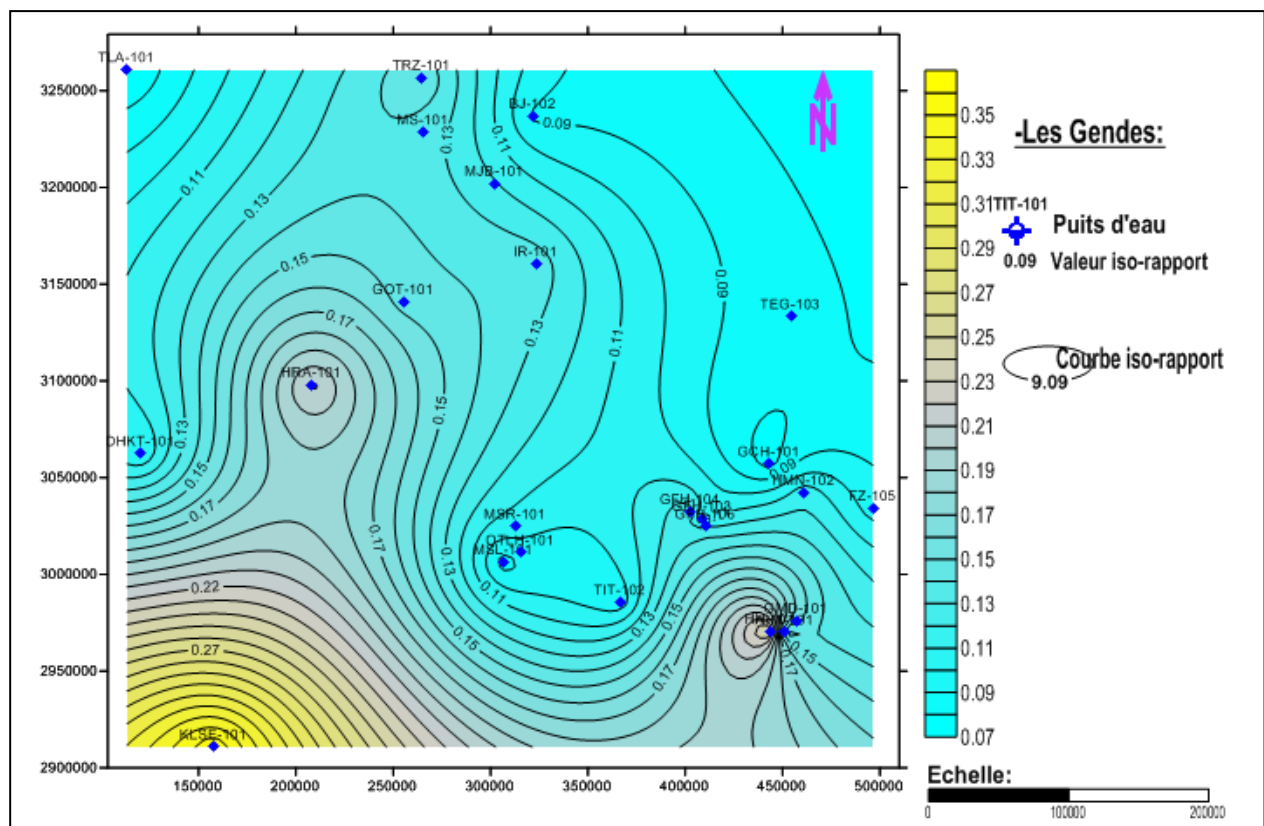


Fig.34: Carte d'iso-valeur de rapport  $r \text{Mg}^{+2} / r \text{Ca}^{+2}$ .

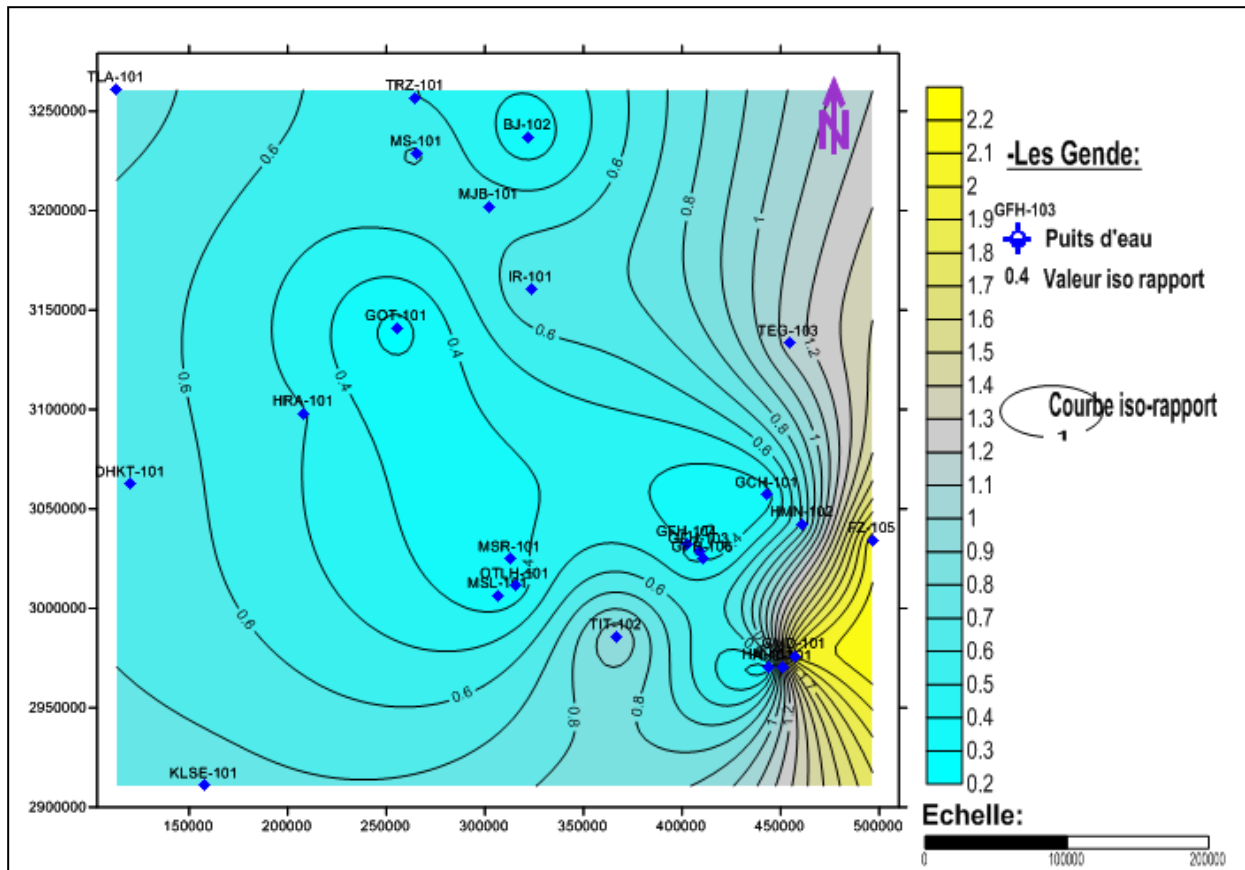


Fig.35: Carte d'iso-valeur de Rapport  $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$ .

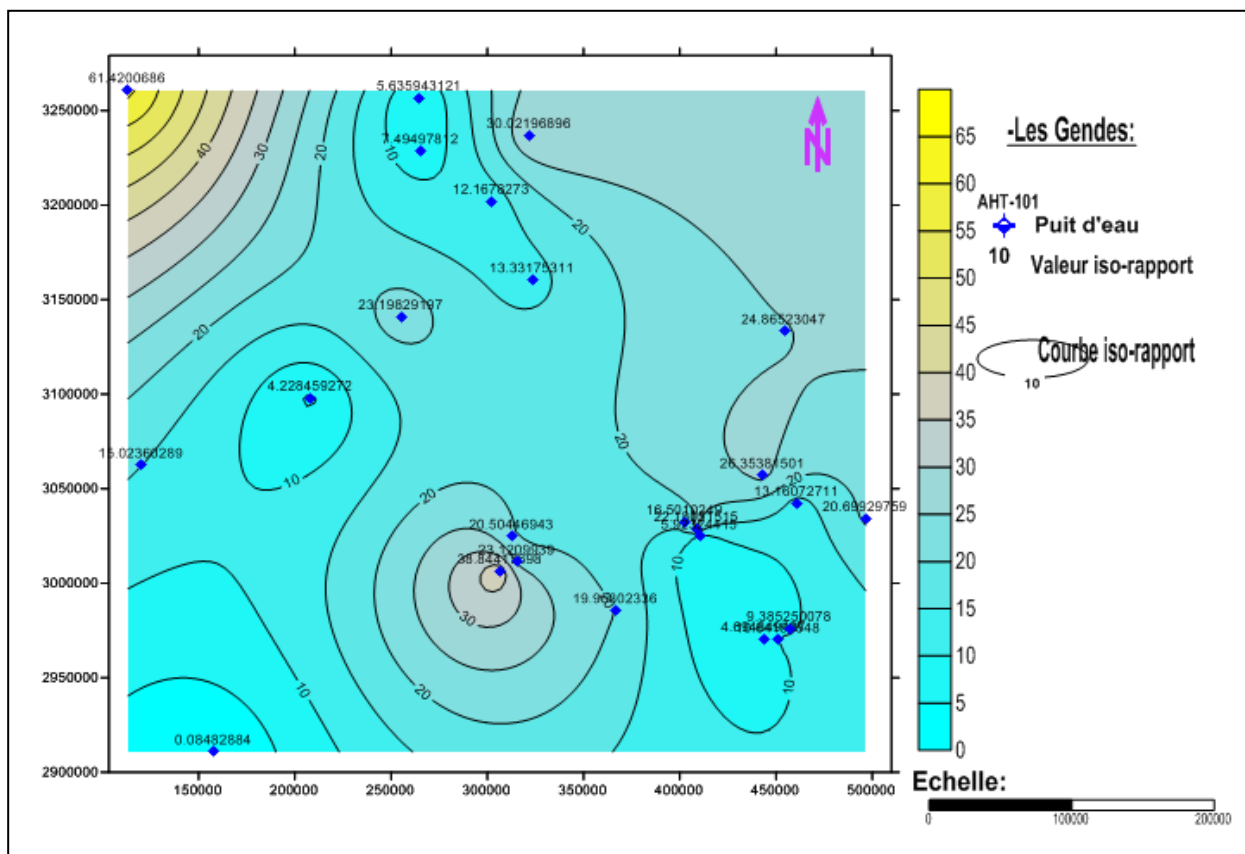


Fig.36: Carte d'iso- valeur de Rapport  $r \text{Na}^+ / r \text{Mg}^{+2}$ .

#### 4- Les paramètres Hydro-Chimiques de la nappe CI:

La minéralisation de l'aquifère est très variable. Elle croît dans des zones d'alimentation vers les exutoires et en profondeur en relation avec les niveaux argileux.

Dans le bassin occidental - zone peu minéralisée- elle est de 0.5g/l à 1g/l et croît vers le Sud où elle peut atteindre 5g/l dans les zones de foggaras. Dans le bassin oriental elle est maximale au centre du bassin (5g/l) et diminue vers la périphérie où elle atteint 1.5 à 2g/l dans le Dahar(Est), le Tinhert (Sud) et Ouargla (Ouest).

#### 5- Classification des eaux :

Plusieurs méthodes de classification des eaux ont été définies et que sont conditionnées par les deux critères suivant :

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

Dans notre étude, on s'intéresse à la méthode qui est basées sur la composition chimique :

- La classification du STABLER.
- La classification de SCHOELLER, BERKALOFF.
- La représentation de diagramme de PIPER.

##### 5.1- La Classification du STABLER: (Tab-16)

Dans cette classification les concentrations exprimé en me/l sont réduites en Réaction pour-cent (r%) par rapport à la concentration total.

Ces corporisations ioniques reposant essentiellement sur l'établissement de la formule caractéristique ou ionique d'une eau, en classant de gouache à droite et par ordre décroissant les quantités' en réaction pour-cent des anions ensuite celles des cations.

Les faciès sera défini par l'anion et le cation prédominant.

Tab-16 : Classification des eaux d'après STABLER.

Nom du puits d'eau	Anions	Cations	Types de faciès
HH-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
HMN-102	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
HRA-101	$r\%Cl^- > r\%HCO_3^- > r\%SO_4^{2-}$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
GOT-101	$r\%Cl^- > r\%HCO_3^- > r\%SO_4^{2-}$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
KLSE-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+} > r\%Na^+ + K^+$	Chloruré Calcique
DHKT-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
TRZ-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Ca^{2+} > r\%Na^+ + K^+ > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Calcique
TLA-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
BJ-102	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
MJB-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
MS-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
IR-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
OTLH-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
MSL-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
MSR-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
GFH-103	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
GFH-104	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique
GFH-106	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Ca^{2+} > r\%Na^+ + K^+ > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Calcique
AHT-101	$r\%SO_4^{2-} > r\%Cl^- > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Sulfaté Sodique
TEG-103	$r\%SO_4^{2-} > r\%Cl^- > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Sulfaté Sodique
GMD-101	$r\%SO_4^{2-} > r\%Cl^- > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Sulfaté Sodique
TIT-102	$r\%SO_4^{2-} > r\%Cl^- > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Mg^{2+} > r\%Ca^{2+}$	Sulfaté Sodique
FZ-105	$r\%SO_4^{2-} > r\%Cl^- > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Sulfaté Sodique
GCH-101	$r\%Cl^- > r\%SO_4^{2-} > r\%HCO_3^-$	$r\%Na^+ + K^+ > r\%Ca^{2+} > r\%Mg^{2+}$	Chloruré Sodique

Le tableau suivant nous donne les différents faciès qui composent notre région.

Tab-17 : Présentation des différents faciès de la région.

Types de faciès	Puits d'eau
Chloruré Sodique 66.67%	HRA-101, GOT-101, TLA-101, BJ-102, MJB-101, MSL-101, MSR-101, MS-101, IR-101, OTLH-101, GFH-103, GFH-104, HH-101, HMN-102, GCH-101, DHKT-101
Sulfaté Sodique 20.83%	AHT-101, TEG-103, GMD-101, TIT-102, FZ-5
Chloruré Calcique 12.5%	GFH-106, KLSE-101, TRZ-101

On peut voir que dans la région d'étude, c'est le faciès Chloruré Sodique qui prédomine, occupant 66.67% des échantillons, suivi par le faciès Sulfaté Sodique avec 20.83%, donc le Sodium ( $Na^+$ ) c'est le cation le plus abondant dans la région.

#### **4.2-Classification de SCHOËLLER-BERKALOF : (Fig.37 et 38)**

Le diagramme semi-logarithmique SCHOËLLER-BERKALOF est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques d'eau, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et permet de déterminer le type de faciès des eaux ainsi que leur évolution et de représenter plusieurs eaux sur un même diagramme, ce qui facilite la comparaison.

Afin d'avoir des diagrammes non encombrés on a départagé nos puits en deux groupes dont les diagrammes sont représentés dans les figures suivantes :



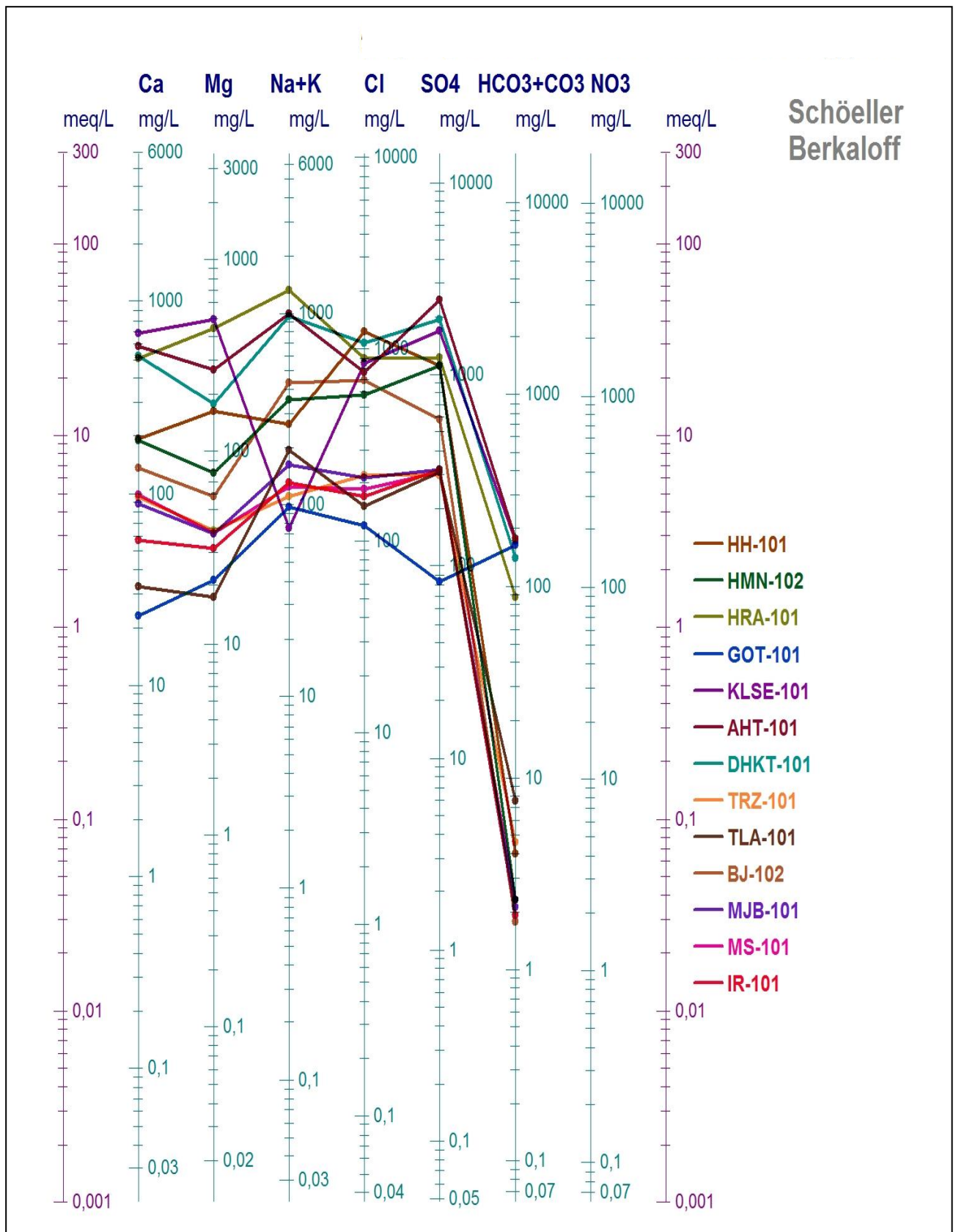


Fig.37 : Diagramme SCHOËLLER-BERKALOF des bassins d’Ahnet-Gourara et Reggane.

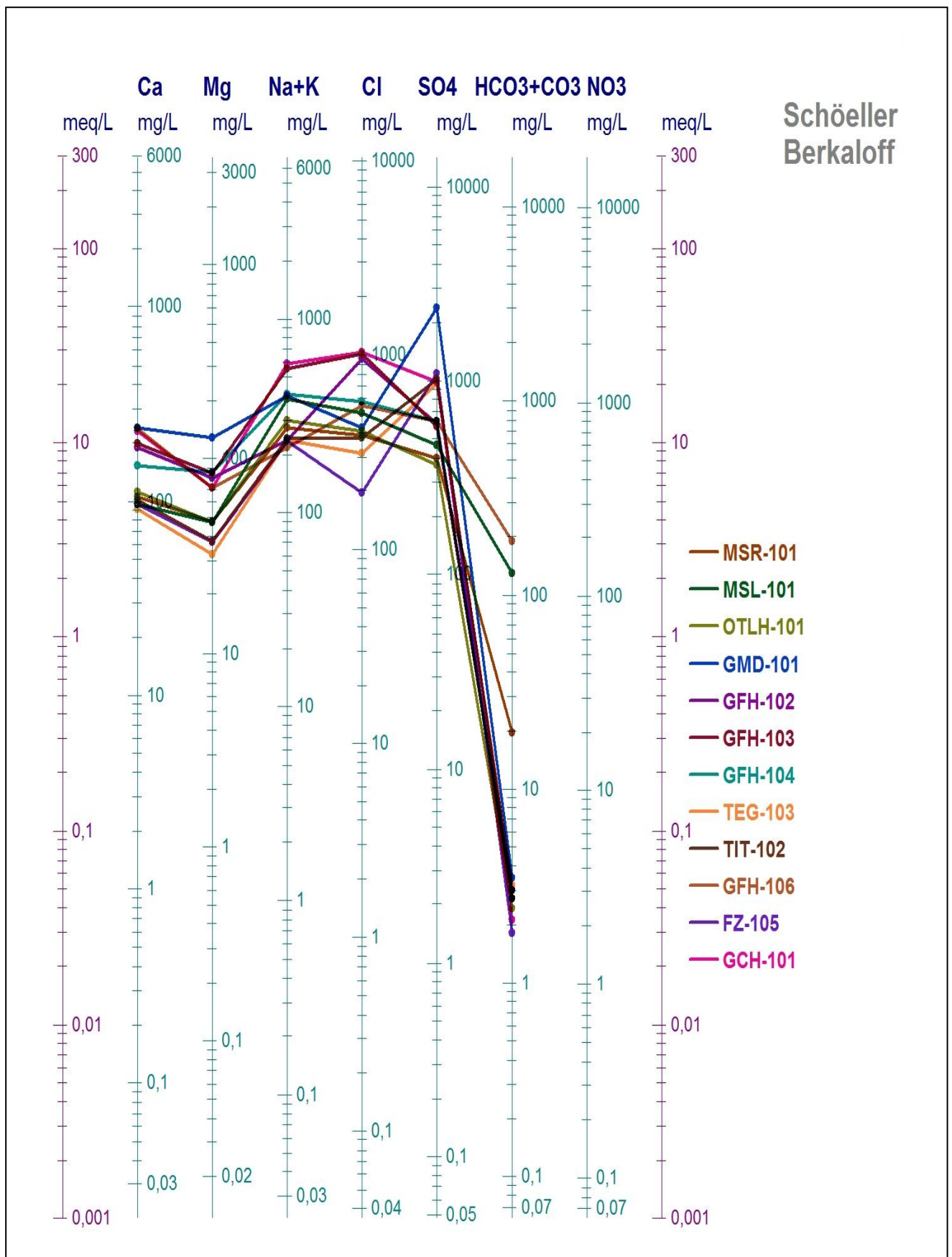


Fig.38 : Diagramme SCHOËLLER-BERKALOF des bassins d’Ahnet-Gourara et Reggane.

5.3-Classification de PIPER : (Fig.39-40)

Le principe de ce diagramme est de représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction en pourcentage (%).

Pour les anions :  $r\% = \frac{rx100}{\sum r_{anions}}$  pour les cations :  $r\% = \frac{rx100}{\sum r_{cations}}$

Afin d'avoir des diagrammes non encombrés on a départagé nos puits en deux groupes dont les diagrammes sont représentés dans les figures suivantes :

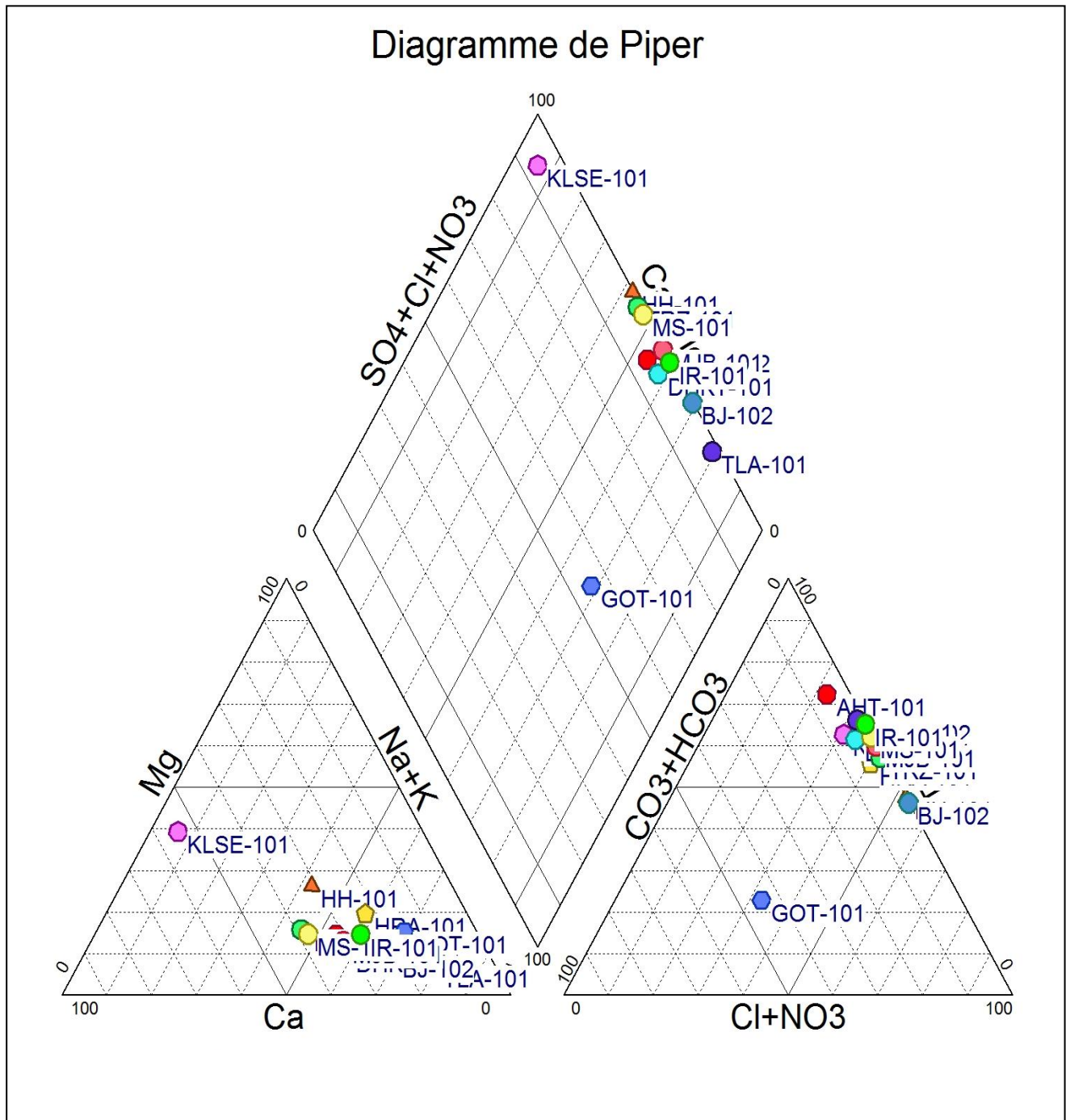
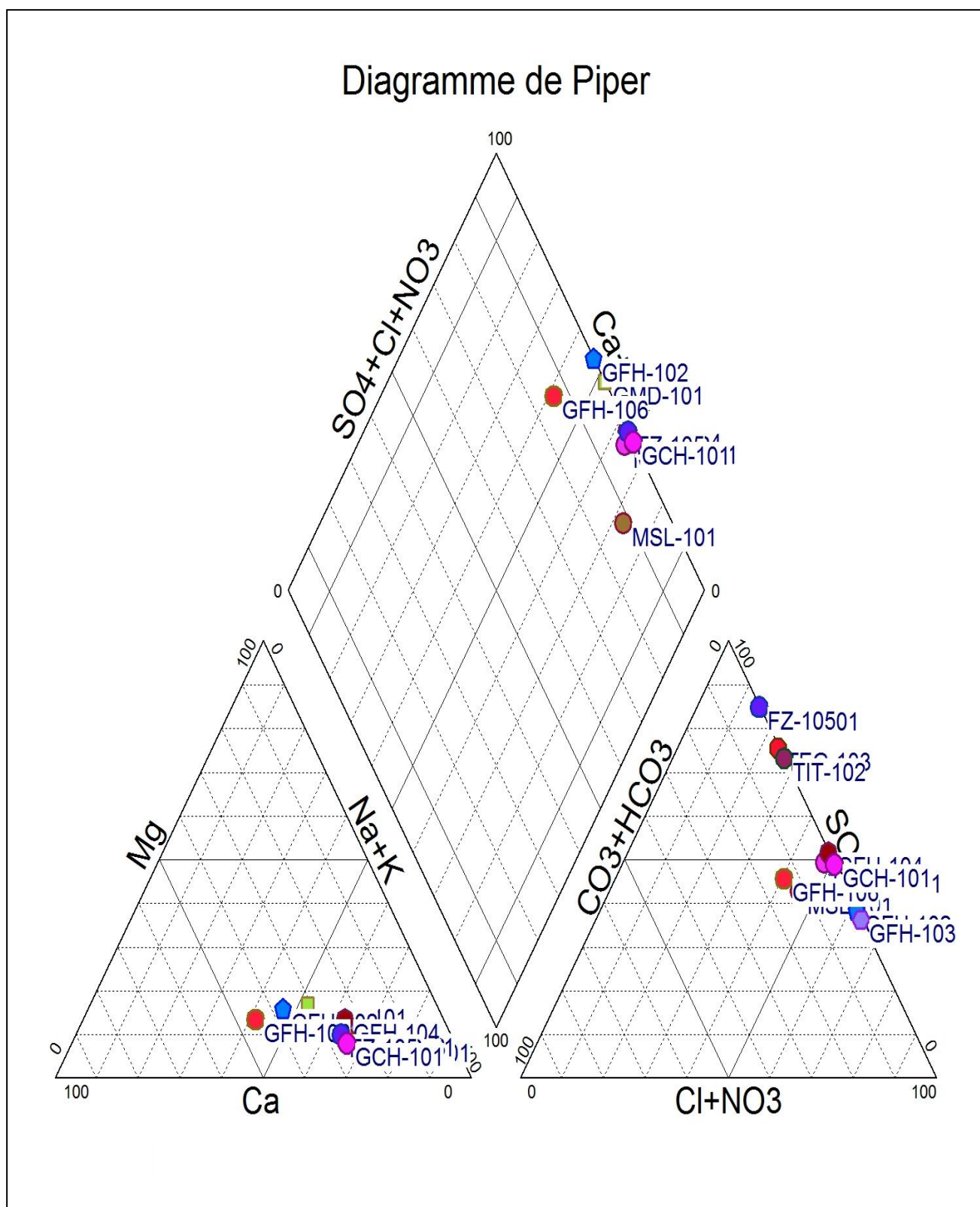


Fig.39 : Diagramme de Piper des bassins d'Ahnet-Gourara et Reggane.



### **6- Potabilités des eaux : (Tab-18)**

Les eaux souterraines ne sont pas chimiquement pures. Elles contiennent souvent une certaine quantité de sels dissous qui leur confèrent une certaine saveur, odeur et couleur nécessaire et acceptable jusqu'à un seuil de potabilité établi selon les normes.

En 1972, l'organisation mondiale de santé (O.M.S.) a établi des normes de potabilités des eaux en fonction de teneurs admissibles des éléments chimiques.

La comparaison des données des analyses chimiques des eaux du secteur d'étude avec celle des normes de l'O.M.S fait ressortir quatre types d'eau de qualité différente :

- Eau bonne qualité.
- Eau de qualité moyenne à bonne
- Eau de qualité moyenne.
- Eau de mauvaise qualité.



Tab-18 : Qualité d'eaux dans les puits.

Éléments chimiques	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)		Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Potabilité Des eaux/qualité
Valeurs Extrême de Nom l'O.M.S de puits	140	150		250	250	
HH-101	193	163		1241	1116	Mauvaise
HMN-102	190	78		574	1108	Moyenne
HRA-101	510	444		896	1229	Moyenne
GOT-101	23	21		120	83	Bonne
KLSE-101	685	493		840	1700	Moyenne
AHT-101	589	267		767	2450	Moyenne
DHKT-101	520	178		1085	1950	Mauvaise
TRZ-101	95	39		220	298	Mauvaise
TLA-101	33	17		152	312	Bonne
BJ-102	136	59		684	586	Moyenne à bonne
MJB-101	89	37		213	321	Boon
MS-101	98	38		188	312	Bonne
IR-101	57	31		170	320	Bonne
MSR-101	105	48		390	396	Moyenne à bonne
MSL-101	97	47		504	471	Moyenne
OTLH-101	111	47		404	370	Moyenne
GMD-101	239	128		425	2367	Moyenne
GFH-103	200	85		1048	587	Mauvaise
GFH-104	153	86		574	614	Moyenne
TEG-103	91	32		312	968	Moyenne
TIT-102	101	38		375	1024	Moyenne
GFH-106	237	70		551	620	Moyenne
FR-105	97	37		195	1101	Mauvaise
GCH-101	230	71		1032	989	mauvaise

### **7-Conclusion :**

Cette étude Hydrochimique nous a permis de donner un aspect sur la qualité chimique de l'eau dans la région d'étude.

Sur le plan hydrochimique, l'analyse et l'interprétation des résultats ont révélé que toutes les eaux de la zone d'étude sont dures.

Les éléments chimiques abondants sont : les chlorures, le sodium, et les sulfates.

La classification des eaux souterraines de la nappe du continental intercalaire de la région d'étude, selon les méthodes STABLER, SCHOELLER, PIPER a montré la prédominance de facies **Chloruré - Sodique**

Les eaux du continental intercalaire sont caractérisées par une conductivité moyenne à faible, par des résidus secs faible oscillant entre 1 et 5 mg/l.

Pour la qualité chimique des eaux la plupart des eaux des notre zone d'étude répondent aux normes de potabilité selon les normes fixées par O.M.S (Organisation Mondiale de la sante).

**CONCLUSION**

# Conclusion

L'intérêt de cette contribution hydrogéologique est bien la reconnaissance des ressources en eaux souterraines dans la région d'Ahnet-Gourara et Reggane.

Au cours de cette étude nous avons mis en évidence les points suivants :

La géologie de la région d'étude est basée sur la description géologique et les informations fournis par les travaux de prospections géophysiques réalisé par SONATRACH et par les forages pétroliers ainsi que les travaux géologie réalisé sur la région mis en évidence l'existence de un structure d'importance hydrogéologique.

Un substratum argileux lequel repose un des formations sableux et sable argileux et de grés, grés argileux du continental intercalaire, sont d'un intérêt hydrogéologique important.

Un climat aride avec deux saisons distinctes, l'une froide en Hiver l'autre chaude et sèche en Été avec des précipitations moyennes mensuelles de l'ordre de 27.5mm, la température moyenne mensuelle est de 24.60 °C, l'ETR ou ETP est de 1256,63mm(Thornthwaite).

A partir des constatations faites sur terrain pendant l'inventaire des points d'eau et l'analysant de la carte piézométrique, on remarque que la nappe du continental intercalaire au niveau de la région d'Ahnet-Gourara et Reggane, caractérisée par un potentiel en eau souterraine très important. Cette dernière est largement exploitée par des forages, puits traditionnelles.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines ainsi que les différentes cartes de distribution spatiale du résidu sec, des chlorures... etc. Montre que ces eaux sont de deux types :

- Une eau moins minéralisé au nord dans le bassin Reggane et nord-est dans le bassin l'Ahnet.
- Une eau plus ou moins chargé dans les périphériques de la sebkha dans le bassin Gourara.

La chimie des eaux se caractérise par une grande variabilité dans l'espace. Elle augmente vers l'exutoire de la nappe du continental intercalaire (sebkha) sous l'influence du substratum argileux de la nappe de continental intercalaire par l'interaction eau/roche, ainsi que les eaux caractérisé par une dureté totale élevé.

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

- Le faciès chloruré sodique.
- Le faciès sulfaté sodique.
- Le faciès chloruré calcique.

Selon les prescriptions de l'O.M.S et les normes internationales, les eaux de la nappe du continental intercalaire sont d'une potabilité moyenne à bonne donc favorables à la consommation humaine.

# Annexe

**Tab-14 : Les analyses chimiques.**

N°	NOM	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
1	HH-101	193.20	162.90	255.20	7.80	4	0	1241	1116.2
2	HMN-102	189.59	77.55	335	15.64	2.30	0	574.40	1107.8
3	HRA-101	509.6	444.5	527.59	78.2	86.6	0	896	1228.7
4	GOT-101	22.88	21.39	89	8.1	163.18	0	119.85	82.9
5	KLSE-101	685.37	492.48	24	52	171.41	0	840.31	1700
6	AHT-101	588.78	267.52	962	42	176.9	0	767.29	2450
7	DHKT-101	519.84	177.78	897	69	138.65	0	1084.63	1950
8	TRZ-101	95.4	38.9	92	19.6	2.2	2.4	219.8	298
9	TLA-101	32.9	17,3	163.2	31.3	3.9	3.6	152.4	312
10	BJ-102	135.87	58.85	414	21	1.77	0	684.32	586
11	MJB-101	88.97	37.19	150.30	11.80	2.10	0	212.71	320.97
12	MS-101	97.80	37.90	114	9.8	2.30	0	187.90	312
13	IR-101	57.30	31.40	119.40	10.20	1.90	0	170.20	320
14	MSR-101	105	47.70	260	15	1,7	18	390.10	396
15	MSL-101	96.60	47,2	365	22,8	129,3	0	503,5	470,8
16	OTLH-101	111.40	46.70	284	16.80	2.40	0	404.30	370
17	GMD-101	238.90	128.40	397.7	3.90	3.50	0	425.40	2367
18	GFH-102	188.40	79.50	181.90	54.70	3	0	962.80	596
19	GFH-103	199.60	85.10	494,3	58.70	2.70	0	1028.30	587
20	GFH-104	152.70	85.60	367	39.10	2.70	0	574.30	614
21	TEG-103	90.60	32.10	218.40	19.60	3.20	0	312	968
22	TIT-102	101.40	37.70	218.40	23.50	3	0	375	1024
23	GFH-106	237.27	70.40	198	21	190.87	0	550.47	620
24	FZ-105	96.99	37.19	219	16.20	1.80	0	195.01	1101
25	GCH-101	230.10	71.20	531	54.70	2.10	0	1031.70	989



# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tab-01</b> : Températures mensuelles en C°.....	04
<b>Tab-02</b> : Insolation mensuelle et journalière en (h).....	05
<b>Tab-03</b> : Précipitations mensuelles moyennes et maximales en (mm).....	05
<b>Tab-04</b> : Précipitations et Températures mensuelles.....	06
<b>Tab-05</b> : Relation Température-Précipitation méthode d'Eu verts.....	07
<b>Tab-06</b> : Classification des climats en fonction de l'imite de DEMARTONE.....	07
<b>Tab-07</b> : Indice d'Aridité de Demartone.....	07
<b>Tab-08</b> : Vitesses moyennes mensuelles des Vents.....	08
<b>Tab-09</b> : Humidité moyenne mensuelle.....	08
<b>Tab-10</b> : Valeurs d'ETP et ETPc par THORNTHWAITE.....	10
<b>Tab-11</b> : Valeurs d'ETP et ETPc par SERRA.....	11
<b>Tab-12</b> : Nomenclature des formations Cambro-Ordovicienne.....	19
<b>Tab-13</b> : Classification des eaux par rapport à la Dureté totale.....	42
<b>Tab-14</b> : Les analyses chimiques.....	annexe
<b>Tab-15</b> : Indice d'échange de base des eaux de CI dans la région d'étude.....	48
<b>Tab-16</b> : Classification des eaux d'après STABLER.....	53
<b>Tab-17</b> : Présentation des différents faciès de la région.....	53
<b>Tab-18</b> : Qualité d'eaux dans les puits.....	60

# LISTE DES FIGURES

Fig.01 : Situation géographique de la région d'étude.....	02
Fig.02 : Variation des Températures mensuelle moyennes.....	04
Fig.03 : Insolation journalière.....	05
Fig.04 : Insolation mensuelle.....	05
Fig.05 : Précipitation mensuelle moyenne.....	06
Fig.06 : Précipitation mensuelle maximale.....	06
Fig.07 : Courbe pluviométrique.....	06
Fig.08 : Vitesse moyenne des Vents (m/s).....	08
Fig.09 : Vitesse moyenne des Vents (km/h).....	08
Fig.10 : Humidité mensuelle (%).....	08
Fig.11 : Les différentes stratigraphies des provinces de la plate forme Saharienne.....	14
Fig.12 : Carte de situation géologique des bassins de la province Occidentale.....	16
Fig.13 : Colonne stratigraphique type-bassin l'Ahnet-Gourara.....	23
Fig.14 : Coupe géologique bassin d'Ahnet.....	24
Fig.15 : Coupe géologique du CI bassin de Reggane.....	24
Fig.16 : Coupe géologique WE du CI traversant du bassin.....	25
Fig.17 : Cadre général du système aquifère post paléozoïque du Sahara.....	28
Fig.18 : La carte de position les puits dans la région d'étude.....	31
Fig.19 : La coupe Hydrogéologie NS.....	32
Fig.20 : Carte piézométrique de la région d'étude.....	34
Fig.21 : Carte iso-épaisseur de la région d'étude.....	35
Fig.22 : Carte isobathe de substratum du CI.....	35
Fig.23 : Carte de profondeur de CI.....	36
Fig.24 : Carte de PH.....	41
Fig.25 : Carte de la dureté totale (°F).....	42
Fig.26 : Carte du résidu sec.....	43
Fig.27 : Carte d'iso-Teneur en Calcium (mg/l).....	44
Fig.28 : Carte d'iso-Teneur en Magnésium (mg/l).....	45
Fig.29 : Carte d'iso-Teneur en Sodium et Potassium (mg/l).....	45
Fig.30 : Carte d'iso-Teneur en Chlorure (mg/l).....	46
Fig.31 : Carte d'iso-Teneur en Sulfates (mg/l).....	47
Fig.32 : Carte d'iso-Teneur en Bicarbonates (mg/l).....	50
Fig.33 : Carte indice d'échange de base.....	50
Fig.34 : Carte d'iso-Valeur de rapport ( $rMg^{+2}/rCa^{+2}$ ).....	51
Fig.35 : Carte d'iso-Valeur de rapport ( $rSo_4^{-2}/rCl$ ).....	51
Fig.36 : Carte d'iso-Valeur de rapport ( $rNa^{+}/rMg^{+2}$ ).....	51
Fig.37 : Diagramme Schoeller Berkaloff bassin d'Ahnet-Gourara et Reggane.....	55
Fig.38 : Diagramme Schoeller Berkaloff bassin d'Ahnet-Gourara et Reggane.....	56
Fig.39 : Diagramme Piper bassin d'Ahnet-Gourara et Reggane.....	57
Fig.40 : Diagramme Piper bassin d'Ahnet-Gourara et Reggane. ....	58

# BIBLIOGRAPHIE

## **Ouvrage :**

- 1-Les fiches techniques des puits d'eaux (1956-2013).**
- 2- Les logs habillés des puits.**
- 3-Les rapports d'implantations des puits.**
- 4-Les rapports des analyses fluides des puits (analyse chimique).**
- 5- Hydrogéologie principes et méthodes (GILBERT CASTANY).**
- 6-Rapports Etude le réservoir CI dans le Sahara Septentrionale (Sonatrach).**
- 7-Géologie du Sahara occidental et central (Jean Fabre).**
- 8- Well Evaluation Conference Algérie 2008 (Sonatrach et Schlumberger).**

## **Mémoires des fins d'étude :**

- Mémoire fin d'étude : Contribution à l'étude Hydrogéologique de la région Timimoune (wilaya d'Adrar) (CHEIKH BOUBEKEUR ABDELMAJID, 2008-2009).**
- Mémoire fin d'étude : Etude hydrogéologique à l'aquifère CI dans la région In-Salah (BELLAOUI ABDELKADER, 2010-2011).**

## **Sources des données :**

- SONATRCH: Exploration in Hassi Mesaoud / division exploration.**

## *Etude et synthèse Hydrogéologique de l'aquifère Continental Intercalaire dans les bassins Ahnet-Gourara et Reggane*

**Résumé :** Les ressources en eaux souterraines dans le Sahara Occidental sont représentées par deux grands systèmes aquifères superposés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Les eaux issues de ces nappes aquifères posent de sérieux problèmes de qualité physico-chimique, elles sont fortement minéralisées et très dures. Le présent travail a pour objectif de décrire l'étude et synthèse hydrogéologique des eaux de la nappe des sables gréseux (Albien) du Continental Intercalaire dans la région d'Ahnet-Gourara et Reggane de l'amont vers l'aval (du Sud au Nord), par la recherche de la relation entre les limites et la composition chimique des eaux et la nature lithologique des formations aquifères traversées. Etudié quelque coupe géologique et hydrogéologique et les cartes piézométriques sur les puits dans la région d'étude en outre à quelque analyse chimique des eaux. Les résultats le niveau d'un bassin de la retenue varie à l'autre et dans certains composés et tout cela à la plusieurs failles. Obtenus montrent que le chimisme est gouverné essentiellement par la dissolution des formations évaporitiques qui confère aux eaux une minéralisation excessive, de fortes concentrations en chlorures en sodium, et sulfates qui évoluent le long du sens présumé d'écoulement des eaux.

**Mots clés :** Synthèse Hydrogéologie, Aquifère Continental Intercalaire, Bassins Ahnet-Gourara et Reggane, la coupe géologie.

*الدراسة الهيدروجيولوجية للخزان المتداخل القاري وتحليله في كل من الأحواض لحناث-قورارة ورقان*  
**ملخص:** تتمثل مخزونات المياه الجوفية على مستوى الصحراء الشمالية في نظامين طبقيين متراكبين: المتداخل القاري والمركب النهائي. تعرف مياه هاذين النظامين برداءة نوعيتها الكيميائية والتي تتميز بتركيز معدنية عالية وقساوة كبيرة. يهدف هذا العمل إلى دراسة والتحليل الهيدروجيولوجي للخزان المتداخل القاري في الأحواض الثلاثة بداية من المنطلق ووصولاً إلى المصب (من الجنوب باتجاه الشمال)، وذلك بالبحث عن العلاقة الموجودة بين حدود الخزان والتركيب الكيميائية للمياه والطبيعة الليتولوجية للصخور التي تحتويها. ولقد قمت بدراسة بعض المقاطع الجيولوجية والهيدروجيولوجية بالإضافة إلى خرائط وتحليل كيميائية لمياه بعض الآبار. النتائج المحصل عليها تبين بأن حدود الخزان تتغير من حوض إلى آخر بالإضافة إلى التغير في بعض مركباته وهذا كله راجع إلى كثرة الحوادث (الانكسارات والتشققات) الموجودة في هذه المنطقة. ذوبان المعادن التبخرية هو المتحكم الرئيسي في التركيب الكيميائية للمياه من خلال منحها تراكيب عالية تتجلى من خلال التركيز العالي للكور والصوديوم، والسلفات التي تتزايد على طول خط اتجاه جريان المياه.

*الكلمات الدالة: التحليل الهيدروجيولوجي، الخزان المتداخل القاري، حوض لحناث-قورارة ورقان، المقطع الجيولوجي.*

### *Hydrogeological study and synthesis of the Continental Intercalary aquifer basins in Ahnet-Gourara and Reggane*

**Abstract:** The groundwater resources in Western Sahara are represented by two large bunk aquifer systems: the Continental Intercalary ( CI ) and the Terminal Complex (CT) . The water from these aquifers pose serious problems of physico- chemical quality, they are highly mineralized and very hard. Describe the hydrogeological study and synthesis of water the water sandstone sands (Albian) Intercalary Continental in Ahnet - Gourara and Reggane region upstream to downstream ( south to the present work aims to north), the research of the relationship between the limits and the water chemistry and lithology of aquifers through. Studied some geological and hydrogeological cutting and piezometric maps of the wells in the study area in addition to some chemical water analysis . The results of the level of the reservoir basin to another and varies in some compounds and all the several flaws. Obtained show that the chemistry is governed mainly by the dissolution of evaporite formations which gives excessive water mineralization, high concentrations of sodium chlorides, sulfates and evolving along the assumed direction of flow of water.

**Keywords:** Synthesis Hydrogeology, Aquifer Intercalary Continental, Basins Ahnet-Gourara and Reggane, geology section.