

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



**MEMOIRE DE MASTER**

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème:

**Contribution à l'étude hydrogéologique du Bassin de l'Ahnet  
(In Salah, Algérie)**

Présenté par

**GUELLA Razane Fadia**

**GUITOUN Aouatif**

Devant le jury composé de :

Mr KHOULI.M.R	M.C.B, U. de Blida	Président
Mr OULARBI.A	M.C.B, U. de Blida	Examineur
Mr MESSAOUD-NACER.N	M.C.A, U. de Blida	Encadreur

Promotion 2019/2020

## **REMERCIEMENT :**

*Avant tout propos, au terme de ce travail nous tenons à exprimer nos vifs gratitudee et remerciements à toutes les personnes qui ont permis de mener à bien ce travail particulièrement :*

*A monsieur Nasreddine MESSAOUD-NACER pour son encadrement, ses orientations, sa présence malgré la pandémie qui nous ont été infiniment utiles ainsi que sa patience, motivation et soutien tout au long du mémoire.*

*Nous adressons également notre respect aux membres de jury qui nous ont honoré d'accepter d'évaluer notre travail.*

*A monsieur Djilali BENSSAFIA pour tous ces sacrifices et efforts pour rendre le département de SEE un espace d'enseignement supérieur avec excellence.*

*A madame Souad BOUZOUIDJA en sa qualité de chef de département.*

*Nous remercions les membres du DRE Blida pour leur accueil spécialement monsieur Mohamed CHAOUATI.*

*Nous remercions également messieurs les ingénieurs Hichem AIT HAMMOUDI et Brahim NAIT MEZIANE d'avoir consacré un peu de leurs temps pour nous fournir les informations utiles à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à l'effectif de département de science de l'eau et de l'environnement pour leurs efforts pour nous assurer la meilleure formation tout au long de notre parcours universitaire et pour nous avoir transmis leur savoir-faire.*

*Enfin nous remercions nos parents, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

## **DEDICACE :**

*Nous dédions cet humble travail aux seules personnes qui ont pu se battre pour leurs idées et leurs ambitions, à nous même, Aouatif et Razane.*

*Nous dédions ce travail à nos parents qui ont toujours été présents pour nous et nous ont donné de la force pour toujours avancer...*

*A ceux qui ont toujours été là pour nous depuis le premier jour, ceux qui ne nous ont jamais laissé tomber, nos sœurs, frères, beaux-frères, nièces et neveux ...*

*A nos tasses de café qui n'ont jamais su être vides ...*

*A nos amis pour leur encouragement, motivation et présence ...*

*A la team Panda (Khaoula, Khadoudj, Angham, Khadra ...)*

*A nos camarades de la promotion 2019-2020*

*Nous dédions ce travail également à tous ceux qui ont essayé de nous casser et décourager, ceux qui souhaitaient notre échec, car ceux sont devenus notre source de réussite !*

## ملخص

التنمية الاقتصادية والاجتماعية لمنطقة عين صالح أدت إلى زيادة في استهلاك المياه الجوفية في حوض أحنث. يبلغ سمك طبقة المياه الجوفية العابرة للقارات حوالي 500 متر وتتكون من الحجر الكلسي الدولوميتي والحجر الرملي والطين. إنه يتركز على صخر أساسي غير منفذ (كربوني) ، يتكون من الطين والأحجار الرملية الطينية. محليًا، يكون منسوب المياه الجوفية خاليًا مع مستويات ثابتة في بعض الأحيان قريبة جدًا من السطح وصولاً إلى أعماق أقل من 200 متر. المناخ جاف ، ويبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي 12.42 ملم، مع درجة حرارة تتراوح بين 27 درجة مئوية و 28 درجة مئوية، والرطوبة أقل من 50٪. التبخر المحتمل مهم جدا 1470 ملم، بينما التبخر الفعلي 13 ملم. يُظهر التحليل الفيزيائي والكيميائي للمياه أن أصل العناصر الكيميائية ناتج عن الترسبات البخارية (الكبريتات) والملحية (الكلوريدات) ، ومن ثم تكون سوائل كلوريد الصوديوم السائدة وكبريتات الصوديوم وكبريتات الكالسيوم ذات الأهمية الأقل.

الكلمات المفتاحية: عين صالح، أحنث، العابرة للقارات، المناخ، التحليل الفيزيائي والكيميائي للمياه.

## Résumé :

Le développement socio-économique de la région d'In Salah implique une augmentation de la consommation des eaux souterraines dans le bassin de l'Ahnet.

D'une épaisseur de 500 m environ, l'aquifère du continental intercalaire est constitué de calcaires dolomitiques, de grès sableux et d'argiles. Il repose sur un substratum imperméable d'âge Viséen (Carbonifère) constitué d'argiles et de grès fins argileux.

Localement, la nappe est libre avec parfois des niveaux statiques très proches de la surface jusqu'à des profondeurs de moins 200 m.

Le climat est de type hyper aride et sec, la moyenne annuelle des précipitations est de 12.42 mm avec une température qui varie entre 27°C et 28°C, l'humidité est inférieure à 50 %. L'évaporation potentielle est très importante, 1470 mm, alors que l'évaporation réelle est de 13 mm

L'analyse physico-chimique des eaux montre que l'origine des éléments chimiques est due à des dépôts évaporitiques (sulfates) et salins (chlorures) d'où le faciès chloruré Sodique, dominant et les faciès sulfaté sodique et sulfaté calcique de moindre importance.

Mots clefs : In Salah, Ahnet, continental intercalaire, climatologie, physico-chimie des eaux.

**Abstract:**

The socio-economic development of In Salah region involves an increase in the consumption of groundwater in the Ahnet basin.

About 500 m thick, the CI aquifer is made up of dolomite limestone, sandy sandstone and clays. It rests on an impermeable Visean (Carboniferous) age substratum made up of clays and fine clayey sandstones.

Locally, the water table is free with sometimes static levels very close to the surface down to depths of less than 200 m.

The climate is hyper arid and dry, the average annual rainfall is 12.42 mm with a temperature that varies between 27°C and 28°C, humidity is less than 50%. The potential evaporation is very large, 1470 mm, while the actual evaporation is 13 mm.

The physico-chemical analysis of the water shows that the origin of the chemical elements is due to evaporitic (sulphates) and saline (chlorides) deposits, hence the sodium chloride facies, dominant and the sodium sulphate and calcium sulphate facies of less importance.

**Key words:** In Salah, Ahnet, continental intercalaire, climatology, physico-chemical analysis of water.

## SOMMAIRE

Liste d'abréviations :

Liste des figures :

Liste des tableaux :

<b>INTRODUCTION GENERALE :</b> .....	1
<b>CHAPITRE I: CADRE GENERAL</b> .....	4
I-1. Situation géographique : .....	5
I-2. Situation géomorphologique :.....	7
I-2.1 Les oueds :.....	7
I-2.2 Les hammadas : .....	7
I-2.3 Les Ergs :.....	7
I -3. Situation socio-économique :.....	7
I-4. L'importance stratégique des ressources en eau :.....	8
<b>CHAPITRE II: APERÇU GEOLOGIQUE</b> .....	10
Introduction :.....	11
II-1. Situation géologique générale de la plateforme saharienne :.....	11
II-1.1 Bassin de Tindouf – Reggane : .....	11
II-1. 2 Bassin de Bechar :.....	11
II-1. 3 Bassin de l'Ahnet-Timimoun :.....	11
II-1.4 Bassins de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya : .....	11
II-1.5 La Synéclyse d'Illizi-Ghadames : .....	11
II-2. Situation géologique régionale de la zone d'étude :.....	13
II-3. Situation structurale régionale :.....	15
II-3.1 Ahnet oriental :.....	15
II-3.2 Ahnet central : .....	16
II-3.3 Ahnet occidental :.....	16
II-4. Litho stratigraphie de la zone d'étude :.....	17
II-4.1 Le substratum :.....	17
II-4.1.1 Le socle :.....	17
II-4.1.2 La série intermédiaire ou la série pourprée de l'Ahnet : .....	17

II-4.2 La couverture paléozoïque :	17
II-4.2.1 Le Cambro-Ordovicien :	18
II-4.2.2 Le Cambrien (unité II) :	18
II-4.2.3 L'Ordovicien :	18
II-4.2.4 Le Silurien :	18
II-4.2.5 Le Dévonien :	19
II-4.2.6 Le Carbonifère :	19
II-4.3 Le Mésozoïque :	20
II-4.3.1 Le Crétacé :	20
II-5. Les coupes géologiques Nord-Sud Et Ouest-Est :	22
Conclusion :	23
<b>CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE.</b>	24
Introduction :	25
III-1. La température:	25
III-1.1 Variations des températures moyennes annuelles :	25
III-1.2 Variations des températures moyennes mensuelles :	27
III-2. Les précipitations :	28
III-2.1 Variations annuelles des précipitations :	28
III-2.2 Variations des moyennes mensuelles des précipitations :	30
III-2.3 Diagramme Pluvio-Thermique De GAUSSEN :	31
III-3. Le vent:	31
III-4. L'humidité:	32
III-5. Indice climatique :	33
III-5.1 Indice D'aridité de DEMARTONNE :	33
III-6. L'évapotranspiration :	34
III-6.1 Estimation De L'ETP (L'évapotranspiration potentielle) :	35
III-6.2 Estimation de l'ETR (l'évapotranspiration réelle) :	36
III-6.2.1 ETR selon la Formule de TURC :	36
III-6.2.2 ETR selon la formule de COUTAGNE :	36
III-6.3 Tableau récapitulatif :	37
Conclusion :	38
<b>CHAPITRE IV : LES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN DE L'AHNET</b>	39
Introduction :	40

IV.1. Synthèse des ressources en eau du Sahara Algérien :.....	40
IV.1. 1 L'aquifère du Complexe Terminal: .....	43
IV.1.2. L'aquifère de Continent Intercalaire :.....	44
IV.2. Aperçu hydrogéologique du bassin de l'Ahnet : .....	45
IV.3. Les Potentialités en eau de la région et leurs utilisations : .....	46
IV.3. 1 L'alimentation en eau de la population :.....	47
IV.3.1.1. Localement :.....	47
a. Les forages :.....	47
b. Foggara :.....	49
IV.3.1.2. Le transfert des eaux Ain Salah-Tamanrasset :.....	50
IV.3.2. L'utilisation de l'eau dans l'industrie pétrolière :.....	52
Conclusion : .....	53
<b>CHAPITRE V : ETUDE HYDROCHIMIQUE DES EAUX DU CONTINENTAL</b>	
<b>INTERCALAIRE DU BASSIN DE L'AHNET DANS LA REGION D'IN SALAH.....</b>	<b>54</b>
Introduction : .....	55
V.1 Etude des paramètres physico-chimiques :.....	56
V.1.1 Les paramètres Physiques : .....	56
V.1.1.1 Température :.....	58
V.1.1.2 Le potentiel d'hydrogène (PH) :.....	58
V.1.1.3 Conductivité : .....	58
V.1.1.4 Résidu sec :.....	58
V.1.1.5 La dureté (TH) :.....	58
V.1.2 Les paramètres chimiques : .....	59
V.1.2.1 Les Cations : .....	59
V.1.2.2 Les anions : (tableau V.4).....	60
V.2 Etude des valeurs relatives :.....	62
V.2.1 Balance ionique :.....	62
V.2.2 Indice d'échange de base : .....	63
V.2.3 Les relations chimiques :.....	65
V.2.3.1 Le couple $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ : .....	65
V.2.3.2 Le couple $\text{Ca}^{2+} / \text{So}_4^{2-}$ :.....	66
V.2.3.3 Le couple $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ : .....	67
V.2.4 Rapports caractéristiques : .....	67
V.2.4 .1 Rapport ( $r\text{Mg}^{2+} / r\text{Ca}^{2+}$ ) : .....	68



V.2.4.2 Rapport ( $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$ ) : .....	68
V.2.4.3 Rapport ( $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ ) : .....	68
V.3 Classification des eaux : .....	69
V.3.1 La classification du STABLER : .....	70
V.3.2 La classification de diagramme de PIPER : .....	73
V.3.3 La classification de SCHOELLER BERKALOFF : .....	74
V.4 Potabilité chimique des eaux : .....	77
V.4.1 Les normes de potabilité : .....	77
V.4.2 classification des eaux selon la dureté : .....	79
V.5 Aptitude des eaux à l'irrigation : .....	79
V.5.1 Sodium Adsorption Ratio (S.A.R): .....	79
V.5.2Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) : .....	81
Conclusion : .....	83
<b>CONCLUSION GENERALE</b> : .....	84
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	87

## **Liste d'abréviations :**

**ABHS:** Agence du bassin hydrographique Sahara.

**AEP:** Alimentation en eau potable.

**ANRH:** Agence national des ressources hydrauliques.

**CI:** Continental intercalaire.

**CREPS:** Compagnie de recherches et d'exploitation pétrolières au Sahara.

**CT:** Complexe terminal.

**ETP:** Evapotranspiration potentielle.

**ETR:** Evapotranspiration réelle.

**NNE:** North north east (nord nord est).

**SASS:** Système aquifère du Sahara septentrional.

**SSW:** South south west (sud sud ouest).

**WE:** West east (ouest-est).

## Liste des figures :

### Chapitre I :

FIGURE I. 1: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE .....	5
FIGURE I. 2: REPARTITION DES BASSINS DANS LA PLATEFORME SAHARIENNE [1]. .....	6
FIGURE I. 3: LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN DE L'AHNET [1]. .....	6

### Chapitre II :

FIGURE II. 1: SITUATION GEOLOGIQUE DES BASSINS DE LA PROVINCE OCCIDENTALE (WEC 2008) [2]. .....	13
FIGURE II. 2: CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE [4]. .....	14
FIGURE II. 3: SITUATION DU BASSIN DE L'AHNET PAR RAPPORT A LA ZONE DE SUTURE ET LA CHAINE PANAFRICAINNE [3]. .....	15
FIGURE II. 4: LES DOMAINES STRUCTURAUX DU BASSIN DE L'AHNET (WEC, 2007) [1] .....	16
FIGURE II. 5: COLONNE STRATIGRAPHIQUE TYPE DU BASSIN D'AHNET [5].	21
FIGURE II. 6: COUPES GEOLOGIQUES NNE-SSW [6] .....	22
FIGURE II. 7 : COUPE GEOLOGIQUE DU CI TRAVERSANT LES BASSINS (AHNET-GOURARA ET REGGANE) WE [6]. .....	22

### Chapitre III :

FIGURE III. 1 : VARIATIONS MOYENNES INTER-ANNUELLES DES TEMPERATURES (2003-2019) .....	27
FIGURE III. 2 : VARIATIONS MOYENNES MENSUELLES DES TEMPERATURES (2003-2019) .....	28
FIGURE III. 3: PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (2003-2019) .....	29
FIGURE III. 4: PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES EN MM (2003-2019) .....	30
FIGURE III. 5: DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE GAUSSEN.....	<b>ERROR!</b>
<b>BOOKMARK NOT DEFINED.</b>	
FIGURE III. 6: VITESSES MOYENNES DES VENTS M/S (2003-2019) .....	32
FIGURE III. 7: HUMIDITE MOYENNE MENSUELLE % (2003-2019) .....	33

### Chapitre IV :

FIGURE IV. 1 : LES UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU SAHARA ALGERIEN ..	41
--	----

<b>FIGURE IV. 2 : CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU SAHARA ALGERIEN D'APRES (MEHDID A. 1988.)</b> .....	42
<b>FIGURE IV. 3 : CADRE GENERAL DU SYSTEME AQUIFERE POST-PALEOZOÏQUE DU SAHARA</b> .....	43
<b>FIGURE IV. 4 : COUPE HYDROGEOLOGIQUE NORD-SUD DU CI TRAVERSANT LE BASSIN D'AHNET. [6]</b> .....	45
<b>FIGURE IV. 5: LE SENS D'ECOULEMENT DE ZONE D'ETUDE (D'APRES G.GONFIANTINIATALL.PAYNE,(1974))</b> .....	46
<b>FIGURE IV. 6: IMAGE DE FOGGARAS.</b> .....	47
<b>FIGURE IV. 7: IMAGE D'UN FORAGE ALBIEN.</b> .....	46
<b>FIGURE IV. 8: SITUATION DES FORAGES D'AEP</b> .....	48
<b>FIGURE IV. 9 : SITUATION DES FORAGES D'IRRIGATION</b> .....	48
<b>FIGURE IV. 10: SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA FOGGARA [13]</b> .....	49
<b>FIGURE IV. 11 : LE PROJET TRANSFERT D'EAU D'IN SALAH A TAMANRASSET [12]</b> .....	51
<b>FIGURE IV. 12: BESOINS EN EAU POUR LA REALISATION DU FORAGE ET DE LA FRACTURATION HYDRAULIQUE [15].</b> .....	53

## **Chapitre V :**

<b>FIGURE V. 1: RELATION <math>NA^+/CL^-</math></b> .....	65
<b>FIGURE V. 2: RELATION <math>CA^{2+}/SO_4^{2-}</math></b> .....	66
<b>FIGURE V. 3 : RELATION <math>CA^{2+}/MG^{2+}</math></b> .....	67
<b>FIGURE V. 4: CLASSIFICATION DES EAUX D'APRES STABLER</b> .....	71
<b>FIGURE V. 5 : LE DIAGRAMME DE PIPER DES EAUX DE FORAGES D'IN SALAH</b> .....	73
<b>FIGURE V. 6 : CLASSIFICATION DES EAUX DE FORAGES D'IN SALAH SELON LE DIAGRAMME DE PIPER</b> .....	74
<b>FIGURE V. 7: LE DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DES FORAGES D'IN SALAH.</b> .....	75
<b>FIGURE V. 8 : CLASSIFICATION DES EAUX DE FORAGES D'IN SALAH SELON LE DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF.</b> .....	76
<b>FIGURE V. 9: LE DIAGRAMME DE RIVERSIDE</b> .....	80
<b>FIGURE V. 10: CLASSIFICATION DES EAUX DE LA REGION D'ETUDE SELON WILCOX</b> .....	82

## **Liste des tableaux :**

### **Chapitre III :**

<b>TABLEAU III. 1: LES CARACTERISTIQUES DE LA STATION METEOROLOGIQUE D'IN SALAH</b> .....	25
<b>TABLEAU III. 2 : TEMPERATURES MOYENNES INTER-ANNUELLES (2003-2019)</b> .....	26
<b>TABLEAU III. 3 : TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE (2003-2019)</b> .....	27
<b>TABLEAU III. 4: PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES EN MM (2003-2019)</b> .....	28
<b>TABLEAU III. 5: PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES (2003-2019)</b> .....	30
<b>TABLEAU III. 6: LES PRECIPITATIONS ET TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES (2003-2019)</b> .....	31
<b>TABLEAU III. 7: LES VITESSES MOYENNES MENSUELLES DES VENTS (M/S)</b> .....	32
<b>TABLEAU III. 8: HUMIDITE MOYENNE MENSUELLE (%)</b> .....	33
<b>TABLEAU III. 9: CLASSIFICATION DES CLIMATS EN FONCTION DE L'INDICE DE DEMARTONNE</b> .....	34
<b>TABLEAU III. 10: INDICE D'ARIDITE DE DEMARTONNE POUR LA VILLE D'IN SALAH (2003-2019)</b> .....	34
<b>TABLEAU III. 11: VALEUR DE L'ETP CALCULEE EN (MM) SELON LA METHODE DE THORNTHWAITE</b> .....	35
<b>TABLEAU III. 12: TABLEAU RECAPITULATIF DES DONNEES (P, ETP, ETR)</b> .....	37

### **Chapitre IV :**

<b>TABLEAU IV. 1 : NOMBRE DES FORAGES DANS LA REGION D'IN SALAH [11]</b> .....	47
--	----

### **Chapitre V :**

<b>TABLEAU V. 1: LES DIFFERENTS FORAGES D'EAU DE LA REGION D'IN SALAH (ANRH OUARGLA, 2010)</b> .....	55
<b>TABLEAU V. 2: LES PARAMETRES PHYSIQUES REGION D'IN SALAH</b> .....	57
<b>TABLEAU V. 3: LES PARAMETRES CHIMIQUES EN MG/L (LES CATIONS)</b> .....	59
<b>TABLEAU V. 4: LES PARAMETRES CHIMIQUES EN MG/L (LES ANIONS)</b> .....	61
<b>TABLEAU V. 5: CALCUL D'ERREUR SUR LES ANALYSES CHIMIQUES</b> .....	62
<b>TABLEAU V. 6: INDICE D'ECHANGE DE BASE DANS LA REGION D'IN SALAH (2010)</b> .....	64
<b>TABLEAU V. 7: LES RAPPORTS CARACTERISTIQUES</b> .....	68
<b>TABLEAU V. 8: CLASSIFICATION DES EAUX DE FORAGES D'IN SALAH D'APRES STABLER</b> .....	72
<b>TABLEAU V. 9: CLASSIFICATION DE LA POTABILITE DES EAUX D'APRES LA NORME ALGERIENNE</b> .....	77

<b>TABLEAU V. 10: POTABILITE DES EAUX ETUDIEES EN FONCTION DE LA DURETE.</b> .....	79
<b>TABLEAU V. 11: CLASSIFICATION DES EAUX DE LA REGION D'ETUDE A PARTIR DE LA DURETE TOTALE.</b> .....	79
<b>TABLEAU V. 12: CLASSIFICATION DE POURCENTAGE DE SODIUM SELON WILCOX.</b> .....	81

## **INTRODUCTION GENERALE :**

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source pérenne, et sont donc vitales pour le développement de ces pays.

Pour la partie septentrionale du Sahara, où se situe l'un des plus grands systèmes aquifères au monde : le profond Continental Intercalaire (CI) s'étendant sur trois pays l'Algérie, Tunisie et Lybie sur une surface d'environ 600 000 km<sup>2</sup>, et souvent capté à une profondeur de 1000m.

Le réservoir du CI au Sahara algérien est vital dans cette région aride où l'eau souterraine est pratiquement la seule source d'approvisionnement en eau potable, qui constitue l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde, dont les potentialités sont estimés à 5 milliards de mètres cubes d'eau (ANRH, 1986)

L'aquifère est connu du nord au sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'au tassili du Hoggar, et d'ouest en est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert Libyen.

Dans notre région d'étude, le CI, affleure, l'aquifère prend alors le caractère d'une nappe phréatique. A part quelques poches éruptives très localisées, la nappe est libre avec parfois des niveaux statiques très proches de la surface jusqu'à des profondeurs de moins 200 m. Ceci rend son exploitation plus aisée et en fait la principale ressource et un atout pour la région. En effet, en plus d'être indispensables au développement de l'industrie gazière du bassin de l'Ahnet, elles sont vitales aux besoins de la population et au développement de l'agriculture dans la région de In Salah mais aussi à l'alimentation en eau de la ville de Tamanrasset, par le biais du transfert des eaux.

Dans la région d'In Salah, les populations ont toujours exploités ces eaux de façon traditionnelle par le creusement des puits et surtout des foggaras. Les premiers forages ne sont apparus qu'avec l'avènement de l'industrie pétrolière, auxquels ils étaient destinés. Ce n'est qu'après, suite à l'évolution de la population et de leurs besoins que les forages dédiées à cela ont été creusés.

L'objectif de notre étude est une contribution à la connaissance des caractères hydrogéologiques du bassin de l'Ahnet, notamment dans la région d'In Salah.

Pour se faire, nous avons structurées notre mémoire en cinq chapitres :

Le premier chapitre s'articule autour des caractéristiques naturelles de la région d'étude ainsi que sa présentation (situation géographique, géomorphologie).

Dans Le deuxième chapitre nous avons présenté la géologie régionale et locale de la région.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude hydro-climatique de la région afin de déterminer son climat.



Les caractéristiques hydrogéologiques générales ainsi qu'une vue d'ensemble des modes d'exploitation et d'utilisation des ressources en eau sont présentés dans le quatrième chapitre

Le cinquième chapitre est consacré à l'étude des caractères hydrochimies des eaux basé sur l'interprétation des analyses physico-chimiques d'anciens prélèvements effectués par l'ANRH en 2010 et la détermination des faciès chimiques des eaux.

## **CHAPITRE I: CADRE GENERAL**

## I-1. Situation géographique :

La région d'étude est située au sud-ouest du Sahara algérien, entre la plaine du Tidikelt au Nord, le Mouydir au Sud-Est et à l'Est par le bassin de Reggane.

La ville d'In-Salah est la plus importante de l'Ahnet, elle fait partie de la wilaya de Tamanrasset dont elle est distante de 700 km (figure I.1).

La région d'étude présente un caractère oasien. En effet, les oasis du Tidikelt sont localisées dans des cuvettes au pied du plateau de Tademaït. Ses palmeraies renferment 300 000 Palmiers organisés en 28 oasis et sont irriguées à partir de 125 foggaras qui atteignent la nappe du continental ; des puits artésiens renforcent ces débits dans la partie orientale. Cette région de sédentaires visitée par les caravanes touareg est une étape importante sur la grande voie de circulation qui suit la dorsale méridienne; elle gravite autour d'In Salah. A 10 km à l'est se trouve un gisement de bois pétrifié (anciens arbres silicifiés dont les troncs atteignent un diamètre de 1m. Ces vestiges remontent à l'ère secondaire).

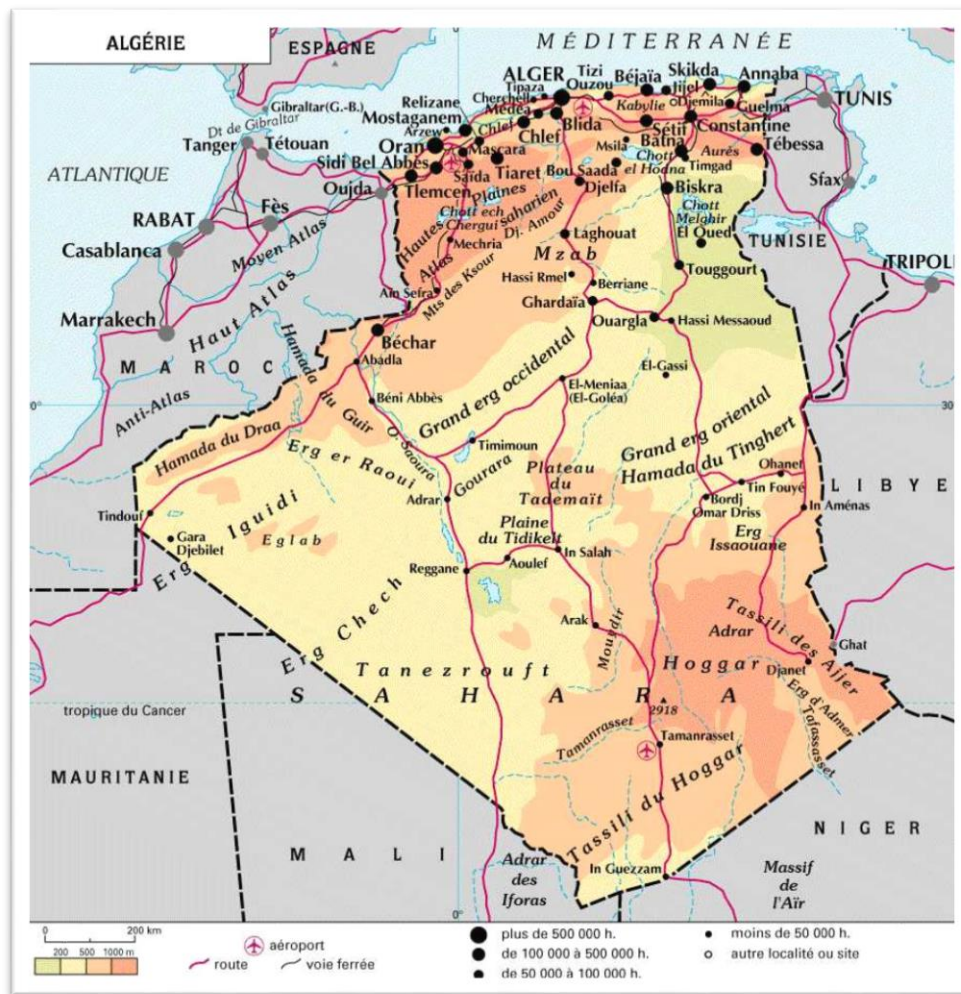


Figure I. 1: Situation géographique de la région d'étude

Le bassin d’Ahnet appartient à la province occidentale de la plate-forme saharienne. Il est limité par : Les méridiens 1°,00 Ouest et 3°,00 Est  
 Les parallèles 24°,00 et 27°,00 Nord  
 Il s’étend sur plus de 50.000 Km<sup>2</sup>. Il recouvre les zones d’Aoulef, In Salah et In Bazzène. Il fait partie des bassins de la plateforme saharienne : Mouydir, Illizi et Ghadames-Berkine à l’est, Timimoun au Nord et Reggane et Tindouf à l’est. Ces bassins sont à fortes potentialités gazières (figure I.2).

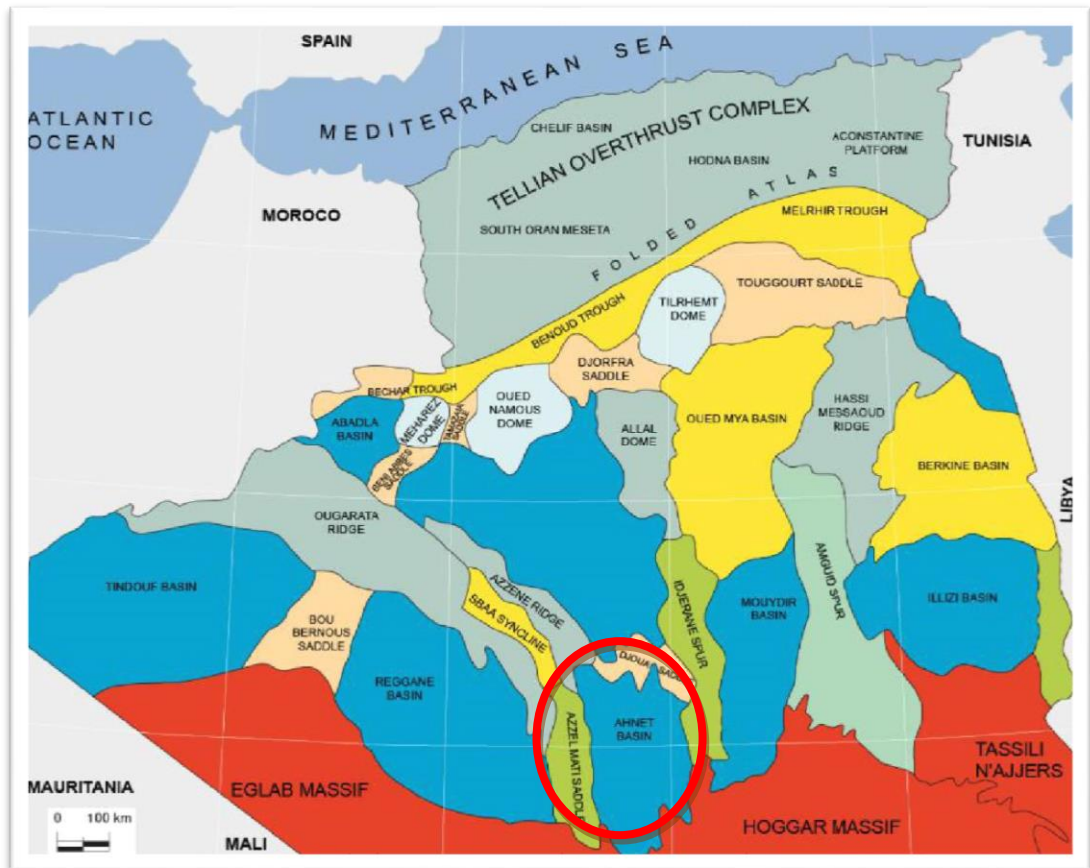


Figure I. 2: Répartition des bassins dans la plateforme saharienne [1].

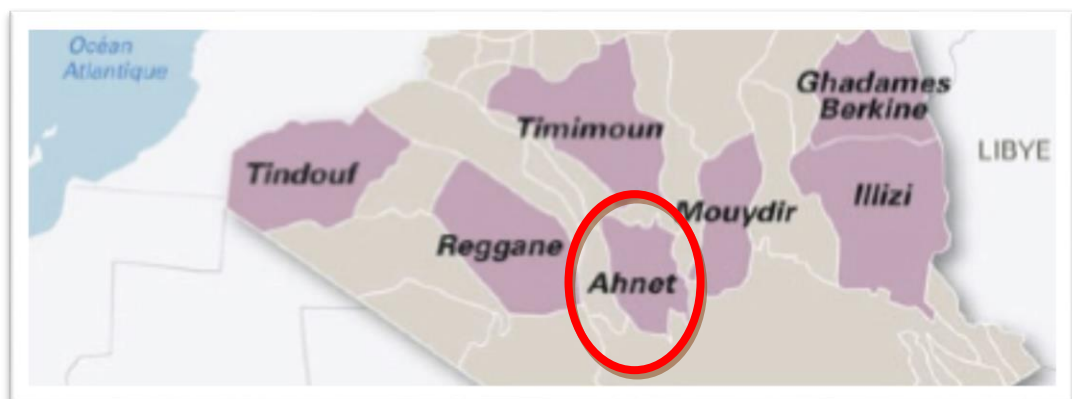


Figure I. 3: la situation géographique du bassin de l’Ahnet [1].

## **I-2. Situation géomorphologique :**

La région d'Ahnet est d'une architecture tabulaire où le contrecoup de la surrection de l'Atlas s'est fait sentir énergiquement; les failles, les diaclases, les plis posthumes tertiaires, ont suivi les directions qui leur étaient imposées par celles des plis et des failles primaires...

A la traversée de la région, (Lelubre ,1952) admet les formes du relief sont particulièrement nettes et visibles. (Source : [www.voyagealgerie.fr](http://www.voyagealgerie.fr))

### **I -2.1 Les oueds :**

Sont extrêmement pittoresques, ils se sont taillés des canyons étroits, aux murailles perpendiculaires de grès nus, parfois très élevées.

Ils représentent 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).

### **I -2.2 Les hammadas :**

Plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue (MONOD, 1992).

### **I -2.3 Les Ergs :**

Les ergs Enfous et Tessegafi correspondent exactement aux ergs Tegant et Iris... entre les deux régions la seule différence est de niveau, mais elle est considérable. (E. F. Gauthier, "Sahara", 1908).

Sont généralement des plaines de graviers et de fragments rocheux qui occupent des surfaces démesurées.

## **I -3. Situation socio-économique :**

Actuellement la composition socioprofessionnelle de la ville est marquée par la présence des infrastructures de base, qui comprend :

- Le réseau routier de la wilaya d'une piste de 6308 kms en total.
- Le réseau Aéroportuaire qui dispose de 02 aéroports en exploitations, celle d'In Salah, de Tamanrasset ainsi que le projet d'In Guezzam.
- Le réseau énergétique, dispose des deux (02) infrastructures suivantes :

Électricité : qui permet d'avoir un taux de raccordement électrique de 90%, à partir de deux (02) centrales électriques d'une capacité de 30 MW et 12 MW, trois (03) Microcentrales ainsi que 1584 kms de réseau électrique. En outre la wilaya dispose de huit (08) villages solaires qui alimentent 460 foyers.

Gaz naturel : seule la ville d'In Salah (4000 abonnés) est alimentée en gaz naturel, donnant un taux global de raccordement de 11% pour la wilaya, cependant les programmes en cours permettant de porter ce taux à 70 %.

- Hydraulique : Il existe à travers le territoire de la wilaya de Tamanrasset pas moins de 293 forages dont 202 en service, ce qui permet d'avoir un taux de couverture en alimentation en eau potable (AEP) de 96% et de 91% pour l'assainissement.
- Tourisme : Avec l'un des plus beaux et grands déserts au monde, la wilaya de Tamanrasset est incontestablement une région richement dotée, aux potentialités touristiques indéniables, compte tenu de son patrimoine naturel, culturel et touristique. Avec une disposition de cinq (05) hôtels, 16 campings et 82 agences de voyage.
- Agriculture : la wilaya dispose d'une surface agricole totale de 881 375 Ha répartie en terres labourables et cultures permanentes.

#### **I-4. L'importance stratégique des ressources en eau :**

Le bassin de l'Ahnet a été la première région du Sahara Algérien à avoir fait l'objet d'une exploration et découverte des hydrocarbures, depuis 1908 où GAUTIER présente la première esquisse géologique de l'Ahnet par simple observation et collecte de quelques indices, jusqu'à la période de 1959-1971 qui a connu un ralentissement des activités d'exploration à cause de [1]:

- La découverte d'huile en 1956 dans la région d'Illizi et du gisement géant de Hassi Messaoud.

-L'éloignement de l'Ahnet et les difficultés de ravitaillement en eau du chantier.

-La faible quantité des hydrocarbures obtenue lors des essais des puits déjà forés, décourage les compagnies à poursuivre leur exploration et à développer les champs déjà découverts.

Jusqu'où la nationalisation des hydrocarbures a permis à la Sonatrach depuis 1971 jusqu'à l'actuel d'effectuer des explorations dans la région de l'Ahnet.

La demande en eau de cette ville aride ne cesse pas d'augmenter proportionnellement avec la croissance urbaine accélérée, son développement touristique et la croissance démographique avec sa population estimée à 206 584 habitants (2004).

L'estimation de la demande domestique en eau est de 30 988 m<sup>3</sup>/j avec une dotation de 150 l/j/hab.

Le gouvernement algérien a été instruit à l'effet de déployer les moyens nécessaires pour améliorer les conditions d'accès à l'eau potable dans ces zones éparses, en réalisant le grand projet de transfert de l'alimentation en eau potable d'In Salah à Tamanrasset, sur une

distance de 770 km, d'une capacité de 100000 m<sup>3</sup>/j, avec une quantité pompée qui ne dépasse pas les 50000 m<sup>3</sup>/j destinée à l'usage domestique, mis en service récemment. Ce méga projet de 197 milliards de DA (3 milliards de dollars) a été livré dans les délais, soit 3 ans, depuis son lancement.

Le nombre des forages total à In Salah est de 119 avec 54 forages en service pour débiter 72976 m<sup>3</sup>/jour d'après (D.H.W).

Ce projet est une partie du programme de développement qui prévoit aussi, l'extension du réseau d'AEP dans les quartiers et cités de la ville d'In Salah et les groupements d'habitants avoisinants, en plus de la rénovation des canalisations pour lutter contre les déperditions de l'eau ainsi que le raccordement du réseau d'assainissement qui va régler définitivement le problème des fosses septiques et permettra en premier lieu de préserver la santé publique en luttant contre les maladies à transmission hydrique ainsi que cette eau épurée pourra servir à l'irrigation des terres agricoles afin de développer l'agriculture dans la région

Il comprend aussi la réhabilitation d'un linéaire de 377 km de réseau de distribution, 11km de conduites d'adduction ainsi que la réhabilitation des équipements électromécaniques des stations de pompage et de forage et la réalisation des réservoirs et ouvrages annexes.

La mise en service de ces raccordements au grand réseau du transfert permet à la région de se mettre à l'abri du stress hydrique.

## **CHAPITRE II: APERÇU GEOLOGIQUE**



## **Introduction :**

La zone d'étude fait partie du bassin occidental du Sahara central, dont sa structure morphologique est l'héritage de plusieurs techniques qui s'intègre dans la partie septentrionale de la plateforme saharienne d'âge paléozoïque.

Dans ce chapitre, nous aborderons ses aspects géologiques à différentes échelles d'étude : Échelle générale de la plate -forme saharienne et celle régionale propre au secteur d'étude.

## **II-1. Situation géologique générale de la plateforme saharienne :**

La plateforme saharienne est située au sud de l'Algérie alpine et dépend du Craton Nord-Africain.

Elle est composée de trois majeures formations, un socle précambrien sur lequel repose une couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes.

On distingue d'ouest en est: (figure II.1)

### **II-1.1 Bassin de Tindouf – Reggane :**

Il se situe sur les bordures nord et nord-est du Bouclier Reguibat, dont la couverture sédimentaire atteint **800 m** dans le bassin de Tindouf et **6500 m** dans celui de Reggane.

### **II-1. 2 Bassin de Bechar :**

Il se localise entre deux limites : Nord par le Haut Atlas et de Sud à l'Ouest par la chaîne de l'Ouguarta, sa couverture sédimentaire est de **8000 m** en moyenne.

### **II-1. 3 Bassin de l'Ahnet-Timimoun :**

Il est limité au Nord par les hauts fonds d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne Ouaguarta, au Sud par le Bouclier Targui et à l'Est par la dorsale d'Idjrane-Mzab, sa couverture est de **4000 m**.

### **II-1.4 Bassins de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya :**

Ils sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjrane-Mzab et à l'Est par la dorsale d'Amguid El abiod, au Sud les sédiments Paléozoïques affleurent dans le Mouydir au Nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued-Mya, comblée par une puissante série Paléozoïque (5000 m à Oued Mya).

### **II-1.5 La Synéclise d'Illizi-Ghadames :**

Limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid el Abiod et à l'Est par la môle de Tihemboka et les confins Tuniso-Libyens dans le bassin de Ghadames, la couverture sédimentaire est supérieure à 6000 m

Ainsi, les épaisseurs des séries (1000-8000m), renferment souvent les gisements hydrocarbures, notamment dans le Paléozoïque et le Trias; leur nature, les déformations tectoniques et la subsidence ont modelé la plate-forme saharienne en un certain nombre de bassins repartis en province occidentale, orientale et Triasique. Cette dernière englobe le bas Sahara, partie qui nous intéresse, et qui est 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 Tilrient et le haut fond de Telemzane.
- Le système structural de Djamaa-Touggourt.
- Le système de dislocation d'El Agreb-Messaoud.
- Le môle de Dahar.

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued Mya), 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 est discordant sur le Paléozoïque.

Le Cénozoïque est représenté par une série détritique du Mio-Pliocène.

La série sédimentaire du bassin triasique dépasse 4500 m d'épaisseur dans sa partie septentrionale, elle est caractérisée par une importante formation évaporitique.

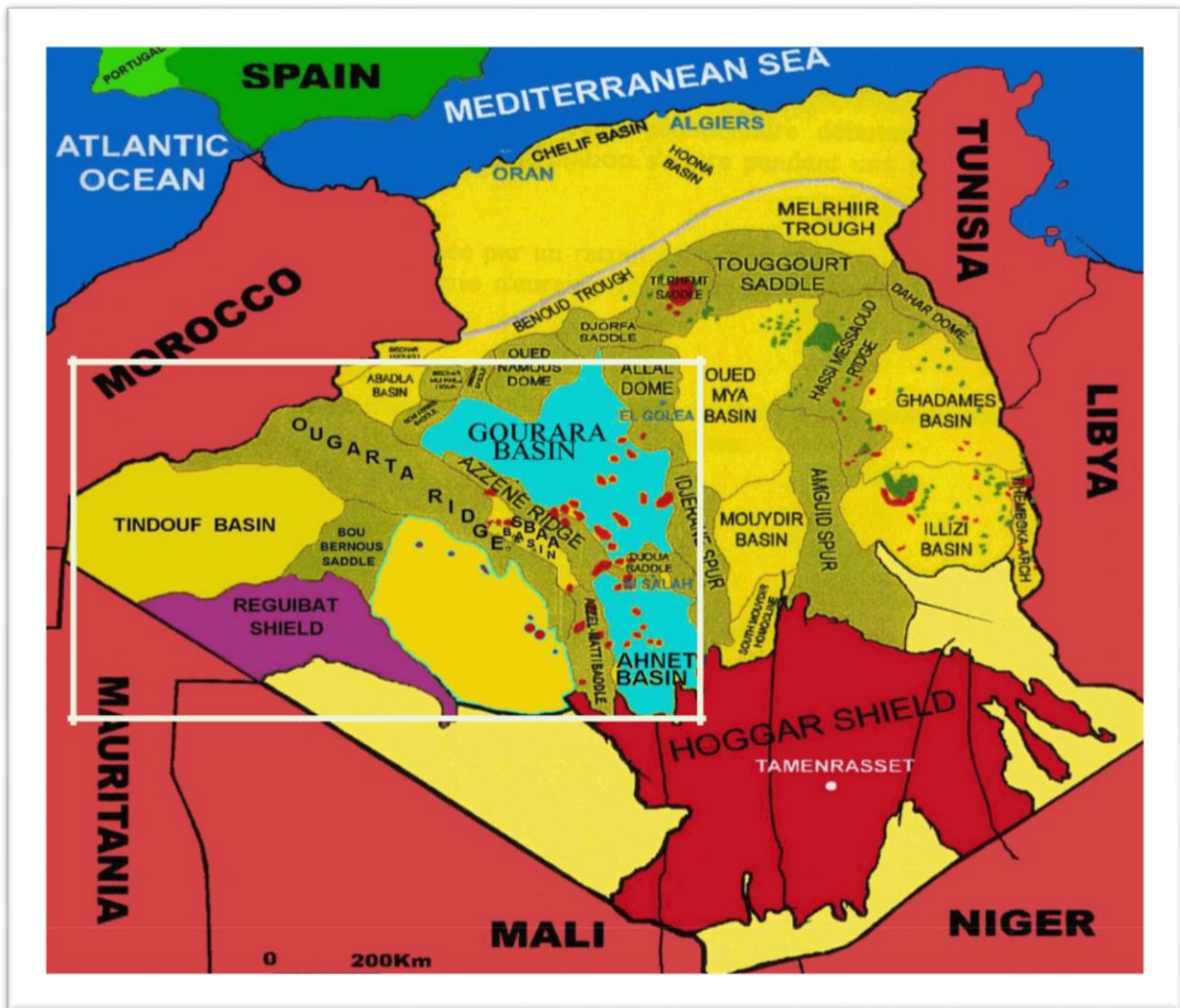


Figure II . 1: Situation géologique des bassins de la province occidentale (WEC 2008) [2].

## II -2. Situation géologique régionale de la zone d'étude :

Le Bassin de l'Ahnet est localisé à la jonction de deux domaines cratonisés à deux époques différentes que sont à l'Est, la zone mobile du Hoggar occidental cratonisée lors de l'orogénèse Panafricaine (600 Ma environ) et à l'Ouest le craton Ouest africain considéré comme stable depuis 2000 Ma environ (Caby, 1970). Au Nord, le bassin de l'Ahnet se prolonge naturellement vers le bassin de Timimoun qui se différencie du premier par un approfondissement plus important. Il n'existe pas de réelle frontière entre ces deux bassins.

Cette limite coïncide en sub-surface avec l'ensellement de Djoua qui s'individualise comme une zone haute par rapport aux bassins de l'Ahnet et de Timimoun.

A l'Est la mole d'Idjirane-M'zab le sépare du bassin du Mouydir, par l'intermédiaire d'une ligne structurale majeure, la faille d'In Nahas qui affecte les formations Paléozoïques et Méso-Cénozoïques (figure II.2).

Le bassin de l'Ahnet est également limité à l'Ouest par la zone haute de Bled El Mass, la partie méridionale de la chaîne de l'Ougarta et l'ensellement d'AzzelMatti, au Sud par le Hoggar où affleurent les série infra- tassiliennes [3].

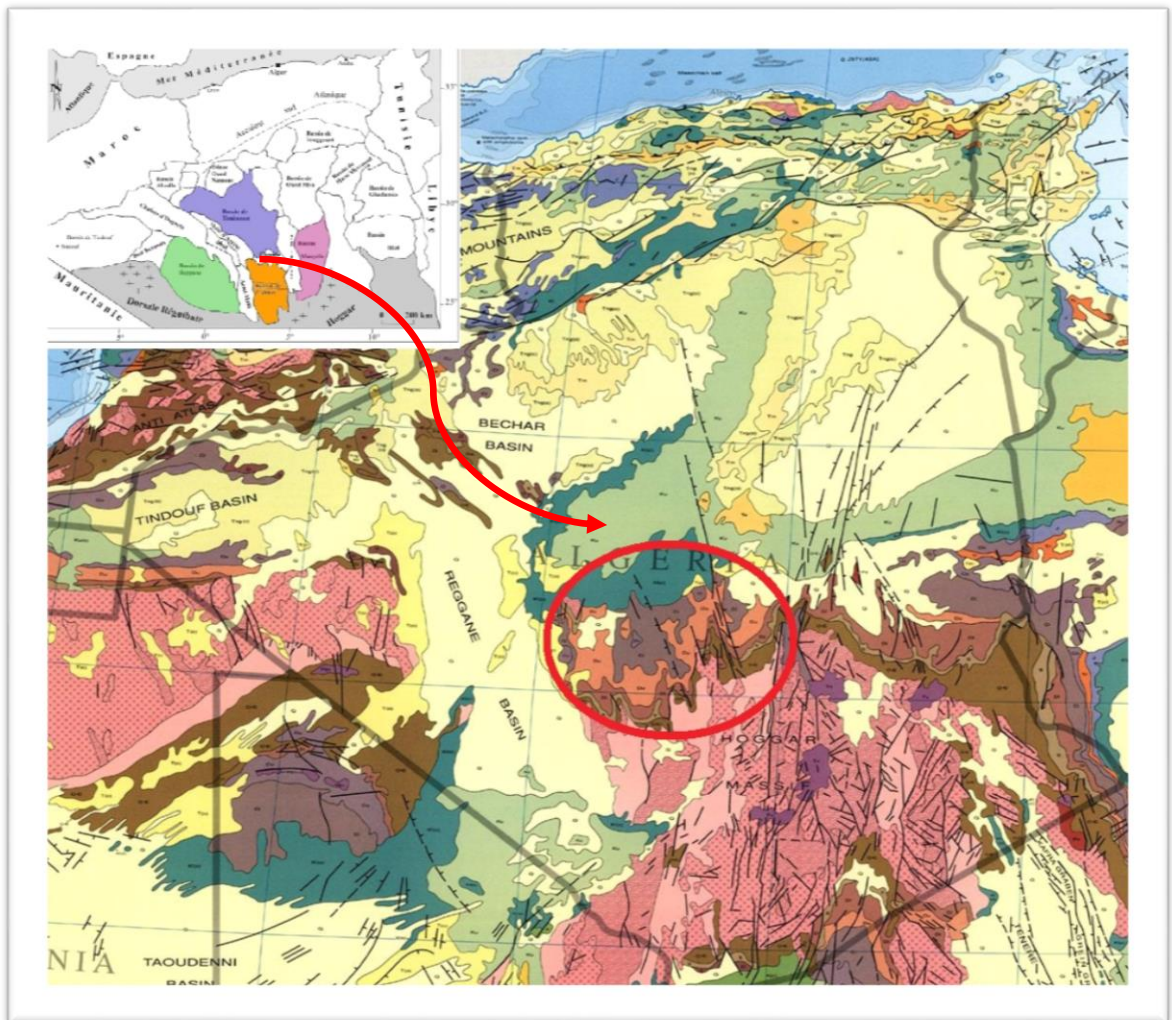
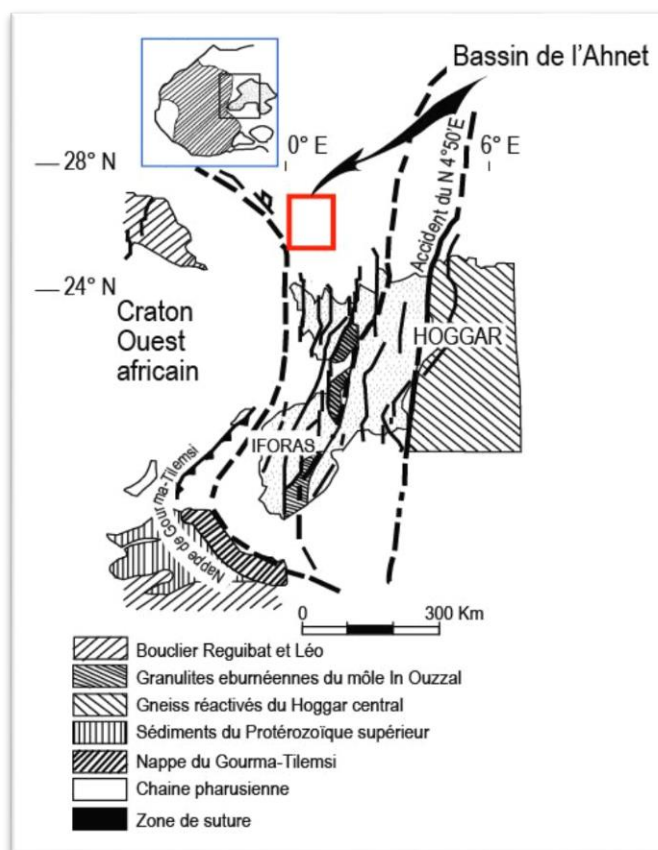


Figure II. 2: carte géologique de la région d'étude [4].



**Figure II . 3: Situation du bassin de l’Ahnet par rapport à la zone de suture et la chaîne panafricaine [3].**

### II -3. Situation structurale régionale :

L’histoire structurale du bassin de l’Ahnet est manifestement liée à la phase panafricaine suite à une tectonique polyphasée qui a structuré le bouclier Targui en compartiments Nord- Sud. Cependant son individualisation complète doit son origine surtout à l’orogénèse hercynienne. D’autres phases post hercyniennes ont affecté le bassin, telle la phase de plissement Autrichienne, marquée par des failles inverses et des flexures importantes. La structuration actuelle du bassin consiste en un réseau de failles, de direction méridienne à subméridienne certainement lié à l’histoire évolutive de la jonction des cratons, Ouest et Est africains. Leur collision est à l’origine des grands accidents subméridiens qui le subdivisent en trois compartiments : l’Ahnet oriental, l’Ahnet central et l’Ahnet occidental [1].

#### II-3.1 Ahnet oriental :

C’est une zone structurellement haute, limitée:

- A l’Est par la mole d’Idjerane M’Zab.
- A l’Ouest par l’accident subméridien de FogarrétEzzoua, FomBelrem.
- Au Sud passant par Zi ni et Gour Bouchreiss (Achour Karima, 2008).

### II-3.2 Ahnet central :

Elle est située entre l'Ahnet occidental et l'Ahnet oriental. Elle constitue la zone la plus profonde du bassin révélant des aspects structuraux légèrement différents des zones précédentes.

Elle montre de nombreuses structures anticlinales de grandes dimensions telles que Bahar El Hammar, Garet El Guefoul, Oued Djaret, Tirechoumine.

Ces structures sont associées à des failles verticales avec des rejets importants pour une plateforme considérée stable (Achour Karima, 2008).

### II-3.3 Ahnet occidental :

Elle représente un môle séparant le bassin de l'Ahnet de celui de Reggane. Cette zone est structuralement haute et étroite, elle est limitée à l'ouest par un accident venant du Nord d'Akabli et passant approximativement par l'Adrar Morat au Sud (Achour Karima, 2008).

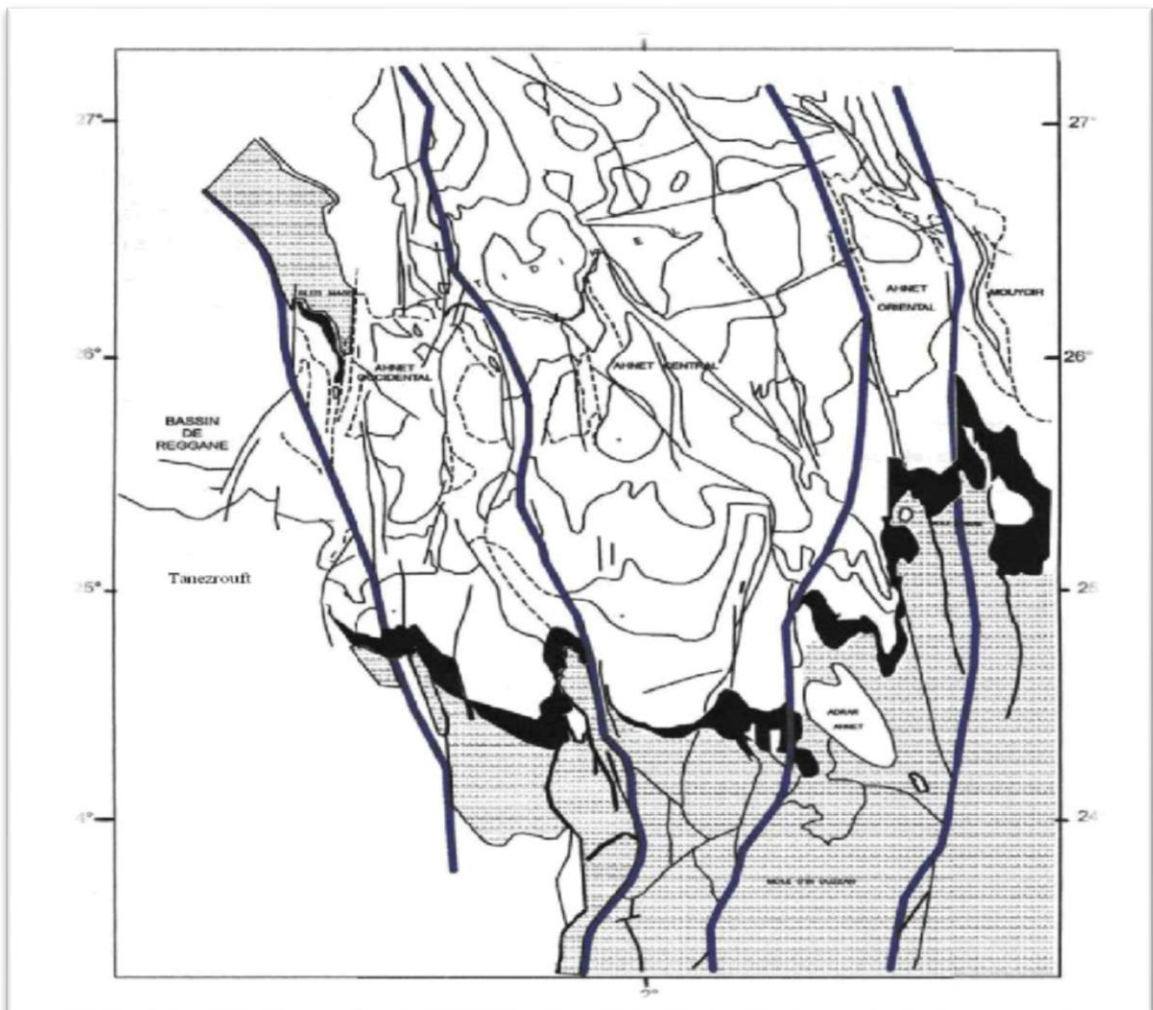


Figure II. 4: Les domaines structuraux du bassin de l'Ahnet (Wec, 2007) [1]

## **II-4. Litho stratigraphie de la zone d'étude :**

Dans ce bassin, la sédimentation est essentiellement d'âge paléozoïque, dont tout repose sur un substratum Précambrien qui comprend le socle et la partie sommitale infracambrienne.

La série paléozoïque est assez complète allant du Cambrien au Carbonifère. Elle est discordante sur le socle, caractérisée deux discordances majeurs, infratassilienne et hercynienne

Le tout repose en discordance sur le Mésozoïque (figure II.3).

On distingue les trois ensembles litho stratigraphiques majeurs ainsi [3] :

### **II-4.1 Le substratum :**

Il est d'âge précambrien et ressemble à celui des Eglabs (W -E-C, Algérie. 1995). Il comprend deux limites, le socle précambrien et la partie sommitale infracambrienne.

#### **II-4.1.1 Le socle :**

Il est de nature volcano-métamorphique formé de micaschistes et d'amphibolites recoupés par des intrusions magmatiques (Boudjemâa, 1987).

#### **II-4.1.2 La série intermédiaire ou la série pourprée de l'Ahnet :**

Cette série a été décrite à l'affleurement sur des dizaines de kilomètres dans la région de

Bled El Mass, elle correspond à une formation arkosique, conglomératique à faciès fluviatile ou alternent des niveaux argileux et silteux à intercalation de tillites marquant des épisodes de glaciations. La série pourprée de l'Ahnet a été décrite par Ait Kaci en 1984, Fabre et Alen en

1985, comme faisant partie des molasses panafricaines du craton Ouest africain et, considérée en partie d'âge cambrien, (Caby, 1970). Elle correspond à des accumulations de fin de cycle orogénique faisant ressortir des indices d'une tectonique synsédimentaire, elle représente les produits de démantèlement de la chaîne pharusienne.

### **II-4.2 La couverture paléozoïque :**

Elle est subdivisée en deux ensembles morphologiques bien distincts :

- La ceinture tassilienne ou pays tassilien, qui est constituée par le Cambro - Ordovicien, le Silurien et le Dévonien inférieur ;
- L'avant pays tassilien ou plateau prétassilien.

### **II-4.2.1 Le Cambro-Ordovicien :**

Caractérisé par :

- La formation des Ajjers (elle renferme les unités II, III-1, III-2).
- La formation d'In Tahouite (qui correspond à l'unité III-3).
- La formation de Tamajert.

### **II-4.2.2 Le Cambrien (unité II) : « série de Hassi Leila »**

Le Cambrien est séparé du Précambrien par la discordance infra -tassilienne. Cette unité est formée de bas en haut par :

- Des grés grossiers à conglomératiques, à stratification oblique indiquant un milieu de dépôt fluvial ;
- Au-dessus on rencontre des grés de plus en plus fins, bien lités avec présence des tiggillites, et apparition des formes marines ; ce qui indique un faciès mixte ou de transition.

### **II-4.2.3 L'Ordovicien :**

- L'Ordovicien inférieur : Il comprend les unités III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub> de la formation des Ajjers, il est limité à la base par les grés de Meribel et au toit par les quartzites de Hamra.
- L'Ordovicien moyen : Il comprend l'unité IV (la formation de Tamajert) : dont les différentes formations se sont déposées à la suite de l'installation d'une vaste calotte glaciaire faisant ressortir quatre cycles de glaciation.
- L'Ordovicien supérieur : Il comprend de bas vers le haut :
  - Les argiles micro-conglomératiques ;
  - Les grés de Ramade (dalle de M'kratta).

### **II-4.2.4 Le Silurien :**

Il repose en discordance stratigraphique sur les grés de Ramade. C'est une sédimentation marine suite à la fonte des glaces ordoviciennes. La transgression silurienne dépose des argiles noires à graptolites riches en matière organiques dans les paléovallées glaciaires avant de recouvrir l'ensemble des paléoreliefs. Ces argiles sont subdivisées en trois membres :

- Membre inférieur : (Leandovérien moyen au Wenlockien supérieur) : ce sont des argiles gris- noir silteuses, micacées et pyriteuses avec quelques bancs calcaires et gréseux.
- Membre moyen : (Ludlovien au Pridolien supérieur) : argiles avec quelques passées calcaires et gréseuses.
- Membre supérieur: (fin du Pridolien supérieur- base du Lochkovien): c'est des argiles avec augmentation des niveaux gréseux annonçant les dépôts argilo - gréseux de la zone de passage d'âge Dévonien.



#### II-4.2.5 Le Dévonien :

Il est subdivisé en trois sous-systèmes

- **Dévonien inférieur** : (épaisseur 240 à 490m) son extension géographique est la plus grande. Il est composé du :
  - Gédinnien : le passage du Silurien argileux au Dévonien gréseux se fait de façon graduelle par le biais d'une série de dépôts argileux appelée également zone de passage. Cela se manifeste par des alternances de grés et d'argile, rarement par des passées de calcaires. Les argiles sont attribuées à un environnement marin tandis que les grés à un milieu littoral.
  - Siegénien (barre quartzitique): il est caractérisé par des dépôts de grés quartzitiques fins à moyens déposés dans un milieu fluvial avec intercalations de niveaux d'argile annonçant un faciès marin.
  - Emsien: il est représenté par une série argilo-gréseuse gris à gris noir, silteuse, micacée, souvent très fossilifère.
- **Le Dévonien moyen** : moins épais que le Dévonien inférieur, il est caractérisé par des dépôts argileux au faciès marin. Il est représenté par les étages l'Eifelien et Givétien.
  - L'Eifelien : il est constitué d'argiles gris foncé localement carbonatées à passées de siltstones et de calcaires argileux.
  - Givetien (épaisseur 30 à 75 m) : il est constitué principalement de calcaire compact avec quelques rares passées d'argile.
- **Le Dévonien supérieur** : il correspond aux formations des argiles de marhouma ou de Temertasset. Il est subdivisé en trois étages : Frasnien, Famennien, Strunien.
  - Frasnien : il est représenté par des argiles, avec des passées de calcaires
  - Famennien : représenté par un ensemble argileux homogène gris foncé feuilleté, avec présence abondante de lame llibranches et de brachiopodes
  - Strunien : représenté par des alternances de grés gris clair, fin, siliceux.

#### II-4.2.6 Le Carbonifère :

Le Carbonifère est très érodé, ce qui rend la colonne stratigraphique toujours incomplète vers le haut ; seul deux forages dans l'Ahnet (Tit-1 et Tirechoumine-1) en conserve une épaisseur de 900 m. Il comprend uniquement deux termes :

- **Le Tournaisien** : il débute généralement par des argiles noires, indurées, feuilletées, silteuses, avec de fines passées de grés gris blanc, à noir fins avec un ciment siliceux ; vers le milieu, finement micacés, traversés par endroits par des tubulures gréseuses verticales
- **Le Viséen** : il débute par un banc calcaire (dalle des Irides) considéré comme la limite entre le Tournaisien et le Viséen, avec alternance de grés et d'argile vers le sommet. On peut trouver également par endroits du Namurien continental, avec des intercalations de calcaire et d'argile.

### **II-4.3 Le Mésozoïque :**

Il est peu répandu dans le bassin de l'Ahnet et représenté par des dépôts continentaux il est nommé le « continental intercalaire » et repose en discordance sur les dépôts paléozoïques.

#### **II-4.3.1 Le Crétacé :**

- Le Crétacé inférieur : il est représenté par des argiles versicolores à passées de calcaire dolomitique microcristallin.
- Le Crétacé supérieur : il est représenté par des formations gypsifères à gypse saccharoïde, et des bancs de dolomie, ainsi que des anhydrites massives avec des argiles plastiques légèrement carbonatées

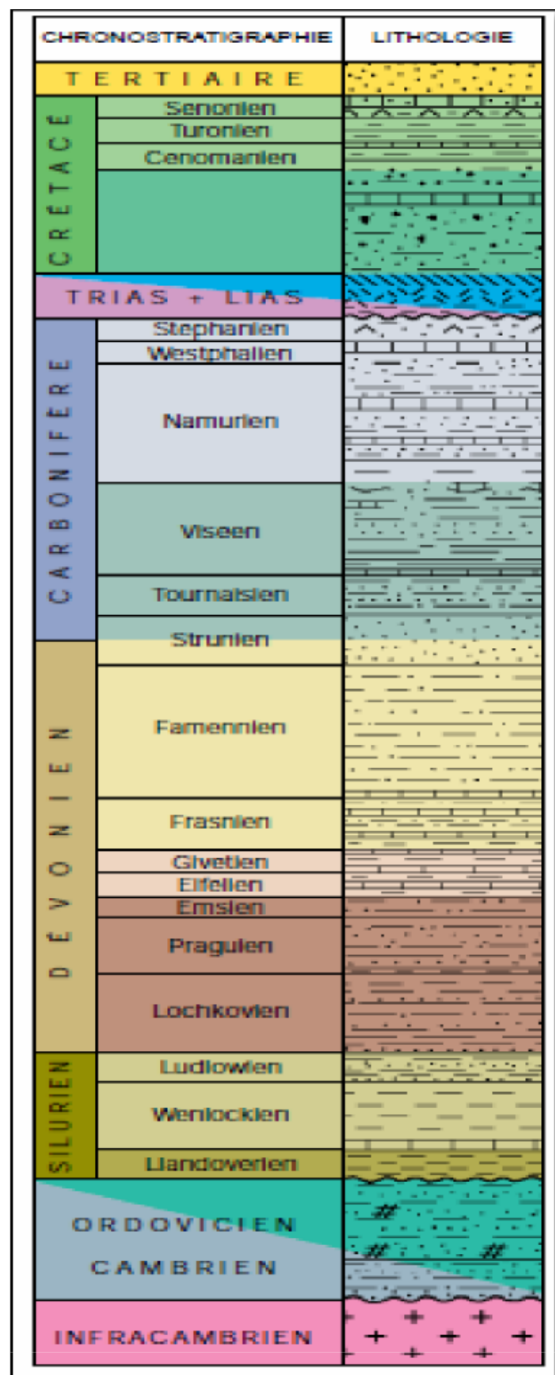


Figure II. 5: Colonne stratigraphique type du bassin d’Ahnet [5].

## II-5. Les coupes géologiques Nord-Sud Et Ouest-Est :

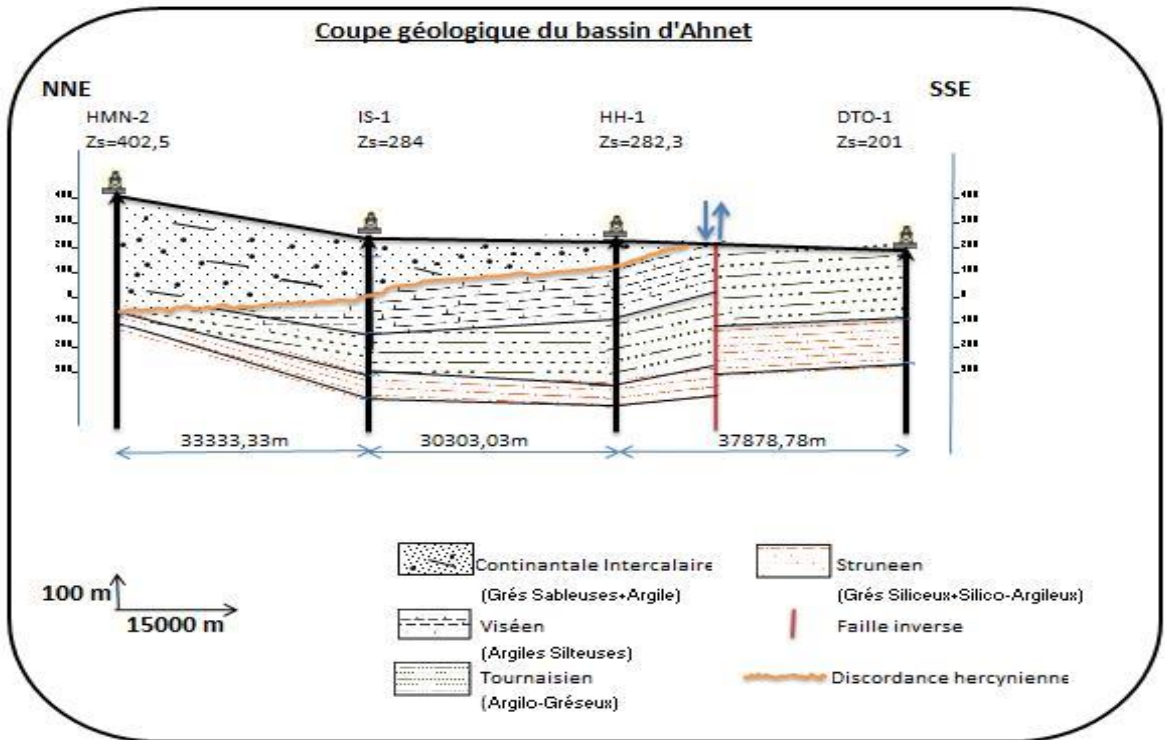


Figure II. 6: Coupes géologiques NNE-SSW [6]

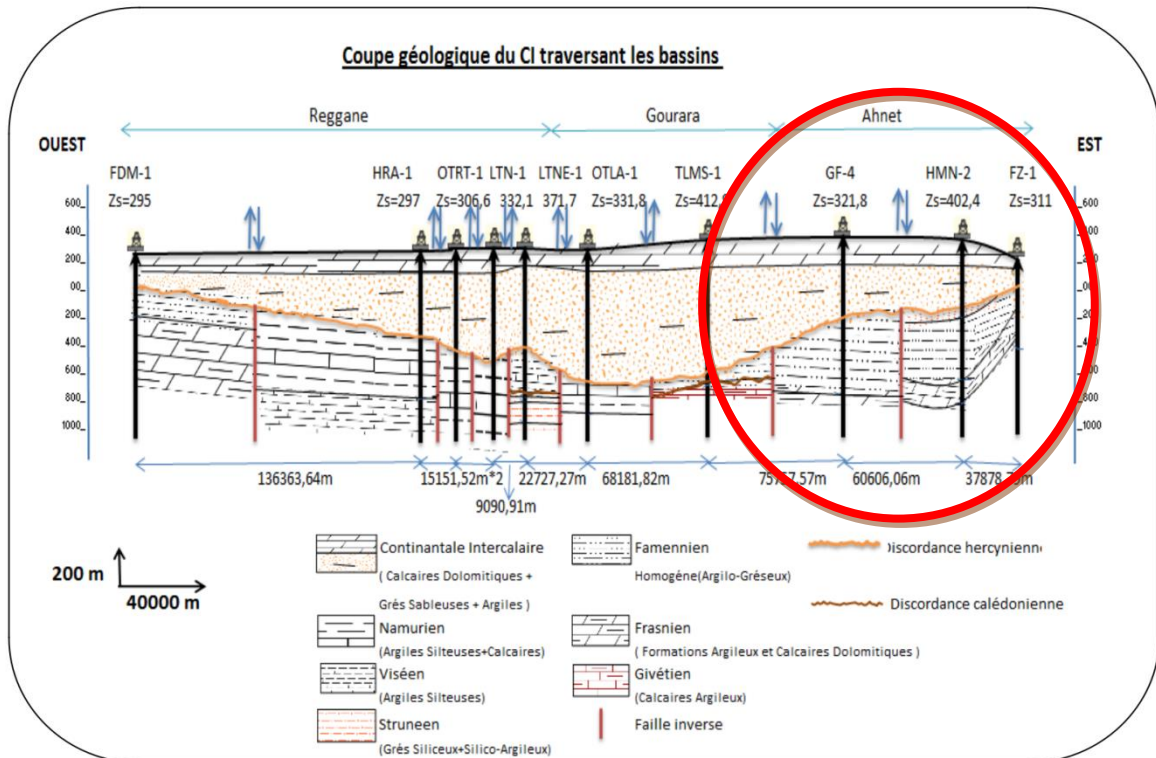


Figure II. 7 : Coupe géologique du CI traversant les bassins (Ahnet-Gourara et Reggane) WE [6].

Le positionnement original et naturel de la zone d'étude influe sur le changement des couches géologiques dues à l'abondance des failles.

### **L'interprétation de la courbe Nord-Sud (figure II.6) :**

D'après cette coupe d'orientation NNE-SSW, la zone s'étend à une longueur de 100km et passe par des forages du Nord vers le Sud ainsi : HMN-2(e = 489 m), IS-1(e = 255.5m), HH-1(e=80.5m) et DTO-1.

Dans le Sud on remarque la présence de la couche argilo-gréseuse d'âge Tournaisien qui est séparé par une faille verticale qui se trouve à 15Km au Sud du puits HH-1 et permet aux argiles silteuses d'âge Viséen d'apparaître d'une épaisseur d'environ 180m, surmontées par les grés sableuses du CI qui commence avec une faible épaisseur de l'ordre de 60m et augmente en allant vers le Nord pour atteindre 450m au niveau du forage HMN-2.

Et le tout repose sur le Substratum du CI constitué principalement d'une formation grés-siliceuse d'âge Strunéen.

### **L'interprétation de la courbe Ouest-Est (figure II.7) :**

Cette coupe s'étale sur une longueur de plus de 300km à travers les trois (03) bassins illustrés : Reggane, Gourara et finalement Ahnet dont on s'intéresse.

La région d'Ahnet contient les trois (03) forages suivants : GF-4(e=440m), HMN-2(e=489m) et FZ-1(e=221.3m).

Selon la coupe W-E, le CI contenu en région d'étude est captif d'une épaisseur maximale à l'Ouest, d'un ordre de 400 m à la faille inverse et diminue en allant vers l'Est à FZ-1.

Le substratum du CI est constitué de formations Argiles Silteuses + Calcaires d'âge Namurien avec la présence de plusieurs failles inverses verticales.

### **Conclusion :**

Le bassin d'Ahnet est limité par des failles majeures évoluant durant l'histoire de la plate-forme saharienne.

La superposition des différentes phases affecte la structuration actuelle du bassin d'Ahnet.

Le CI se rétrécit graduellement d'Ouest en Est du bassin d'Ahnet.

## **CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE.**

## Introduction :

L'analyse climatologique a pour but de déterminer le type de climat de notre région d'étude, ainsi que les phénomènes qui lui sont associés (humidité, température, vent) et d'analyser l'évolution dans le temps des paramètres hydro-climatiques (précipitations, évapotranspirations...).

Ces paramètres ont une grande importance pour le calcul du bilan hydrique des aquifères.

Nous avons utilisé les observations enregistrées par la station météorologique nord: **606305 (DAUI)** située à l'Aéroport de In Salah. Les données recueillies se rapportent à la période allant de 2003 à 2019, soit une chronique de 16 ans d'observations. (Tableau III.1).

**Tableau III. 1: Les caractéristiques de la station météorologique d'In Salah**

Station	Coordonnées		Altitude (m)	Période des données
	X	Y		
<b>In Salah</b>	27.25	2.51	269	2003-2019

(Source : fr.tutiempo.net)

### III-1. La température:

La température est un facteur important qui conditionne l'hydro-climatologie d'une région. Pour notre étude nous avons pu disposer des données moyennes mensuelles et annuelles qui sont représentées dans les tableaux ci-dessous.

#### III-1.1 Variations des températures moyennes annuelles :

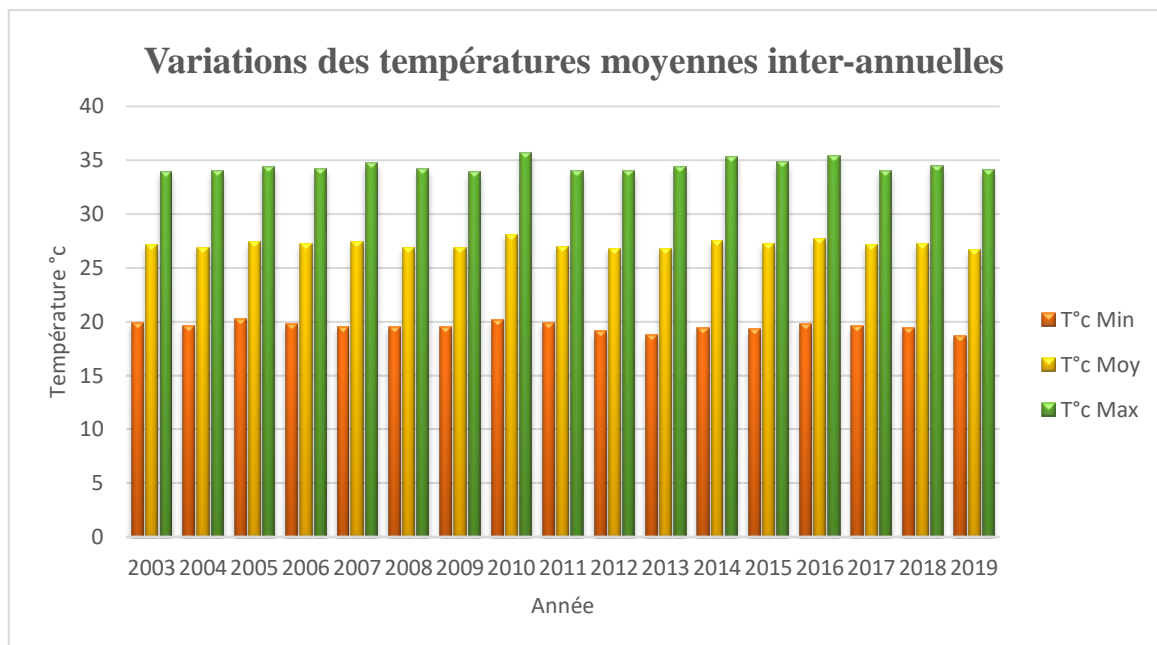
La figure III.1 et le tableau III.2 ci-dessous présentent la répartition des températures moyenne minimale (T°C min), moyenne annuelle (T°C moy), ainsi que la moyenne maximale (T°C max).

**Tableau III. 2 : Températures moyennes inter-annuelles (2003-2019)**

<b>Année</b>	<b>T°C Min</b>	<b>T°C Moy</b>	<b>T°C Max</b>
<b>2003</b>	19.9	27.1	33.9
<b>2004</b>	19.6	26.9	34
<b>2005</b>	20.3	27.4	34.4
<b>2006</b>	19.8	27.2	34.2
<b>2007</b>	19.5	27.4	34.7
<b>2008</b>	19.5	26.9	34.2
<b>2009</b>	19.5	26.9	33.9
<b>2010</b>	20.2	28.1	35.7
<b>2011</b>	19.9	27	34
<b>2012</b>	19.1	26.8	34
<b>2013</b>	18.8	26.8	34.4
<b>2014</b>	19.4	27.5	35.3
<b>2015</b>	19.3	27.2	34.8
<b>2016</b>	19.8	27.7	35.4
<b>2017</b>	19.6	27.1	34
<b>2018</b>	19.4	27.2	34.5
<b>2019</b>	18.7	26.7	34.1

(Source : fr.tutiempo.net)





**Figure III. 1 : Variations moyennes inter-annuelles des températures (2003-2019)**

L'analyse des données montre que la température moyenne annuelle est très homogène, elle varie entre 27°C et 28°C. Les écarts de températures sont importants, ils varient entre 20 et 34°C.

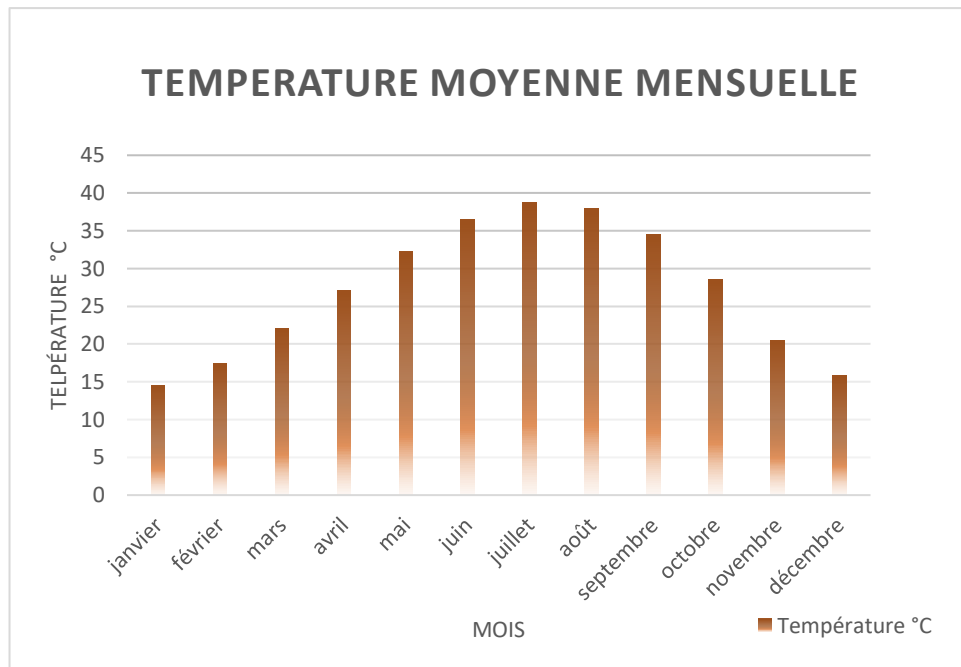
L'évolution des températures nous permet d'affirmer qu'il n'existe aucun impact du réchauffement climatique dans notre région d'étude.

**III-1.2 Variations des températures moyennes mensuelles :**

La figure III.2 et le tableau III.3 ci-dessous présentent la répartition des températures moyennes mensuelles de (2003-2019).

**Tableau III. 3 : Température moyenne mensuelle (2003-2019)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T°C	14.5	17.4	22.1	27.1	32.2	36.5	38.8	37.9	34.5	28.6	20.5	15.9



**Figure III. 2 : Variations moyennes mensuelles des températures (2003-2019)**

L'analyse de l'histogramme des températures moyennes mensuelles (Figure III. 3) montre que le maximum des températures est atteint au mois de juillet (le mois le plus chaud avec une température moyenne de 38.8 °C). Alors que janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 14.5°C.

### III-2. Les précipitations :

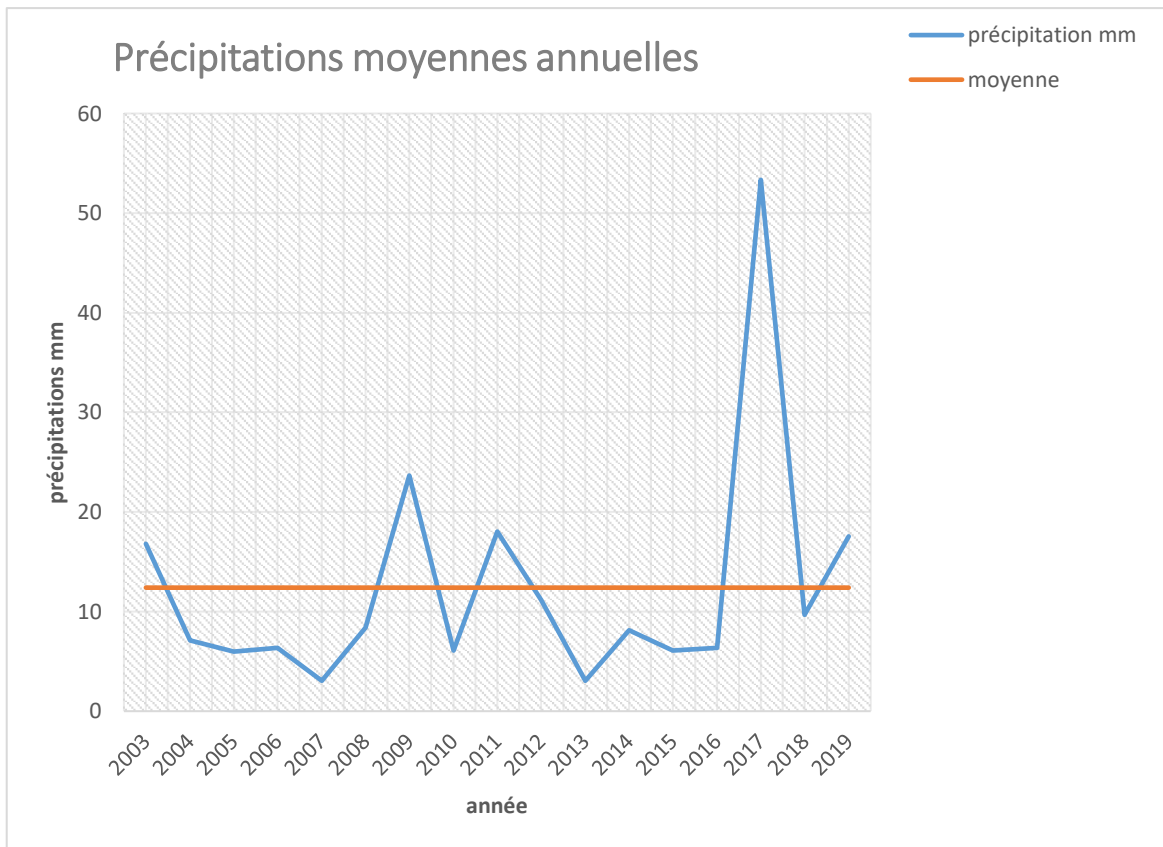
#### III-2.1 Variations annuelles des précipitations :

Dans cette région la pluie est rare et aléatoire.

Le tableau III.4 ci-dessous donne les valeurs des précipitations annuelles moyennes :

**Tableau III. 4: Précipitations moyennes annuelles en mm (2003-2019)**

année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>P (mm)</b>	16.78	7.09	6	6.35	3.05	8.39	23.64	6.09	18.03
année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
<b>P (mm)</b>	11.18	3.05	8.13	6.1	6.34	53.34	9.66	17.54	



**Figure III.3: précipitations moyennes annuelles (2003-2019)**

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations, sur une période de 16 ans (2003-2019), montre que l'année 2017 est la plus arrosée et que l'année 2007 est la plus sèche avec des précipitations moyennes de l'ordre de 53.34 mm/an, les précipitations moyenne annuelles sont de 12.42 mm/an (Figure III.3).

### III-2.2 Variations des moyennes mensuelles des précipitations :

Tableau III. 5: Précipitations moyennes mensuelles (2003-2019)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	1.51	0.6	1.38	0.85	0.6	1.72	0.03	0.09	1.69	1.69	1.4	0.86

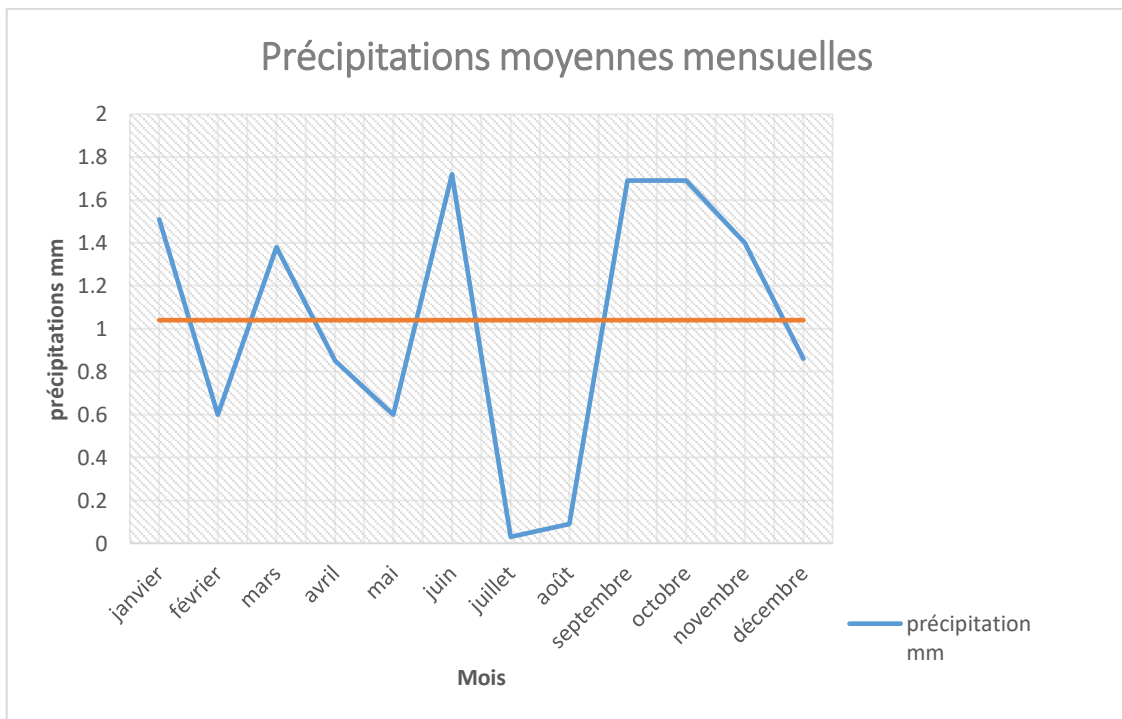


Figure III.4: Précipitations moyennes mensuelles en mm (2003-2019)

Les moyennes mensuelles des précipitations sont très faibles, elles varient entre 0 et 1.7 mm, Les mois les plus arrosés sont septembre et octobre avec 1.7 mm, Juillet et Aout n'enregistrent pratiquement aucune précipitation.

La valeur relativement « forte » enregistrée au mois de juin est due à une pluviosité de 27 mm enregistrée en 2017, il peut s'agir d'une précipitation exceptionnelle ou tout d'une erreur de lecture.

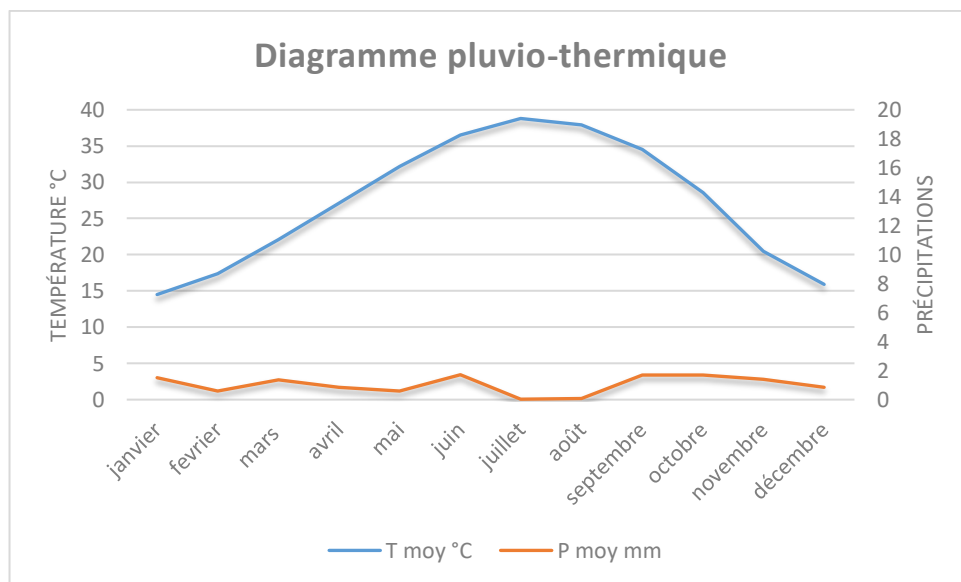
La faible quantité des précipitations est due à la situation géographique de la région et son éloignement de la mer elle est également influencée par des masses d'air tropical continental de direction Sud et Sud -Est, caractérisées par de fortes températures et des vents violents. (Figure III.4).

### III-2.3 Diagramme Pluvio-Thermique De GAUSSEN :

Un mois sec est défini, selon Bagnouls et Gausсен (1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ( $P \leq 2T$ ) (tableau III.6). Ainsi, on constate que la saison sèche s'étale sur plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausсен (figure III.5) permet de mettre en évidence une saison sèche qui s'étale sur tous les mois de l'année. [7]

**Tableau III. 6: Les précipitations et températures moyennes mensuelles (2003-2019)**

Mois	jan	Fev	Mars	avr	mai	Juin	juil	août	sept	oct	Nov	Déc
T °C	14.5	17.4	22.1	27.1	32.2	36.5	38.8	37.9	34.5	28.6	20.5	15.9
P	1.51	0.6	1.38	0.85	0.6	1.72	0.03	0.09	1.69	1.69	1.4	0.86



**Figure III.5: Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN**

Ce diagramme montre que pour le climat de notre région (climat saharien), il n'existe pas de période humide. On déduit que la région de l'Ahnet est caractérisée par un climat hyper-aride avec des précipitations annuelles très faibles.

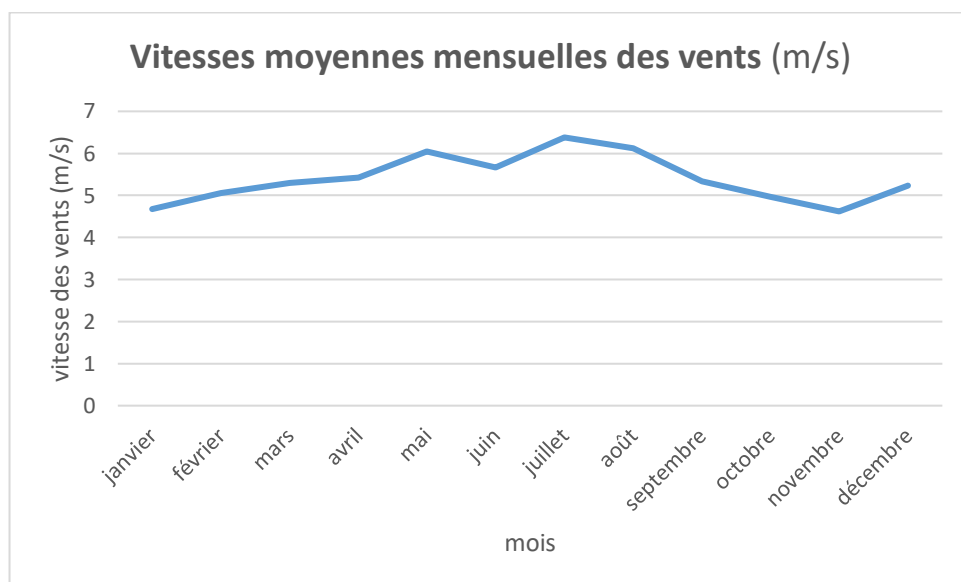
### III-3. Le vent:

Le vent joue un rôle de dessèchement puisqu'il diminue l'humidité de l'air. La région est connue par la fréquence de vents de sable qui ont une grande influence sur la géomorphologie et les facteurs climatiques. [6]

Le tableau III.7 ci-dessous nous donne les valeurs des vitesses du vent enregistrées.  
(Source : fr.tutempo.net)

**Tableau III. 7: Les vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s)**

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc
Vent (m/s)	4.68	5.05	5.3	5.43	6.05	5.66	6.38	6.12	5.33	4.97	4.62	5.23



**Figure III.6: Vitesses moyennes des vents m/s (2003-2019)**

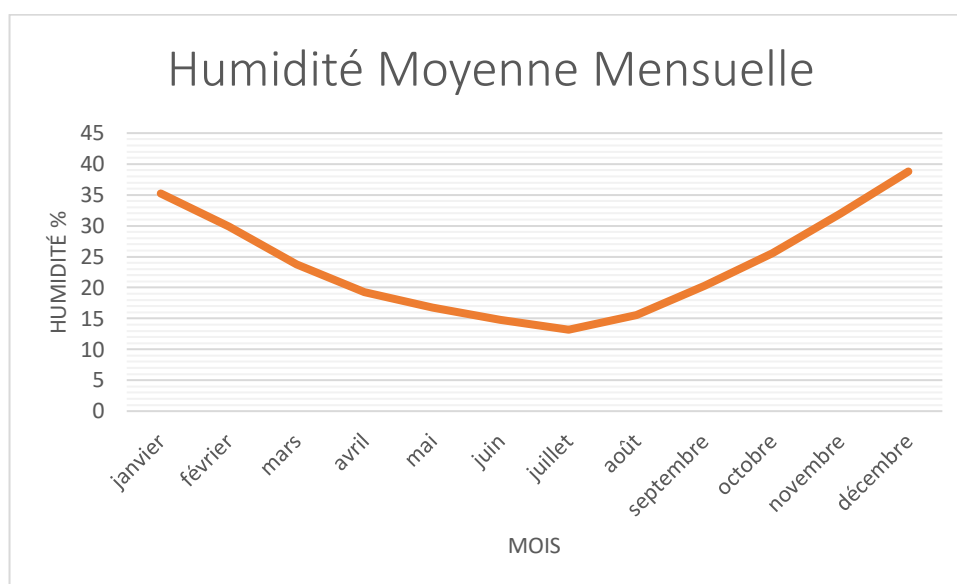
Le vent atteint sa valeur maximale au mois de juillet (6.38 m/s) et a une valeur minimale au mois de Novembre (4.62 m/s) (figure III.6).

#### **III-4. L'humidité:**

C'est le taux d'eau présente dans l'air, il intervient dans la possibilité de formation des nuages et des précipitations. L'humidité relative compare la quantité d'eau contenue dans l'air à la quantité nécessaire pour saturer cet air à une température donnée (tableau III.8) [6]

**Tableau III. 8: Humidité moyenne mensuelle (%).**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
humd %	35.25	29.9	23.74	19.26	16.75	14.78	13.18	15.57	20.32	25.59	31.96	38.79



**Figure III.7: Humidité moyenne mensuelle % (2003-2019)**

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région d'In Salah est de 23.76 %. Les moyennes mensuelles de l'humidité sont en dessous de la médiane (50 %), les fortes valeurs sont enregistrées durant la saison hivernale avec une valeur maximale moyenne enregistrée est celle du mois de décembre avec une valeur de 38.79%. (Figure III.7)

### **III-5. Indice climatique :**

#### **III-5.1 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.

**Tableau III. 9: Classification des climats en fonction de l'indice de DEMARTONNE.**

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

**Tableau III. 10: Indice d'aridité de DEMARTONNE pour la ville d'In Salah (2003-2019).**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>P</b>	1.51	0.6	1.38	0.85	0.6	1.72	0.03	0.09	1.69	1.69	1.4	0.86
<b>T°C</b>	14.5	17.4	22.1	27.1	32.2	36.5	38.8	37.9	34.5	28.6	20.5	15.9
<b>I</b>	0.06	0.02	0.04	0.03	0.014	0.04	0.001	0.002	0.04	0.04	0.05	0.03

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 notre région d'étude se caractérise par un climat hyper aride avec un indice  $I < 5$ .

### **III-6. 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.



### III-6.1 Estimation De L'ETP (L'évapotranspiration potentielle) :

Plusieurs méthodes ont été proposées par différents auteurs afin de calculer l'ETP, à partir de quatre paramètres fondamentaux : la température, déficit d'écoulement, le vent et la durée d'insolation.

En tenant compte des données disponibles, nous avons optées la méthode de THORNTHWAITE dans le calcul de ce paramètre.

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a * K$$

Avec :

ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée en (mm).

T : température moyenne du mois en (°C).

$I = \sum i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514} i$ : indice thermique

$a = (1.6.I/100) + 0.5$

K : coefficient de correction en fonction de la latitude

Application numérique :  $a = 2.94$      $I = 152.36$

**Tableau III. 11: Valeur de l'ETP Calculée en (mm) Selon la méthode de THORNTHWAITE.**

Mois	T°C	I	ETP calculée	K	ETP corrigée (mm)
<b>Janvier</b>	14.5	5.01	13.83	0.92	12.72
<b>Février</b>	17.4	6.6	23.64	0.88	20.8
<b>Mars</b>	22.1	9.42	47.75	1.03	49.18
<b>Avril</b>	27.1	12.92	86.98	1.07	93.07
<b>Mai</b>	32.2	16.77	144.4	1.13	163.17
<b>Juin</b>	36.5	11.05	208.75	1.15	240.06
<b>Juillet</b>	38.8	22.25	249.83	1.18	294.8
<b>Août</b>	37.9	21.47	233.17	1.13	263.48
<b>septembre</b>	34.5	18.62	176.88	1.02	180.42
<b>Octobre</b>	28.6	14.02	101.9	0.99	100.88
<b>novembre</b>	20.5	8.47	38.29	0.9	34.46
<b>décembre</b>	15.9	5.76	18.14	0.9	16.33
<b>Moy ann</b>	27.2	152.36	1343.56	-	1469.37

### III-6.2 Estimation de l'ETR (l'évapotranspiration réelle) :

Diverses formules permettent d'évaluer l'évapotranspiration réelle :

#### III-6.2.1 ETR selon la Formule de TURC :

L'avantage de la formule TURC est qu'elle s'applique à tous les climats.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

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

$$P=12.42 \text{ mm}$$

$$T=27.2 \text{ °C}$$

$$L= 1016.99 \text{ m}$$

D'où :

$$ETR=12.76 \text{ mm}$$

#### III-6.2.2 ETR selon la 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 :  $\lambda=1/p(0,8+0.14T)$ .

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 :

$$P=12.42 \text{ mm}$$

$$T=27.2 \text{ °C}$$

$$\lambda=0.22 \quad 1/2\lambda=2.27 \quad 1/8\lambda=0.57$$

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

### III-6.3 Tableau récapitulatif :

**Tableau III. 12: Tableau récapitulatif des données (P, ETP, ETR).**

<b>Mois</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T°C</b>	<b>ETP</b>	<b>ETR</b>
<b>Janvier</b>	1.51	14.5	12.72	1.59
<b>Février</b>	0.6	17.4	20.8	0.63
<b>Mars</b>	1.38	22.1	49.18	1.45
<b>Avril</b>	0.85	27.1	93.07	0.9
<b>Mai</b>	0.6	32.2	163.17	0.63
<b>Juin</b>	1.72	36.5	240.06	1.81
<b>Juillet</b>	0.03	38.8	294.8	0.03
<b>Août</b>	0.09	37.9	263.48	0.09
<b>Septembre</b>	1.69	34.5	180.42	1.78
<b>Octobre</b>	1.69	28.6	100.88	1.78
<b>Novembre</b>	1.4	20.5	34.46	1.48
<b>Décembre</b>	0.86	15.9	16.33	0.91
<b>Année</b>	12.42	27.2	1469.37	13.08

On remarque dans le tableau III.12 que L'ETR est presque équivalente à P, alors toute la pluie est reprise par l'évaporation et donc ne contribue pas, dans cette région, à l'alimentation de la nappe.

## **Conclusion :**

En analysant les données dans notre région d'étude, on conclut qu'elle se caractérise par :

Une haute température homogène, avec des valeurs moyennes annuelles régulières qui varient entre 27°C et 28°C et des écarts importants de 20°C à 34°C.

Les précipitations sont faibles avec des pluies rares et aléatoires, les valeurs des précipitations augmentent pour atteindre leurs maximum en périodes hivernales (1.7mm) mais restent très faibles et baissent en période estivales jusqu'à s'annuler (0mm) parfois, Contrairement au vent de sable qui atteint sa valeur maximale en Juillet (6.38 m/s) et sa valeur minimale en Novembre (4.62 m/s).

Les valeurs de l'humidité en dessous de la médiane (50 %), augmentent en périodes hivernales et baissent en périodes estivales.

La région d'étude est d'un climat saharien de type hyper aride et sec. Les précipitations sont très faibles rares et aléatoires avec beaucoup de vents de sable.

## **CHAPITRE IV : LES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN DE L'AHNET**

## **Introduction :**

Le Sahara algérien renferme d'importantes ressources en eaux souterraines qui constituent la seule source pérenne et vitale pour le développement de ces régions arides. Par ailleurs, ces ressources sont indispensables au développement de l'industrie pétrolière. Ces ressources en eaux souterraines sont surtout confinées dans deux grands aquifères Continental Intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT). Ces deux grands aquifères sont parfois surmontés, selon les géologies locales, par une nappe superficielle d'importance localisée.

Dans ce chapitre sera présentée une synthèse des caractéristiques hydrogéologiques régionales et locales ainsi qu'un aperçu des ressources hydriques du bassin de l'Ahnet et leurs utilisations.

### **IV.1. Synthèse des ressources en eau du Sahara Algérien :**

Le SASS occupe une superficie de plus d'un million de km<sup>2</sup>, dont 60% en Algérie, 30% Libye et 10% en Tunisie, cette superficie peut être subdivisée en trois bassins :

- Le bassin occidental, comprenant le secteur des foggaras au Sud, le Grand Erg Occidental et l'Atlas Saharien au Nord (Algérie).
- Le bassin central, limité à l'ouest par la dorsale du M'Zab et à l'Est par le plateau de la Hamada el Hamra (Algérie, Tunisie, Libye).
- Le bassin oriental caractérisé par l'effondrement du graben de Hun (Algérie, Libye).

Les affleurements du CI et CT font partie des zones de nappe libre, sont respectivement en vert clair et en hachuré (Sénonien carbonaté, Eocène et Paléocène).

Le bassin d'Ahnet fait partie du sous bassin hydrogéologique occidental du continental intercalaire dont les cours d'eau permanent n'existent pas, l'écoulement des Oueds est temporaire, il se perd dans les dépressions fermées.

Des espaces d'eau recouvrent les dépressions du bas Sahara, qui résultent principalement de l'ascension des eaux souterraines à partir de la nappe phréatique, du complexe Terminal et de l'Albien, elles constituent en surface des chotts temporaires (cas des villes d'El Oued et Touggourt).

Lorsque les vallées n'ont pas d'écoulement superficiel, elles suivent un écoulement souterrain.

Le Sahara algérien est subdivisé en quatre unités hydrogéologiques (figure IV.1) cités ainsi [8] :

- L'unité de Saoura-Tindouf
- L'unité du Chott Melrhir

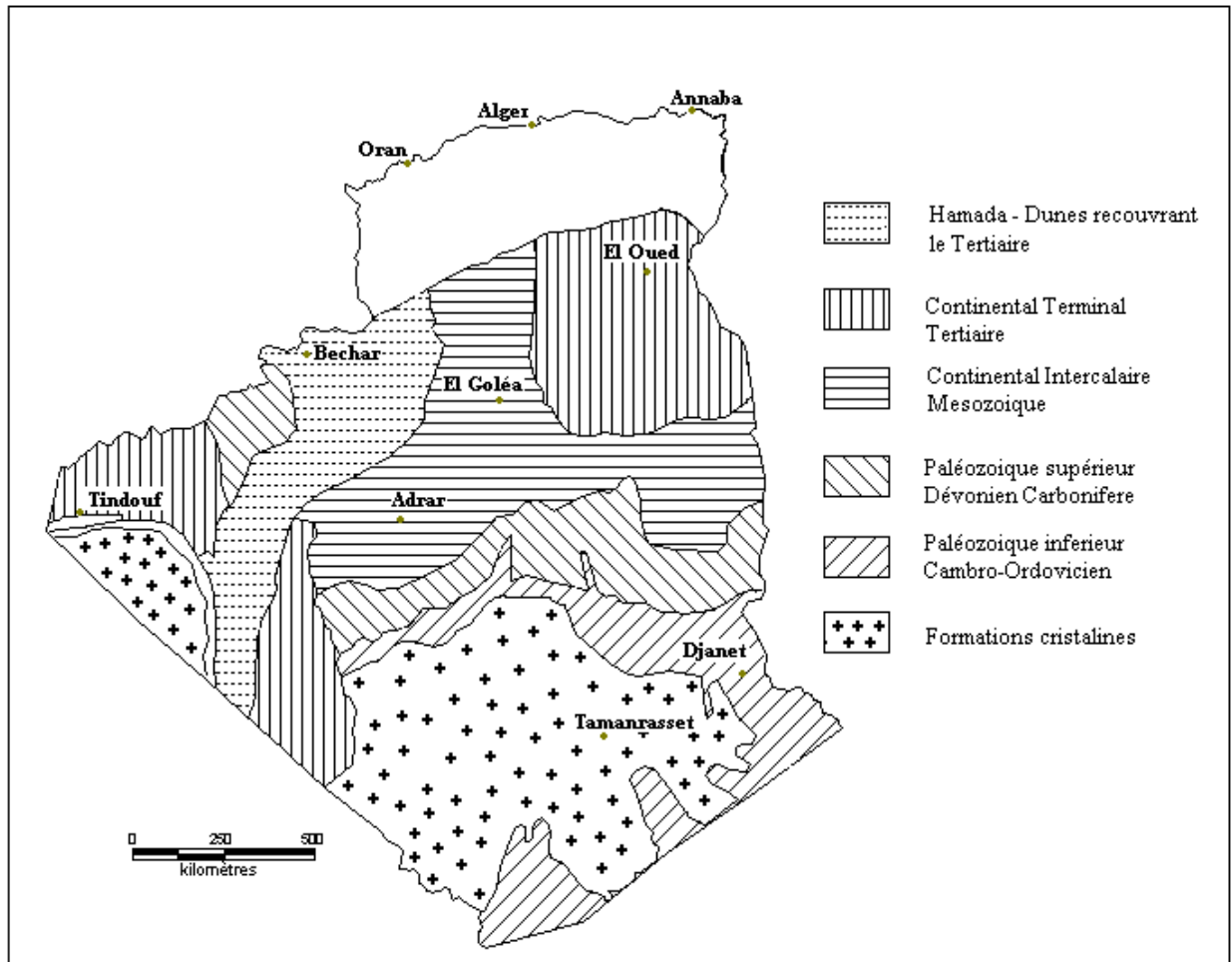
- L'unité du Sahara septentrional
- L'unité du Hoggar-Tassili



**Figure IV. 1 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien**

Et en quatre complexes hydrogéologiques profonds (figure IV.2) :

- Combro-ordovicien
- Silurien supérieur
- Dévonien supérieur
- Carbonifère



**Figure IV. 2 : Carte hydrogéologique du Sahara algérien d'après (Mehdid A. 1988.)**

Présentant des eaux salées, par la suite, une série supérieure du continental intercalaire qui renferme des eaux de bonne qualité.

Le système aquifère saharien désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes (figure IV.3):

- La formation du Complexe Terminal, CT, (BEL et Demande, 1996 ; Pallas, 1980 ; Amou, 1990) recouvre une étendue de plus de Million de km dont 700.000 se trouvent en Algérie, près de 80.000 en Tunisie et 250.000 en Lybie. (Geopetrole, 1963 ; UNESCO, 1972 ; PNUD, 1987 ; GEOMATH, 1994 ; De Marsily, 1978 ; Besbes, 1988 ; Zammouri, 1990).
- La formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde (Cornet, 1964 ; Salem, 1990).



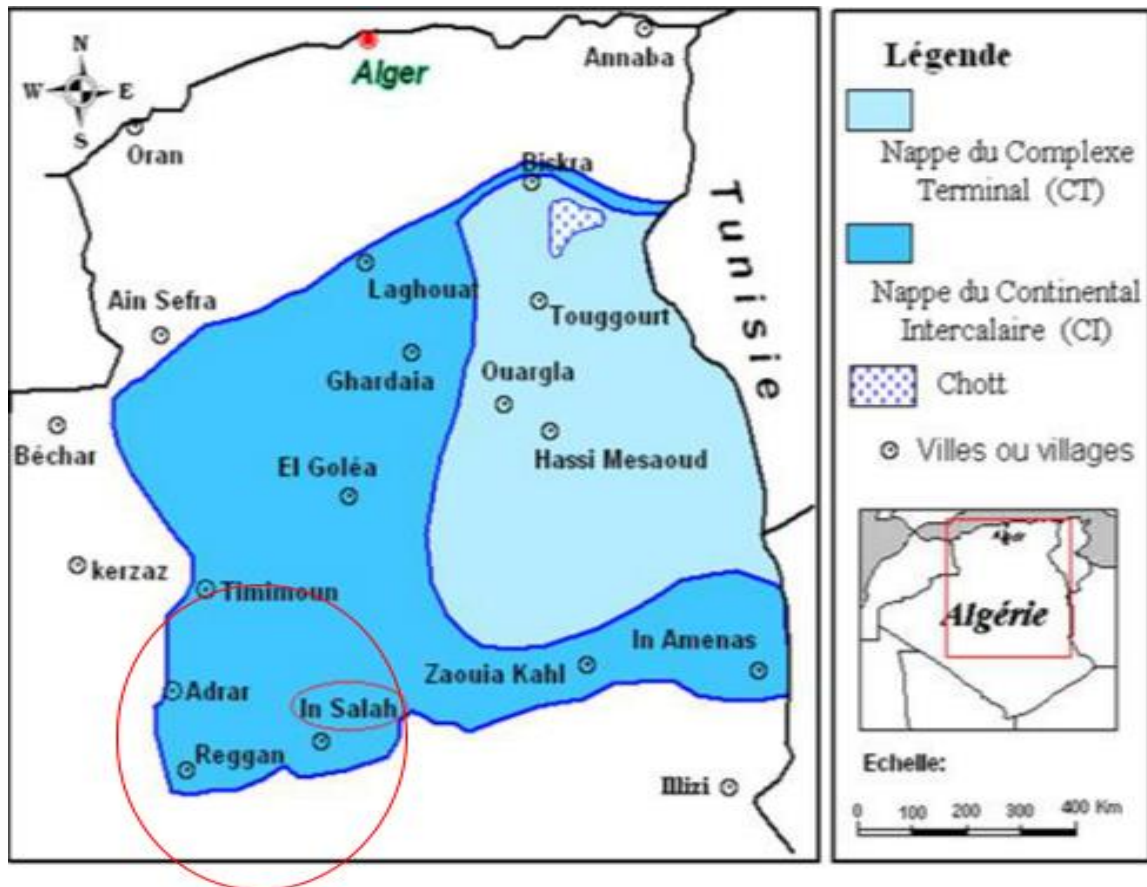


Figure IV. 3 : Cadre général du système aquifère post-paléozoïque du Sahara

#### IV.1. 1 L'aquifère du Complexe Terminal:

*L'aquifère du Complexe Terminal:* Une formation qui est contenue 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, très sollicitée dans la région des Chotts algéro-tunisiens et dans le golfe de Syrte en Lybie, contient 5300 points d'eau.

La nappe du complexe terminal (CT), regroupe deux aquifères, nappe des sables et nappe des calcaires.

Cette nappe se compose de formations d'âge et de lithologie différents, d'une base de sénono-eocène carbonaté et un sommet de mio-pliocène sablo-argileux, en charge sous les formations argileuses du Mio-pliocène dans la partie Nord et libre dans la partie Sud.

Le remplissage du réservoir de cette nappe s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses de Quaternaire mais actuellement la nappe se recharge à travers des quantités d'eaux non négligeables, soit par infiltration du ruissellement des Oueds descendant des

massifs montagneux soit par infiltration des pluies exceptionnelles dans les sables du grand Erg oriental.

Les eaux de cet aquifère se caractérisent par une température peu élevée, avec une certaine différenciation dans l'évolution de la minéralisation totale des eaux entre la nappe des sables et celle des calcaires sa qualité chimique est bonne sur les bordures et moyenne dans le centre du bassin. [9]

Elle est très exploitée surtout dans le bas Sahara, en 2000 a atteint 26.5 m<sup>3</sup>/s d'eau et se fait essentiellement par pompage (24.6 m<sup>3</sup>/s équivalent à 93% de son exploitation globale en Algérie).

Cette nappe est principalement exploitée dans les régions d'El Oued, Ouargla, Biskra et accessoirement dans les wilayas de Khenchela et Tébessa [9].

#### **IV.1.2. L'aquifère de Continent Intercalaire :**

*L'aquifère de Continent Intercalaire* : est une formation qui s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar et d'Est à l'Ouest, de la vallée de Guir-Saoura jusqu'à Hamada El Hamr, son épaisseur est de 200 à 400m et contient 3500 points d'eau (ABHS, 2000).

La formation la plus étendue et la plus profonde, elle couvre une large période du Trias à l'Albien, définie par les formations continentales du crétacé inférieur comprise entre le Neocomien et le Cenomanien qui sont constituées de sables, grès et des intercalations d'argiles.

La nappe du Continental Intercalaire, plus souvent dite nappe albiennaise, est une nappe fossile c'est-à-dire qu'elle est faiblement alimentée par rapport à son volume, sa recharge actuelle s'effectue principalement par infiltration des eaux de ruissellement des oueds descendant des massifs montagneux de l'Atlas saharien au Nord, des monts du Dahar à l'Est de la Tunisie et des Oueds de l'extrémité occidentale du Tademaït.

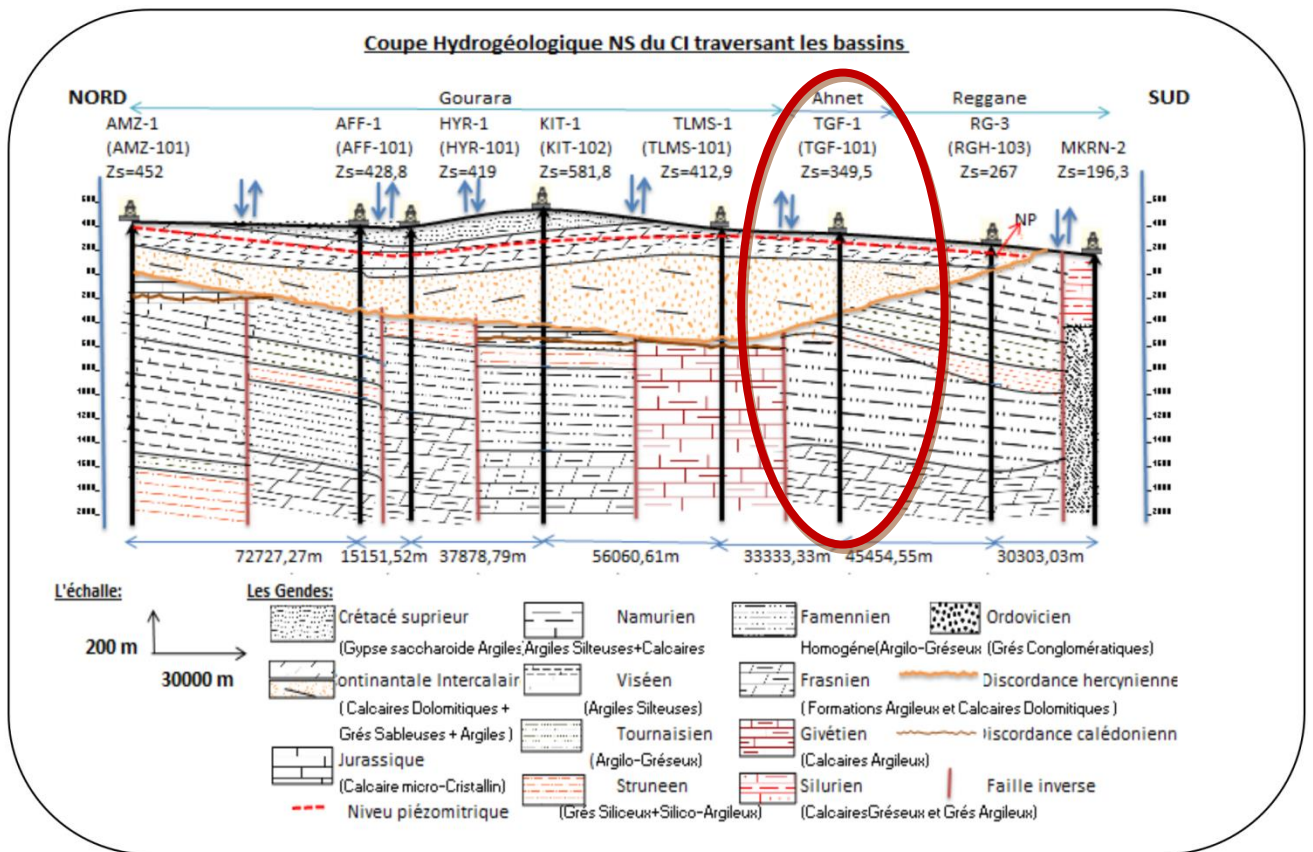
L'écoulement des eaux provenant de l'Atlas Saharien se transporte grâce à les formations perméables du Crétacé inférieur et se divise selon deux principales directions d'écoulement :

Vers le Sud et le Sud-Ouest vers les exutoires qui jalonnent les régions du Touat-Gourara et du Tidikelt et vers les zones évaporatoires du grand Erg occidental.

Vers le Nord-Est (Zone côtière tunisienne) par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine.

La nappe de CI été exploitée au départ traditionnellement à partir des foggaras dans la wilaya d'Adrar puis s'est largement étendue grâce à la généralisation du pompage aux wilayas de Biskra, Tamnasset Illizi, Ghardaïa, El Oued et Ouargla.

## IV.2. Aperçu hydrogéologique du bassin de l’Ahnet :



**Figure IV. 4 : Coupe hydrogéologique nord-sud du CI traversant le bassin d’Ahnet. [6]**

Cette coupe présente le système hydrogéologique présent à travers les trois (03) bassins orientée du nord au sud sur une longueur de plus de 275km.

Le CI est captif avec une épaisseur maximale au centre de la coupe (puits KIT-1 et TLMS-1) et minimale aux extrémités (puits RG-3 et AMZ-1).

Le niveau piézométrique varie entre 240m à 440m du sud vers le nord tout en indiquant le sens d’écoulement suivant ce profile

La zone d’étude contient le forage TGF-1.

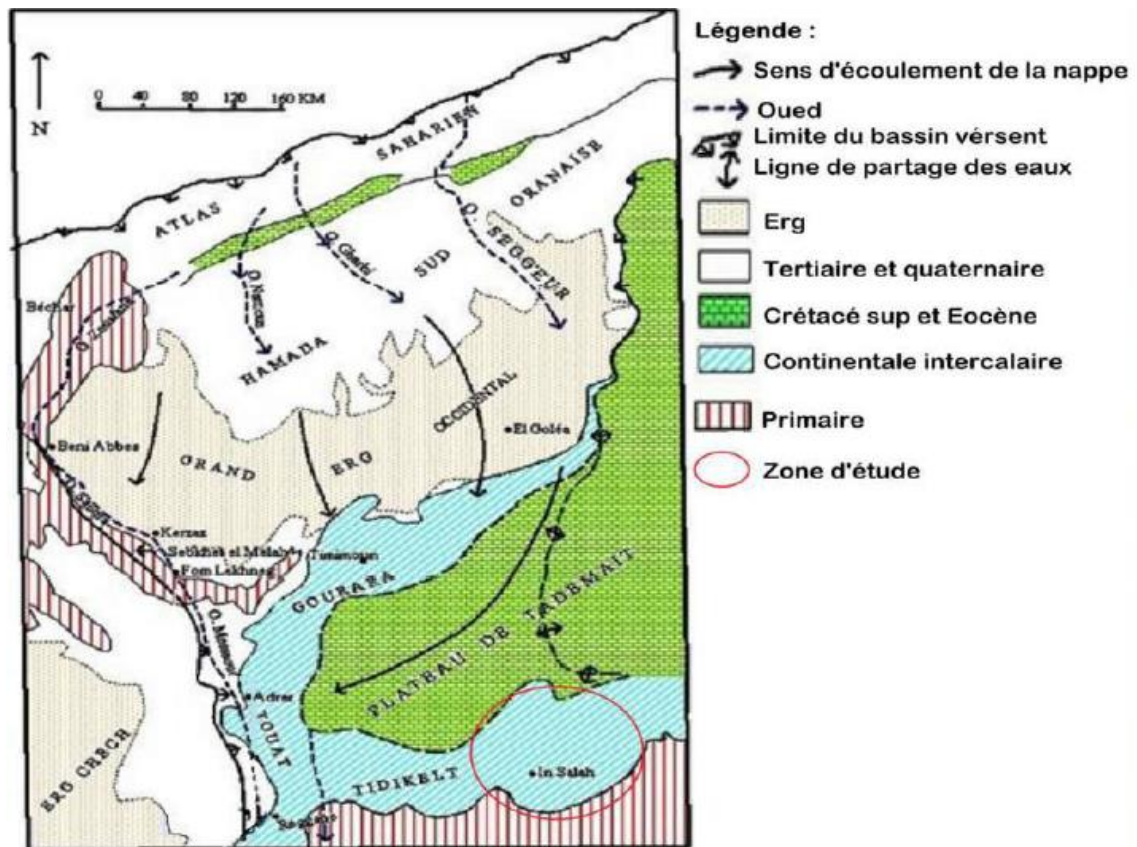
Le substratum est constitué de formations argileuses et calcaires.

La nappe affleure dans les régions d’In-Salah qui est située à la limite sud du bassin occidental du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) dans les affleurements du CI est faiblement alimentée environ  $268 \text{ Mm}^3/\text{an}$ , de façon directe par infiltration des eaux de pluies et des ruissellements qui se produisent sur les zones d’affleurement (Gourara, Touat et Tidikelt), ces affleurements dépassent  $50000 \text{ km}^2$ . En considérant une pluie

moyenne de 20 mm/an et un coefficient d'infiltration de 10%, il évalue le volume infiltré annuellement à 100 millions de m<sup>3</sup> (soit 3 m<sup>3</sup>/s environ).

L'alimentation indirecte est Nord vers le Sud par cours d'eau de plateau Tademaït (Les calcaires fissurés du Sénonien) et Nord vers le Sud-est par écoulement de pluies du plateau Tademaït. (Belhamdo.2013).

La région In Salah c'est une région exutoire de nappe continentale intercalaire par les sebkhas (exutoire naturel) et plus des foggaras et des forages qui sont les exutoires artificiels de la nappe albiene avec le taux d'évaporation de la nappe superficielle. [10]



**Figure IV. 5: Le Sens d'écoulement de zone d'étude (d'après G. G. Confiantini et A. L. Payne, (1974)).**

### **IV.3. Les Potentialités en eau de la région et leurs utilisations :**

La nappe est exploitée pour différentes utilisations; alimentation en eau potable, irrigation qui représente la partie majeure de l'eau utilisée et l'alimentation en eau industrielle.

L'exploitation se fait grâce aux foggaras (Figure IV.6) et aux forages hydrauliques (Figure IV.7).

Les utilisations de cette eau dans le domaine agricole et urbain exigent un refroidissement qui se fait par un refroidisseur.



**Figure IV. 6: Image de foggara albien.**



**Figure IV. 7: Image d'un forage albien.**

### **IV.3. 1 L'alimentation en eau de la population :**

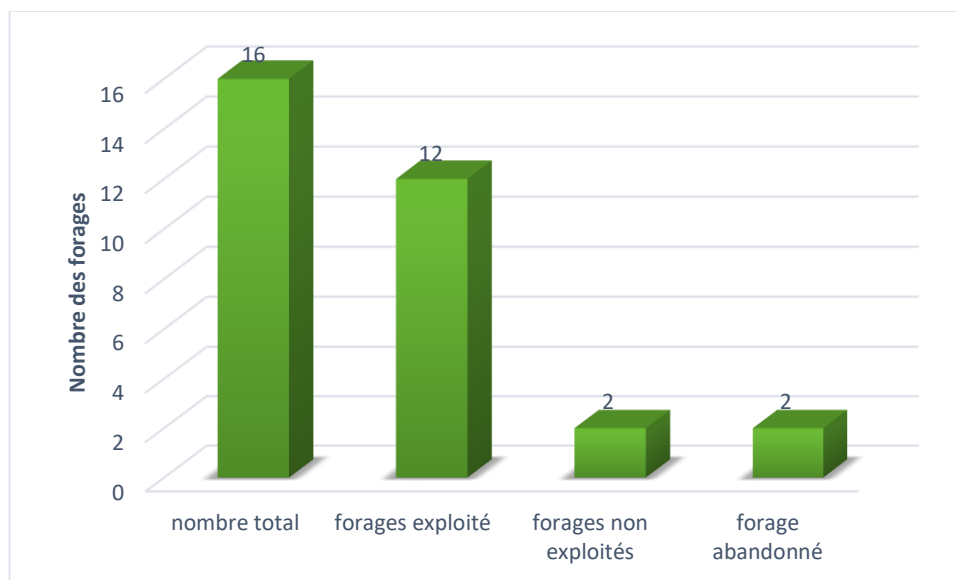
#### **IV.3.1.1. Localement :**

##### **a. Les forages :**

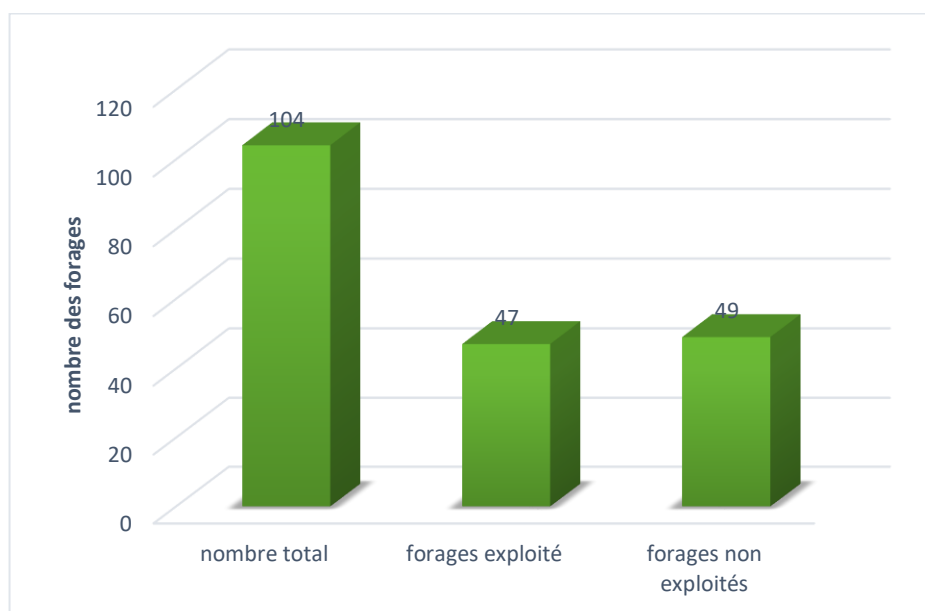
La région d'In-Salah renferme 120 forages hydrauliques captent la nappe du CI, dont 16 forages sont destinés pour l'AEP (Figure IV.8) par contre 104 sont destinés pour l'irrigation (Figure IV.9).

**Tableau IV. 1 : nombre des forages dans la région d'In Salah [11]**

<b>nombre des forages</b>	<b>nombre total</b>	<b>forages exploités</b>	<b>forages non exploités</b>	<b>forage abandonné</b>
<b>AEP</b>	16	12	2	2
<b>Irrigation</b>	104	47	49	0



**Figure IV. 8: situation des forages d'AEP**



**Figure IV. 9 : Situation des forages d'Irrigation**

On remarque dans ces figures que l'exploitation d'eau est répartie à toute la région d'étude mais avec des pourcentages différents et que la majorité des forages exploités sont destinés pour irrigation.

### b. Foggara :

L'exploitation du CI c'est d'abord effectué, depuis de longs siècles, par le système traditionnel des foggaras (Figure IV.10).

La foggara galerie souterraine pour l'irrigation, utilisée dans le Sahara qui a son point de départ au-dessous de la nappe et qui se dirige vers la surface du sol avec une pente plus faible que celle de la nappe et de la surface du sol.

Selon les archives la région In Salah renferme plus de 97 foggaras, il ne reste actuellement à peu près 15 foggaras pérennes. [12]

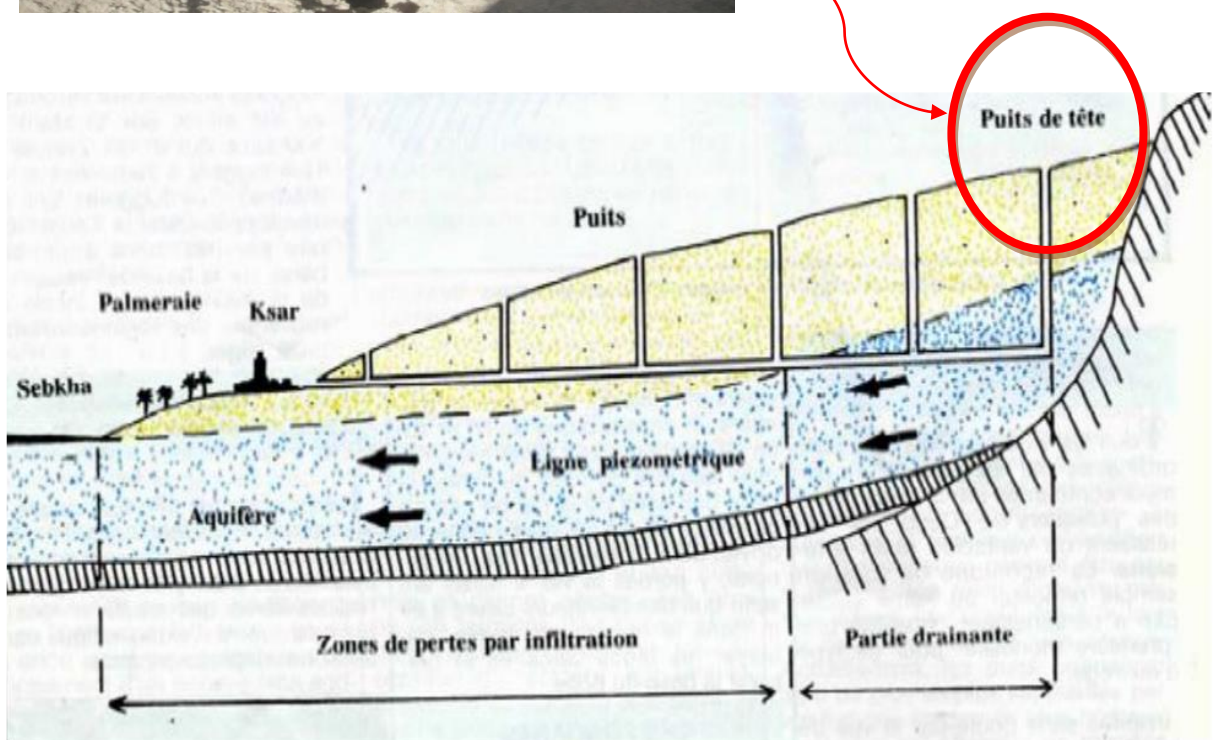


Figure IV. 10: Schéma de fonctionnement de la foggara [13]

#### IV.3.1.2. Le transfert des eaux Ain Salah-Tamanrasset :

Le transfert d'In Salah, est une gigantesque infrastructure hydraulique permettant la mobilisation des eaux souterraines du Sahara septentrional via des conduites totalisant un linéaire global de 1.260 km pour un investissement d'environ 1.5 milliards de dollars. Ouvrage complexe du fait notamment des contraintes géologiques rencontrées par les entreprises réalisatrices. [12]

Depuis les deux dernières décennies, le problème de manque d'eau potable s'est fait bien ressentir au niveau de la ville de Tamanrasset, qui compte maintenant parmi les grandes agglomérations du Sud du pays (80 000 habitants). Le projet d'alimentation de la ville de Tamanrasset à partir d'In Salah est stratégique puisqu'il constitue une solution à court, moyen et long terme. Il compte les ouvrages suivants :

- Un champ de captage se situait à 70 km au nord de la ville d'In Salah comprenant 24 forages de 600 mètres de profondeur chacun et étalé sur une superficie de 15 Km<sup>2</sup>. Ce champ est en exploitation depuis avril 2011 avec un débit moyen de 25 000 m<sup>3</sup>/jour sur un potentiel de 70 000 m<sup>3</sup> /jour.
- Un champ captant n°2, comprenant 24 forages de 450 mètres de profondeur chacun : en cours de réalisation
- 25 piézomètres pour la surveillance de la nappe.
- Un réservoir de tête d'une capacité de 50.000 m<sup>3</sup>.
- Une station de déminéralisation implantée au niveau du champ captant n°1 avec une capacité de 50.000 m<sup>3</sup>/jour extensible à 100.000 m<sup>3</sup>/j (en cours de lancement).
- Une adduction de plus de 1.200 Km de conduites de diamètres compris entre 1.400 mm et 700 mm, reliant le champ captant n°1 au réservoir terminal de Tamanrasset sur une distance de 750 km.
- Six stations de pompage.
- Un réservoir d'arrivée à Tamanrasset d'une capacité de 50.000 m<sup>3</sup>.

Le projet a pour but d'Alimentation en eau potable d'In Salah – Tamanrasset ainsi que des localités situées sur le couloir. Dont la Population ciblée à l'horizon 2050 est de 400 000 habitants avec une Production d'eau à l'horizon 2050 : 100 000 m<sup>3</sup>/j. (Source : [www.mre.gov.dz](http://www.mre.gov.dz) en 2018).





Figure IV. 11 : le projet transfert d'eau d'In Salah à Tamanrasset [12]

### IV.3.2. L'utilisation de l'eau dans l'industrie pétrolière :

En 1956, la découverte du plus grand champ pétrolier a été intervenue à Hassi-Messaoud.

Auparavant, la découverte d'hydrocarbures a été en 1954 au sud d'In-Salah dont les réserves étaient estimées à 100 milliards de mètres cubes, fournie par la C.R.E.P.S.

Le bassin d'Ahnet est un bassin de direction nord-sud qui contient plus de 941.4 mètres de sédiments du Paléozoïque y compris les schistes du Silurien et du Dévonien organiques riches [5].

De nombreux forages étaient en cours dans l'Ahnet, leur production pétrolière devait être accompagnée par l'usage et la production d'importants volumes d'eau pour de nombreuses applications.

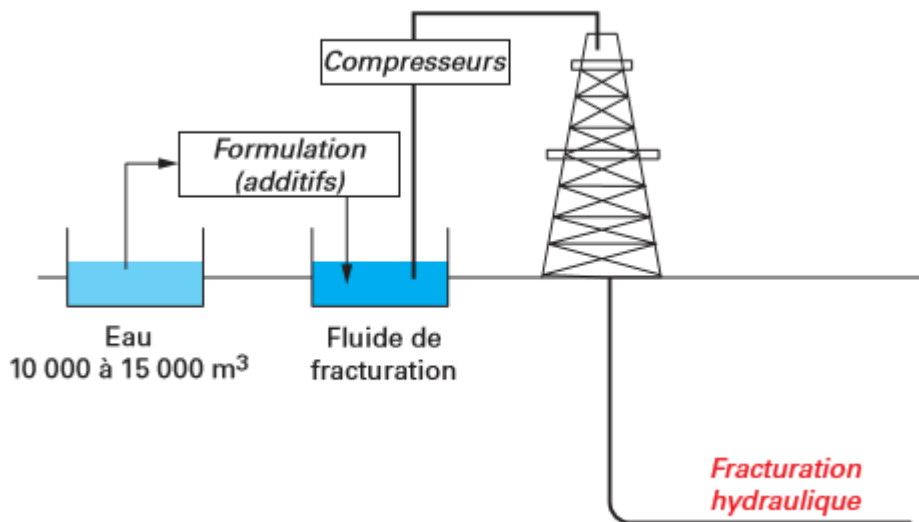
L'industrie du pétrole est consciente de sa dépendance à l'eau et s'efforce d'utiliser de l'eau non potable pour minimiser et optimiser son utilisation par sa réutilisation, son recyclage ainsi que par amélioration des technologies de traitement de l'eau.

Les besoins en eau pour réaliser un forage pétrolier sont très variables suivant les conditions géologiques mais sont de l'ordre de 10000 à 15000 m<sup>3</sup> et ce volume doit être acheminé jusqu'au chantier de forage et stocké généralement dans des bacs de rétention (figure IV.12).

Il faut avoir à l'esprit que ce volume d'eau n'est pas synonyme d'eau potable, des ressources en eau alternatives peuvent être utilisées comme les recyclages d'effluents urbains ou industriels après traitement ou de l'eau contenue dans des aquifères profonds contenant de l'eau non probabilisables (saumure). De plus, une partie de l'eau utilisée revient rapidement en surface et peut être traitée et réutilisée pour les puits suivants.

L'eau utilisée dans l'industrie pétrolière à de différentes applications dans :

- La séparation du bitume du sable et de l'argile
- Le réchauffement du bitume souterrain et lui permet de remonter à la surface
- Les champs pétrolifères classiques, de l'eau est pompée dans les puits pour chasser le pétrole des cavités de la roche, et pouvoir ainsi le pomper à la surface.
- Le contrôle des poussières ou le nettoyage des équipements, une fois qu'un puits entre en production.
- La fracturation hydraulique, cette technique qui a été mise au point dans les années 1940 pour stimuler des réservoirs de mauvaise qualité en injectant de l'eau pompée sous de très fortes pressions dans des réservoirs étanches pour créer des fissures ou éviter leurs fermetures dans la roche, et permettre au pétrole de s'écouler vers un puits pour être récupérés [14].



**Figure IV. 12: Besoins en eau pour la réalisation du forage et de la fracturation hydraulique [15].**

### **Conclusion :**

La région d'Ahnet est située à une altitude de 200m, en sud du bassin occidental dans les affleurements du CI en Algérie dont son système aquifère saharien désigne la superposition des deux formations, Complexe Terminal et Continental Intercalaire.

Le transfert de ces eaux se fait par une gigantesque infrastructure hydraulique de transfert des eaux souterraines du Sahara Septentrional, un projet qui a pour but d'alimenter toute la région ainsi que contribuer au développement de l'industrie pétrolière.

Son alimentation est faite par l'infiltration de la pluie de la zone perméable d'affleurement.

L'hydrogéologie de la région est très importante selon sa situation dans l'aquifère de SSAS, elle représente un exutoire artificiel de SASS par les forages et les foggaras qu'elle englobe ou naturel par les Sebkhass.

**CHAPITRE V : ETUDE HYDROCHIMIQUE DES EAUX DU  
CONTINENTAL INTERCALAIRE DU BASSIN DE  
L'AHNET DANS LA REGION D'IN SALAH**

## Introduction :

La connaissance des caractères physico-chimiques des eaux est indispensable à leur gestion et à la connaissance du milieu de circulation ainsi que la nature de l'encaissant.

Dans le cadre de notre étude, l'annulation de notre stage de terrain pour cause de pandémie, ne nous a pas permis d'avoir des données sur l'ensemble du bassin de l'Ahnet. Suite à cela, nous nous sommes contentées de données d'analyses effectuées par l'ANRH de Ouargla sur les prélèvements de 28 forages dans la région de In Salah et qui ont concernés la nappe du continental intercalaire, mais on n'a pas pu récupérer les coordonnées géographiques des forages ainsi que les données de températures.

Ces prélèvements ont été effectués en 2010 et les analyses réalisées par le laboratoire d'analyses de l'ANRH.

**Tableau V. 1: Les différents forages d'eau de la région d'In Salah (ANRH Ouargla, 2010)**

Forages	Lieu	Altitude(Z)	profondeur	Usage
<b>FS 68 [Pivot]</b>	BARKA - MATYAH	<b>288</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FZ 11 R250 M3</b>	FOGGARET EZOUA	<b>299</b>	<b>160</b>	<b>A.E.P</b>
<b>FS 45 (Aéroport)</b>	AEROPORT	<b>268</b>	<b>160</b>	<b>A.E.P</b>
<b>FG 03</b>	Ain hadj chiekh	<b>267</b>	<b>170</b>	<b>AEP + IRR</b>
<b>FG 02</b>	AIN HADJ CHIEKH	<b>281</b>	<b>170</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 76</b>	AIN SALAH 1000	<b>285</b>	<b>160</b>	<b>A.E.P</b>
<b>FS 23</b>	AIN SALAH R 500	<b>278</b>	<b>160</b>	<b>A.E.P</b>
<b>FZ 09</b>	BOU HAMIA	<b>286</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 70</b>	Bouhane	<b>276</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FZ 36</b>	DJEDIDA	<b>316</b>		<b>Irrigation</b>
<b>FS 63</b>	EL BARKA	<b>300</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>

<b>FS 27</b>	EL BARKA CIMETIERE	<b>259</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 22</b>	El barkasouvietique	<b>256</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 54</b>	Est Aerodrome	<b>276</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 53</b>	Est Aerodrome	<b>268</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 30</b>	HASSI LAHDJAR	<b>270</b>	<b>160</b>	<b>A.E.P</b>
<b>FS 92</b>	IGOSTEN	<b>270</b>	<b>212</b>	<b>A.E.P</b>
<b>FS 05</b>	Igosten "Azoua"	<b>270</b>	<b>79</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 75</b>	Igosten "Fguguiria"	<b>273</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 72</b>	Ouledyagoub	<b>261</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FZ 24</b>	PERIMETRE 100 HA	<b>308</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 90</b>	PK 35	<b>294</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 18</b>	Sahlafogania	<b>268</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 52</b>	Sahlatahtania "Djafou"	<b>280</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 46 Soviétique</b>	SARTFITE " DJEDIDA"	<b>261</b>	<b>180</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FG 04</b>	TAGHEBARA	<b>254</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 49</b>	TaranKoukou	<b>268</b>	<b>160</b>	<b>Irrigation</b>
<b>FS 47</b>	ZONE INDUSTRIELLE	<b>286</b>	<b>160</b>	<b>A.E.P</b>

## **V.1 Etude des paramètres physico-chimiques :**

### **V.1.1 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 (tableau V. 2).

**Tableau V. 2: Les paramètres physiques région d'In Salah.**

<b>Forages</b>	<b>pH</b>	<b>Conductivité ms/cm</b>	<b>Résidu Sec</b>	<b>Dureté</b>
<b>FS 68</b>	<b>7.6</b>	<b>3.58</b>	<b>2200</b>	<b>97</b>
<b>FZ 11</b>	<b>7.8</b>	<b>2.27</b>	<b>1500</b>	<b>66</b>
<b>FS 45</b>	<b>7.25</b>	<b>3.54</b>	<b>2280</b>	<b>89</b>
<b>FG 03</b>	<b>7.28</b>	<b>1.75</b>	<b>1100</b>	<b>40</b>
<b>FG 02</b>	<b>7.63</b>	<b>1.83</b>	<b>1145</b>	<b>39</b>
<b>FS 76</b>	<b>7.53</b>	<b>3.73</b>	<b>2360</b>	<b>77</b>
<b>FS 23</b>	<b>8.05</b>	<b>2.43</b>	<b>2310</b>	<b>75</b>
<b>FZ 09</b>	<b>7.65</b>	<b>2.27</b>	<b>1425</b>	<b>62</b>
<b>FS 70</b>	<b>7.42</b>	<b>4.32</b>	<b>2700</b>	<b>109</b>
<b>FZ 36</b>	<b>8.25</b>	<b>1.24</b>	<b>800</b>	<b>20</b>
<b>FS 63</b>	<b>6.87</b>	<b>4.23</b>	<b>2680</b>	<b>82</b>
<b>FS 27</b>	<b>6.81</b>	<b>4.12</b>	<b>2630</b>	<b>105</b>
<b>FS 22</b>	<b>7.41</b>	<b>4.14</b>	<b>2600</b>	<b>99</b>
<b>FS 54</b>	<b>7.48</b>	<b>3.27</b>	<b>2100</b>	<b>86</b>
<b>FS 53</b>	<b>7.75</b>	<b>3.68</b>	<b>2300</b>	<b>102</b>
<b>FS 30</b>	<b>7.56</b>	<b>3.36</b>	<b>2100</b>	<b>83</b>
<b>FS 92</b>	<b>7.25</b>	<b>3.02</b>	<b>1940</b>	<b>84</b>
<b>FS 05</b>	<b>7.9</b>	<b>3.06</b>	<b>1945</b>	<b>92</b>
<b>FS 75</b>	<b>7.28</b>	<b>2.62</b>	<b>1700</b>	<b>57</b>
<b>FS 72</b>	<b>7.62</b>	<b>4.06</b>	<b>2540</b>	<b>96</b>
<b>FZ 24</b>	<b>6.58</b>	<b>1.68</b>	<b>1060</b>	<b>11</b>
<b>FS 90</b>	<b>7.43</b>	<b>1.92</b>	<b>1210</b>	<b>53</b>
<b>FS 18</b>	<b>7.2</b>	<b>3.21</b>	<b>1980</b>	<b>84</b>
<b>FS 52</b>	<b>7.5</b>	<b>3.53</b>	<b>2250</b>	<b>86</b>

<b>FS 46</b>	<b>7.09</b>	<b>3.86</b>	<b>2410</b>	<b>91</b>
<b>FG 04</b>	<b>7.23</b>	<b>3.06</b>	<b>1900</b>	<b>48</b>
<b>FS 49</b>	<b>7.31</b>	<b>3.56</b>	<b>2260</b>	<b>96</b>
<b>FS 47</b>	<b>7.25</b>	<b>3.79</b>	<b>2420</b>	<b>99</b>

#### **V.1.1.1 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.

#### **V.1.1.2 Le potentiel d'hydrogène (PH) :**

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.

Les valeurs du pH dans la région d'étude varient de 6.58 à 8.25

#### **V.1.1.3 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. (1 ms/cm = 1000  $\mu$ s/cm)

L'analyse des données montre que les eaux des forages de la région d'In Salah ont une conductivité élevée qui dépasse parfois les normes de potabilité (1250  $\mu$ s/cm), elles varient entre 1240 et 4320  $\mu$ s/cm.

#### **V.1.1.4 Résidu sec :**

C'est la totalité des sels dissous dans l'eau en suspension (organiques et minérales), obtenus par pesées (évaporation à 105 °C exprimée en mg/l) et correspond à la minéralisation totale de l'eau. Les résultats montrent que les valeurs de résidu sec dans la région d'In Salah varient entre 800 et 2700 mg/l.

#### **V.1.1.5 La dureté (TH) :**

Dans le tableau V.3 on peut voir que la valeur maximale de TH est de 109 °F, valeur mesurée au niveau de la région de Bouhane (FS 70), la valeur minimale observée est de 11 °F (FZ 24). La moyenne étant de 76 °F. La dureté semble la principale caractéristique des eaux de la nappe dans la région d'In Salah.



### V.1.2 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 V.3

#### V.1.2.1 Les Cations :

##### a) Le Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) :

La présence des ions  $\text{Ca}^{++}$  dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomie [(Ca, Mg)  $\text{CO}_3$ ] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [ $\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$ ] et anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ).

Les résultats d'analyses montrent que 89 % des échantillons ont des teneurs inférieures à 200 mg/l. (tableau V.3)

##### b) Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ) :

Le magnésium est un élément très abondant, Il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ( $\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ ), la kiesérite ( $\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$ ), et carbonatés, la dolomie [(Ca, Mg)  $\text{CO}_3$ ]. Les valeurs de magnésium dans la région varient de 14 mg/l à 163 mg/l. (tableau V.3)

##### c) Le Sodium ( $\text{Na}^+$ ) :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles telles que l'halite ( $\text{Na Cl}$ ). Les teneurs dans la région sont très élevées et indiquent que les eaux des forages sont contenues dans des formations salifères qui dépassent largement les 200 mg/l (tableau V.3)

##### d) Le Potassium ( $\text{K}^+$ ) :

Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite ( $\text{KCl}$ ), et carnallite, les valeurs enregistrées sont entre 7 et 50 mg/l. (tableau V.3)

**Tableau V. 3: Les paramètres chimiques en mg/l (Les cations)**

N°	Nom de forage	Ca	Mg	Na	K
1	FS 68	200	114	375	42
2	FZ 11	136	77	240	10
3	FS 45	144	129	380	30
4	FG 03	86	46	182	24
5	FG 02	33	74	210	24.5
6	FS 76	148	98	500	39
7	FS 23	157	88	480	38
8	FZ 09	33	130	250	14

<b>9</b>	FS 70	209	139	460	50
<b>10</b>	FZ 36	17	38	200	10
<b>11</b>	FS 63	200	79	562.5	39
<b>12</b>	FS 27	152	163	490	45
<b>13</b>	FS 22	200	120	480	45
<b>14</b>	FS 54	130	130	360	35
<b>15</b>	FS 53	230	109	330	40
<b>16</b>	FS 30	122	128	380	33.7
<b>17</b>	FS 92	165	103	340	30
<b>18</b>	FS 05	165	124	300	29
<b>19</b>	FS 75	161	41	335	24
<b>20</b>	FS 72	196	114	470	44
<b>21</b>	FZ 24	22	14	300	19
<b>22</b>	FS 90	127	51	220	7
<b>23</b>	FS 18	144	116	350	36
<b>24</b>	FS 52	165	108	380	31
<b>25</b>	FS 46	198	101	450	42
<b>26</b>	FG 04	102	56	380	25
<b>27</b>	FS 49	227	95	360	31
<b>28</b>	FS 47	174	136	390	42

### V.1.2.2 Les anions : (tableau V.4)

#### a) Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (Na Cl). Les teneurs en Chlorures dans les eaux de la zone d'étude varie de 180 à 1087.5 mg/l, avec 68 % des teneurs qui dépassent les 500 mg/l (tableau V.4).

**b) Les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son l'infiltration dans le sous-sol.

**c) Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) :**

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse (CaSO<sub>4</sub>, 2(H<sub>2</sub>O)) et l'anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), ils peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite (FeS<sub>2</sub>). Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région varient de 102 mg/l à plus de 800 mg/l. (tableau V.4)

**Tableau V. 4: Les paramètres chimiques en mg/l (les anions)**

N°	Forage	CL	So4	HCo3
1	FS 68 [Pivot]	787.5	490	119
2	FZ 11 R250 M3	300	500	140
3	FS 45 (Aéroport)	560	850	131
4	FG 03	350	225	134
5	FG 02	320	226	149
6	FS 76	800	603	149
7	FS 23	730	675	128
8	FZ 09	310	500	134
9	FS 70	1087.5	550	107
10	FZ 36	310	90	110
11	FS 63	900	800	27
12	FS 27	975	650	101
13	FS 22	972.5	610	146
14	FS 54	550	650	116
15	FS 53	500	820	159
16	FS 30	600	663	137
17	FS 92	450	850	140
18	FS 05	500	700	140
19	FS 75	330	675	119
20	FS 72	850	650	156

21	FZ 24	500	102	24
22	FS 90	180	550	137
23	FS 18	520	800	125
24	FS 52	590	805	122
25	FS 46	800	698	149
26	FG 04	540	520	131
27	FS 49	600	720	153
28	FS 47	600	850	149

## V.2 Etude des valeurs relatives :

### V.2.1 Balance ionique :

La vérification des résultats des analyses pour une bonne interprétation et représentation graphique des données est très importante, à partir de la relation :

$$e\% = \frac{\sum r_{Cations} - \sum r_{Anions}}{\sum r_{Cations} + \sum r_{Anions}} \times 100$$

- $e < 2\%$  bonne analyse
- $2\% < e < 5\%$  analyse acceptable
- $e > 5\%$  mauvaise analyse

Par l'utilisation de logiciel diagrammes la vérification de la balance ionique des résultats des analyses de la région sont résumé dans le tableau V.5 :

**Tableau V. 5: Calcul d'erreur sur les analyses chimiques.**

Nom de forage	Balance ionique	Résultat
FS 68 [Pivot]	3%	analyse acceptable
FZ 11 R250 M3	4%	analyse acceptable
FS 45 (Aéroport)	-2%	bonne analyse
FG 03	1%	bonne analyse
FG 02	3%	analyse acceptable
FS 76	0%	bonne analyse
FS 23	0%	bonne analyse
FZ 09	3%	analyse acceptable

<b>FS 70</b>	1%	bonne analyse
<b>FZ 36</b>	3%	analyse acceptable
<b>FS 63</b>	-1%	bonne analyse
<b>FS 27</b>	1%	bonne analyse
<b>FS 22</b>	1%	bonne analyse
<b>FS 54</b>	3%	analyse acceptable
<b>FS 53</b>	2%	analyse acceptable
<b>FS 30</b>	1%	bonne analyse
<b>FS 92</b>	-1%	bonne analyse
<b>FS 05</b>	1%	bonne analyse
<b>FS 75</b>	0%	bonne analyse
<b>FS 72</b>	0%	bonne analyse
<b>FZ 24</b>	-2%	bonne analyse
<b>FS 90</b>	3%	analyse acceptable
<b>FS 18</b>	-2%	bonne analyse
<b>FS 52</b>	-3%	bonne analyse
<b>FS 46 Soviétique</b>	-1%	bonne analyse
<b>FG 04</b>	-3%	bonne analyse
<b>FS 49</b>	1%	bonne analyse
<b>FS 47</b>	0%	bonne analyse

### V.2.2 Indice d'échange de base :

L'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'eau au cours de son séjour souterrain entre en relation avec différentes roches ayant la propriété d'échanger des ions avec ceux contenus dans les eaux.

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

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

Si :

- i.e.b > 0 : les eaux échangent des ions de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  contre les ions de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  du terrain encaissant.
- i.e.b = 0 : donc il y a un équilibre entre les compositions chimique de l'eau et l'encaissant.
- i.e.b < 0 : l'encaissant libère les ions de  $\text{Na}^{++} + \text{K}^+$  et fixe les ions de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  de l'eau.

Suite à l'utilisation de logiciel diagrammes, on a les calculs d'indice d'échange de base suivants (tableau V.6) :

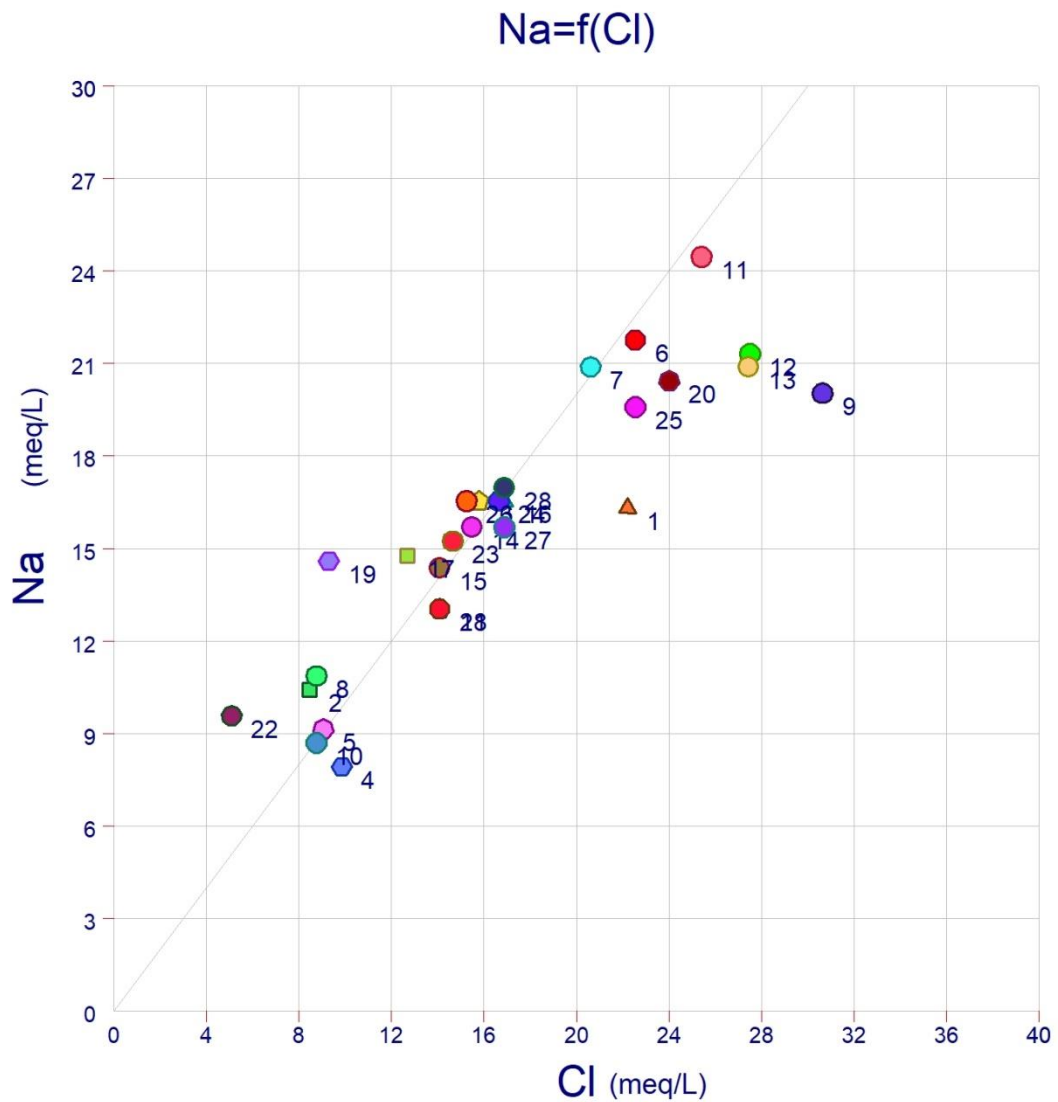
**Tableau V. 6: Indice d'échange de base dans la région d'In Salah (2010).**

<b>forages</b>	<b>FS 68</b>	<b>FZ 11</b>	<b>FS 45</b>	<b>FG 03</b>	<b>FG 02</b>	<b>FS 76</b>	<b>FS 23</b>
<b>i.e.b</b>	0.217	-0.264	-0.095	0.136	-0.081	-0.008	-0.061
	<b>FZ 09</b>	<b>FS 70</b>	<b>FZ 36</b>	<b>FS 63</b>	<b>FS 27</b>	<b>FS 22</b>	<b>FS 54</b>
<b>i.e.b</b>	-0.285	0.306	-0.024	-0.003	0.183	0.197	-0.067
	<b>FS 53</b>	<b>FS 30</b>	<b>FS 92</b>	<b>FS 05</b>	<b>FS 75</b>	<b>FS 72</b>	<b>FZ 24</b>
<b>i.e.b</b>	-0.09	-0.028	-0.226	0.022	-0.631	0.1	0.04
	<b>FS 90</b>	<b>FS 18</b>	<b>FS 52</b>	<b>FS 46</b>	<b>FG 04</b>	<b>FS 49</b>	<b>FS 47</b>
<b>i.e.b</b>	-0.92	-0.101	-0.041	0.085	-0.127	0.028	-0.066

Pour la région d'In Salah les eaux de la nappe phréatique ont un indice d'échange de base négatif dans la majorité des puits (tableau V.6), indiquant que l'encaissant libère  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  et fixe les ions de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  de l'eau. Un échange de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , de l'eau contre  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  de l'encaissant. En revanche, au niveau des puits (FS 68 ,FG 03,FS 70,FS 27,FS 22,FS 05,FS 72 ,FZ 24,FS 46,FS 49), nous constatons un indice de base positif, ce qui indique un échange de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  de l'eau contre  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  de l'encaissant.

### V.2.3 Les relations chimiques :

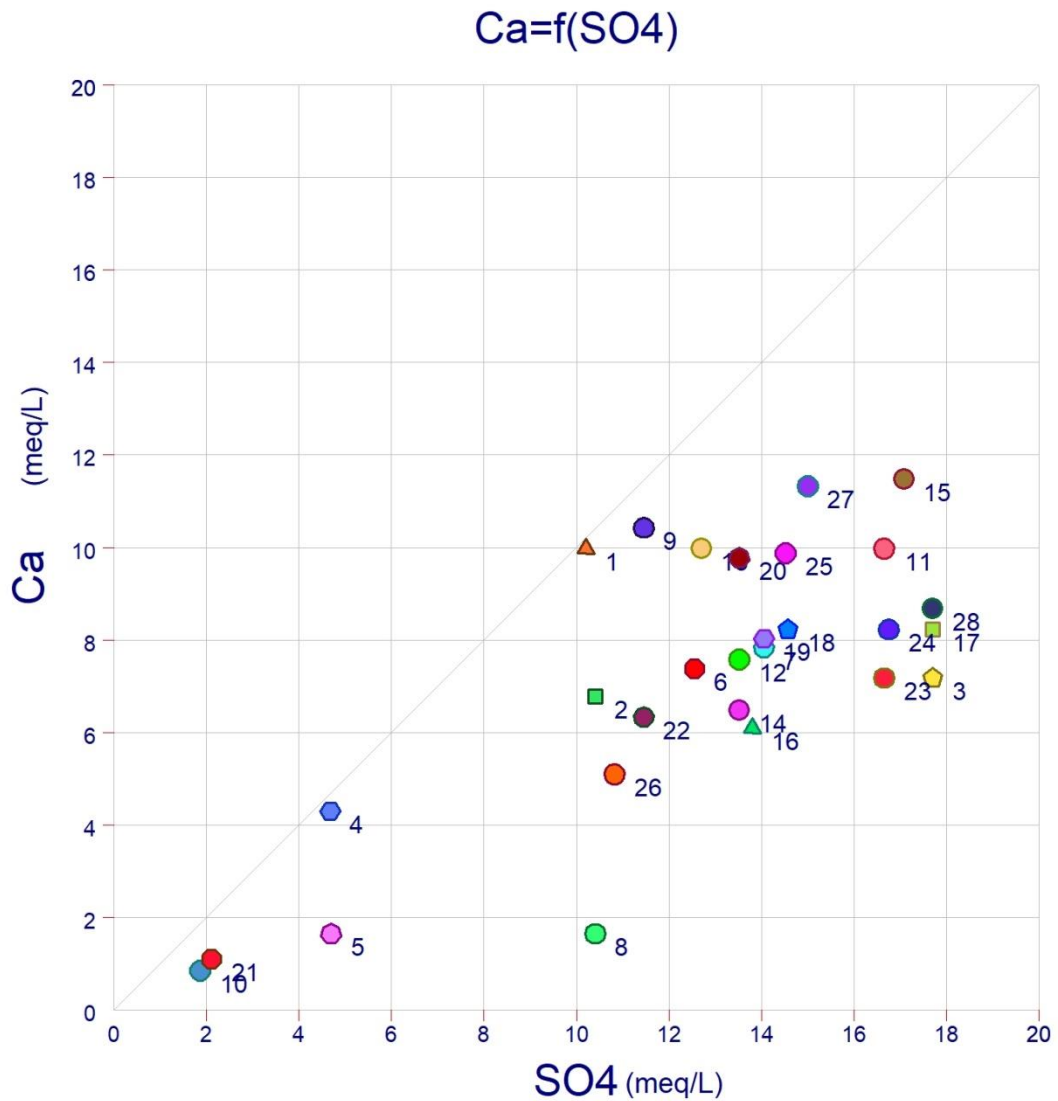
#### V.2.3.1 Le couple $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ :



**Figure V. 1: Relation  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$**

Un alignement des points sur la droite, cependant quelques points présentent un excès de sodium et d'autres de chlorure mais cela implique l'origine venant de la dissolution de l'halite dans les eaux de la nappe et confirme l'existence du faciès chloruré sodique. (figure V.1) .

### V.2.3.2 Le couple $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ :



**Figure V. 2: relation  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ .**

L'examen de la relation  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$  dans la figure V.2, montre que l'ensemble des points est reparti dessous la droite, on remarque l'excès du  $\text{SO}_4^{2-}$ , venant soit d'une pollution soit d'une oxydation des sulfures.

Cette relation confirme l'existence du faciès sulfaté sodique des eaux.



### V.2.3.3 Le couple $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ :

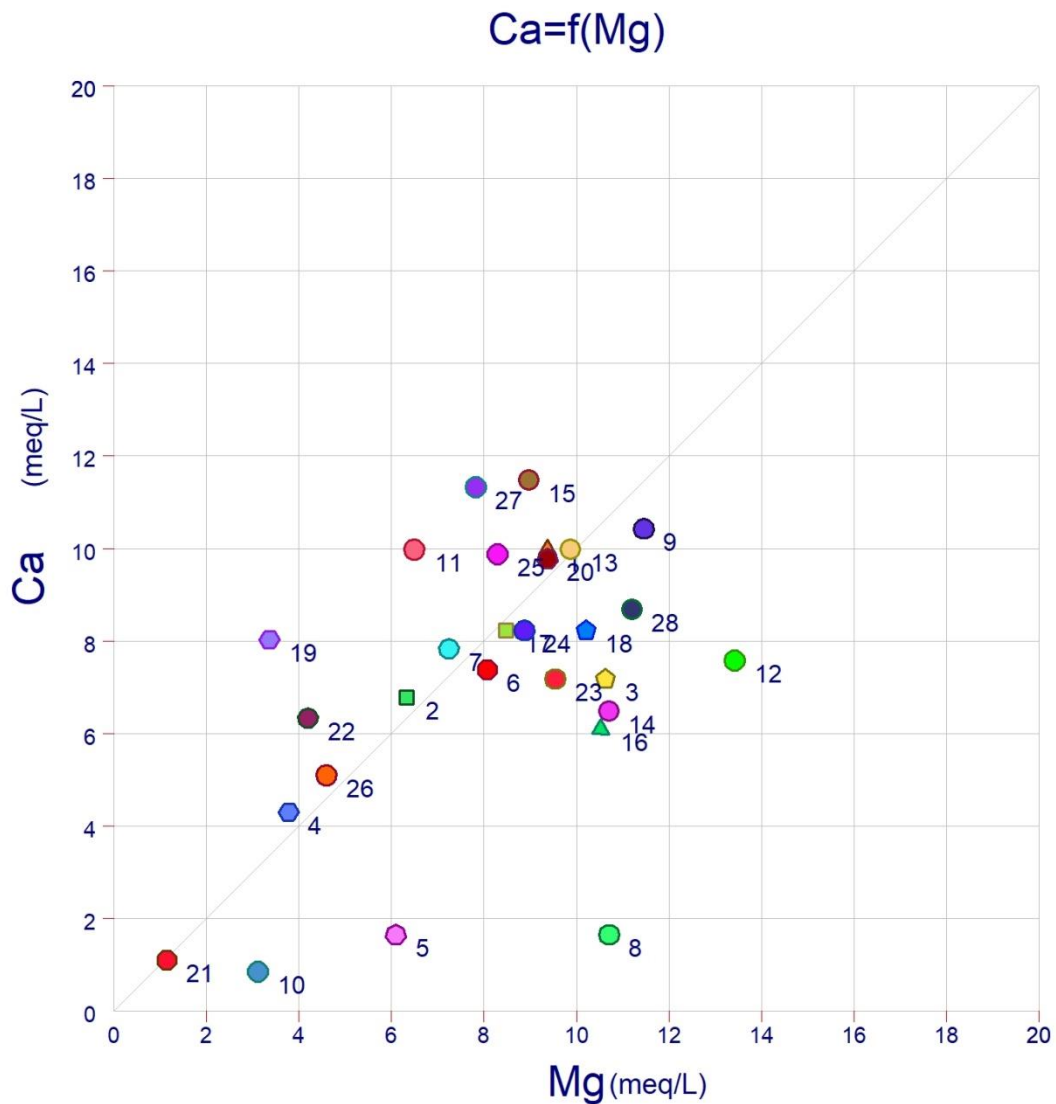


Figure V. 3 : relation  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$

L'interprétation de la figure V.3 montre une évolution proportionnelle du calcium et du magnésium avec une prédominance du magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

Ce faciès magnésien indique la présence d'argiles riches en magnésium.

### V.2.4 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 :  $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$ ,  $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$ ,  $r \text{Na}^+ / r \text{Cl}^-$ .

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.

#### V.2.4.1 Rapport ( $rMg^{2+}/rCa^{2+}$ ) :

D'après les résultats de ce rapport (tableau V.7), on remarque que la majorité des 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. Et pour les points d'eau (FG02, FZ 09, FZ 36, FS 27, FS 54, FS 30) les valeurs sont supérieures à 1 qui sont du probablement à la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

#### V.2.4.2 Rapport ( $rSO_4^{2-}/rCl^-$ ) :

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

-qui ont une valeur de ce rapport qui est inférieure à 1 comme (FS 68 [Pivot], FG 03, FG 02, FS 76, FS 23, FS 70, FZ 36, FS 63, FS 27, FS 22, FS 72, FZ 24, FS 46, FG 04) ce qui montre que les chlorures dominent par rapport aux sulfates. Cela est lié à la dissolution des terrains salifères (formations évaporitiques gypso salines).

-et qui ont une valeur du rapport qui est supérieure à 1 comme (FZ 11, FS 45, FZ 09, FS 54, FS 53, FS 30, FS 92, FS 05, FS 75, FS 90, FS 18, FS 52, FS 49, FS 47) leurs eaux ont circulé dans des formations du Sénonien carbonaté.

#### V.2.4.3 Rapport ( $rNa^+/rCl^-$ ) :

Ce rapport (tableau V.11) reste inférieur à 1 pour l'ensemble des points d'eau provient de la solubilité du sel ( $NaCl$  : chlorure de sodium) ce qui montre la prédominance des Chlorures qui sont liés aux terrains salifères, aux argiles, et aux rejets domestiques et industriels.

**Tableau V. 7: les rapports caractéristiques.**

N°	Nom	$SO_4^{2-}/Cl^-$	$Na^+/Cl^-$	$Mg^{++}/Ca^{++}$
1	FS 68 [Pivot]	0.6	0.5	0.57
2	FZ 11 R250 M3	1.7	0.8	0.57
3	FS 45 (Aéroport)	1.5	0.7	0.9
4	FG 03	0.6	0.52	0.5
5	FG 02	0.7	0.7	2.24
6	FS 76	0.8	0.6	0.66
7	FS 23	0.9	0.7	0.56
8	FZ 09	1.6	0.8	3.9
9	FS 70	0.5	0.4	0.67
10	FZ 36	0.3	0.6	2.2

<b>11</b>	<b>FS 63</b>	0.9	0.6	0.4
<b>12</b>	<b>FS 27</b>	0.7	0.5	1.07
<b>13</b>	<b>FS 22</b>	0.6	0.5	0.6
<b>14</b>	<b>FS 54</b>	1.2	0.7	1
<b>15</b>	<b>FS 53</b>	1.6	0.7	0.47
<b>16</b>	<b>FS 30</b>	1.1	0.6	1.05
<b>17</b>	<b>FS 92</b>	1.9	0.8	0.6
<b>18</b>	<b>FS 05</b>	1.4	0.6	0.75
<b>19</b>	<b>FS 75</b>	2.05	1.02	0.25
<b>20</b>	<b>FS 72</b>	0.8	0.6	0.58
<b>21</b>	<b>FZ 24</b>	0.2	0.6	0.64
<b>22</b>	<b>FS 90</b>	3.06	1.2	0.4
<b>23</b>	<b>FS 18</b>	1.5	0.7	0.8
<b>24</b>	<b>FS 52</b>	1.4	0.6	0.65
<b>25</b>	<b>FS 46 Souviétique</b>	0.9	0.6	0.5
<b>26</b>	<b>FG 04</b>	0.96	0.7	0.55
<b>27</b>	<b>FS 49</b>	1.2	0.6	0.42
<b>28</b>	<b>FS 47</b>	1.4	0.65	0.78

### **V.3 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 représentation de diagramme de PIPER.
- La classification de SCHOELLER BERKALOFF.

#### **V.3.1 La classification du STABLER :**

Dans cette classification les concentrations exprimées en mg/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 gauche à droite et par ordre décroissant les quantités' en réaction pour-cent des anions ensuite celles des cations (Figure V.4).

Les faciès sera défini par l'anion et le cation prédominant (tableau V.8).

## STABLER

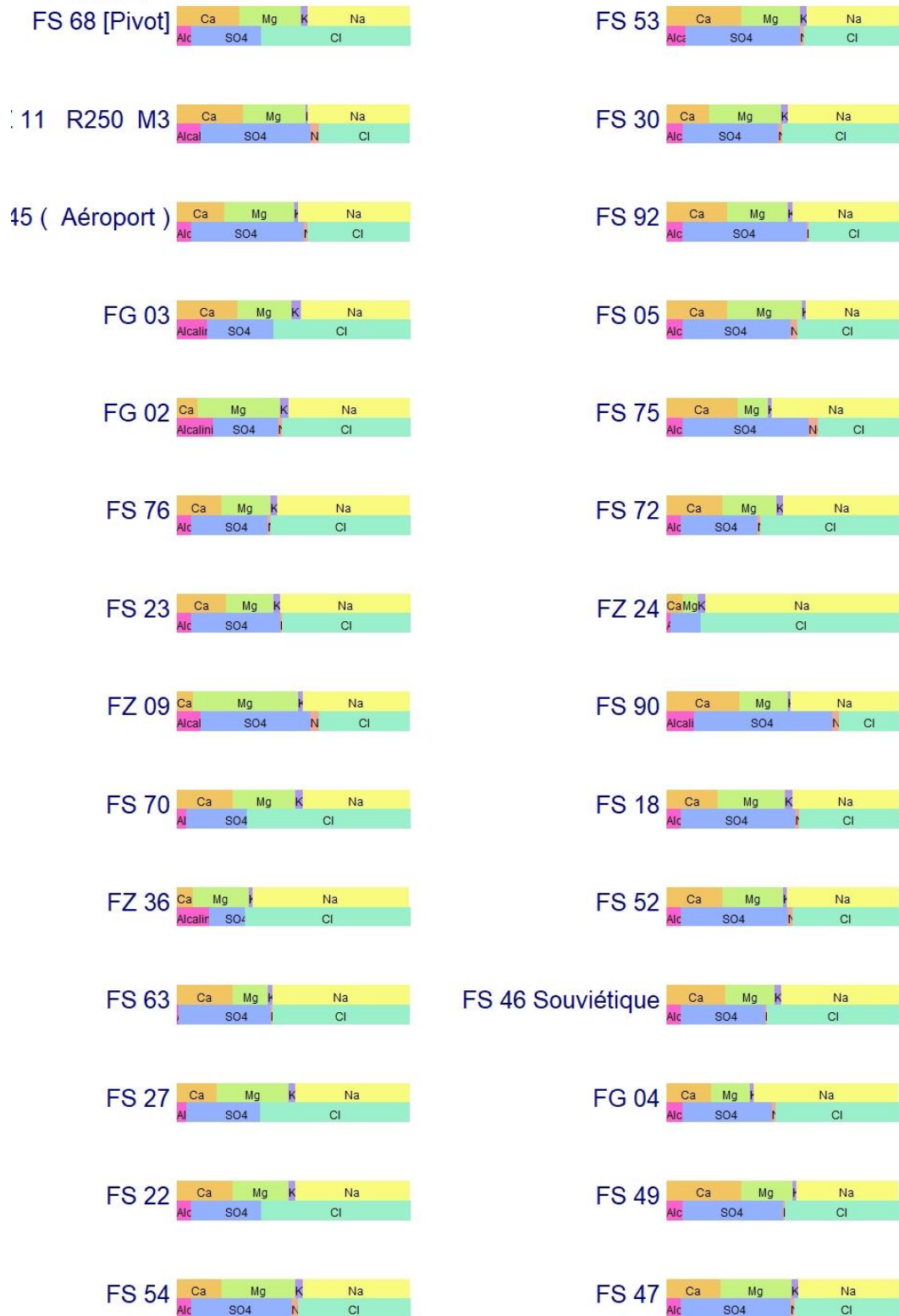


Figure V. 4: Classification des eaux d'après STABLER

**Tableau V. 8: Classification des eaux de forages d'In Salah d'après STABLER**

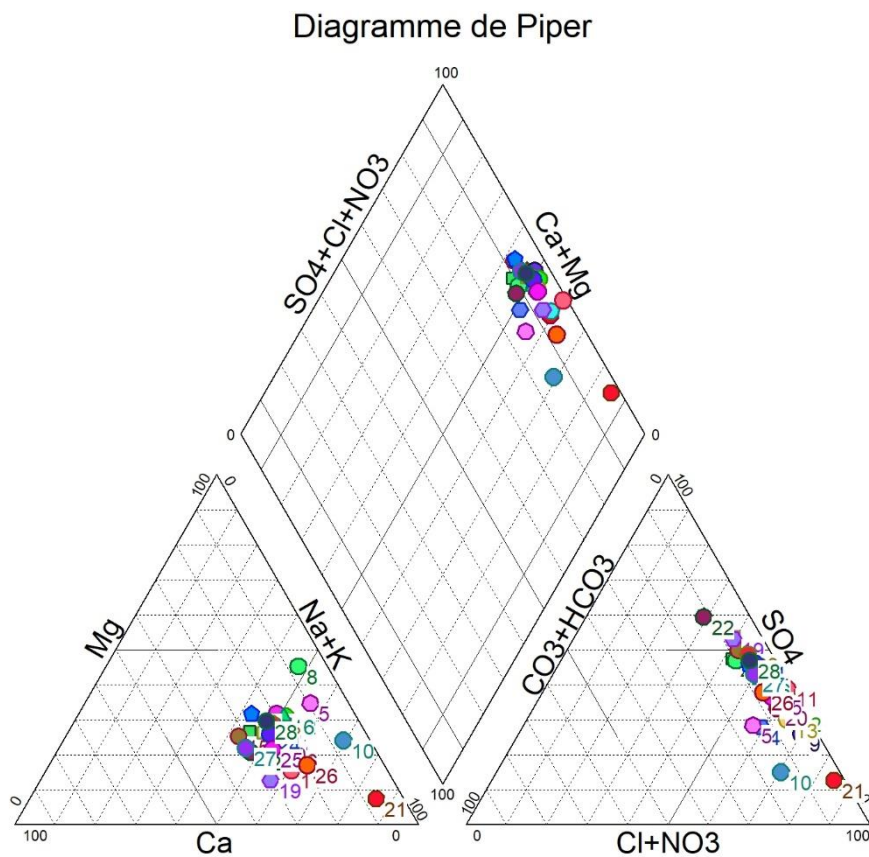
<b>Nom de puits</b>	<b>Anions</b>	<b>Cations</b>	<b>type de facies</b>
<b>FS 68</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FZ 11</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 45</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FG 03</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FG 02</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 76</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 23</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FZ 09</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 70</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FZ 36</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 63</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 27</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 22</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 54</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 53</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 30</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 92</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 05</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 75</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 72</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FZ 24</b>	$\text{r\% Cl} > \text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 90</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Ca}^{2+} > \text{r\% Mg}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 18</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique
<b>FS 52</b>	$\text{r\% SO}_4^{2-} > \text{r\% Cl} > \text{r\% HCO}_3^-$	$\text{r\% Na}^+ + \text{K}^+ > \text{r\% Mg}^{2+} > \text{r\% Ca}^{2+}$	Chloruré sodique

<b>FS46</b>	$r\% \text{Cl} > r\% \text{SO}_4^{2-} > r\% \text{HCO}_3^-$	$r\% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\% \text{Ca}^{2+} > r\% \text{Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FG 04</b>	$r\% \text{Cl} > r\% \text{SO}_4^{2-} > r\% \text{HCO}_3^-$	$r\% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\% \text{Ca}^{2+} > r\% \text{Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 49</b>	$r\% \text{Cl} > r\% \text{SO}_4^{2-} > r\% \text{HCO}_3^-$	$r\% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\% \text{Ca}^{2+} > r\% \text{Mg}^{2+}$	Chloruré sodique
<b>FS 47</b>	$r\% \text{SO}_4^{2-} > r\% \text{Cl} > r\% \text{HCO}_3^-$	$r\% \text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{Ca}^{2+}$	Sulfaté sodique

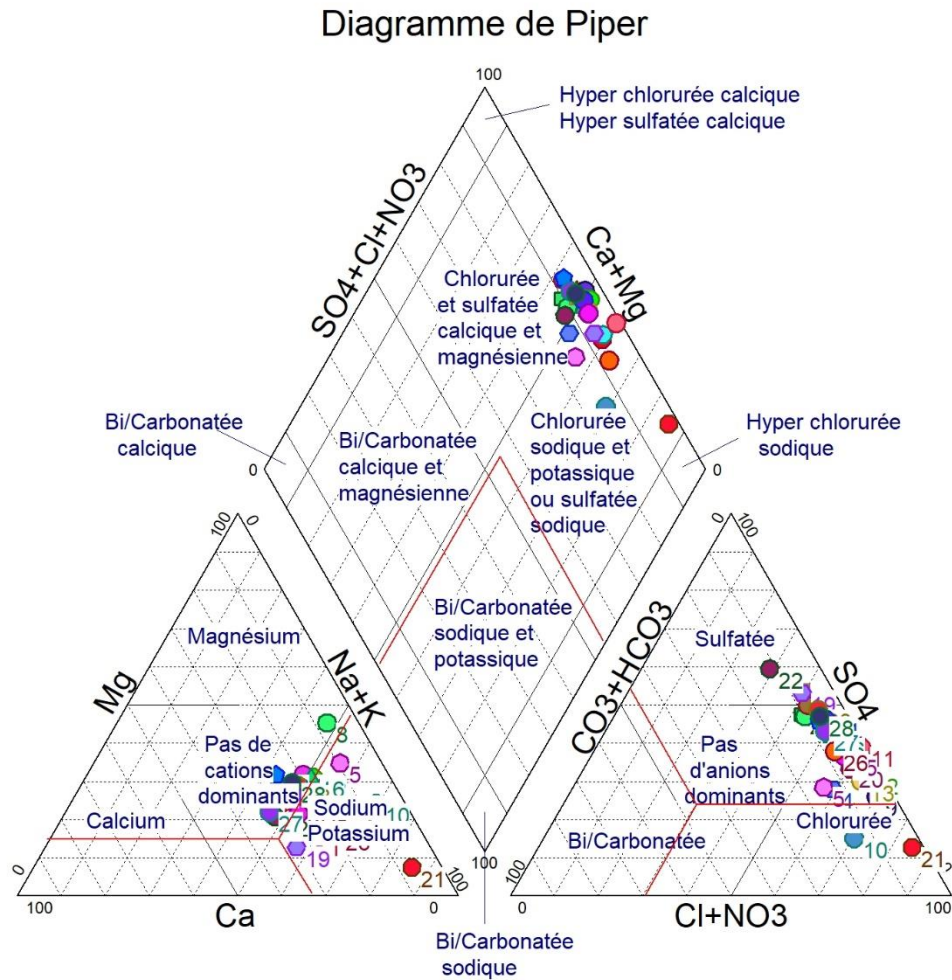
On peut voir que dans la région d'étude, c'est le faciès Chloruré Sodique qui prédomine, occupant 60.7% des échantillons, suivi par le faciès Sulfaté Sodique avec 39.3%, donc le Sodium ( $\text{Na}^+$ ) c'est le cation le plus abondant dans la région.

### V.3.2 La classification de diagramme de PIPER :

Le principe de ce diagramme est de représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction en pourcentage (%) pour les anions et pour les cations (figure V.5 et V.6).



**Figure V. 5 : Le Diagramme de PIPER des eaux de forages d'In Salah**



**Figure V. 6 : Classification des eaux de forages d'In Salah selon le diagramme de PIPER**

Selon le diagramme, on remarque que la majorité des échantillons se coincident dans les pôles :

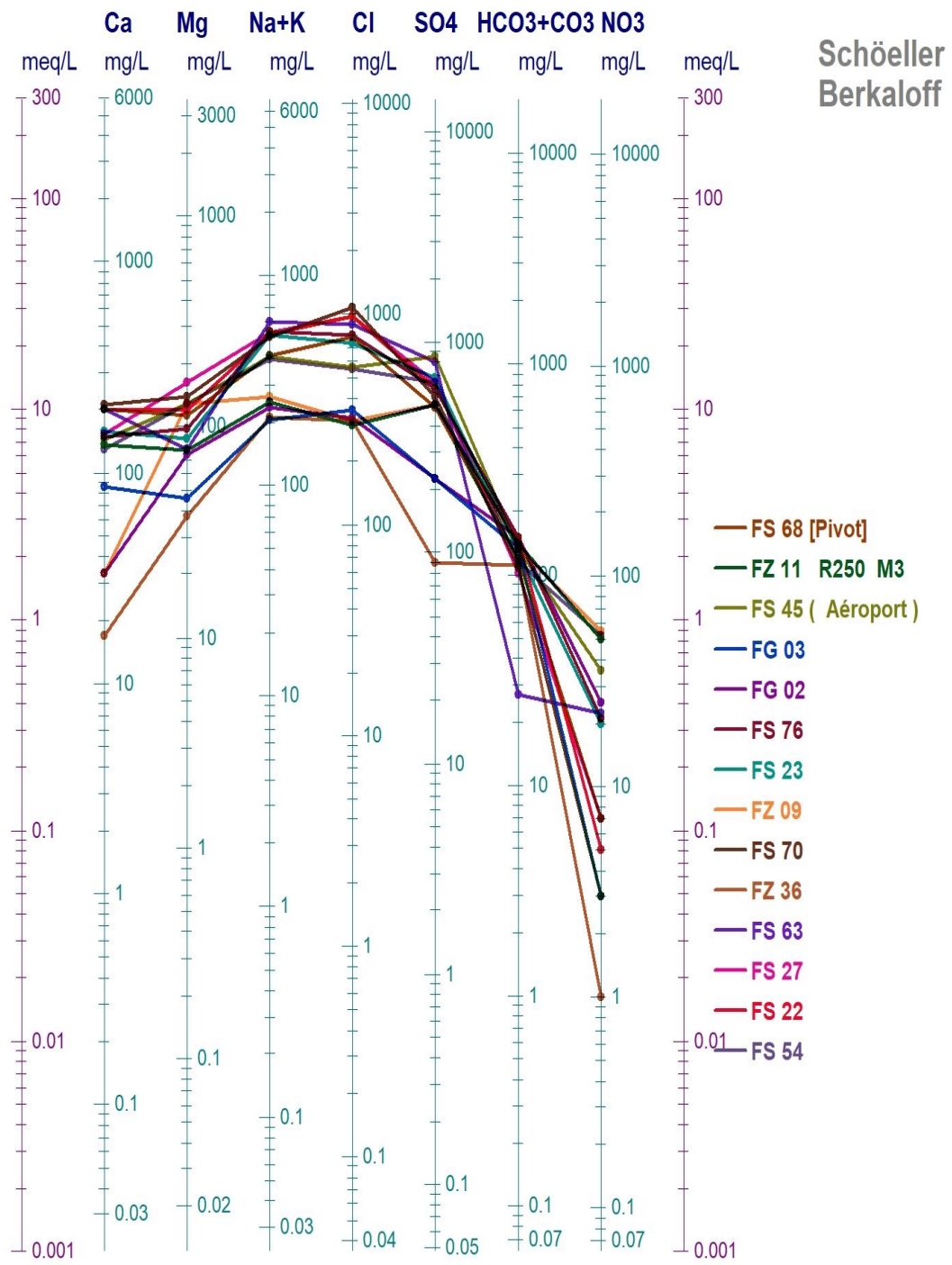
- Faciès chloruré sodique et sulfaté calcique.
- Faciès sulfaté sodique.

### V.3.3 La classification de SCHOELLER BERKALOFF :

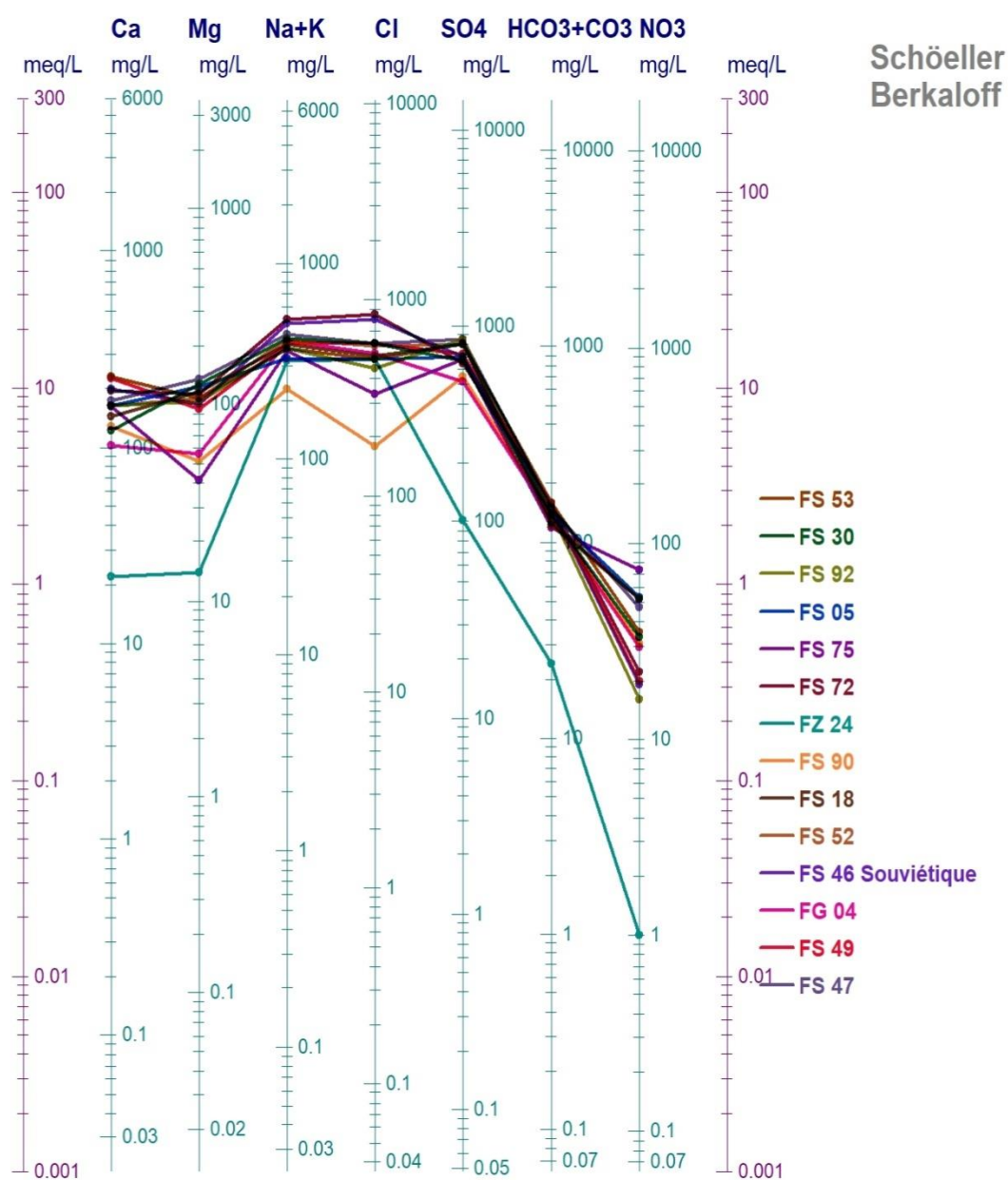
Le diagramme de SCHOELLER BERKALOFF permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au-dessus des autres dans le cas contraire.

Afin d'avoir des diagrammes non encombrés on a départagé nos puits en deux groupes dont les diagrammes sont représentés dans les figures suivantes (figure V.7 et figure V.8) :





**Figure V. 7: Le diagramme de SCHOELLER BERKALOFF des eaux des forages d'In Salah.**



**Figure V. 8 : Classification des eaux de forages d’In Salah selon le diagramme de SCHOELLER BERKALOFF.**

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

- Faciès sulfaté sodique.
- Faciès chloruré sodique.

## V.4 Potabilité chimique des eaux :

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.

### V.4.1 Les normes de potabilité :

L'eau destinée à l'alimentation humaine (AEP) ne doit pas contenir de substances chimiques ou de germes nocifs pour la santé. L'évaluation de cette qualité se fait en fonction de la réglementation algérienne en vigueur (tableau V.9)

**Tableau V. 9: Classification de la potabilité des eaux d'après la norme algérienne**

Puits	pH	CE $\mu\text{s/cm}$	Ca mg/l	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>
<b>Normes</b>	6.5-8.5	2880	200	150	200	20	500	400	50
<b>FS 68</b>	7.6	3580	200	114	375	42	787.5	490	7
<b>FZ 11</b>	7.8	2270	136	77	240	10	300	500	50
<b>FS 45</b>	7.25	3540	144	129	380	30	560	850	36
<b>FG 03</b>	7.28	1750	86	46	182	24	350	225	3
<b>FG 02</b>	7.63	1830	33	74	210	24.5	320	226	25
<b>FS 76</b>	7.53	3730	148	98	500	39	800	603	21
<b>FS 23</b>	8.05	2430	157	88	480	38	730	675	20
<b>FZ 09</b>	7.65	2270	33	130	250	14	310	500	55
<b>FS 70</b>	7.42	4320	209	139	460	50	1087.5	550	3
<b>FZ 36</b>	8.25	1240	17	38	200	10	310	90	1
<b>FS 63</b>	6.87	4230	200	79	562.5	39	900	800	22.5
<b>FS 27</b>	6.81	4120	152	163	490	45	975	650	7
<b>FS 22</b>	7.41	4140	200	120	480	45	972.5	610	5
<b>FS 54</b>	7.48	3270	130	130	360	35	550	650	52
<b>FS 53</b>	7.75	3680	230	109	330	40	500	820	35
<b>FS 30</b>	7.56	3360	122	128	380	33.7	600	663	33

<b>FS 92</b>	7.25	3020	165	103	340	30	450	850	16
<b>FS 05</b>	7.9	3060	165	124	300	29	500	700	53
<b>FS 75</b>	7.28	2620	161	41	335	24	330	675	73
<b>FS 72</b>	7.62	4060	196	114	470	44	850	650	22
<b>FZ 24</b>	6.58	1680	22	14	300	19	500	102	1
<b>FS 90</b>	7.43	1920	127	51	220	7	180	550	31
<b>FS 18</b>	7.2	2310	144	116	350	36	520	800	52
<b>FS 52</b>	7.5	3530	165	108	380	31	590	805	52
<b>FS 46</b>	7.09	3860	198	101	450	42	800	698	19
<b>FG 04</b>	7.23	3060	102	56	380	25	540	520	29.5
<b>FS 49</b>	7.31	3560	227	95	360	31	600	720	20
<b>FS 47</b>	7.25	3790	174	136	390	42	600	850	47

Les valeurs de calcium (Tableau V.9) varient entre 17 mg/L et 230 mg/L, la majorité des points d'eau présentent des concentrations conformes à la norme de potabilité 200 mg/L au Concentration Maximal Admissible (CMA). Aussi pour les valeurs de magnésium qui sont comprises entre 14 et 163 mg/L. Toutes les concentrations sont conformes à la norme de potabilité 150mg/L de CMA. Sauf la région d'EL BARKA CIMETIERE (FS 27) qui dépasse la norme.

Pour les valeurs de sodium et potassium presque tous les points d'eau sont supérieur à la norme de potabilité 200 mg/L. pareil pour les concentrations en sulfate qui varie entre 90 mg/L et 850 mg/l et le chlorure qui varient aussi entre 180 et 1087.5 mg/l.

Par contre la majorité des concentrations de nitrates ne dépassent pas la norme de potabilité de 50mg/l et qu'elles varient entre 1 et 73 mg/l.

Les valeurs de certains paramètres dépassent les normes requises et nécessitent un traitement selon les usages auxquelles les eaux sont destinées.

#### V.4.2 classification des eaux selon la dureté :

**Tableau V. 20: Potabilité des eaux étudiées en fonction de la dureté.**

TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualité d'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

D'après le tableau V.2, nous pouvons dire que les eaux étudiées sont d'une qualité modérément douce et dure à très dure (tableau V.10).

**Tableau V. 31: Classification des eaux de la région d'étude à partir de la dureté totale.**

Qualité d'eau	Les points d'eau
Modérément douce	FZ 36, FZ 24
Dure	FG 03, FG 02, FS 90, FG 04
Très dure	FS 68 [Pivot], FZ 11 R250 M3, FS 45 ( Aéroport ), FS 76, FS 23, FZ 09, FS 70, FS 63, FS 27, FS 22, FS 54, FS 53, FS 30, FS 92, FS 05, FS 75, FS 72, FS 18, FS 52, FS 46Soviétique, FS49, FS 47.

#### V.5 Aptitude des eaux à l'irrigation :

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

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

##### V.5.1 Sodium Adsorption Ratio (S.A.R):

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

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

Le S.A.R est un indice qui mesure le danger que représente l'existence d'une teneur donnée en sodium dans l'eau.

Il se calcule par la formule suivante :

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

Le diagramme de REVERSIDE qui comporte les subdivisions suivantes :

- SAR < 10 : eau à faible danger d'alcalinisation des sols, (eaux excellentes).
- 10 < SAR < 18 : eau avec un danger d'alcalinisation assez appréciable (eaux bonnes).
- 18 < SAR < 26 : eau avec un danger d'alcalinisation important (eaux convenables).
- SAR > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort (eaux médiocres).

Riverside

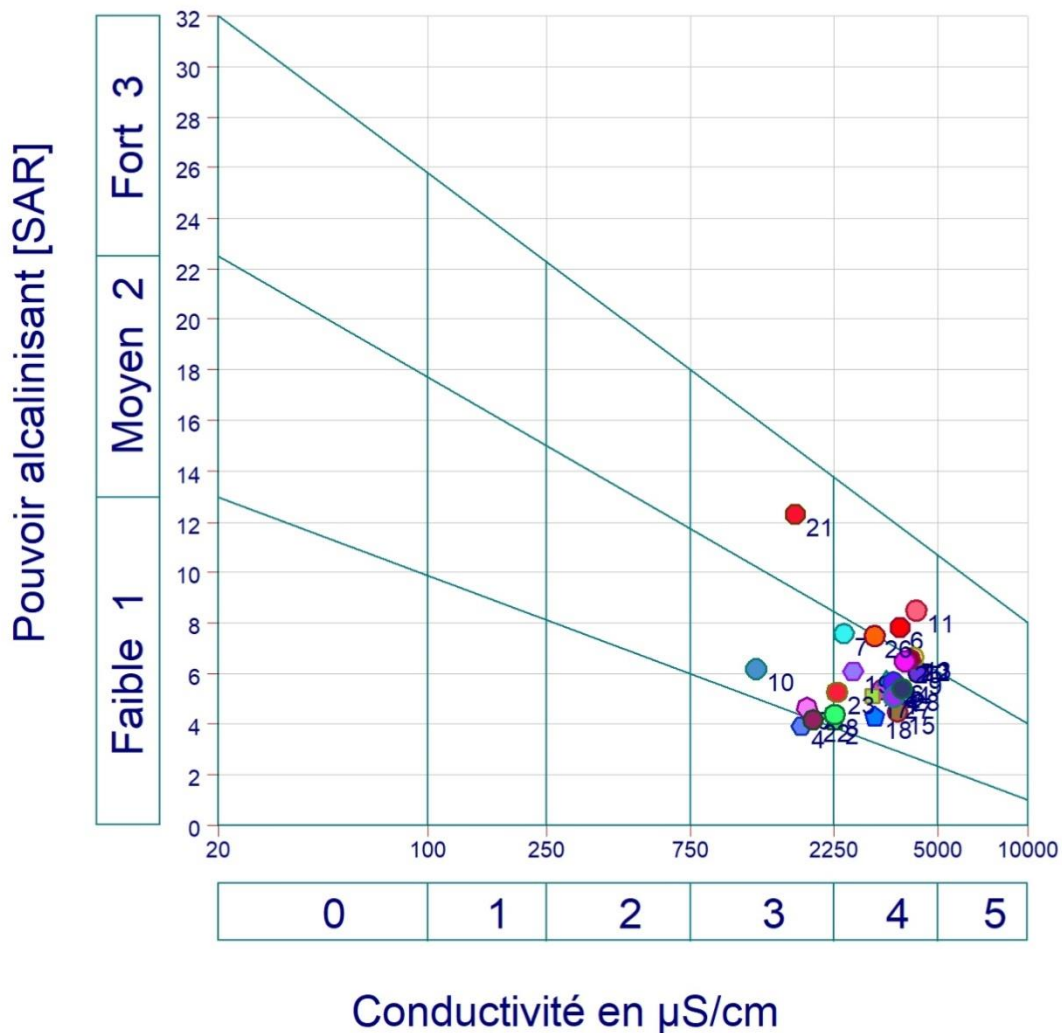


Figure V. 9: le diagramme de Riverside

D'après le diagramme de Riverside on remarque que le taux d'absorption du sodium (S. A. R.) est < 10 dans la majorité des points d'eau donc l'eau utilisée est une eau à faible danger d'alcalinisation des sols.

### V.5.2 Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) :

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par WILCOX sur cette question ont abouti au diagramme de la figure V.10. Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de WILCOX, fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau (Louvrier, 1976), pour examiner ce problème. Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :

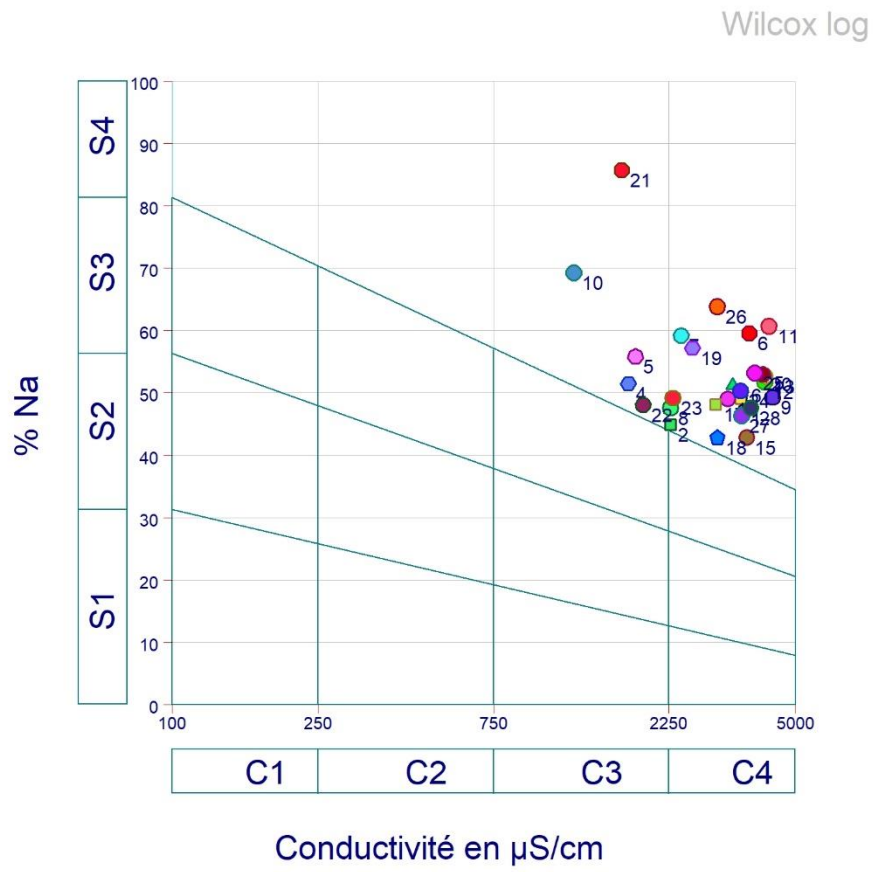
$$Na\% = \frac{Na}{Ca + Mg + Na + K} \times 100$$

**Tableau V. 42: Classification de pourcentage de sodium selon Wilcox.**

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

Selon la figure V.10 la région d'étude est caractérisée par deux classes : C3-S4 et C4-S4 dont l'eau utilisée ne convient pas à l'irrigation mais elle peut être utilisée sous certaines conditions :

Sol très perméables, bon lessivage et plantes tolérant très bien le sel.



**Figure V. 10: classification des eaux de la région d'étude selon Wilcox**



## **Conclusion :**

Ce travail Hydro chimique nous a permis de déterminer le caractère physico-chimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans le bassin de l'Ahnet et précisément dans la région d'In Salah.

Les résultats d'analyses physicochimiques montrent que les eaux de la nappe de continentale intercalaire de la région d'In Salah sont caractérisées par un pH dans les normes entre 6.5 et 8.5 et une conductivité moyenne a élevés varie entre 1240 et 4320 $\mu$ s/cm, avec une grande augmentation de concentration de quelque éléments chimiques tels que : ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ), et d'autre éléments presque nul tel que ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^-$ ).

D'après le diagramme de PIPER, STABLER et SCHOELLER –BERKALOFF le faciès chimique dominant est Chloruré sodique, d'autres faciès sont également présents : sulfaté sodique et sulfaté calcique.

L'analyse et l'interprétation des résultats ont révélé que pratiquement toutes les eaux de la zone d'étude sont d'une qualité dure à très dure qui dépasse dans la majorité des forages 54°F, et malgré leur qualité mauvaise, ces eaux souterraines sont utilisées pour l'alimentation en eau potable.

L'utilisation de ces eaux pour l'AEP sans traitement préalable est déconseillée, aussi pour l'irrigation car les eaux de la région ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais elles pouvant être utilisées sous certaines conditions, pour certaines cultures dans certains sols.

Pour pallier à ce problème, une station de traitement a été réalisée en 2016. Située à une centaine de km de la ville d'In Salah, elle a une capacité de traitement par osmose inversé de 50.000 m<sup>3</sup> par jour. (Source : ebourcedz.com)

## **CONCLUSION GENERALE :**

La région d'étude présente un caractère oasien. Les oasis du Tidikelt sont localisées dans des cuvettes au pied du plateau de Tademaït.

Le bassin de l'Ahnet, à fort potentiel gazier, appartient à la province occidentale de la plate-forme saharienne. Il s'étend sur plus de 50.000 Km<sup>2</sup>.

Géo morphologiquement, il est de forme tabulaire où les plateaux ou hammadas rocheux sont à topographie monotone où les oueds ont taillés des canyons étroits, aux murailles perpendiculaires de grès nus, parfois très élevées. Les ergs forment des plaines de graviers et de fragments rocheux qui occupent de grandes surfaces.

La région d'Ahnet située à une altitude de 200m, en sud du bassin occidental dans les affleurements du CI.

Du point de vue géologique, la région d'Ahnet est représentée par la jonction de deux domaines cratonisés à deux époques différentes, la zone mobile du Hoggar occidental à l'Est, lors de l'Orogenèse Panafricaine et la zone stable à l'Ouest lors du carton Ouest Africain dont la sédimentation est essentiellement d'âge paléozoïque, dont tout repose sur un substratum Précambrien comprenant le socle et la partie sommitale infracambrienne.

D'une épaisseur de 500 m environ, l'aquifère du CI est constitué de calcaires dolomitiques, de grès sableux et d'argiles. Il repose sur un substratum imperméable d'âge Viséen (Carbonifère) constitué d'argiles et de grès fins argileux.

Localement, la nappe est libre avec parfois des niveaux statiques très proches de la surface jusqu'à des profondeurs de moins 200 m.

L'étude climatique de la région sur une période allant de (2003-2019) montre que la moyenne annuelle des précipitations est de 12.42mm/an avec une température moyenne annuelle qui varie entre 27°C et 28°C avec des écarts assez importants de (20C-34C) avec une humidité en dessous de la médiane (50) ,la zone d'étude est caractérisé par un climat de type hyper aride et sec avec beaucoup de vent de sable.

L'évaporation potentielle est très importante, 1470 mm, alors que l'évaporation réelle est de 13 mm, ainsi toute la précipitation est reprise par l'évaporation. Il n'existe donc aucune réalimentation de la nappe par la pluviosité dans la région d'In Salah. On note cependant qu'une faible alimentation, environ 268 Mm<sup>3</sup>/an, de façon directe par infiltration des eaux de pluies et de ruissellements se produit au niveau du Gourara, Touat et Tidikelt.

La nappe affleure du continental intercalaire (CI) affleure dans la région de In-Salah qui est située à la limite sud du bassin occidental du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

L'exploitation de la nappe se fait grâce aux forages hydrauliques et aux foggaras. Le nombre de ces dernières est passé de 97 à 15 qui sont plus ou moins exploitées actuellement.

Dans le volet hydro chimique, nous avons pu déterminer les faciès chimiques présents dans la région d'étude, dont le faciès chloruré sodique domine ce qui nous

ramène à constater que la lithologie de l'aquifère dans cette zone capte des dépôts évaporitiques.

Les analyses physicochimiques et leurs interprétations ont montré que les eaux de cet aquifère se caractérisent par un pH normal de 6.5 à 8.5, avec une conductivité moyenne à élever de 1240 à 4320  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ainsi qu'une variation de concentration des différents éléments chimiques qui augmente d'une part ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et diminue jusqu'à s'annuler d'une autre part ( $\text{NH}_4^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^-$ ).

L'analyse et l'interprétation des relations chimiques et diagrammes de PIPER, STABLER et SCHOLLER-BERKALOFF, ont prouvé l'origine des éléments chimiques venant de la même famille des dépôts évaporitiques (sulfate) et salines (chlorure).

L'étude hydro chimique a évoqué que pratiquement toutes les eaux de la zone d'étude sont d'une qualité dure à très dure qui dépasse dans la majorité des forages 54°F et malgré son état, elle est utilisée en AEP et assainissement même si elle ne convient pas.

Pour pallier à ce problème, la réalisation d'une station de traitement a eu lieu à une centaine de km de la ville d'In Salah en 2016.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1]. **N. HASSAINE&Z. GUEDDOURI.***Etude des fracturations naturelles dans les réservoirs Ordoviciens (étude de cas de Garet et Guefoul\_bassin de l'Ahnet-Algérie).* 2016.
- [2].**S. BELKSIER .***Caractéristiques hydrogéologiques de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et évaluation de l'impact de la pollution et de la salinité.* 2017.
- [3]. **K.Loumi, A. Asses , A. Boussad, A. Kanit & N. Saadallah.***ANALYSE DU RESEAU DE FRACTURES DU COMPLEXE DE TIRECHOUMINE.(AHNET CENTRAL-ALGERIE) ET IMPACT SUR LE POTENTIEL PETROLIER.*
- [4]. **A. NEDJARI & I. MOFREDJ.***LE DÉVONIEN INFÉRIEUR DE L'AHNET OCCIDENTAL-BLED EL MASS (SAHARA ALGÉRIEN), FORMATIONS ET ENVIRONNEMENTS.* 2018.
- [5].**N.BELHAMDOU.***ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE DU CONTINENTALE INTERCALAIRE DE LA REGION DE IN SALAH.* 2013.
- [6].**A. GHETTAS.***ETUDE ET Synthèse HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUEFERE CI DANS LES BASSINS AHNET, GOURARA ET REGGANE.* 2014.
- [7]. **A. HIDAOUI et A. LOUANNAS.***Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat).* 2015.
- [8]. **S. OUALI.***ETUDE GEOTHERMIQUE DU SUD DE L'ALGERIE.* 2006.
- [9]. **HYDROGEOLOGIE. 2002. OSS/SASS.**
- [10].**Z. SAIS & A. TOUATI.** *Etude hydrochimique des forages d'eau de Continental intercalaire de In Salah destinés à l'AEP de la ville de Tamanrasset.* 2017.
- [11]. **R. ZEGAIT & S. Kateb.** *Qualité des eaux souterraine dans le Sahara algérien (Cas de Tidikelt Est).* 2016.
- [12]. **B. BITAT.** *L'EAU A TAMANRASSET:GESTION D'UNE PENURIE.* 2013.
- [13]. **A. KABIER.** *Etude hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de la région de SILET (wilaya de TAMANRASSAT).* 2013.
- [14]. **A. DRIDI , A. BENSAADI Ayoub & L .SARRAOUI .** *Caractérisation d'un Niveau de Réservoir non conventionnel:(Cas du niveau Hot shale du silurien du Bassin de Ahnet.) Puit AHT- 2.* 2016.
- [15]. **R. VIALLY.** *Hydrocarbures de roche-mère.* 2014.

## Web bibliographies:

[www.voyagealgerie.com](http://www.voyagealgerie.com)

[fr.tutempo.net](http://fr.tutempo.net)

[www.mre.gov.dz](http://www.mre.gov.dz)

[ebourcedz.com](http://ebourcedz.com)