

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

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

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Etude hydrochimique des forages d'eau de
Continental intercalaire de In Salah destinés à l'AEP
de la ville de Tamanrasset**

Présenté par

SAIS ZAKI HICHAM

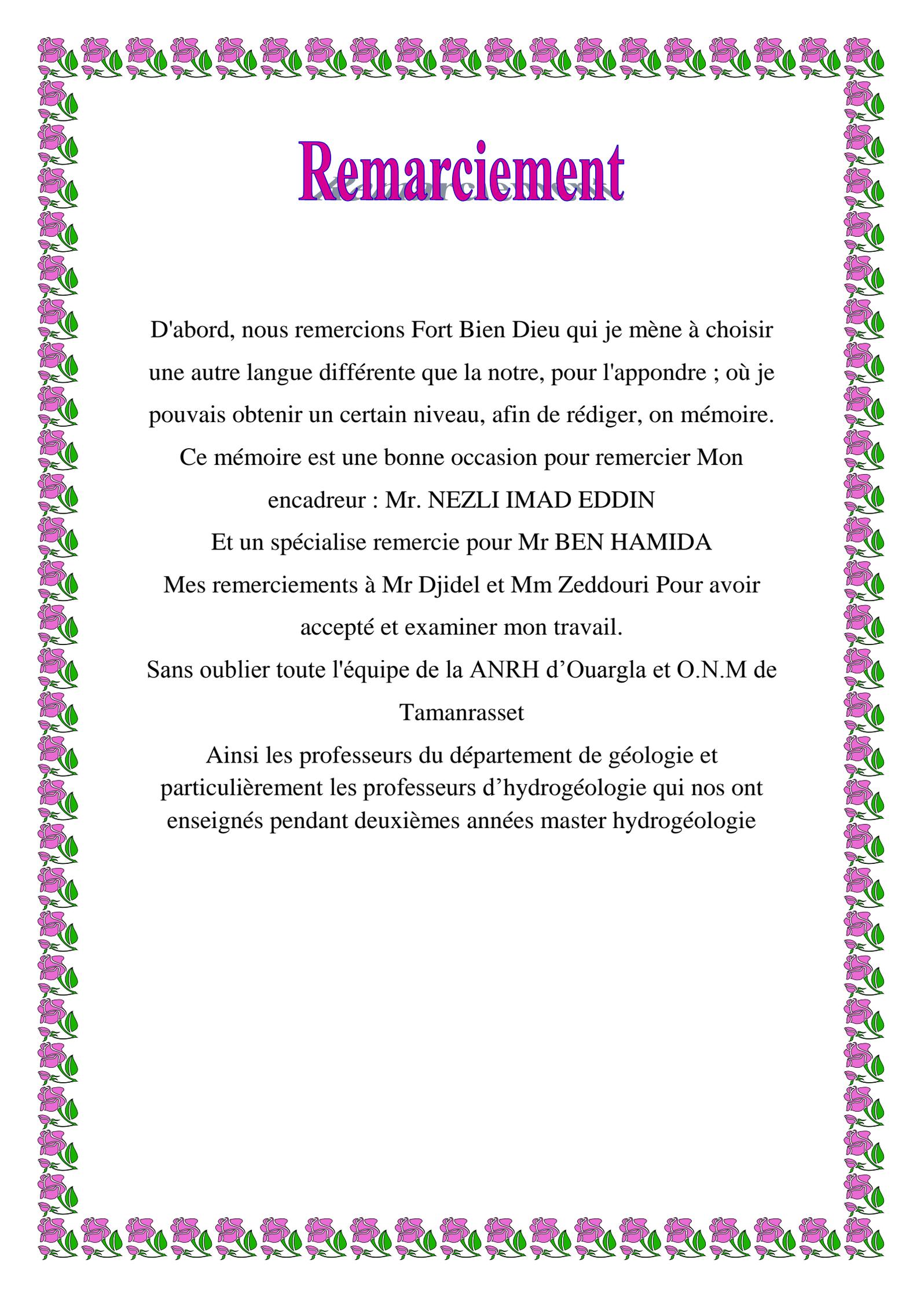
TOUATI AHMED TIDJANI

Soutenu publiquement le -05-2017

Devant le jury :

| | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Président : | Pr. DJIDEL MOHAMED | M. C. A Univ. Ouargla |
| Promoteur : | Pr. NEZLI IMED EDDINE | M. C. A Univ. Ouargla |
| Examineur : | Dr. Mm ZEDOURRI S | M. C. A Univ. Ouargla |

Année Universitaire : 2016/2017



Remerciement

D'abord, nous remercions Fort Bien Dieu qui je mène à choisir une autre langue différente que la notre, pour l'apprendre ; où je pouvais obtenir un certain niveau, afin de rédiger, on mémoire.

Ce mémoire est une bonne occasion pour remercier Mon encadreur : Mr. NEZLI IMAD EDDIN

Et un spécialise remercie pour Mr BEN HAMIDA

Mes remerciements à Mr Djidel et Mm Zeddouri Pour avoir accepté et examiner mon travail.

Sans oublier toute l'équipe de la ANRH d'Ouargla et O.N.M de Tamanrasset

Ainsi les professeurs du département de géologie et particulièrement les professeurs d'hydrogéologie qui nos ont enseignés pendant deuxièmes années master hydrogéologie



Dédicace

Ce travaille est pour satisfaire la sois de la femme qui me
donne la grande pousse et m'encourager pour être un étoile
dans le ciel quand j'étais une pierre sur le sol à ...
ma mère que dieu le conserve.

A mon père après tout ces efforts qui a fait
et qu'il les fasse toujours pour le bien de notre famille qui je
lui souhaite une longue et joyeuse vie.

A mes frère Taher , A.Errazak , Bachir et soeurs Zineb
,Aicha ,Jamila

A la famille : TOUATI, Madani

Et Mes amies tous les Voisins.

A mes camarades de deuxième année
master hydrogéologie Promotion 2017
et à toutes les personnes qui peut être,
nous les avons oubliés qu'ils nous pardonnent.

Ahmed Tidjani





Dédicace

**J'ai le grand honneur de dédier ce
travail à :**

Ma très chère mère

Mon très cher père

Mes chères grands-mères et grand-père

Mes très chers frères et sœurs

Toute ma famille, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

A tous mes camarades

A tout mes amis que j'ai connus dans ma vie

**A tous les enseignants et toutes les enseignantes de géologie et
hydrogéologie**

Sais Zaki Hicham



Résumé :

L'accroissement excessif du nombre d'habitantes de la ville de Tamanrasset est augmenté sa besoin d'alimentation en eau potable on ce cadre l'état fait le projet de transfert l'eau de la la région In Salah vers la ville de Tamanrasset

L a région d'In Salah est située au centre sud du Sahara algérien , au nord de la wilaya de Tamanrasset. cette région caractérisé par sont climat hyper aride et ses formation sédimentaire hétérogène.les eaux souterraines de CI sont la principale source pour .l'alimentation en eau potable et des besoins agricoles dans la région

L'objet de ce travail est l'étude de qualité des eaux des forages qui transfert l'eau a la ville de Tamanrasset on plus leurs potabilité et leurs l'aptitude a l'irrigation

Dans ce cas l'étude hydrochimique des eaux montre que.

les eaux souterraine est très dure avec un salinité très élevé et fort minéralisation . L'eaux prend sa signature géochimique de la formation géologique qui l'encaissait , ces eaux de un potabilité faible et adapté pour irriguer les plants résistante

Mots Clés : Continentale intercalaire, In Salah, Eaux souterraines, Hydrochimie

ملخص :

التزايد الكبير في عدد السكان في مدينة تمنراست زادت معه الحاجة لمياه الشرب و في هذا الاطار أنجزت الدولة مشروع تحويل المياه من منطقة عين صالح نحو مدينة تمنراست

منطقة عين صالح تقع في منتصف الجنوب الجزائري شمال ولاية تمنراست تتميز بمناخها الحار تربتها الرسوبية المتنوعة. تعتبر المياه الجوفية للمجمع الألباني المورد الأساسي لمياه الشرب والسقي في المنطقة

الهدف من هادا العمل دراسة نوعية مياه الابار التي التي تغذي مدينة تمنراست وقابليتها للشرب والسقي

في هذا العمل الدراسة الهيدروكيميائية أثبتت أن

المياه الجوفية عسرة و مالحة و اكثر معدنية أخذت صبغتها الكيميائية من التشكيلات الجيولوجية المتواجدة بها. قابلية هذه المياه للشرب ضعيفة وتصلح لسقي النباتات التي تتحمل الملوحة

الكلمات المفتاحية : القاري المتداخل, عين صالح, مياه جوفية, كيميائية الماء,

Abstract :

The excessive increase in the number of inhabitants of the town of Tamanrasset is increased its need of supply of drinking water in this frame work the project makes transfer the water of the region In Salah to the city of Tamanrasset

The In Salah region is located in the southern center of the Algerian Sahara, north of the wilaya Of Tamanrasset. This region characterized by are hyper-arid climate and its heterogeneous sedimentary formation. CI groundwater is the main source for drinking water supply and agricultural needs in the region.

The purpose of this work is to study the water quality of the wells which transfers water to the town of Tamanrasset and their potability and irrigability
In this case the hydrochemical study of the waters shows that.

The groundwater is very hard with a very high salinity and high mineralization. The waters take its geochemical signature of the geological formation that encircled it, these waters of a weak potability and adapted to irrigate the plants resistant

Keywords : Continental cross, In Salah, groundwater, Water chemistry

Liste de figures

| N° | Figures | page |
|----|---|------|
| 1 | Carte de situation géographique de la zone d'étude | 02 |
| 2 | Foggara dans la région In Salah | 04 |
| 3 | Schéma de fonctionnement de la foggara | 04 |
| 4 | Coupe géologique dans la zone d'étude | 05 |
| 5 | Carte géologie de la région In Salah(ANRH. Ouargla) | 06 |
| 6 | Coupe lithologique du forages de la région d'In Salah | 09 |
| 7 | Température moyenne mensuelle en °C de période 2007-2016 | 11 |
| 8 | Précipitations moyennes mensuelles en (mm) pour la période 2007-2016 | 12 |
| 9 | Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN de la région d'In Salah | 13 |
| 10 | humidité relative moyennes mensuelle (%) | 14 |
| 11 | Evaporation moyennes mensuelle (mm) | 15 |
| 12 | la présentation des bilans hydrique de la région d'In Salah | 18 |
| 13 | Abaque de l'indice d'aridité annuel De MARTONE | 19 |
| 14 | Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (UNESCO 1972) | 20 |
| 15 | Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal | 21 |
| 16 | bassin occidentale de le SSAS. | 22 |
| 17 | Carte de substratum de CI dans l région d'étude (ANRH-DRSO-ADRAR) | 23 |
| 18 | La coupe géologique (A) traverse la région d'étude SE au NW. (ANRH.ADRAR) | 24 |
| 19 | La coupe géologique (B) traverse la région d'étude SE au NW. (ANRH.ADRAR) | 24 |
| 20 | La coupe géologique (C) traverse la région d'étude SW au NE. (ANRH.ADRAR) | 25 |
| 21 | La coupe géologique (D) traverse la région d'étude de N au S. (ANRH.ADRAR) | 25 |
| 22 | Carte N°1 d'épaisseur de CI dans la région d'étude. (ANRH.ADRAR) | 26 |
| 23 | Carte N°2 d'épaisseur N°2 de CI dans la région d'étude. (ANRH.ADRAR) | 26 |
| 24 | La coupe lithologique (A) traverse la région d'étude (ANRH.ADRAR) | 27 |
| 25 | Le Sens d'écoulement de zone d'étude (d'après G.Gonfiantini , at all.Payne,(1974)). | 28 |
| 26 | SITUATION DES FORAGES D'AEP d'In Salah | 29 |
| 27 | Situation des forages d'irrigation d'In Salah | 29 |
| 28 | Carte localisation des forages exploités dans la région d'in Salah | 30 |
| 29 | Situation géographique de champ captant | 31 |
| 30 | Lacarte piézométrique de champ captant | 32 |
| 31 | le Rabattement mesurée au niveau de forages A3 | 33 |
| 32 | la remonté mesurée au niveau de forages A3 | 34 |

Liste de figures

| | | |
|----|---|----|
| 33 | le rabattement mesurée au niveau de forages D6 | 35 |
| 34 | la remonté mesurée au niveau de forages D6 | 35 |
| 35 | Description lithologique des forages A3 | 36 |
| 36 | Description lithologique des forages D6. | 37 |
| 37 | carte d'inventaire des points d'eau | 48 |
| 38 | Représentation graphique des eaux du forages sur le diagramme de PIPER. | 50 |
| 39 | Représentation graphique des eaux des forages selon Schoeler Berkaloff | 51 |
| 40 | Histogrammes des conductivités | 54 |
| 41 | Carte de variation de conductivité | 56 |
| 42 | Carte de variation de Ca | 56 |
| 43 | Carte de variation de Mg | 57 |
| 44 | Carte de variation de Na | 57 |
| 45 | Carte de variation des K | 57 |
| 46 | Carte de variation de Cl | 58 |
| 47 | Carte de variation de SO4 | 58 |
| 48 | Carte de variation de HCO3 | 58 |
| 49 | Relation Na- CE | 59 |
| 50 | Relation CE-TH | 60 |
| 51 | Relation Na- Cl | 60 |
| 52 | Relation SO4 Ca | 61 |
| 53 | Relation Mg - SO4 | 61 |
| 54 | Relation TH – Ca | 62 |
| 55 | Diagramme de Riverside des eaux des forages. | 63 |
| 56 | Diagramme de Wilcox des eaux des forage | 65 |
| 57 | Diagramme de Wilcox log des eaux des forages | 65 |

Liste de Tableaux

Liste de Tableau

| N° | Tableau | page |
|----|--|------|
| 1 | les coordonnées géographiques de la station d'In-Salah | 10 |
| 2 | températures moyenne mensuelles en °C pour la série de 10 ans d'In-Salah (2007-2016) | 10 |
| 3 | précipitation moyenne mensuelles (mm) ,pour la période (2007-2016) | 11 |
| 4 | précipitation moyenne mensuelle (mm) et température moyenne mensuelle (°C) pour la période (2007-2016): | 13 |
| 5 | humidité relative mensuelles (%) de la région d' in Salah pour la série de 10 ans (2007/2017) : | 14 |
| 6 | : l'évaporation moyennes mensuelles en (mm) pendant les périodes de (2007-2016) de la région d'In Salah | 15 |
| 7 | calcul de l'évapotranspiration potentiels a partir la méthode de THORNTHWAITE | 16 |
| 8 | les résultats des calculs de bilan hydrique de la région d'étude de période (2007-2016) à partir C.W.THORNTHWAITE: | 17 |
| 9 | Classification de DEMARTONNE | 18 |
| 10 | Les forages d'AEP | 28 |
| 11 | Les forages d'irrigation | 29 |
| 12 | les caractéristique hydrogéologique de chaque forages | 32 |
| 13 | résultat d'essai de pompages par palier sur le forages A3 | 33 |
| 14 | résultat d'essai de pompages par palier sur le forages D6 | 34 |
| 15 | La relation entre la conductivité et la minéralisation | 42 |
| 16 | Indice de stabilité de Ryznar | 44 |
| 17 | les normes de potabilité | 45 |
| 18 | Classification de l'eau basée sur la concentration totale en sels, s | 46 |
| 19 | Classe d'alcalinité des eaux selon U.S.S.L (1954) | 47 |
| 20 | concentration des éléments physico-chimiques des eaux des forages | 49 |
| 21 | Calcul d'erreur sur les analyses chimiques. | 50 |
| 22 | classification de l'eau en fonction de la conductivité | 50 |
| 23 | Formule et faciès chimique des eaux des forages | 51 |
| 24 | l'indice d'échange de base | 52 |
| 25 | Indices de saturation des eaux des forages | 52 |
| 26 | l'indice de Rysnar | 53 |
| 27 | l'échelle de dureté | 54 |
| 28 | matrice de corrélation des analyses des données physico-chimiques | 59 |
| 29 | Classification de la potabilité des eaux d'après la norme d'OMS et les normes algérien | 62 |
| 30 | classification de Wilcox | 64 |
| 31 | classification des eaux des forages | 66 |

LISTE DES ABREVIATIONS

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

D.R.S.O : Direction Régionale de Sud Ouest

O.N.M : Office Nationale de Météorologie

A.E.P : Alimentation en eau potable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé ;

Tp : température annuelle en(C°)

ETP : évapotranspiration potentiel (mm)

Pr : précipitation annuelle (mm)

ETR : évapotranspiration réelle (mm)

Exc : excédante (mm)

BH :Bilan hydrique

Def : déficit Agricole (mm)

RFU : réserve facilement utilisable (mm)

hr : l'humidité relative (%)

TA : Titre Alcalimétrique ;

TAC : Titre Alcalimétrique Complet ;

TH : Titre Hydrotimétrique ;

pH : Potentiel d'Hydrogène ;

°F: degré française.

C.T : Complexe Terminal

C.I : Continental Intercalaire ;

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

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

CE: Conductivité électrique

SAR: Sodium Absorption Ratio

RS : Résidu sec

UTM : Universal Transverse Mercator

LISTE DES UNITES

cm : centimètre.

°C : Degré Celsius.

°F : Degré français.

g : Gramme.

g/l : Gramme par litre.

h : Heure.

m : Mètre.

m³ : mètre cube.

m³/h : mètre cube par heure.

m³/s : mètre cube par seconde.

m³/j : mètre cube par jour.

meq.l⁻¹ : Milliéquivalent par litre.

mg : milligramme.

mg/l : Milligramme par litre.

mS/cm : Milli siemens par centimètre.

ml: milliliter.

mn : minute.

μS/cm : micro siemens par centimètre

| <i>N°</i> | <i>Sommaire</i> | <i>Page</i> |
|-----------|--|-------------|
| | Introduction général..... | 01 |
| I. | Cadre physique de la zone d'étude..... | 02 |
| I.1. | Situation géographique..... | 02 |
| I.2. | Les caractéristiques généraux..... | 03 |
| I.2.1. | Activités agricoles..... | 03 |
| I.2.2. | L'exploitation traditionnelle des eaux dans la région In Salah..... | 04 |
| I.3. | Cadre géologique de la région d'étude..... | 05 |
| I.3.1. | Introduction..... | 05 |
| I.3.2. | Cadre géologique de la zone d'étude..... | 05 |
| I.3.3. | les grandes structures géomorphologies..... | 06 |
| A. | Le plateau (Reg..... | 06 |
| B. | La dépression..... | 06 |
| C. | sebkhas..... | 06 |
| I.3.4. | la Lithostratigraphie de la zone d'étude..... | 07 |
| I.3.4.1. | Le Paléozoïque..... | 07 |
| A. | Le Dévonien..... | 07 |
| A.1. | Le Dévonien inférieur..... | 07 |
| A.2. | Le Dévonien supérieure..... | 07 |
| B. | Carbonifère..... | 07 |
| I.3.4.2. | le mésozoïque..... | 07 |
| A. | Le Crétacés inférieur (continentale intercalaire..... | 07 |
| B. | Le Crétacé supérieure..... | 08 |
| B.1. | Le Cénomanién..... | 08 |
| B.2. | Le Turonien..... | 08 |
| B.3. | Le Sénonien..... | 08 |
| I.3.4.3. | Le Quaternaire..... | 08 |
| I.4. | Climatologie de la région d'étude..... | 10 |
| I.4.1. | Température En °C..... | 10 |
| I.4.2. | Précipitation..... | 11 |
| I.4.3. | Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN..... | 12 |
| I.4.4. | Humidité..... | 13 |
| I.4.5. | Vitesse des vents..... | 15 |
| I.4.6. | L'évaporation..... | 15 |
| I.4.7. | L'évapotranspiration..... | 16 |
| I.4.7.1. | L'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule de THORNTHWAITE..... | 16 |
| I.4.7.2. | L'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule deTurck..... | 16 |
| I.4.7.3. | L'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de Thornthwaite..... | 17 |
| I.4.8. | bilan hydrique..... | 17 |
| I.4.9. | Indice d'aridité de DEMARTONNE..... | 18 |

| | | |
|-----------|---|----|
| | Conclusion..... | 19 |
| I.5. | Cadre Hydrogéologie de la région d'étude..... | 20 |
| I.5.1. | Les grands réservoirs de «SASS»..... | 20 |
| A. | le Continental Intercalaire (CI)..... | 20 |
| B. | le Complexe Terminal (CT)..... | 20 |
| I.5.2. | Système aquifère locale..... | 21 |
| I.5.3. | hydrogéologie de la zone d'étude (In Salah) | 22 |
| I.5.3.1. | La géométrie de l'aquifère CI dans la zone d'étude..... | 23 |
| I.5.3.2. | Epaisseur du Continental Intercalaire..... | 23 |
| A. | Coupe géologique..... | 23 |
| A.1. | Coupe géologique A..... | 23 |
| A.2 | Coupe géologique B..... | 24 |
| A.3. | Coupe géologique C..... | 25 |
| A.4. | Coupe géologique D..... | 25 |
| B. | Les carte d'épaisse..... | 26 |
| I.5.3.3. | Caractéristique de la nappe CI..... | 27 |
| A. | Le coupe lithologique(A)..... | 27 |
| I.5.3.4 . | La recharge de zone d'étude (In Salah)..... | 27 |
| I.5.3.5. | Potentialité en eau..... | 28 |
| A. | Les forages d'AEP..... | 28 |
| B. | Forage d'irrigation..... | 29 |
| I.5.4. | Le champ captant..... | 31 |
| I.5.4.1. | Catre piézométrique..... | 32 |
| I.5.4.2. | Contexte hydrogéologique des forages dans le champ captant..... | 32 |
| I.5.4.3. | L'essai de pompage..... | 33 |
| A. | Forage A3..... | 33 |
| A.1. | Par palier..... | 33 |
| A.2. | Longue durée..... | 33 |
| A.2.1 | Le Rabattement..... | 33 |
| A.2.2. | La remonté..... | 34 |
| B. | Forages D6..... | 34 |
| B.1. | Par palier..... | 34 |
| B.2. | Longue durée..... | 34 |
| B.2.1. | Le Rabattement..... | 35 |
| B.2.2. | La remonté..... | 35 |
| I.5.4.4. | Description lithologique des forages..... | 36 |
| A. | ForageA03..... | 36 |
| B. | ForageD6..... | 37 |
| | Conclusion..... | 39 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| II. | Chapitre II Matériels et Méthodes..... | 40 |
| | Introduction..... | 40 |
| II.1. | Matériels..... | 40 |
| II.1.1. | Données hydrochimiques..... | 40 |
| II.1.2. | Outils de traitement des données..... | 40 |
| I.2. | Méthodes..... | 41 |
| II.2.1. | Etudes hydro chimiques..... | 41 |
| II.2.1.1. | Traitement des données hydro chimiques..... | 41 |
| II.2.1.2. | Etude de la minéralisation..... | 42 |
| II.2.1.3. | Diagramme de Piper..... | 43 |
| II.2.1.4. | Diagramme de Schoeller-Berkaloff..... | 43 |
| II.2.1.5. | L'indice d'échange de base (IEB)..... | 43 |
| II.2.2. | Détermination de la nature des eaux..... | 44 |
| II.2.2.1. | Indices de saturation..... | 44 |
| II.2.2.2. | Indice de stabilité de Ryznar..... | 44 |
| II.2.3. | Etude de la potabilité des eaux..... | 45 |
| II.2.3.1. | Les normes de potabilité..... | 45 |
| II.2.4. | Les classifications des eaux d'irrigation..... | 45 |
| II.2.4.1. | Evaluation du risque de salinité..... | 45 |
| II.2.4.2. | Evaluation du risque d'alcalinité..... | 46 |
| II.2.4.3. | Les normes de classification des eaux d'irrigation..... | 47 |
| III. | Chapitre III Résultats et Discussions | 49 |
| III.1. | Hydrochimie des forages..... | 49 |
| III.1.1.: | Paramètres physico-chimiques..... | 49 |
| III.1.2. | La balance ionique..... | 49 |
| III.1.3. | Minéralisation..... | 50 |
| III.1.4. | Classification des eaux souterraines selon PIPER..... | 50 |
| III.1.5. | Diagramme de Schoeler Berkaloff..... | 51 |
| III.1.5. | L'indice d'échange de base (IEB)..... | 52 |
| III.2. | Détermination de la nature des eaux..... | 52 |
| III.2.1. | L'indice de saturation..... | 52 |
| III.2.1.1 | Les minéraux carbonatés..... | 53 |
| III.2.1.2. | Les minéraux évaporitiques..... | 53 |
| III.2.1. | Indice de stabilité de Ryznar..... | 53 |
| III.3. | Etude de la potabilité des eaux..... | 53 |
| III.3.1. | Paramètres physico-chimiques..... | 53 |
| III.3.1.1 | Paramètre physique..... | 53 |
| A. | Le potentiel Hydrogène (pH)..... | 53 |
| B. | La Conductivité..... | 53 |
| C. | La dureté (TH)..... | 54 |

| <i>N°</i> | <i>Sommaire</i> | <i>Page</i> |
|--------------|---|-------------|
| D. | Résude. Sec..... | 54 |
| III .3.1.2. | Paramètres chimique..... | 55 |
| A. | Le calcium (Ca ⁺⁺)..... | 55 |
| B. | Le Magnésium (Mg ⁺⁺)..... | 55 |
| C. | Le sodium et le potassium (Na ⁺ , K ⁺)..... | 55 |
| D. | Les chlorures Cl ⁻ | 55 |
| E. | Les sulfates (SO ₄ ⁻)..... | 55 |
| F. | Les bicarbonates HCO ₃ ⁻ | 55 |
| III.3.1.3. | Eléments Indésirables..... | 56 |
| A. | Nitrates NO ₃ ⁻ | 56 |
| B. | Nitrites NO ₂ | 56 |
| III.3.2. | Les cartes des teneurs des éléments physicochimiques des eaux dans les forages..... | 56 |
| III .4. | La matrice de corrélation..... | 59 |
| III .4. 1. | Les Relation chimiques..... | 59 |
| III .4. 1.1. | Le couple Conductivité – sodium..... | 59 |
| III .4.1.2. | Le couple Conductivité – Dureté (CE-TH)..... | 60 |
| III .4.1.3. | Le couple Sodium-Chlorure (Na-Cl)..... | 60 |
| III .4.1.4. | Le couple Sulfate-Calcium (SO ₄ -Ca)..... | 61 |
| III .4.1.5. | Lecouple Magnesium - Sulfate (Mg- SO ₄)..... | 61 |
| III .4.1.6. | La relation TH - Ca..... | 62 |
| III .5. | L’aptitude d’irrigation..... | 63 |
| III .5. 1. | Critères des eaux pour l’irrigation..... | 63 |
| III .5. 2. | Sodium Adsorption Ratio (SAR)..... | 63 |
| III .5. 3. | Diagramme de Riversid..... | 63 |
| III .5. 4. | Le pourcentage de sodium | 64 |
| III .5.5. | Diagramme de Welcox..... | 65 |
| III .5.6. | Diagramme de Wilcox log..... | 65 |
| III .6. | Relation entre la lithologie d'aquifère et les éléments chimique des eaux..... | 66 |
| III .6.1. | Le calcium..... | 66 |
| III .6. 2. | Le Magnésium (Mg ²⁺)..... | 66 |
| III .6.3. | Le Sodium (Na ⁺) et le Potassium (K ⁺)..... | 66 |
| III .6. 4. | Les Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)..... | 66 |
| III .6.5. | Les Sulfates (SO ₄ ²⁻)..... | 66 |
| III .6.6. | Les Nitrates (NO ₃ ⁻)..... | 66 |
| | Conclusion..... | 67 |
| | Conclusion générale..... | 68 |

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction Générale

Introduction Générale:

L'eau est vitale pour la survie, la santé et la dignité de l'homme, mais aussi une ressource fondamentale pour le développement humain. Les réserves d'eau souterraines sont sous une pression croissante.

La Wilaya Tamanrasset a connu ces dernières années une croissance démographique rapide suivi d'une activité humaine importante qui couvre presque tous les domaines (Agriculture, Industrie, Urbanisation et Touristique) en parallèle, les besoins en eau ont augmenté. Pour subvenir aux besoins de croissance de la demande en eau, des nombreux forages ont été réalisés, s'ajoutant au système de captage traditionnel (foggara et puits), D'après les prospections hydrogéologiques réalisées dans cette région, les réserves d'eau souterraine sont considérables, il s'agit de la nappe du Continental Intercalaire (ou nappe albienne). Cette nappe soutient toute sorte d'activité (activités agricoles, industrielles, et l'approvisionnement en eau potable).

Dans le sud algérien et notamment dans la région du Tidikelt (In Salah) qui comporte le grand transfère d'eau In-Salah –Tamanrasset, le déficit hydrique climatique est tel que le recours à l'irrigation est une nécessité vitale pour la production agricole. Cependant, la réussite de toute mise en valeur agricole dépendra donc de l'emploi rationnel et du contrôle périodique des ressources en eau disponibles.

La nappe du continental intercalaire couvre la majeure partie du territoire saharien septentrional et ce sont les limites d'extension de cette nappe qui ont servi à définir le domaine du projet d'étude des ressources en eau du Sahara septentrional.

La région d'In Salah fait partie du sous bassin hydrogéologique occidental du continental intercalaire et constitue son limite Sud-Est.

Pour répondre à la problématique posée, (détermination de qualité physico- chimique des eaux).

Dans ce but, plusieurs outils chimiques ont été exploités afin d'interpréter les données obtenues ANRH Adrar. Ces résultats sont développés dans le présent travail à travers trois chapitres principales :

- Le premier chapitre: Le cadre physique de la région d'étude, dans lequel on aborde les spécificités physiques de cette zone d'alimentation de point de vue, géographique, climatique, géologique et hydrogéologique du champ captant.
- Le deuxième chapitre : désigne le matériel et les outils utilisés, ainsi que la méthodologie adoptée dans cette étude afin de mettre en évidence la qualité hydrochimique des eaux
- Le troisième chapitre: Résultats et discussions nous a permis de tester la potabilité et l'aptitude des eaux à l'irrigation.

CHAPITRE I :
CADRE PHYSIQUE DE LA ZONE
D'ETUDE

I. CADRE PHYSIQUE :

I.1. Situation géographique :

La wilaya de Tamanrasset est située dans l'extrême sud de l'ALGERIE Comprise entre les longitudes 0°15' et 10°15' Est, et entre les latitudes 18°43' et 29°03' Nord, sa superficie s'étend sur environ 557906,25 km². est située à 2 000 km au Sud de la capitale, Alger

la wilaya de Tamanrasset est limitée par :

- La Wilaya de Ghardaïa au Nord-ouest
- La wilaya d'Ouargla au Nord-est
- La Wilaya d'Illizi à L'Est
- La Wilaya d'Adrar à l'Ouest
- Le Mali au sud-ouest
- Le Niger au Sud-est

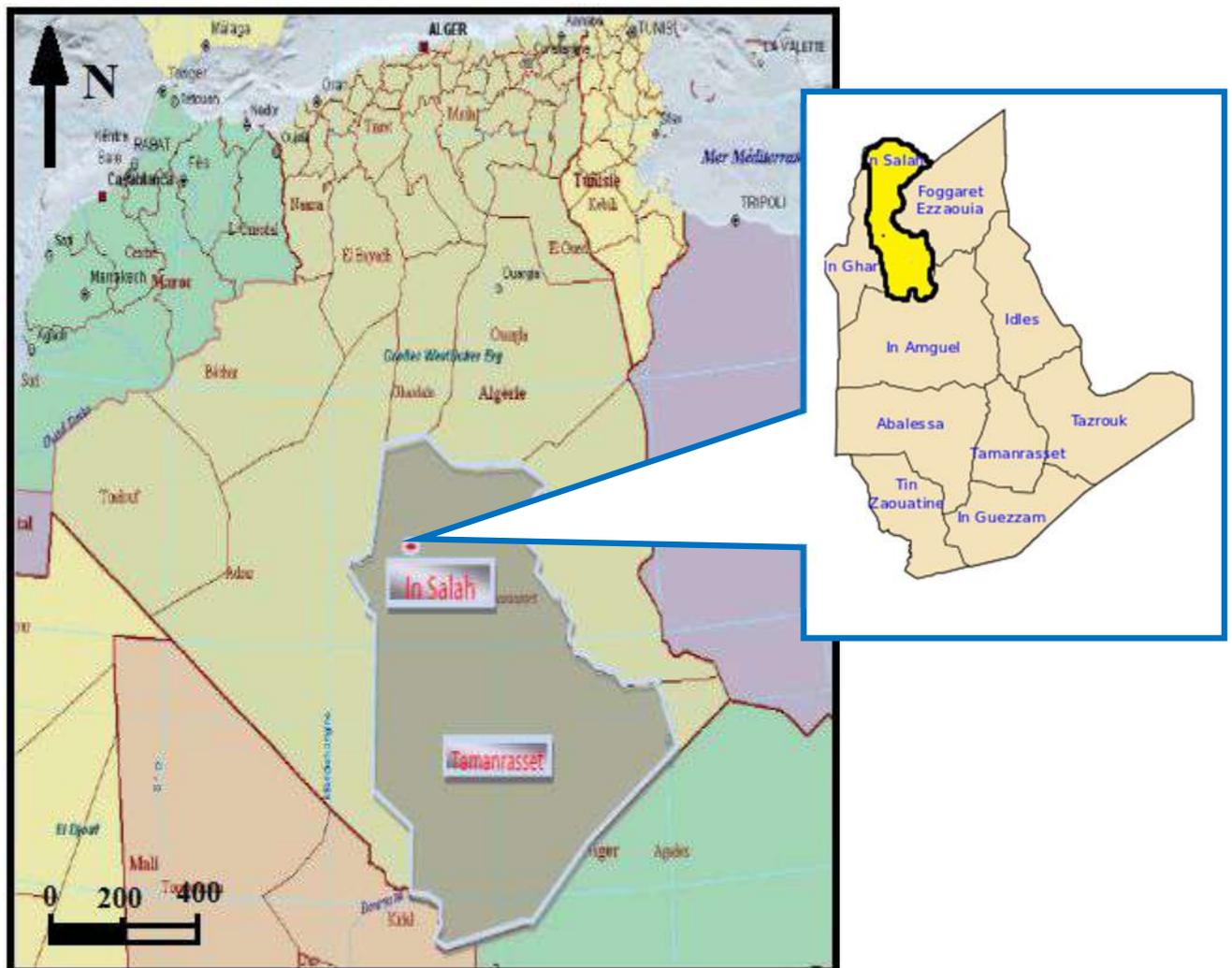


Figure.01: Carte de situation géographique de la zone d'étude

- La wilaya de Tamanrasset est constituée sept daïras :

TAMANRASSET; IN GHAR; INGUEZZEM; IDLES; TAZROUK; TIN ; ZOUATINE; IN SALAH

- La région d'In-Salah est située au centre sud du Sahara algérien, au nord de la wilaya de Tamanrasset. Elle est située à 1300 km au Sud d'Alger et à 700 km au chef lieu de la wilaya de Tamanrasset, entre le plateau de Tademaït au Nord, à la lisière du Tidikelt au Sud. L'oasis est située à 27°11' de latitude Nord et à 2°28' de longitude Est. La région d'In-Salah est constituée de trois réalités géographiques : le plateau de Tidikelt, la plaine de Tademaït et la dépression de l'oued Djarret :

○ Au Nord, une région relativement plane, composée du plateau de Tademaït, qui se présente sous la forme de Hamadas et l'aspect d'assises crevassées. Le plateau de Tademaït est recouvert par endroits de dunes de sable du fait d'une érosion éolienne très active.

○ Au Sud Est, la plaine de Tidikelt, parfois recouverte d'ergs et reformant des ressources hydriques appréciables. Elle est incisée profondément par une succession de vallées qui la traversent dans une direction Nord-est.

- La limite de In Salah est Au Nord : El Golia. Sud : Tamanrasset. Est : Illizi et Janet. Ouest Adrar.

I.2. Les caractéristiques générales d'in zone d'étude :

La région d'In Salah est caractérisée par :

- Superficie de 43 937,50 Km² avec un pourcentage de 7,88 %, d'occupation des sols de la wilaya de Tamanrasset
- Population 35000 habitants (2008).
- La densité de population est de 0,79 / km².

I.2. 1. Activités agricoles :

L'agriculture dans la région Tidikelt zone où des réserves en eau et en sol sont disponibles. La Surface Agricole Utile (SAU) totale était en 2003 de 7453 hectares. La commune d'In Salah, 15009 ha sont délimités, dont 7976 ha sont attribués et 1901 ha en culture. De même, dans la commune de Fouggarat Ez Zouaia, 1754 ha sont délimités dont 1626 ha attribués et 634 cultivés. Pour la commune d'In Ghar, 8000 ha sont délimités. La base des plantations dans la région du Tidikelt est essentiellement le palmier dattier (1700 hectares en 1994 [source PAW Tamanrasset]), associé avec des cultures maraîchères (242 hectares en 1994) et fourragères (45 hectares en 1994). Dans l'Ahaggar les plantations sont surtout constituées d'arbres fruitiers (370 hectares en 1994 [source PAW Tamanrasset]) et la vigne (320 hectares en 1994) pour lesquelles le milieu est favorable. Par ailleurs, cette zone comptait en 1994 : 667 ha de cultures céréalières, 530 ha de cultures maraîchères et 250 ha de cultures fourragères. Les données de 1994 utilisées dans le cadre du PAW sont largement dépassées, en particulier pour la région du Tidikelt du fait des efforts importants menés par les services de l'agriculture pour attribuer des terres avec les moyens d'irrigation indispensables. L'agriculture se développe mais à moindre échelle dans la commune de Tamanrasset, en particulier en bordure des lits d'oued où il est possible de disposer d'eau pour l'irrigation. (BG STUKY2004)

I.2.2.L'exploitation traditionnelle des eaux dans la région In Salah :



Figure.02:le foggara dans la région

Le terme foggara désigne une galerie souterraine qui consiste à drainer les eaux de la nappe aquifère du plateau vers les terrains irrigués situés dans la dépression. La région est caractérisée par une série d'oasis alimentées anciennement par des foggaras et depuis le début du 20ème siècle, par des forages artésiens jaillissants. L'artésianisme ayant diminué, la plupart des forages sont aujourd'hui exploités par pompage, la région In salah renferme plus de 97 foggaras , il ne reste actuellement que 15 foggaras pérennes et dont la plupart se localisent dans la palmeraie d'In Ghar.

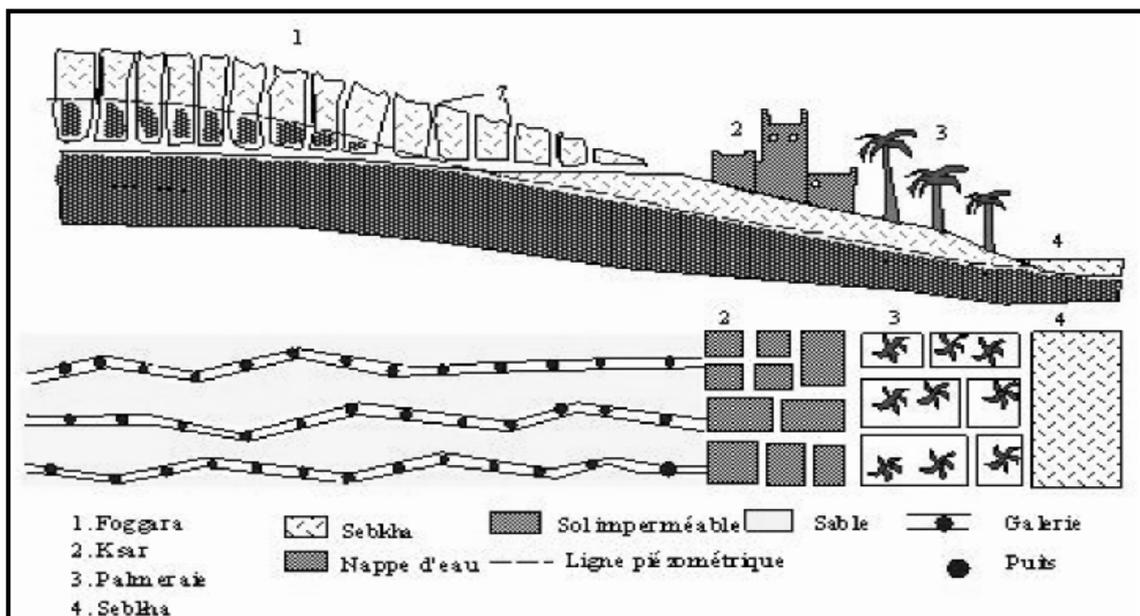


Figure.03 : Schéma de fonctionnement de la foggara

I.3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE :

I.3.1.Introduction

L'histoire géologique de l'Algérie s'inscrit dans une longue évolution géodynamique. Dans son état actuel, l'Afrique du Nord correspond à une zone ayant subi plusieurs phases de déformation et de sédimentation depuis le Précambrien. La géologie de la partie septentrionale de l'Algérie est marquée par l'empreinte de l'orogénèse alpine (domaines tellien et atlasique). Le linéament majeur du pays correspond à la flexure sud-atlasique qui sépare l'Algérie alpine au Nord de la plate-forme saharienne au Sud, constituée pour l'essentiel de terrains du Précambrien et du Paléozoïque. Cette plate-forme a peu évolué depuis la fin du Paléozoïque et correspond à un domaine carbonique relativement stable (Fabre, 1976 ; Ries, 2003).

- Le but de l'étude géologie c'est la détermination de la lithologie d'aquifère de continental intercalaire(CI) dans la région d'étude.

I.3.2.Cadre géologique de la zone d'étude :

La zone d'étude est intégrée dans l'ensemble de la plateforme saharienne. Cette dernière est relativement stable (peu déformée) et caractérise par la présence de terrains primaires qui sont affectée par des plissements, ils sont surmontés par les séries du continental intercalaire (crétacé inférieure) se terminant par des formations du tertiaire continental

La couverture de la plateforme saharienne est constituée par le Protérozoïque supérieur ou l'Infracambrien, le paléozoïque et le mésozoïque.

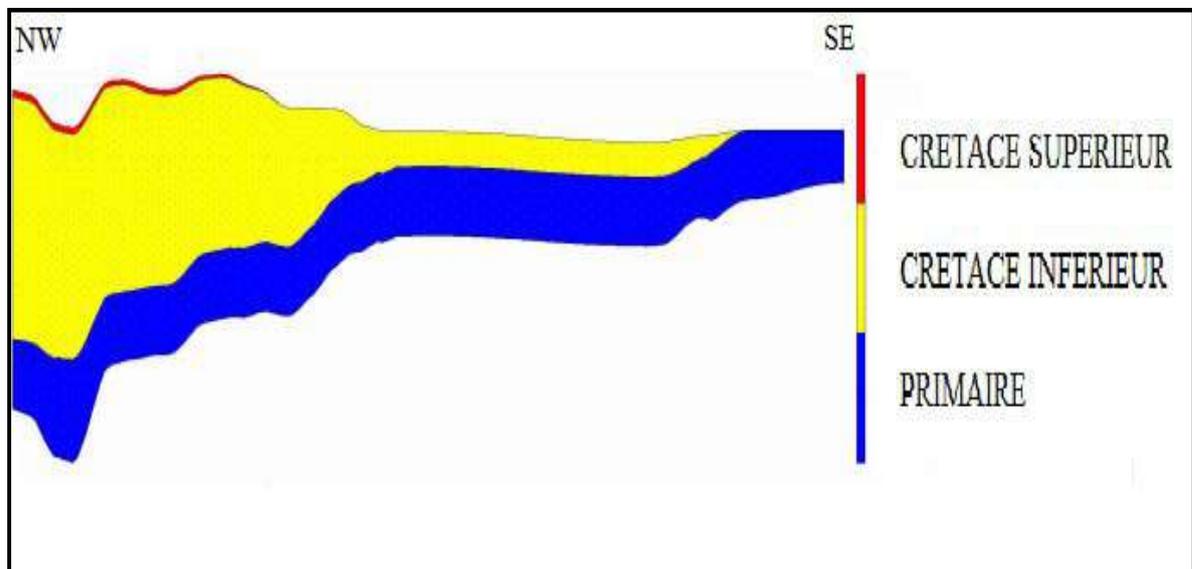


Figure.04: Coupe géologique dans la zone d'étude

- La zone est située au Nord du bassin de l'Ahnet, ce dernier s'est formé pendant le Silurien, mais son évolution s'est transformée en un élément tectonique indépendant, puis s'est poursuivie jusqu'à la fin du Paléozoïque où cette dépression a été bien structurée et individualisée.

Il existe une importante érosion des séries paléozoïques qui se trouvaient dans une position haute. La discordance hercynienne matérialise cette surface d'érosion et sépare ainsi. Les séries paléozoïques de séries mésozoïques.

Sur la majeure partie du bassin de l'Ahnet, la couverture sédimentaire est représentée par les séries paléozoïques. La sédimentation essentiellement détritique est liée à des environnements très variés (continentale, glaciaire, marin et marin littoral). Au mésozoïque, elle est surtout continentale et marine (Mézine, 1992).

I.3.3.les grandes structures géomorphologiques :

La région d'In Salah constitue la limite sud du grand plateau de Tidikelt. Elle est caractérisée par deux traits morphologiques

- **Le plateau (Reg)** : c'est une vaste plaine allongée sensiblement NE – SO. limitée au sud par les affleurements du primaire et au nord par les falaises des formations du crétacé supérieur, Les altitudes du plateau sont limitées par la courbe de niveau 275 et 300 m. La pente est généralement très faible, elle est de l'ordre 1% et le pendage est vers le Sud Ouest.

- **La dépression** : elle marque la limite sud ouest du plateau de Tidikelt et caractérise l'extrémité occidentale des palmeraies

- **Sebkhas** : Les sebkhas sont des successions de petites sebkhas qui marquent la limite sud du bassin occidental (zone Tidikelt) et constituant l'exutoire naturel des eaux de la nappe aquifère.

Exemple : sebkha ezzebbara.

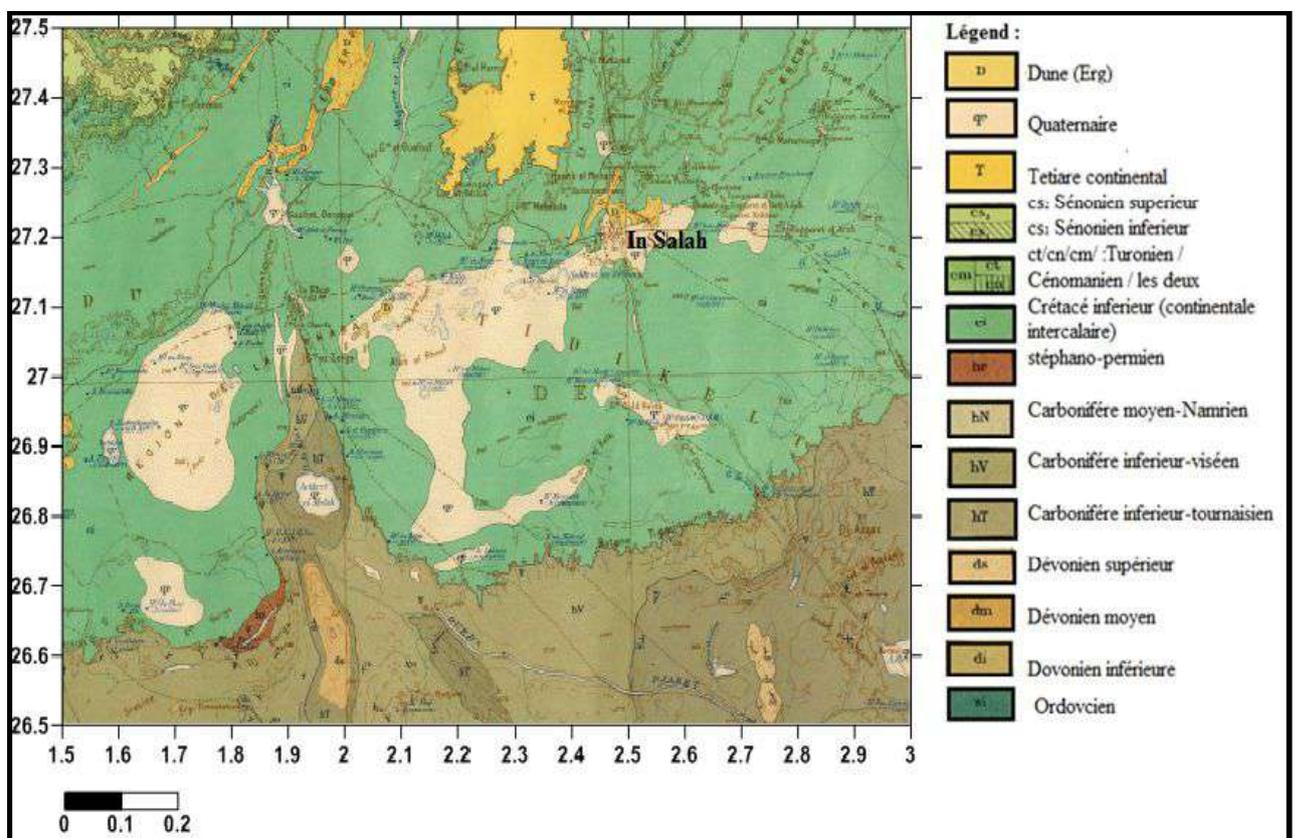


Figure.05:Carte géologique de la région In Salah(ANRH. Ouargla)

I.3.4.1a Lithostratigraphie de la zone d'étude:

la détermination de lithostratigraphie de la région est suivie et liée entre la carte géologique d'In Salah et les informations fournies par les forages et les coupes géologiques

Le log lithostratigraphique des formations géologiques sera comme suivant :

I.3.4.1. Le Paléozoïque :

Les sédiments du paléozoïque sont largement développés dans le Sahara. Mais dans la zone d'étude on remarque que le paléozoïque est profond et moins affleurant par rapport à d'autres régions au sud de la zone d'étude et aux terrains du bassin de l'Ahnet et cela est dû à l'élargissement du continental intercalaire. -

A. Le Dévonien :

A.1. Le Dévonien inférieur:

Il est généralement constituée par des argiles gréseuses avec des passages de grès au sommet (zone de passage).

- , il est par des argiles plus ou moins silteuses et micacées, des grès fins à très fins essentiellement quartzique ou siliceux quartzique compacte.

- constituée à la base par des argiles silteuses et au sommet par un banc de grès propre, fins et moyens (réservoir hydrocarbure).

A.2. Le Dévonien supérieur :

Il est caractérisé essentiellement par la présence d'argiles schisteuses et argiles versicolores dans tous les niveaux.

- A la base, on trouve des argiles schisteuses riches en matière organique surmontées par des argiles gréseuses, quelques graviers et gypses

- Au milieu, il y a un ensemble gréseux à stratification variée, avec un mélange de gravier ou d'argile et gypse.

B. Carbonifère

Caractérisé par une importante présence du Viséen, en général les forages d'eau montrent que cet âge est constitué essentiellement par des formations imperméables argileuses avec intercalations des faciès gréseux. Donc :

- A la base ; on remarque le passage argilo-gréseux plus ou moins épais

- Au milieu, on observe quelques blocs de calcaires associés avec les argiles, graviers fins et gypses

- les sommets sont formés par des grès fins, sables fins, gyps, des poches continentales et argiles plastiques.

I.3.4.2. le mésozoïque :

Discordant sur le Paléozoïque, il est représenté par les dépôts salifères du Trias et argilo-gréseux du Crétacé. Le Mésozoïque est développé dans les zones les plus déprimées des bassins sahariens, principalement dans le Sahara septentrional.

A. Le Crétacé inférieur (continentale intercalaire) :

Le continental intercalaire dans la zone d'étude est d'épais et large à cause de son affleurement important sur le paléozoïque.

Les logs des forages d'exploitation et de reconnaissance montrent que le continentale intercalaire dans la zone d'étude est constitué de la base au sommet par les formations suivantes:

- une série d'épaisseur variant de 20 à 90m. Elle est constituée par des Sables fins argileux.
- Des séries de grès à gravier fin parfois siliceux, et des intercalations d'argiles gréseuses, avec une épaisseur variant de 15 à 150m.
- une série de 20 à 200 m d'argiles rouges légèrement sableuses, avec la présence de minces niveaux de calcaire dur.
- mélange épais 30 à 120m des formations gréseuses avec le gravier moyen et des intercalaires de (calcaire siliceux ou quartzique durs, gravier fin siliceux sable grossier et grès argileux).
- des bancs gréseux durs à très durs de 5 à 150 m d'épaisseurs avec des sables siliceux et argiles limoneuses. (Belhamdo2013)

B. Le Crétacé supérieur :

B.1. Le Cénomaniens :

Le Cénomaniens constitue la couverture sédimentaire du continental intercalaire. La zone d'étude constitue par la dolomie finement cristallisée et argile plastique brun et rouge.

B.2. Le Turonien :

D'épaisseur variant de 70 à 120 m, il est formé d'alternance de calcaires dolomitiques et crayeux.

La zone d'étude constitue par la Dolomie et craie dolomitique bariolée.

B.3. Le Sénonien :

Epais de 465 m il s'agit d'une sédimentation marno-calcaire. La zone d'étude constitue par : Sénonien supérieur : Calcaire, calcaire à silex et argile.

Sénonien inférieur : Argile à gypse, calcaire à silex rubané et grès.

I-3-4-3-Le Quaternaire :

Le quaternaire est le résultat de la destruction des roches par les phénomènes naturels (érosion – l'écoulement à cause de la température). Il est caractérisé essentiellement par Alluvion argileux sableuse. Les dépôts du Quaternaire sont formés de couches de sables d'épaisseurs de 0 à 20m

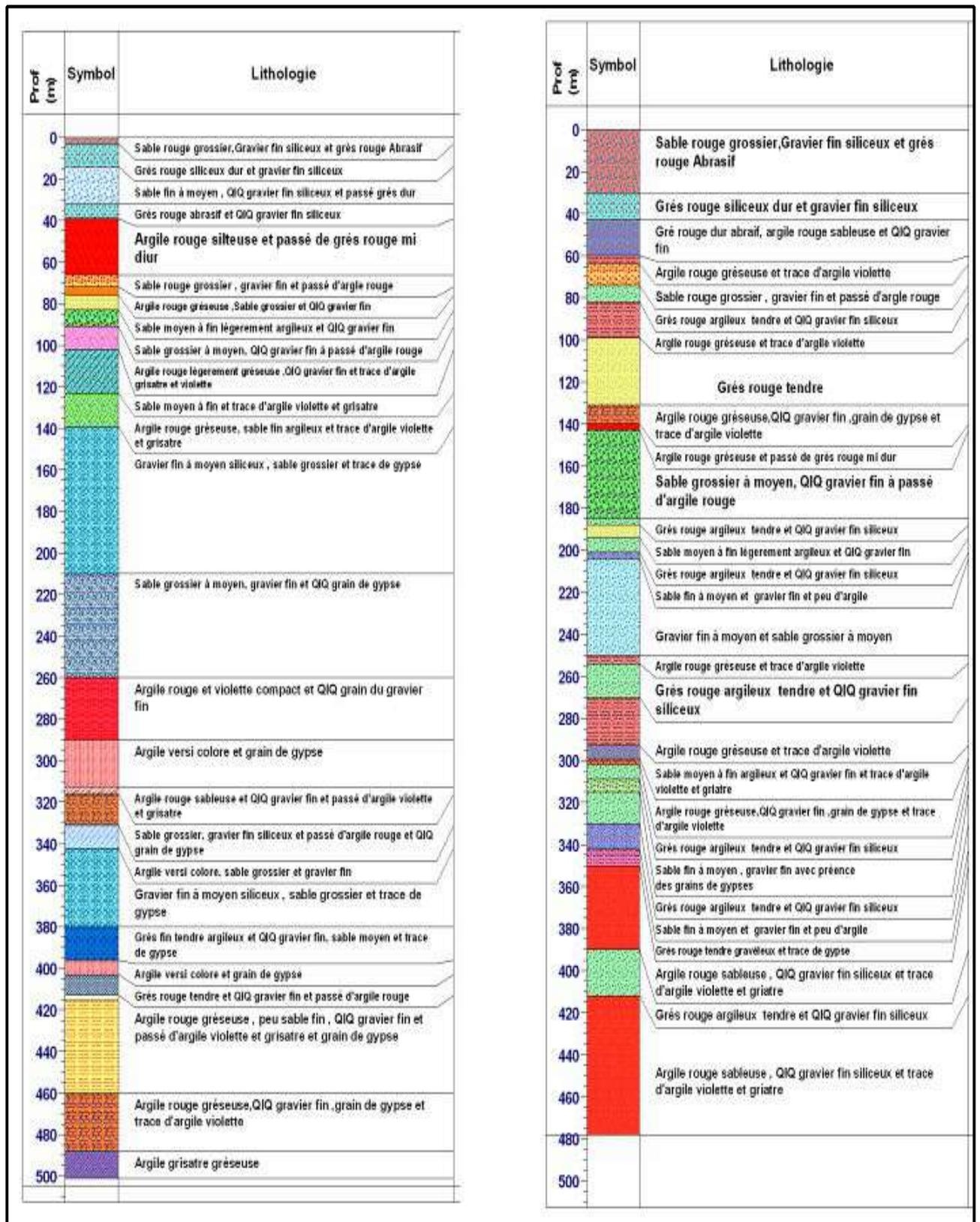


Figure.06: Coupe lithologique du forages de la région d'In Salah

I.4.Climatologie :

Le climat de la région caractérise par une grande aridité due à la rareté des pluies, une température généralement élevée, avec un régime du vent irrégulier. Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station météorologique d'In-Salah(60030) . Les objectifs des analyses des paramètres climatologiques suivants (P, T, V.vent, Hi, et Eva) sont : Donne une idée précise sur le climat qui caractérise la région étudiée et son influence sur le comportement hydraulique des aquifères. les séries des données, sera faite à partir des données recueillies des 10 dernières années de station météorologique d'In-Salah période (2007-2016).

La station est situé à l'aéroport s'éloignée 7km de la ville, ses coordonnées géographiques sont (tableau):

Tableau.01: les coordonnées géographiques de la station d'In-Salah

| Station | Coordonnées | | Altitude |
|----------|--------------|---------------|----------|
| | Latitude (N) | Longitude (E) | |
| In-Salah | 27°15' | 02°31' | 268 m |
| | | | |

I.4.1.Température En °C:

C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région .L'analyse des températures sera faite à partir des données recueillies des 10 dernières années de station météorologique d'In-Salah période (2007-2016).

Tableau.02: températures moyenne mensuelles en °C pour la série de 10 ans d'In-Salah (2007 2016).

| moins | S | O | N | D | J | F | M | A | M | Jn | J | Ao |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T max moy | 42,31 | 36 | 28,12 | 23,76 | 23,03 | 25,5 | 29,9 | 35,63 | 39,59 | 44,4 | 46,03 | 44,95 |
| T moy | 34,67 | 28,43 | 20,38 | 15,83 | 14,95 | 17,49 | 21,73 | 27,04 | 31,73 | 36,34 | 38,49 | 37,71 |
| T min moy | 26,96 | 20,82 | 12,77 | 8,75 | 7,23 | 9,13 | 12,99 | 17,68 | 23,08 | 26,97 | 30,38 | 30,06 |

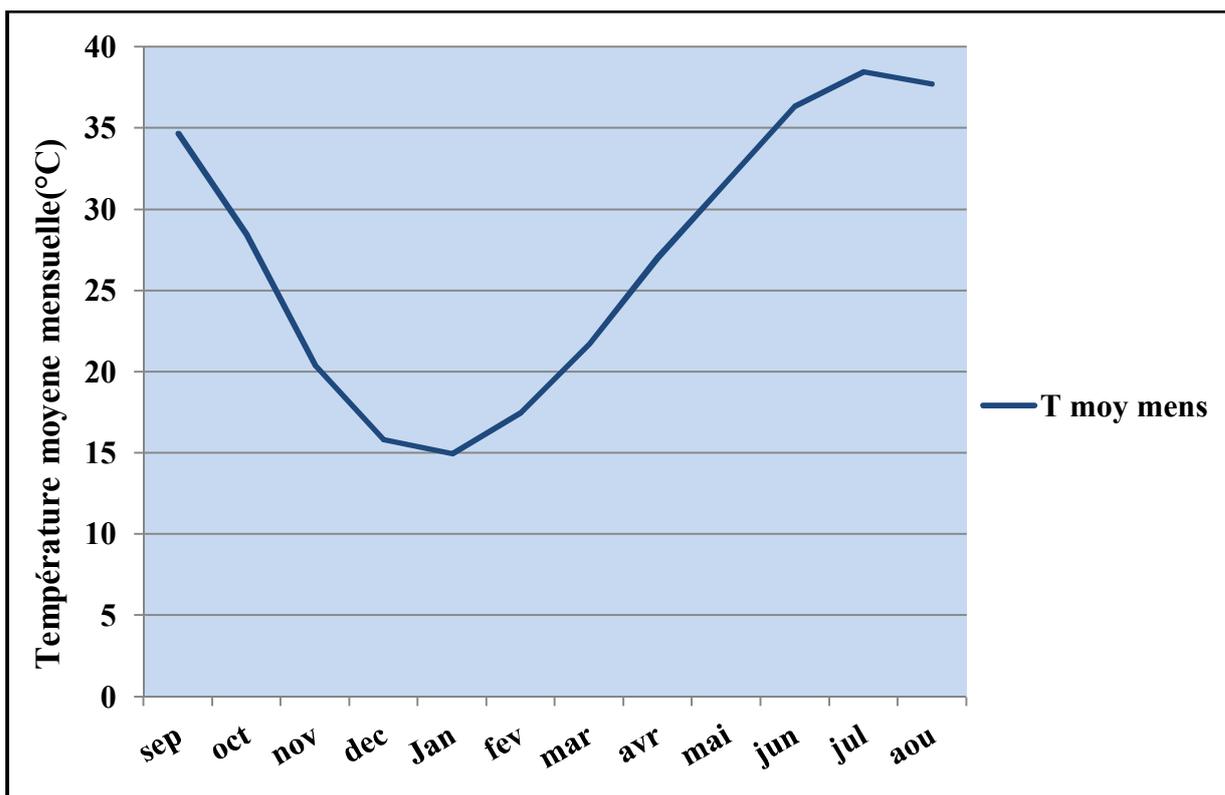


Figure.07: Température moyenne mensuelle en °C de période 2007-2016

Selon la Figure de Variation des températures moyennes mensuelles pour les 10 dernières années (2007- 2016). On enregistre (34,67°C) au mois de septembre puis décroît lentement jusqu'au mois de janvier où on remarque (14,95°C) puis il y a un croisement lent jusqu'au le mois de juillet où on remarque un maximum de (38,49°C). Et enfin on remarque un petit décroissement en le moins de aout (37,71°C)

I-4-2- Précipitation :

La précipitation est la totalité de la lame quantifiée par la pluviométrie, ou la quantité d'eau recueillie dans un pluviomètre pendant les 24 heures quelque soit l'origine de cette eau (pluie, neige, gèle, etc.....)

Tableau.03: précipitation moyenne mensuelles (mm) ,pour la période (2007-2016)

| moins | S | O | N | D | J | F | M | A | M | Jn | J | Ao | an |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|-----|
| P(mm) | 1,01 | 1,89 | 1,33 | 0,38 | 1,76 | 1,08 | 0,96 | 0,02 | 0,69 | 0,23 | 0,05 | 00 | 9,4 |

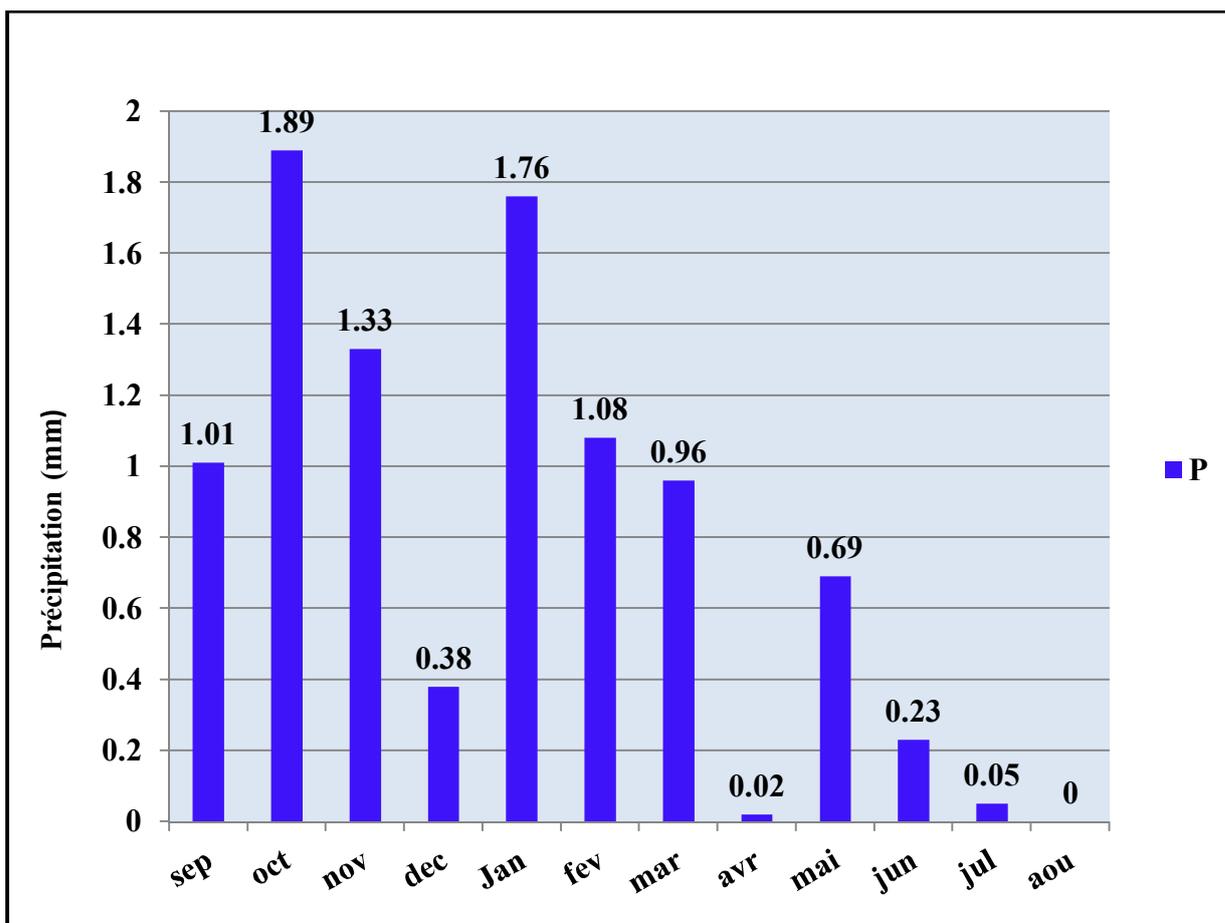


Figure.08: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) pour lapériode 2007-2016

L'histogramme (fig.08) représentant la répartition des pluies mensuelles sur une période de 10 ans a prouvée l'existence d'un régime mensuelle irrégulier, le maximum de ces précipitations sont enregistrées au mois de octobre (1,89mm) et le minimum est enregistré en Aout (0 mm)

La faible quantité des précipitations est due à l'influence de deux facteurs ;

- Les facteurs géographiques : situation géographique de la région et l'éloignement de la mer
- Les facteurs météorologiques : la région est influencée par une masse d'air tropical continentale qui provient de la direction Sud et Sud -Est, ces masses d'air se caractérise par la haute température et donne les plus sauvant des vents

I-4-3- Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN :

Selon la définition de Gausсен, une période sèche est une période pendant la quelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois. sur ce principe le diagramme est établis en portant les précipitations et les températures en fonction des mois de l'année, tout en prenant en considération

que sur l'échelle des ordonnées $P=2*T$ Ce diagramme montre que pour un climat de notre région (climat saharien), il n'existe pas de période humide, (Figure.06).

Tableau.04 : précipitation moyenne mensuelle (mm) et température moyenne mensuelle (°C) pour la période (2007-2016):

| mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | Jn | J | Ao |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T moy mens(°C) | 34,67 | 28,43 | 20,38 | 15,83 | 14,95 | 17,49 | 21,73 | 27,04 | 31,73 | 36,34 | 38,49 | 37,71 |
| P (mm) | 1,01 | 1,89 | 1,33 | 0,38 | 1,76 | 1,08 | 0,96 | 0,02 | 0,69 | 0,23 | 0,05 | 0 |

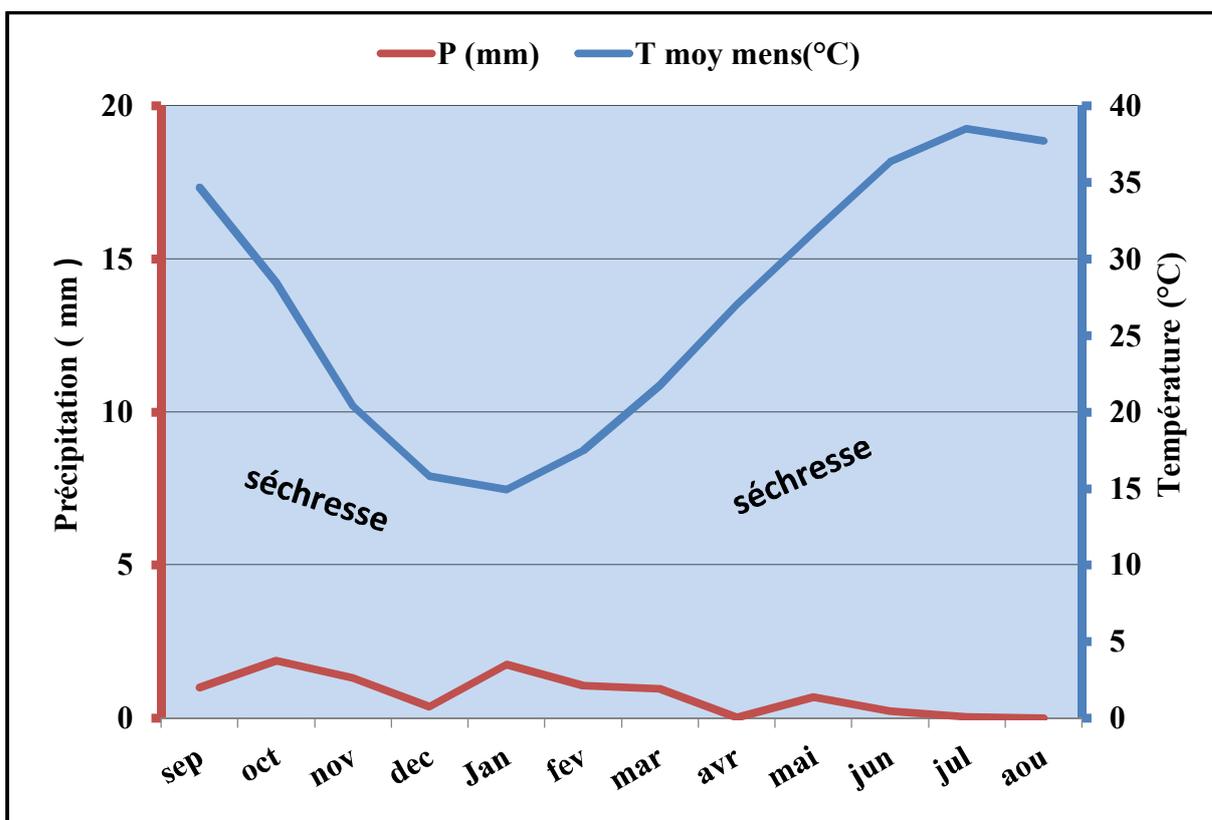


Figure.09: Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN de la région d'In Salah

Selon le diagramme on remarque dans la région, un période sèche dans tous les saisons mais par pourcentage différence. On peut dire que le mois de Janvier est moins sèche par rapport les autres mois.

I-4-4- Humidité :

Le degré hygrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

Tableau.05 : humidité relative mensuelles (%) de la région d' in Salah pour la série de 10ans (2007/2017) :

| moins | S | O | N | D | J | F | M | A | M | Jn | J | Ao |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|
| Humidité(%) | 21,1 | 27,7 | 34,6 | 40,6 | 37,9 | 30,3 | 24,5 | 19,8 | 18 | 15,2 | 14,2 | 16,4 |

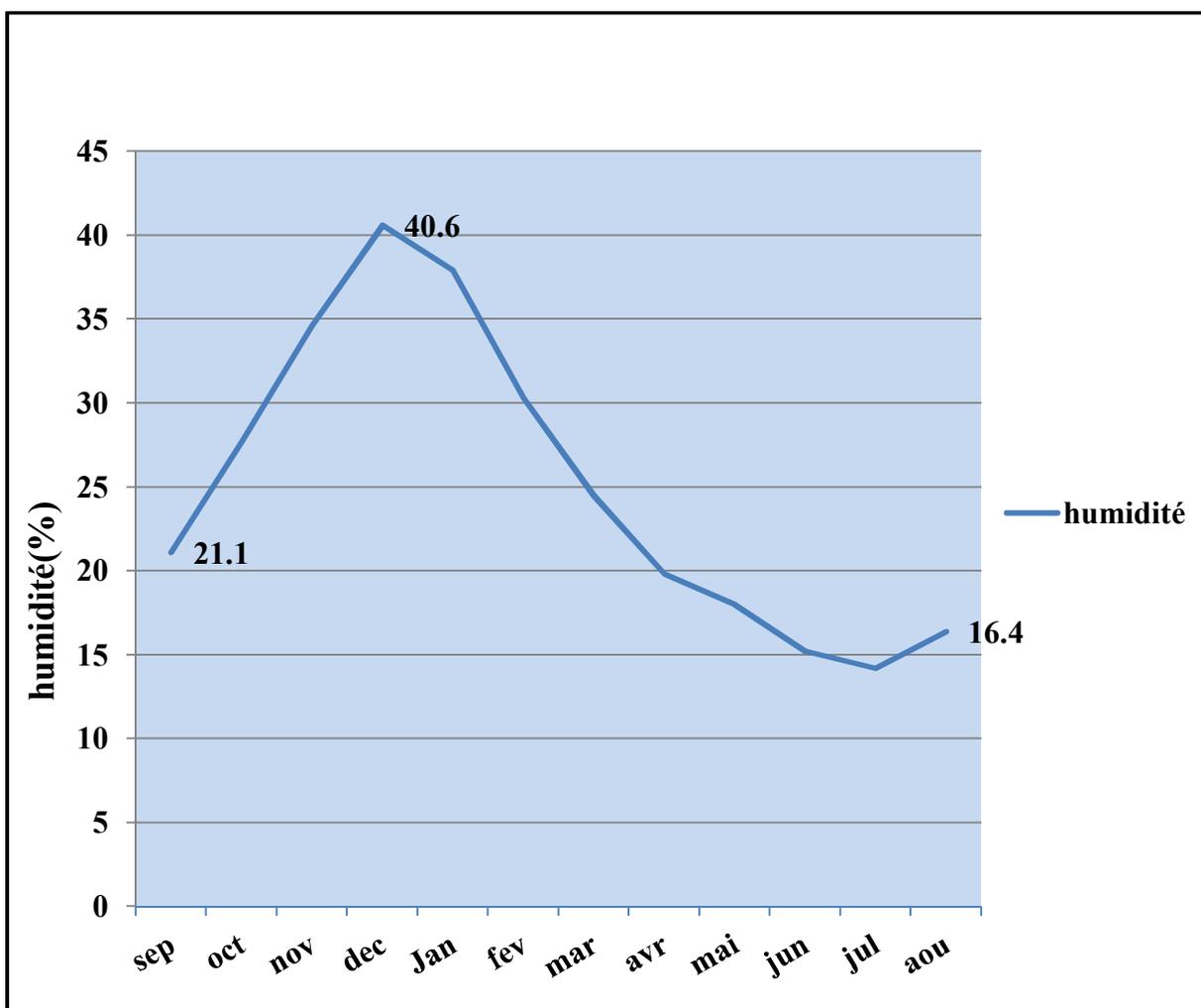


Figure.10: humidité relative moyennes mensuelle (%)

Selon le courbe généralement notre région caractérise par une faible humidité ne dépassé pas 50% m, mais il y a un changement marqué entre les mois .ou Novembre,décembre,Janvier et Février sont les mois les plus humides et les mois les plus sèche sont Mars, Avril, Mai, Jun, Juillet, aout, septembre, et octobre. L'humidité augmente en hiver et atteindre un maximum en Décembre (40,6%) puis a progressivement diminué jusqu'en Juillet où nous enregistrons une valeur minimale de (14,2%)

I-4-5- Vitesse des vents :

Dans notre région Les vents sont caractérisées par leurs direction, leurs vitesses, les vents prédominants sont de direction Nord-Ouest qui soufflent surtout en hiver apportant des pluies, et Sud-ouest vent chaud et sec qui engendre des fortes évapotranspirations.

I-4-6- L'évaporation :

L'évaporation est définie comme étant la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère.

Tableau.06 : l'évaporation moyennes mensuelles en (mm) pendant les périodes de (2007-2016) de la région d'In Salah:

| mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | Jn | J | Ao |
|---------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| Eva(mm) | 421,9 | 312,4 | 212,5 | 183 | 170,2 | 181,6 | 235,6 | 296 | 413,9 | 443,5 | 541,3 | 492,9 |

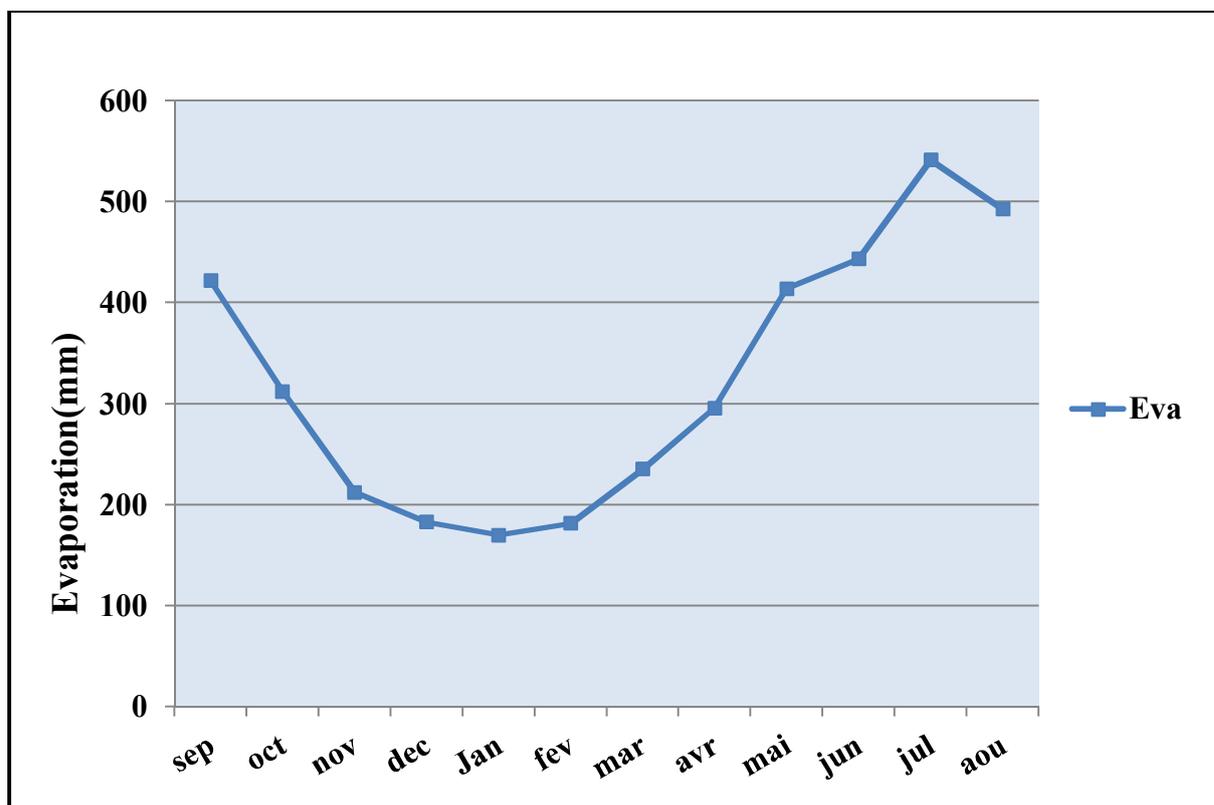


Figure.11 : Evaporation moyennes mensuelle (mm)

La courbe représente l'évaporation moyenne mensuelle (mm) pour les 10 dernières années (2007- 2016) de la région d'In Salah. On enregistre (421,9 mm) au mois de septembre puis décroît lentement jusqu'au mois de janvier où on remarque (170,2 mm) puis il y a un croisement lent jusqu'au le mois de juillet où on remarque un maximum de (541,3 mm). Et enfin on remarque un petit décroissement en le moins de aout (492,9 mm) L'évaporation de la

région est très élevée à cause de l'élévation de la température, donc cette évaporation permet de sécher de grandes quantités d'eau de précipitation

I-4-7- L'évapotranspiration:

L'évapotranspiration résulte de deux phénomènes : l'une physique « évaporation » et l'autre biologique « transpiration », ce phénomène important du cycle hydrologique est fonction de plusieurs facteurs : (humidité, température, l'insolation, couvert végétal...)

Dans cette étude, nous avons utilisé une méthode de THORNTHWAITE en raison de la facilité d'application et de l'efficacité dans le climat du désert

I-4-7-1L'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule de THORNTHWAITE :

$$ETP (mm) = 16 (10T/I)^{a*}K$$

Avec :

- **Etp**: évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau).
- **t** : température moyenne mensuelle du mois considéré (en °C).
- **K** : coefficient d'ajustement mensuel.
- **a** : indice lié à la température : $a = I \times [1,6/100] + 0,5$
- **I** : indice thermique annuel : $I = \sum i$
- **i**: indice thermique mensuel : $i = [T/5]^{1,5}$

Tableau.07 : calcul de l'évapotranspiration potentiels a partire la méthode de THORNTHWAITE

| Paramètre | sep | oct | nov | dec | Jan | fev | mar | avr | mai | jun | jul | aou | Total |
|---------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| T moy | 34,67 | 28,43 | 20,38 | 15,83 | 14,95 | 17,49 | 21,73 | 27,04 | 31,73 | 36,34 | 38,49 | 37,71 | 27,07 |
| i | 18,62 | 13,80 | 8,35 | 5,70 | 5,23 | 6,62 | 9,19 | 12,79 | 16,28 | 19,99 | 21,80 | 21,14 | 159,50 |
| ETP | 171,10 | 93,38 | 33,81 | 15,64 | 13,13 | 21,20 | 41,12 | 80,13 | 130,55 | 197,51 | 235,39 | 221,13 | |
| K | 1,3 | 1,21 | 1,08 | 0,96 | 1,01 | 1,13 | 1,19 | 1,27 | 1,32 | 1,41 | 1,41 | 1,36 | |
| ETP CO | 222,43 | 112,98 | 36,51 | 15,01 | 13,26 | 23,95 | 48,93 | 101,76 | 172,33 | 278,49 | 331,89 | 300,74 | 1658,29 |

I-4-7-2-L'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule deTurck:

L.Turc, a établi une relation tenant compte des précipitations et à la température, son application sur 254 bassins dans le monde a donnée de bons résultats, elle est applicable à toute les régions :

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

Avec :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

ETR : évapotranspiration réelle en (mm)

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en °C.

L : paramètre arbitraire lié à la température

P = 9.4 mm.

T = 27,07

L = $300 + 25(27,07) + 0.05 (27,07)^3 = 1968,57$.

ETR (mm) = $P / \sqrt{(0,9 + P^2/L^2)} = 9,4 / \sqrt{[0,9 + (9,4)^2 / (1968,57.)^2]} = 9,908$ mm.

ETR=9,908 mm

I-4-7- 3- L'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de Thornthwaite :

Le bilan de Thornthwaite fait intégrer, d'une part l'ETP, et d'autre part les précipitations. Pour calculer l'ETR, deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP ; l'ETR est égale à l'ETP et on a alors un excédant en eau : **P > ETP ⇒ ETR = ETP**

- Si les précipitations mensuelles sont inférieures à l'ETP, le sol restitue l'eau emmagasinée jusqu'à l'épuisement des réserves : **P < ETP ⇒ ETR = P + RFU**.

I-4-8- Le bilan hydrique :

Tableau.08: les résultats des calculs de bilan hydrique de la région d'étude de période (2007-2016) à partir C.W.THORNTHAITE:

| Paramètre | sep | Oct | nov | dec | Jan | fev | mar | avr | mai | jun | jul | aou | Totale |
|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| P | 1,01 | 1,89 | 1,33 | 0,38 | 1,76 | 1,08 | 0,96 | 0,02 | 0,69 | 0,23 | 0,05 | 0 | 9,40 |
| T | 34,67 | 28,43 | 20,38 | 15,83 | 14,95 | 17,49 | 21,73 | 27,04 | 31,73 | 36,34 | 38,49 | 37,71 | 27,07 |
| I | 18,62 | 13,80 | 8,35 | 5,70 | 5,23 | 6,62 | 9,19 | 12,79 | 16,28 | 19,99 | 21,80 | 21,14 | 159,50 |
| K | 1,3 | 1,21 | 1,08 | 0,96 | 1,01 | 1,13 | 1,19 | 1,27 | 1,32 | 1,41 | 1,41 | 1,36 | |
| ETP COR | 222,4 | 113,0 | 36,5 | 15,0 | 13,3 | 24,0 | 48,9 | 101,8 | 172,3 | 278,5 | 331,9 | 300,7 | 1658,3 |
| P-ETP | -221,4 | -111,1 | -35,2 | -14,6 | -11,5 | -22,9 | -48,0 | -101,7 | -171,6 | -278,3 | -331,8 | -300,7 | -1648,9 |
| RFU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| DA | 221,4 | 111,1 | 35,2 | 14,6 | 11,5 | 22,9 | 48,0 | 101,7 | 171,6 | 278,3 | 331,8 | 300,7 | 1648,9 |
| EX | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| ETR | 1,01 | 1,89 | 1,33 | 0,38 | 1,76 | 1,08 | 0,96 | 0,02 | 0,69 | 0,23 | 0,05 | 0 | 9,40 |

Avec :

P : Précipitation moyenne mensuel

T : Température moyenne mensuel

i : indice thermique globale

K : coefficient d'ajustement mensuel.

ETP COR : évapotranspiration corrigée

RFU :réserve facilement utilisable

DA :déficit agricole

EX:excédant

ETR:évapotranspiration real

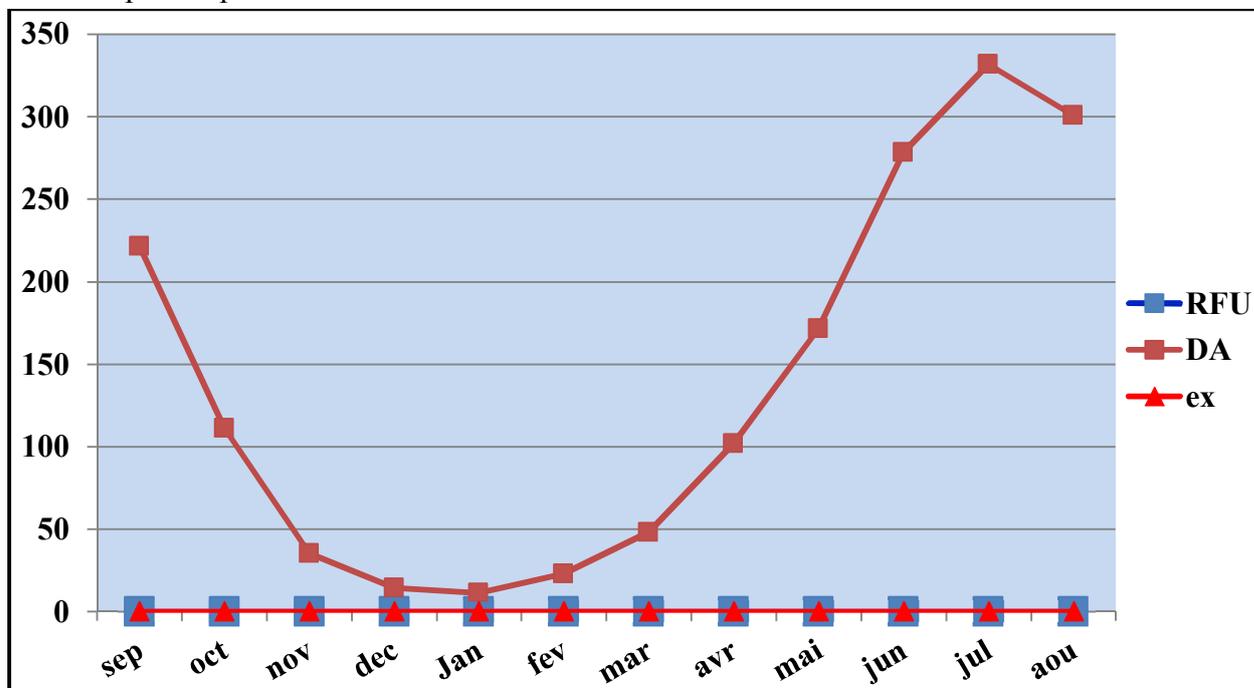


Figure.12 : la présentation des bilans hydriques de la région d'In Salah

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

D'après la fig.06 on observé que : le déficit est existe à toute l'année atteint les valeurs minimums en hiver(janvier (11,5)) Et il prend la valeur maximum en aout (331,8) On a aussi l'excédentégale à RFU (0) c'est-à-dire la précipitation plus faible avec des températures très élevé.

I-4-9- Indice d'aridité de DEMARTONNE :

En se basant sur le régime des précipitations et des températures, DEMARTONNE (1923) défini un indice d'aridité (A).Il est définit par la relation suivante:

$$A = P/T + 10$$

P: précipitation moyenne annuelle (mm);

T: température moyenne annuelle (°C).

Tableau.09:Classification de DEMARTONNE

| Valeur de l'indice | Type de climat |
|--------------------|----------------|
| $A < 5$ | Hyper-aride |
| $5 < A < 7.5$ | Désertique |
| $7.5 < A < 10$ | Steppique |
| $10 < A < 20$ | Semi-aride |

20 <math>A < 30</math>

Tempéré

Pour la région d'In Salah :

$P = 9,4 \text{ mm}$ et $T = 27,07^\circ\text{C}$, donc $A = 0,25 \longrightarrow A < 5$

Selon la classification de MARTONE, il s'agit d'un climat **hyper-aride**.

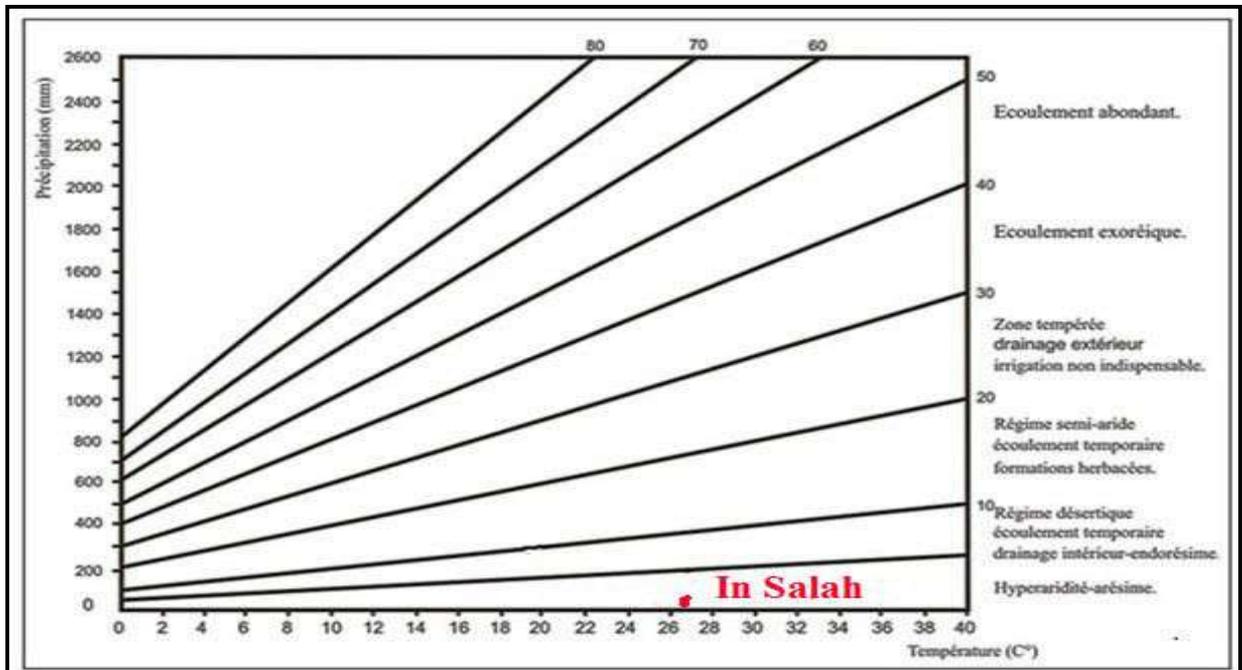


Figure.13: Abaque de l'indice d'aridité annuel De MARTONE.

Conclusion :

Après l'analyse des données climatiques pour les dix dernières années (période de 2007 jusqu'à 2016) de la région d'IN SALAH on conclure cette région est caractérisée par un climat hyper aride ,résultant de la rareté des précipitations d'une part et la température très élevé d'autre part,Cette aridité ne seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une faible humidité et les valeurs forte d'évaporation, (qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région). Dans la région d'étude la Période sèches qui caractérisé le climat.

Où nous avons enregistré une moyenne annuelle de :

$P = 9,4 \text{ mm}$; $T = 27,07^\circ\text{C}$; $Hi = 25,025 \%$; $ETP = 1658,3 \text{ mm}$; $ETR = 9,4 \text{ mm}$;
 $DA = 1648,9 \text{ mm}$ $V.\text{vent} = 5,265 \text{ m/s}$

Le tableau du bilan hydrologique (tableau.08) et le diagramme (fig.12) montrent que le bilan hydrologique de notre région d'étude ('In Salah) est déficitaire d'où un excédent nul qui ne donne aucune quantité d'eau participant à la réalimentation des nappes d'eau souterraines ni à l'écoulement des eaux en surface (ruissellement et infiltration nuls).

Nous concluons, donc, que le climat dans la région a un impact négatif sur le comportement hydraulique des aquifères, où ne contribue pas à l'alimentation ou le renouvellement de la nappe.

I.5. Cadre Hydrogéologie de la région d'étude :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin englobe une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

L'état des connaissances sur le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » est le fruit de plus d'un siècle d'exploration et d'études géologiques hydrogéologiques. Les premiers forages d'eau ont été creusés dans ce bassin dans la région de l'Oued Rhir au milieu du XIX siècle. Ils ont permis de reconnaître les premiers niveaux jaillissants du complexe terminal. Ceux réalisés dans le sud tunisien remontent au début du XX^e siècle

Le but de l'étude hydrogéologique est la détermination des caractéristiques hydrogéologiques de la région d'In Salah et donnée une idée sur la géométrie et la puissance et le sens d'écoulement de l'aquifère CI Dans la région d'étude (OSS.2003)

I.5.1. Les grands réservoirs de «SASS» :

A. le Continental Intercalaire (CI)

Le terme du « Continental intercalaire » désigne d'après son auteur (C. Kilian, 1932), est une unité hydrogéologie fondamentale dans le système de Sahara septentrionale (SASS) qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 Km². Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m³ environ (Hadj Fateh et 2011).

un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne,
- au sommet, le cycle du Crétacé supérieur.

B. le Complexe Terminal (CT).

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire et principalement du Miocène. Ces définitions ont été adoptées, à l'origine, pour analyser et schématiser, en vue de la modélisation, le fonctionnement hydrodynamique des aquifères algériens puis par extension, tunisiens. Avec le projet SASS, l'ajout à l'étude du bassin saharien libyen a demandé une nouvelle analyse des informations géologiques, géophysiques et hydrogéologiques, se basant à la fois, sur les études antérieures et sur la collecte de données nouvelles.

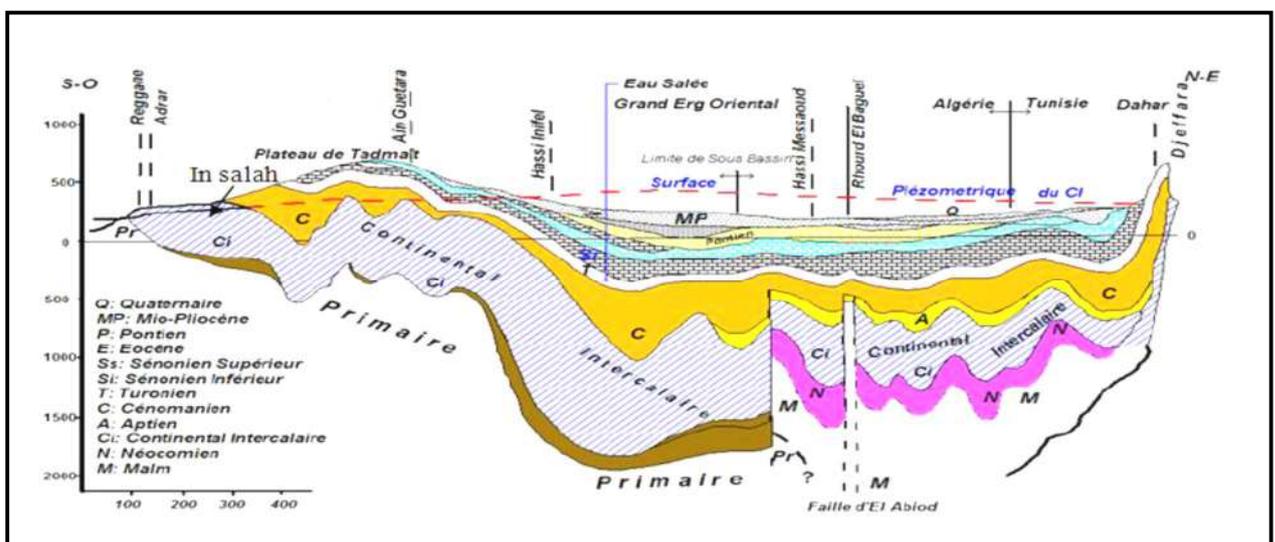


Figure.14: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (UNESCO 1972)

I.5.2. Système aquifère locale :

-Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. Il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. Leur puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. En 2000 elles étaient exploitées par environ 5300 points d'eau.

-La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 1000 m. En 2000 elle était exploitée par environ 3500 points d'eau. (Belhamdo2013)

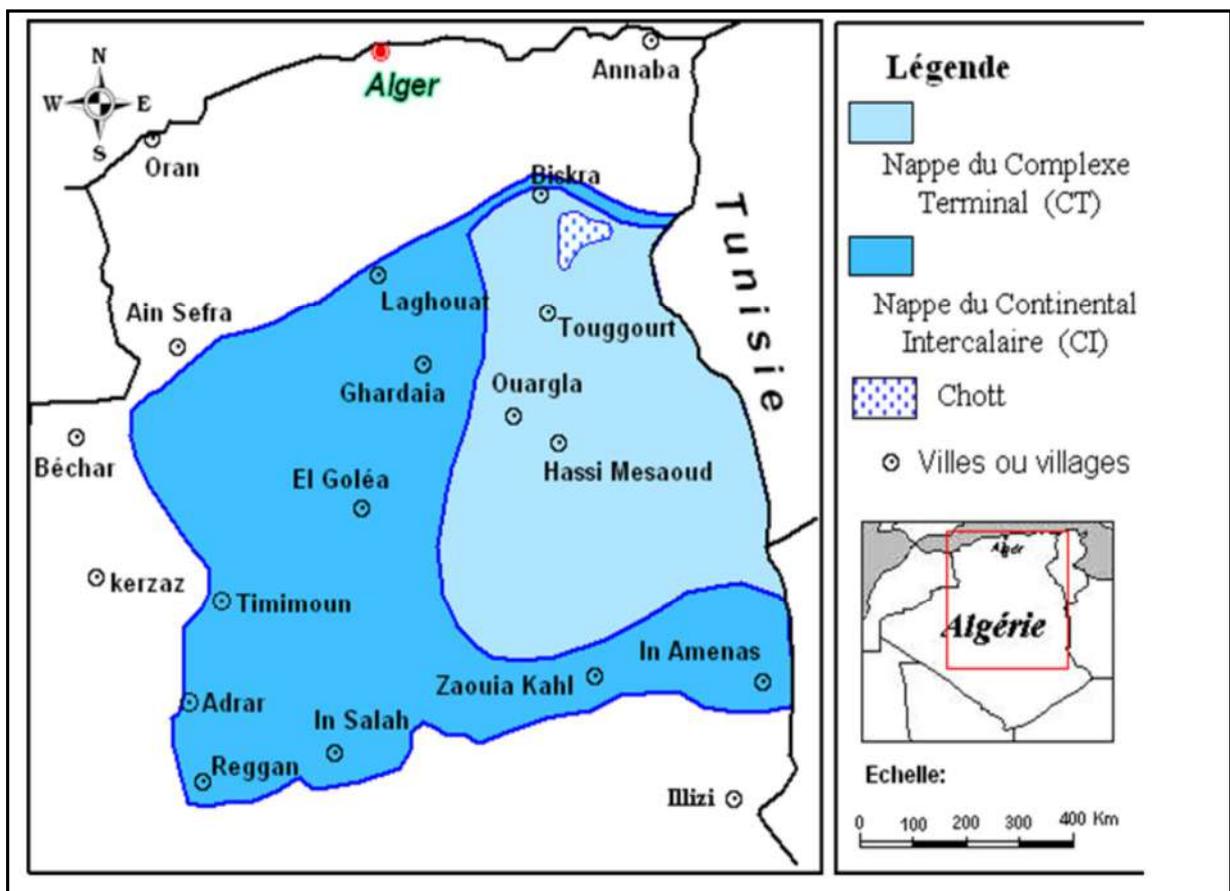


Figure.15: Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)

Le SASS peut être subdivisé 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 du CT, correspondant à des zones de nappe libre, sont respectivement en vert clair et en hachuré (Sénonien carbonaté, Eocène et Paléocène).

La zone d'In Salah est située en limite sud du bassin occidental, dans les affleurements du CI.

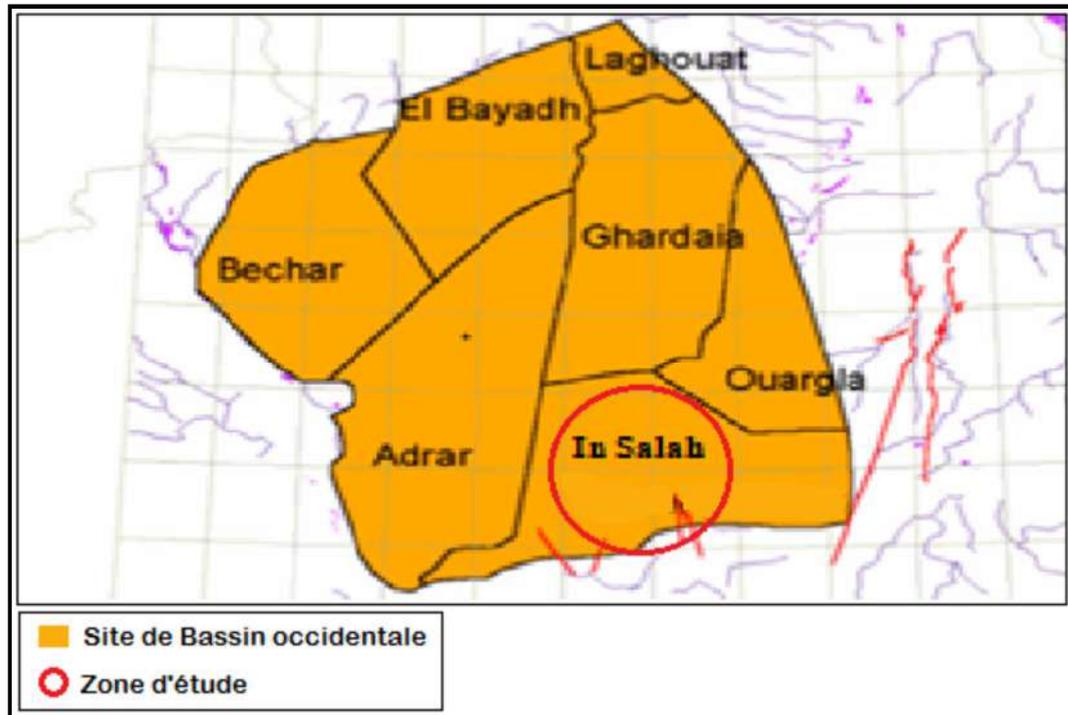


Figure.16: bassin occidentale de le SSAS.

I.5.3.hydrogéologie de la zone d'étude :

La région d'In Salah est située à la limite sud du Bassin occidental du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) dans les affleurements du Continental Intercalaire (CI).

L'ensemble géologique qui renferme la nappe d'eau dans la région d'in Salah est constitué par une alternance des formations détritiques continentale.

- Au nord de la commune d'In Salah les formations aquifères débutent par des matériaux grossiers (alluvion) du quaternaire qui surmontent une épaisse couche (305 m) constituée de grés argile, gravier et sable du crétacé inférieur.
 - Au centre de la commune d' In Salah on remarque un changement du faciès lithologique, ainsi qu'une réduction de l'épaisseur. La formation dominante est le gré tendre et l'argile rouge sableuse.
- Vers le sud est le pourcentage des matériaux fins deviant plus important et l'argile rouge sableuse constitue la formation la plus dominante, l'épaisseur de la nappe d'eau dans cette zone ne dépasse guère 50 m.

I.5.3.1. La géométrie de l'aquifère CI dans la zone d'étude:

Le toit du substratum du primaire montre dans l'ensemble un prolongement du mur du réservoir utile du sud vers nord, la profondeur maximum du toit des formations primaire se localise au Nord-Ouest et à l'Ouest du périmètre d'étude et qui atteint 700 à 800 m de profondeur, par contre les profondeurs minimums se localisent le long des affleurements de la formation carbonifère et oscillent entre 50 à 100 m. Le toit du substratum dans la zone d'étude est entre 300 et 400 m de profondeur.

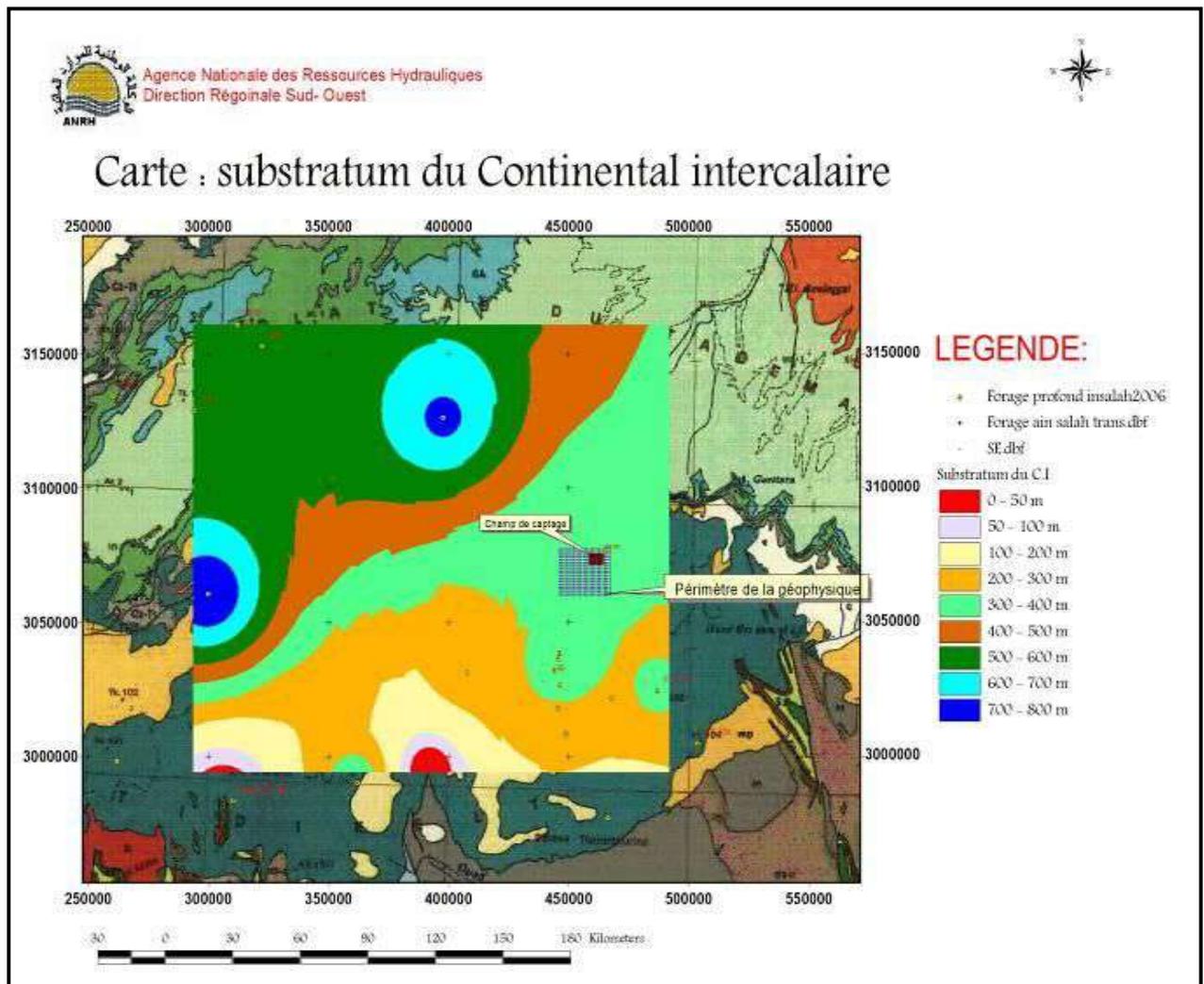


Figure.17 : Carte de substratum de CI dans la région d'étude (ANRH-DRSO-ADRAR)

I.5.3.2. Epaisseur du Continental Intercalaire:

A / Coupe géologique ;

A partir des quatre coupes géologiques (A-B-C-D) et les cartes d'épaisseur (qui réalisée par l'ANRH.DRSO Adrar) on permis de déterminer la puissance des formations du continental intercalaire dans la région d'étude

A.1. Coupe géologique A:

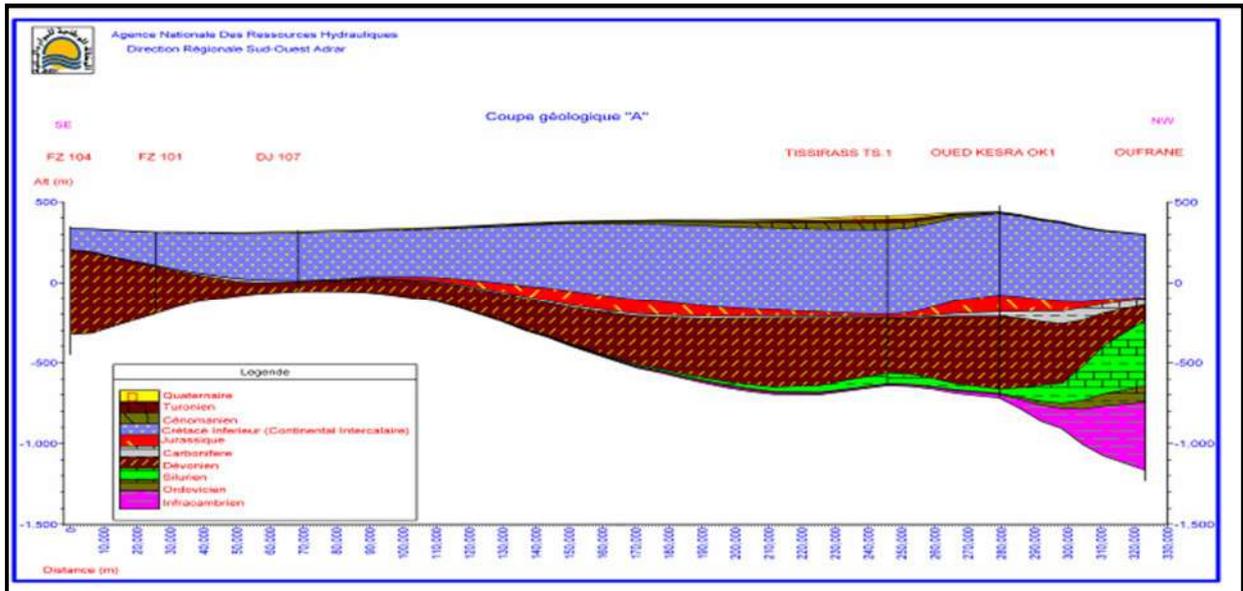


Figure.18:La coupe géologique (A) traverse la région d'étude SE au NW. (ANRH.ADRAR)

La coupe géologique (A) montre la variation de l'épaisseur de la formation du continental Intercalaire du SE au NW ,l'épaisseur du C.I varie entre 87m (Forage FZ104) et 354 m (Forage Oufrane).

A.2. Coupe géologique B:

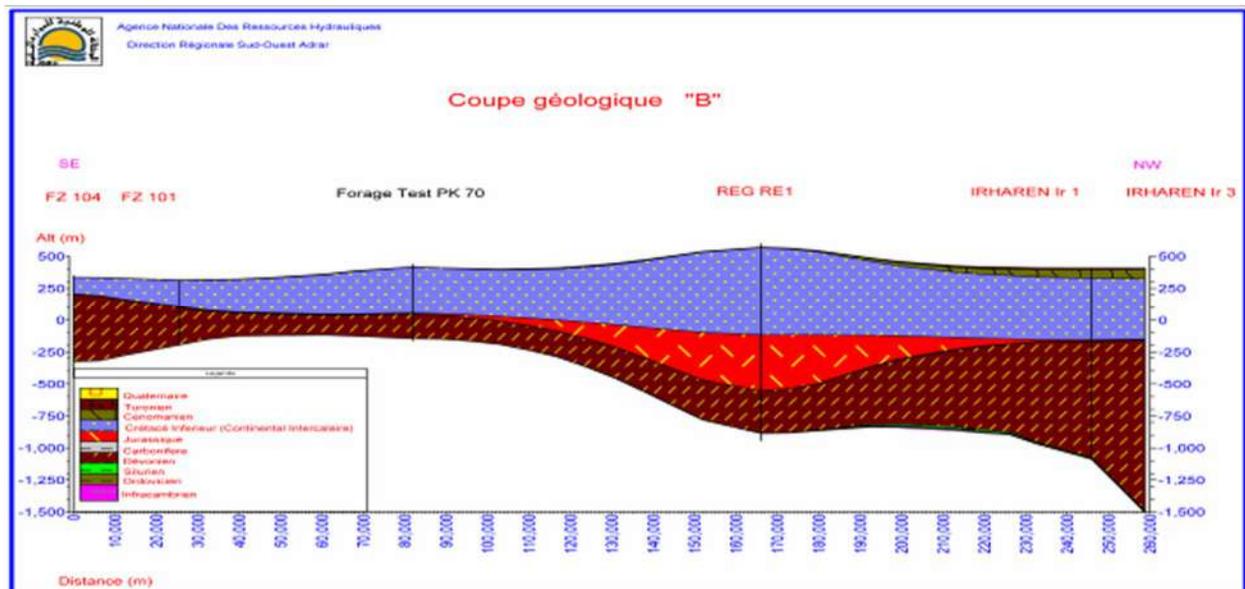


Figure.19:La coupe géologique (B) traverse la région d'étude ES au NW. (ANRH.ADRAR)

La coupe géologique B qui traverse la zone d'étude montre la variation de l'épaisseur de la Formation du C.I de SE au NW ,l'épaisseur varie entre 87 m (Forage FZ104) et 550 m (Forage REGRE1)

A.3. Coupe géologique C:

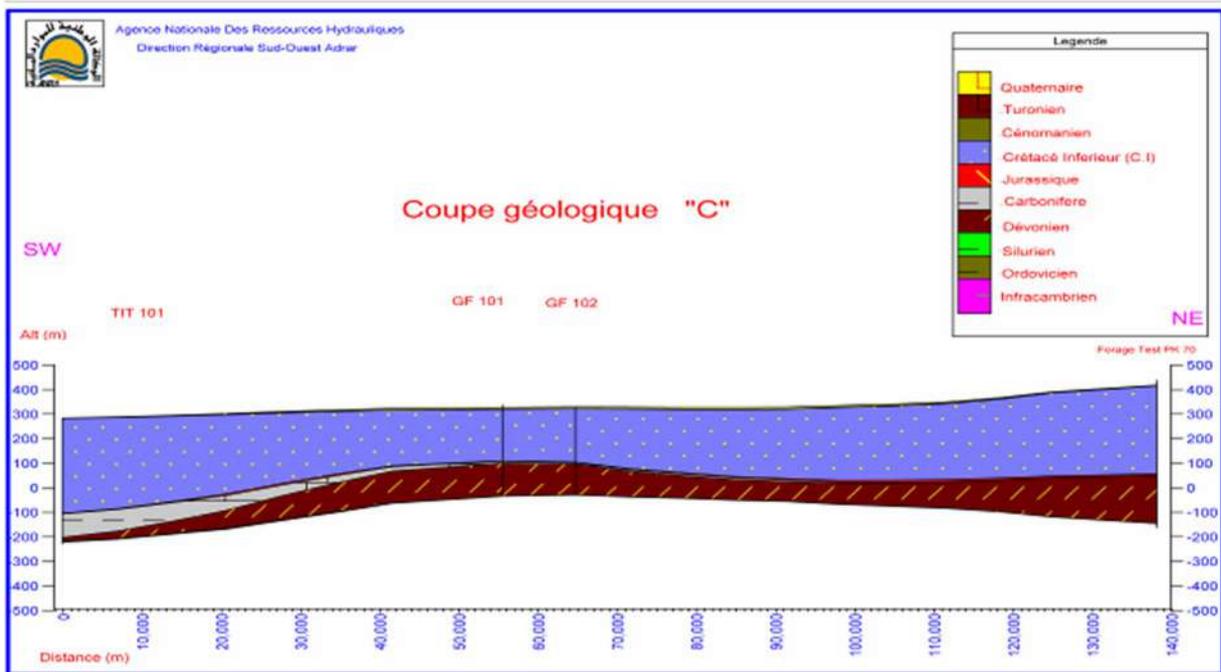


Figure.20: La coupe géologique (C) traverse la région d'étude SW au NE. (ANRH.ADRAR)

La coupe géologique (C) montre la variation de l'épaisseur de la formation du C.I de SW au NE, l'épaisseur varie entre 401 m (Forage Tit 101) et 235 m (Forage GF102)

A.4. Coupe géologique D:

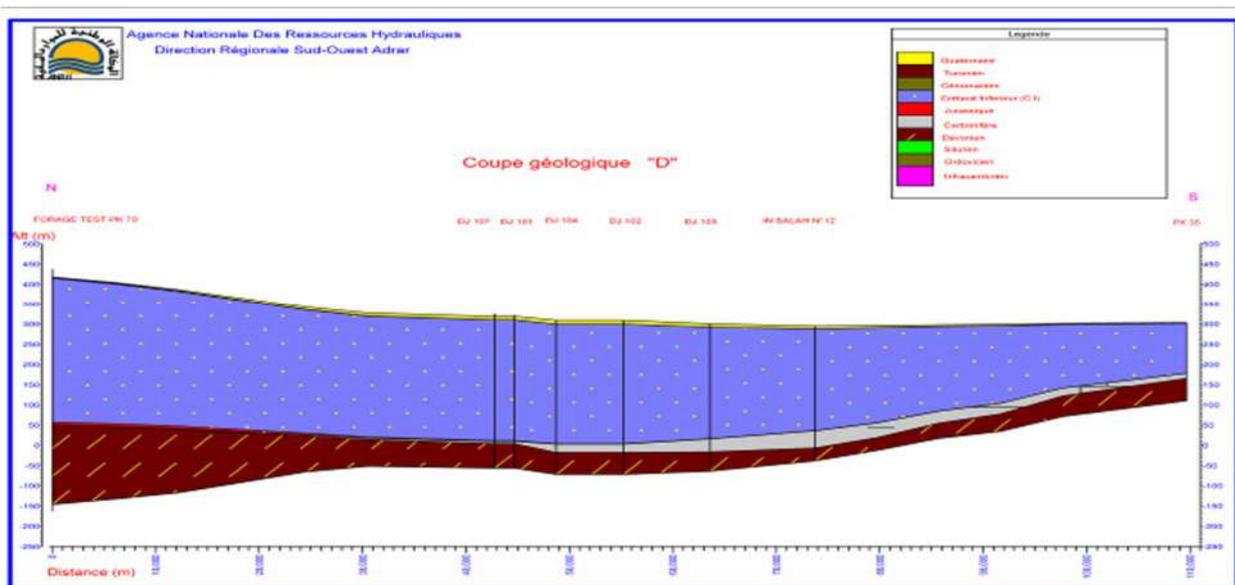


Figure.21: La coupe géologique (D) traverse la région d'étude de N au S. (ANRH.ADRAR)

La coupe géologique (D) montre la variation de l'épaisseur de la formation du C.I de N au S, l'épaisseur varie entre 370 m (forage test PK70) et 74 m (Forage PK35).

B/ Les carte d'épaisseur :

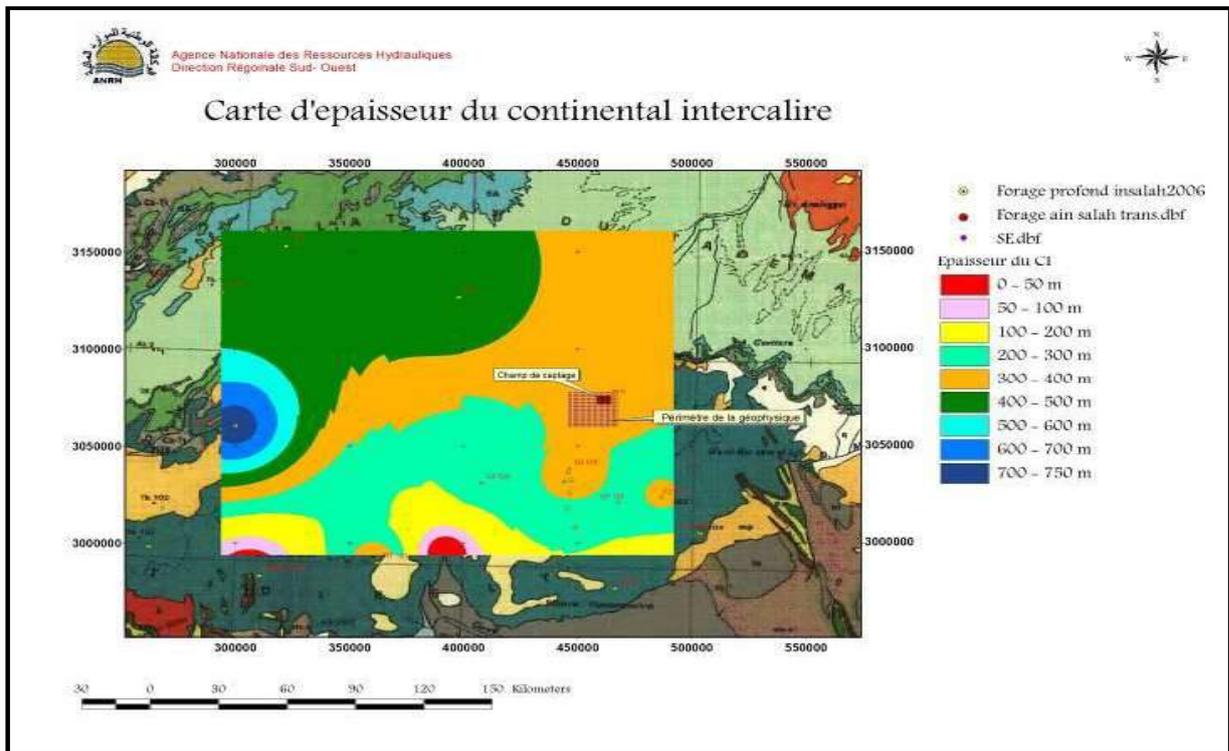


Figure.22 : Carte N°1 d'épaisseur de CI dans la région d'étude. (ANRH.ADRAR)

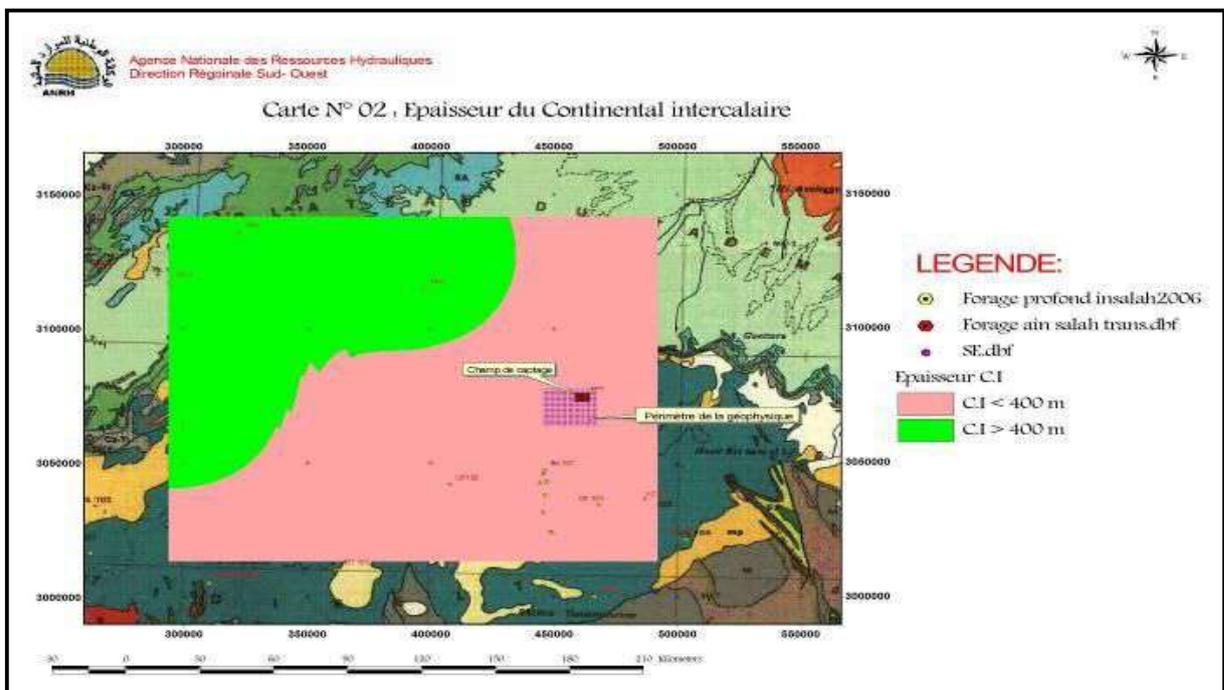


Figure.23 : Carte N°2 d'épaisseur N°2 de CI dans la région d'étude. (ANRH.ADRAR)

Les cartes d'épaisseur confirment les résultats des coups géologique, l'épaisseur totale du

continental intercalaire dans la zone d'étude varie entre 250 et 500 m et l'épaisseur de CI dans le champ captant varie entre 300 m et 400 m.

I-5-3-3- Caractéristique de la nappe CI :

A. Le coupe lithologique(A) :

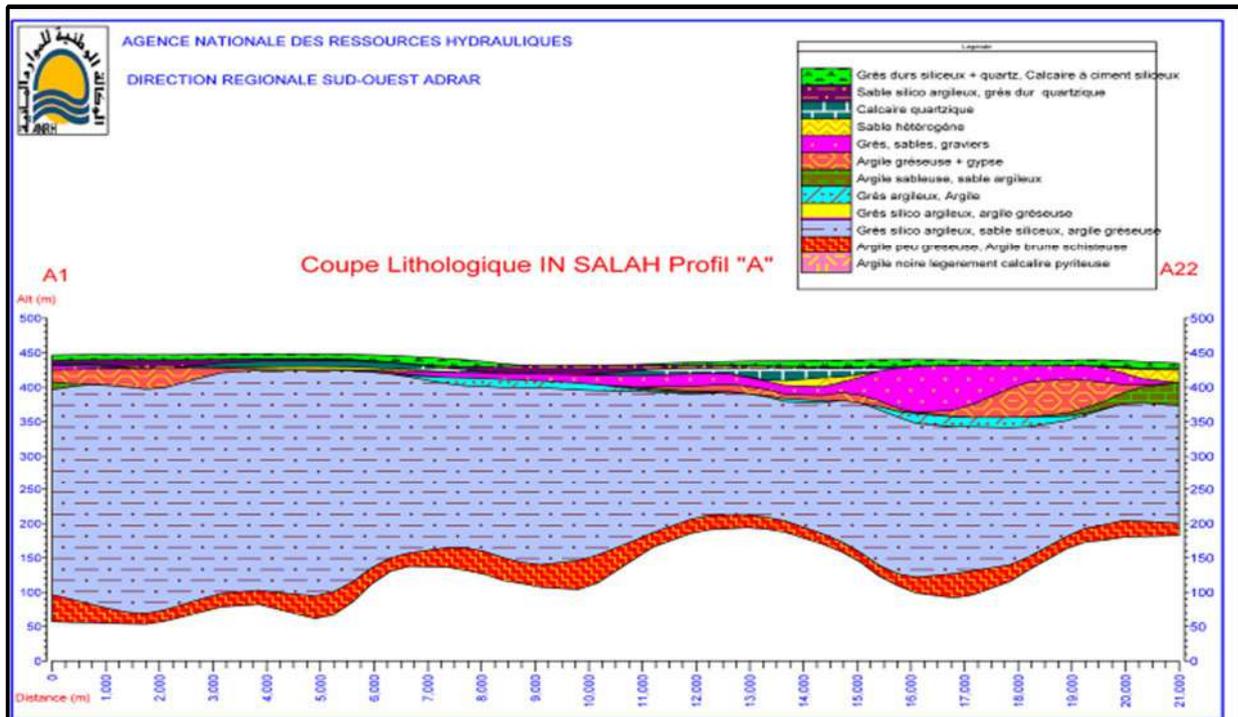


Figure.24: La coupe lithologique (A) traverse la région d'étude (ANRH.ADRAR)

A partir des coupes géologique et lithologique de la région d'étude nous concluons que : La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux et argilo-gréseux du Crétacé Inférieur, reposant, en discordance sur une série détritique allant du **Dévonien** (caractérisé essentiellement par l'ensemble argilo-gréseux à la base et surmonté par des argiles schisteuses) au **Carbonifère** comprenant essentiellement des grès avec intercalation d'argiles et quelques bancs calcaires. Le toit de la nappe CI contient les formations de **Cénomaniens** caractérisés par des argiles gréseuses avec des gypses et des quelques bancs de calcaire.

I.5.3.4 La recharge de zone d'étude (In Salah) :

La nappe affleure dans les régions d'In-Salah est faiblement alimentée environ 268 Mm³/an, elle est alimentée de façon directe par infiltration des eaux de pluies et de ruissellements qui se produisent sur les zones d'affleurement (Gourara, Touat et Tidikelt), ces affleurements dépassent 50000 km². 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 m³ (soit 3 m³/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 continental intercalaire par les sebkhas (exutoire naturel) et plus des foggaras et des forages qui sont les exutoires artificiels de la nappe albien avec le taux d'évaporation de la nappe superficielle

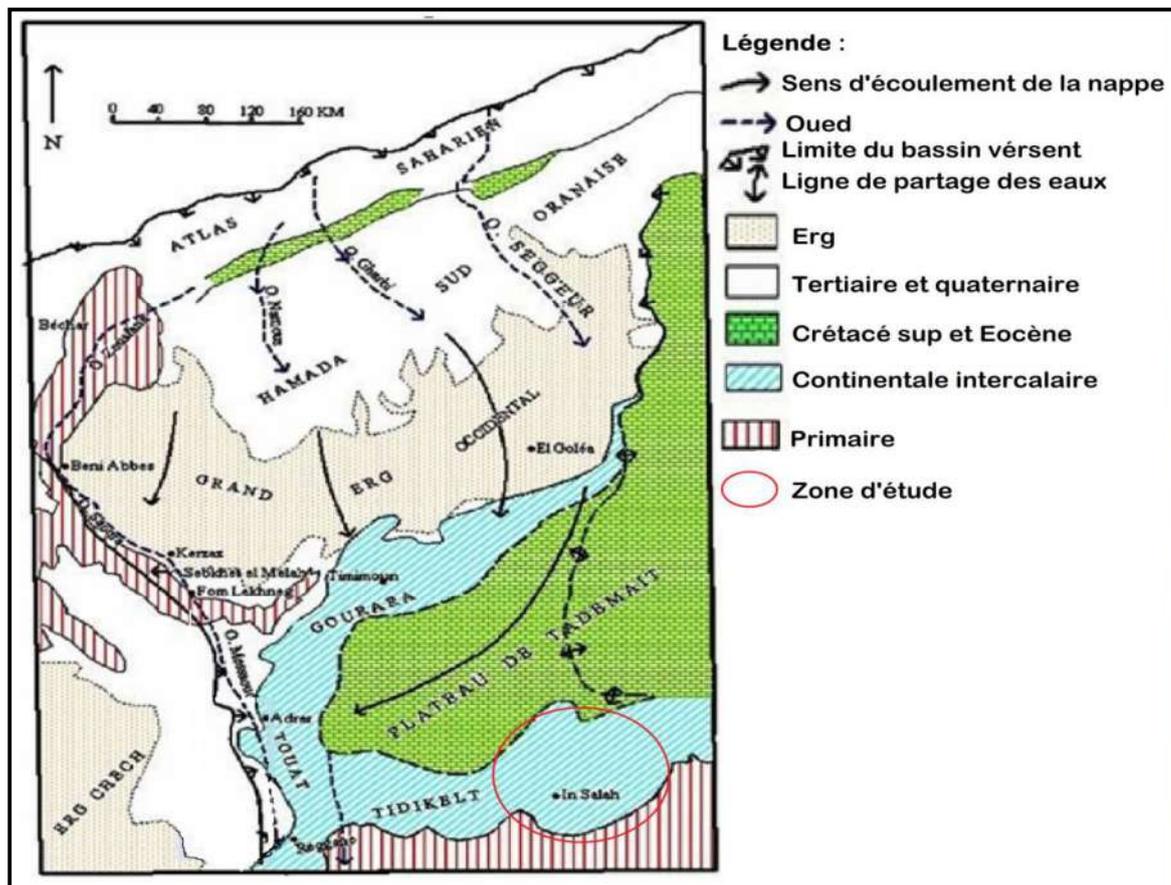


Figure.25 : Le Sens d'écoulement de zone d'étude (d'après G.Gonfiantini , atall.Payne,(1974)).

I.5.3.5.Potentialité en eau :

La région inventoriée renferme 152 forages hydrauliques, qui ont été réalisés entre la Période 1909 et 2002. Ces forages sont repartis comme suite:

A / Les forages d'AEP :

24 forages qui couvrent le besoin des habitants en eau potable, leur situation actuelle et la suivante :

Tableau.10: Les forages d'AEP

| Commune | Forage exploité | Forage non exploité | forages abandonnés |
|--------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| Inghar | 1 | 1 | 2 |
| In salah | 9 | 3 | 2 |
| Foggartezoua | 2 | 4 | 0 |
| TOTAL | 12 | 8 | 4 |

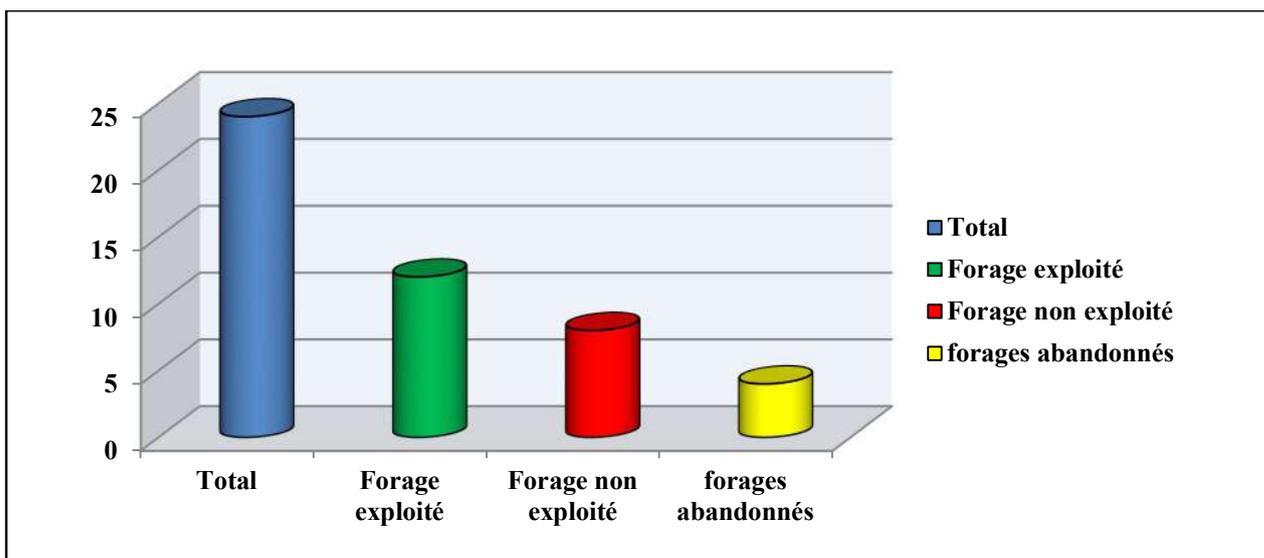


Figure.26: SITUATION DES FORAGES D'AEP d'In Salah

B/ Forage d'irrigation :

Tableau.11: forages d'irrigation

| Commune | Forage exploité | Forage non exploité | forages abandonnés |
|---------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| In ghar | 5 | 6 | 1 |
| In salah | 54 | 22 | 10 |
| Foggart ezoua | 11 | 13 | 7 |
| TOTAL | 70 | 41 | 18 |

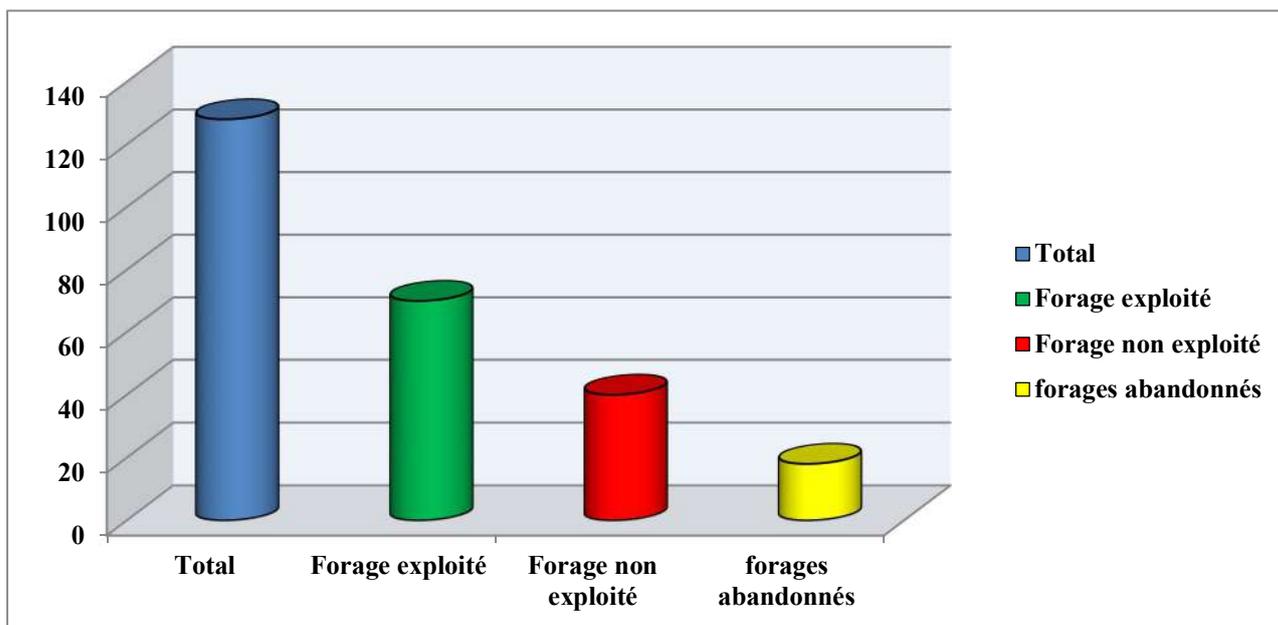


Figure.27: Situation des forages d'irrigation d'In Salah

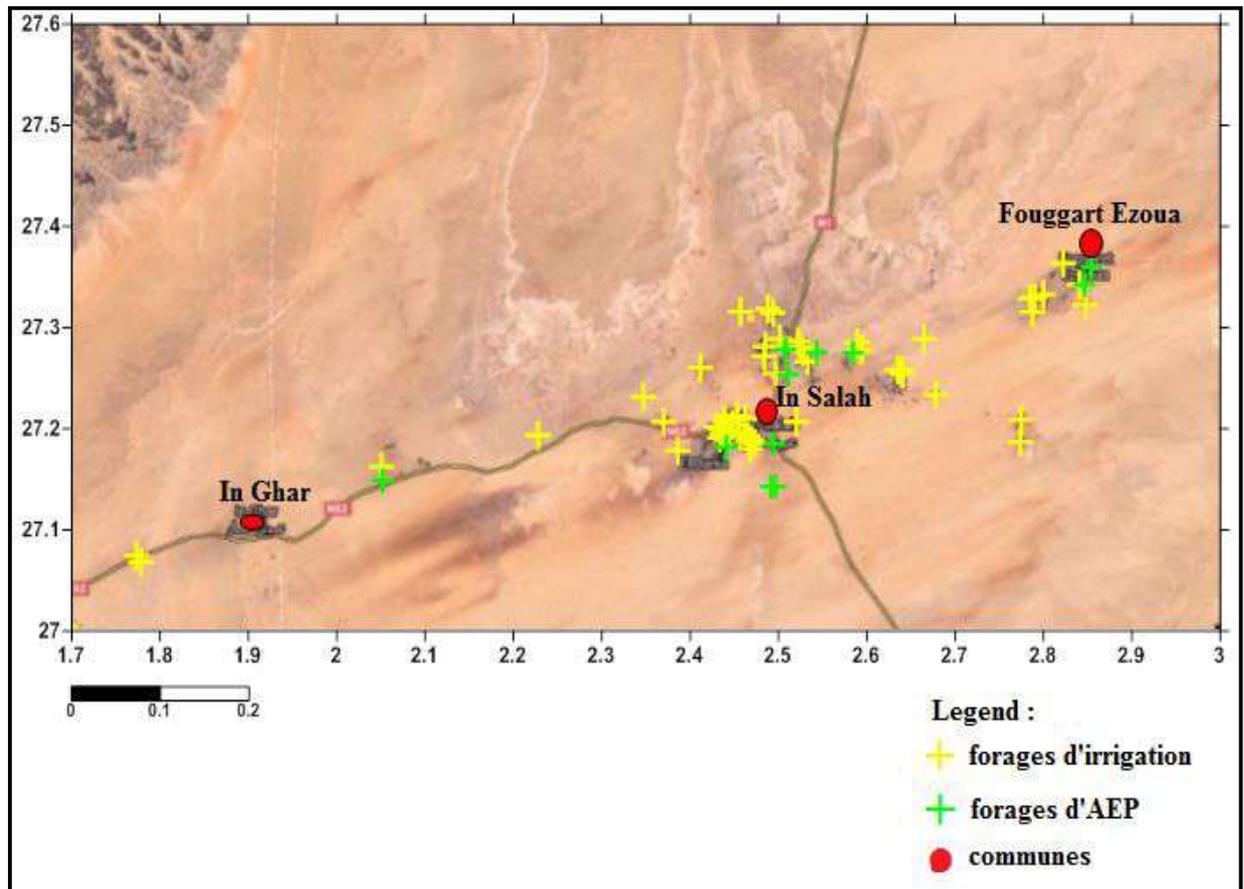


Figure.28: Carte localisation des forages exploités dans la région d'in Salah

I.5.4. Le champ captant :

Dans le cadre de l'alimentation de la ville de Tamanrasset en eau potable, un projet de transfert d'eau à partir de la région d'In Salah sur une distance de 750 km est inscrit par l'état,

Le premier champ de captage de 24 forages a été choisi à 70 km au Nord d'In Salah,

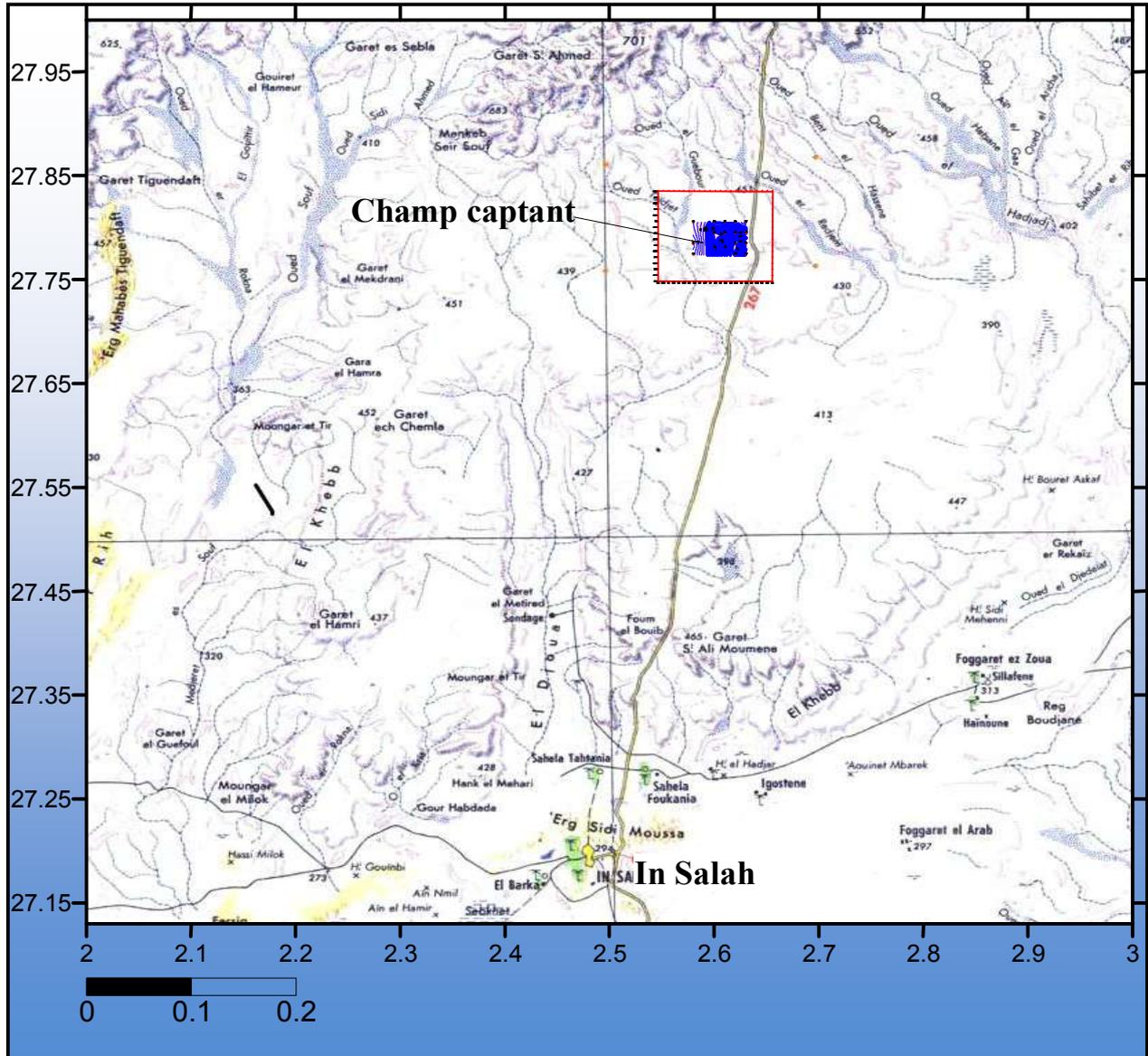


Figure.29: Situation géographique de champ captant

I.5.4.1. Cadre piézométrique :

La carte piézométrique montrée le niveau de la nappe CI dans le champ captant qui oscille entre 114 m et 123 m

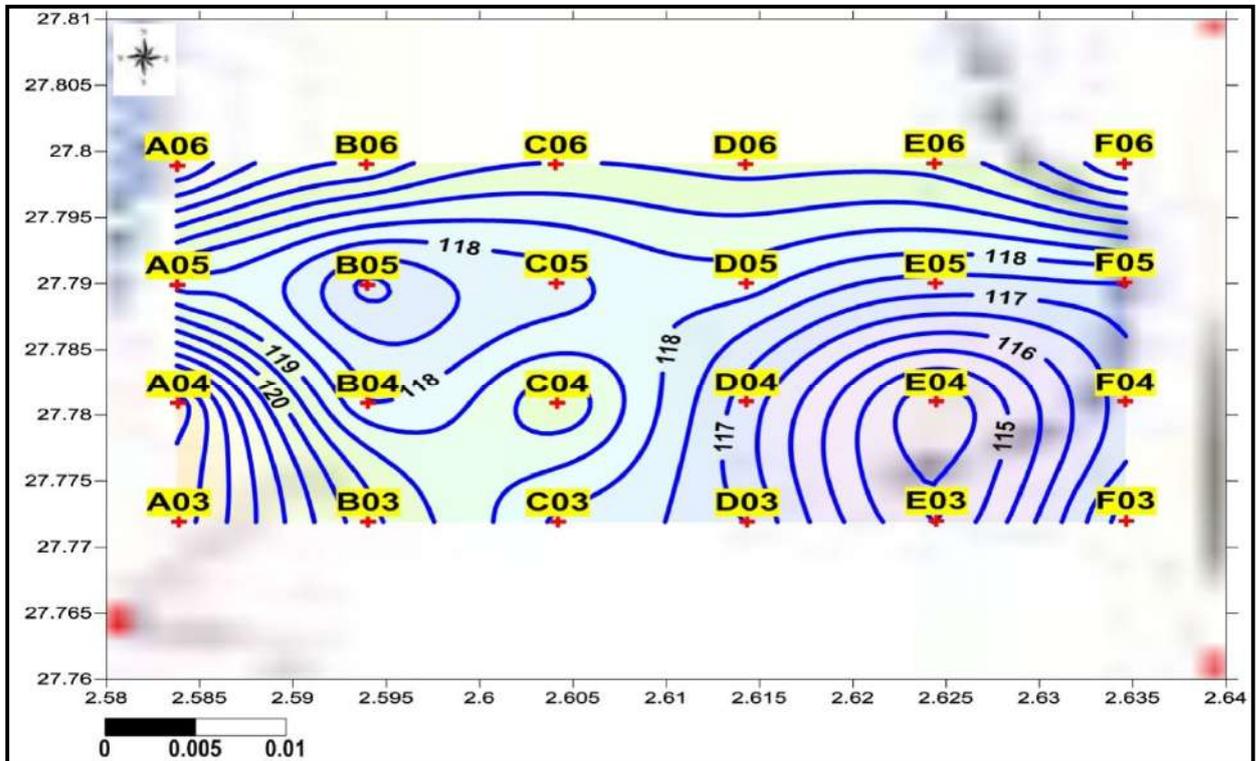


Figure.30 : carte piézométrique de le champ captant

I-5-4-2- Contexte hydrogéologique des forages dans le champ captant :

Nous avons les données hydrogéologique de 6 forages de champ captant les résultats dans le tableau suivant exprimer les caractéristique hydrogéologique de chaque forages et les résultat d'essai d pompage

Tableau.12: les caractéristique hydrogéologique de chaques forages

| forages | Longitude | Latitude | Z(m) | profn | nappe | Faciesli thol | Type de nappe | Q (L/S) | Ns (m) | Nd(m) | R (m) |
|------------|-----------|----------|------|-------|-------|---------------|---------------|---------|--------|--------|-------|
| A03 | 2,58388 | 27,7719 | 434 | 600 | CI | Grèsargi leux | Libre | 54,25 | 122,75 | 136,29 | 13,54 |
| A04 | 2,58385 | 27,7809 | 447 | 600 | CI | Grèsargi leux | Libre | 51 | 123,33 | 132,2 | 8,87 |
| A05 | 2,58381 | 27,7899 | 440 | 600 | CI | Grèsargi leux | Libre | 57,47 | 118,32 | 127,46 | 9,14 |
| A06 | 2,58378 | 27,7989 | 443 | 601 | CI | Grèsargi leux | Libre | 54,41 | 122 | 132,85 | 10,85 |
| D06 | 2,61423 | 27,799 | 439 | 603 | CI | Grèsargi leux | Libre | 47,03 | 119,71 | 133,9 | 14,19 |
| F05 | 2,63457 | 27,7901 | 438 | 600 | CI | Grèsargi leux | Libre | 54,11 | 117,51 | 131,24 | 13,73 |

I.5.4.3.L'essai de pompage :

On prône 2 forages (A3 D6) comme exemples :

A.ForageA3 :**A.1. Par palier :**

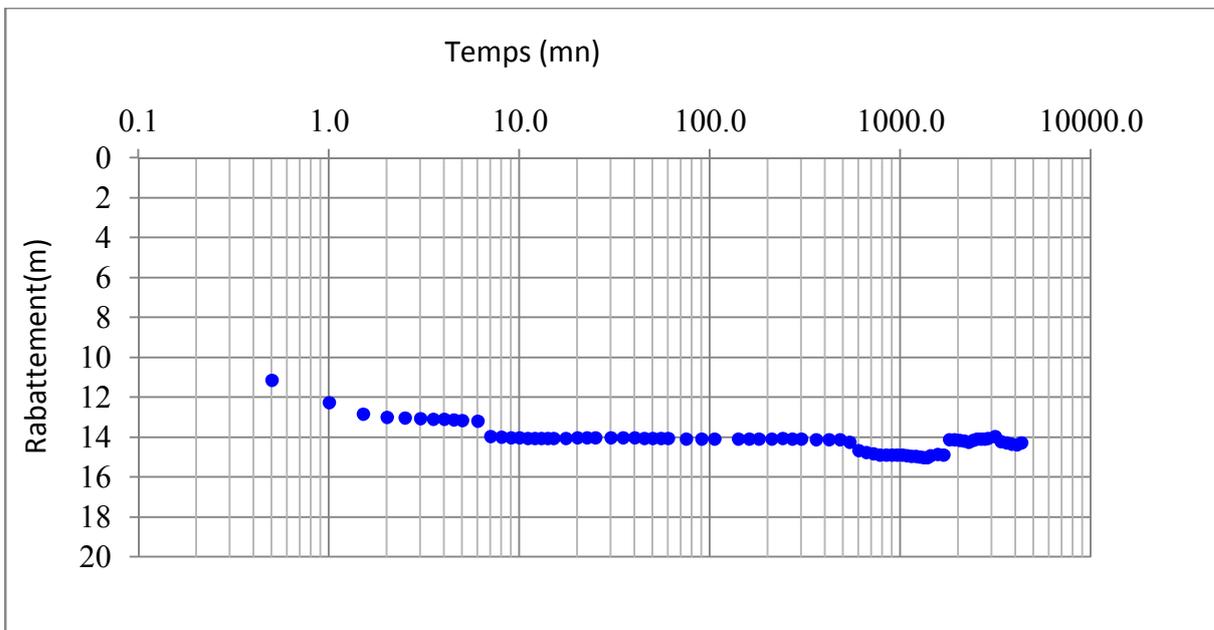
L'application de l'essai par palier dans le forage A03 attient le résultat suivant :
N.p.initial 122,95m

Tableau.13: résultat d'essai de pompages par palier sur le forages A3

| Durée (h) | Débit(l/s) | Rabattement(m) |
|-----------|------------|----------------|
| 4,00 | 24,42 | 4,29 |
| 4,00 | 31,25 | 6,01 |
| 4,00 | 40,45 | 8,63 |
| 4,00 | 55,4 | 13,6 |
| 72,00 | 54 | 13,34 |

A.2. Longue durée

Durant 3 jours et un débit de pompage de 54 l/s on enregistre la variation de la baisse de niveau de la nappe dans le forage come suivant :

A.2.1. Le Rabattement :**Figure.31: le Rabattement mesurée au niveau de forages A3**

A.2.2 Le remonté :

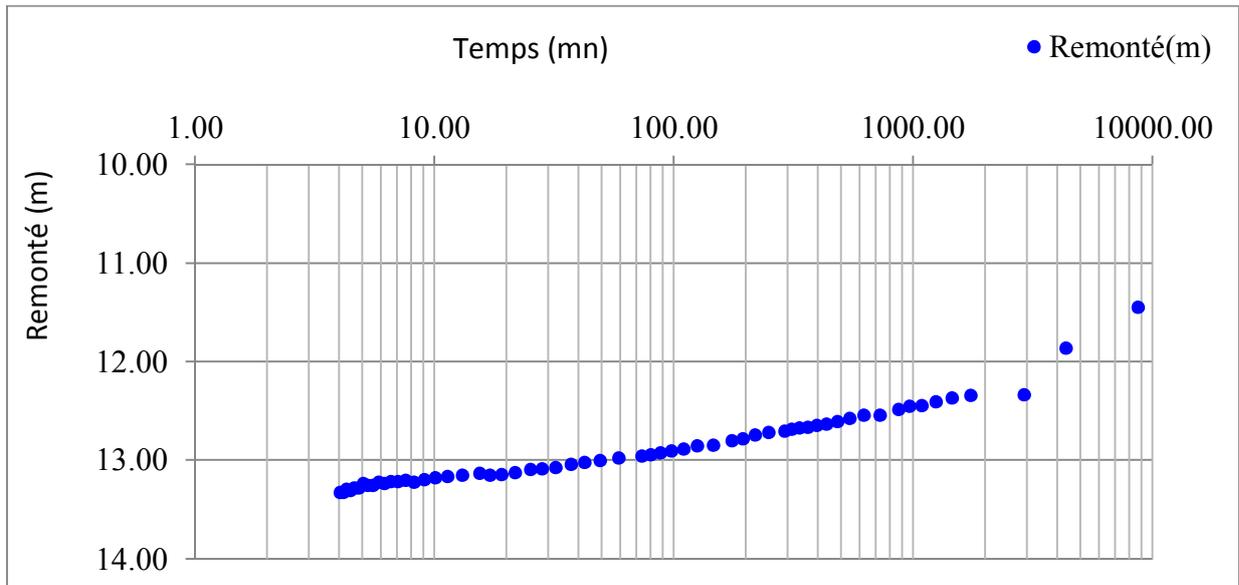


Figure.32: la remonté mesurée au niveau de forages A3

B.Forages D6

B.1. Par palier :

Durant 3jours et un débit de pompage de 54 l/s on enregistrer la variation de la baisse de niveau de la nappe dans dans le forages come suivant :

Niveau piézométrique iitial:119,71m

Tableau.14: résultat d’essai de pompages par palier sur le forages D6

| DESCENTE | | |
|-----------|------------|---------------|
| Durée (h) | Débit(l/s) | Rabatement(m) |
| 4,00 | 22,22 | 3,02 |
| 4,00 | 31,4 | 3,8 |
| 4,00 | 39,84 | 10,62 |
| 4,00 | 46,8 | 14,17 |
| 72,00 | 47,03 | 14,22 |

B.2.Longue durée

Dorant 3jours et un débit de pompage de 47 l/s on enregistrer la variation de la baisse de niveau de la nappe dans le forages come suivant :

B.2.1. Le Rabattement :

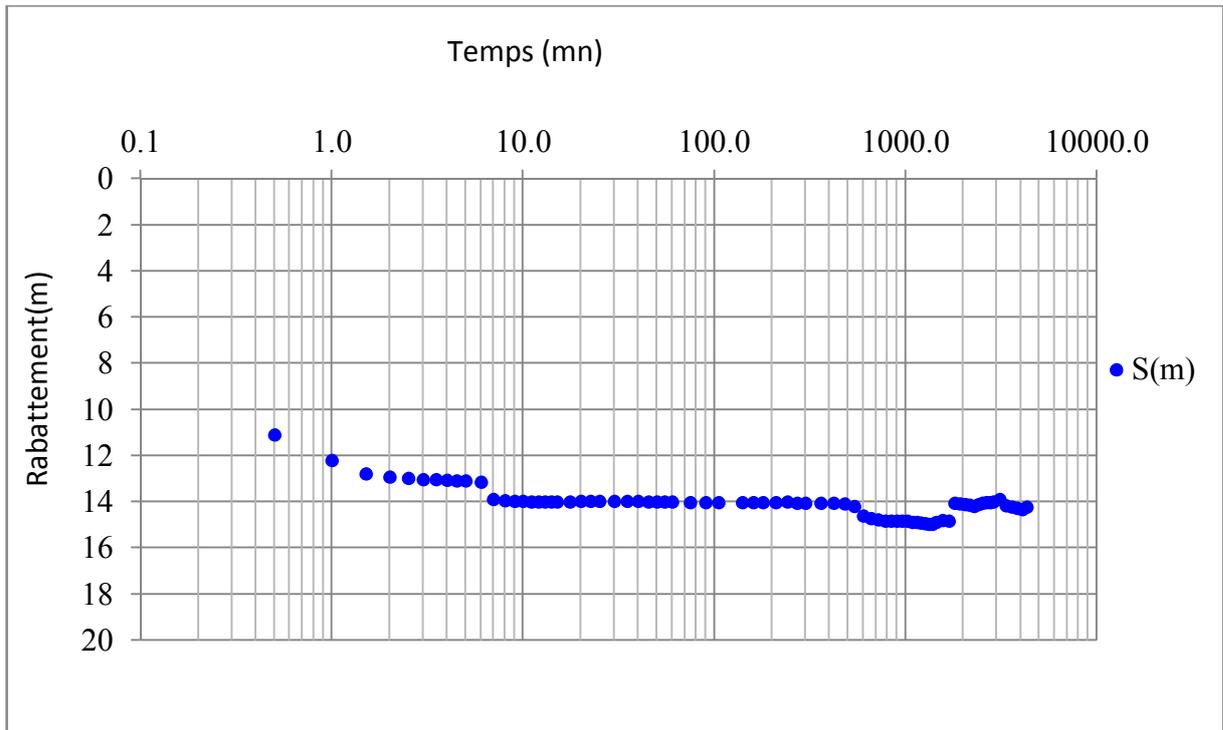


Figure.33: l mesurée au niveau de forages D6

B.2.2. Le remonté :

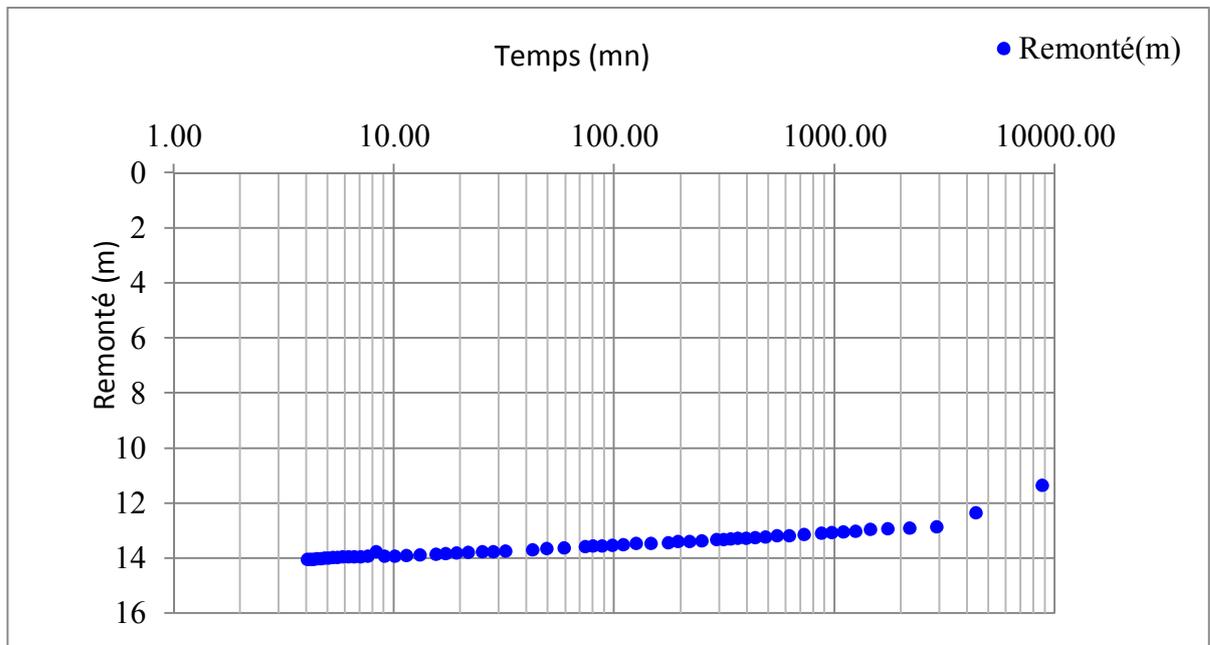


Figure.34: la remonté mesurée au niveau de forages D6

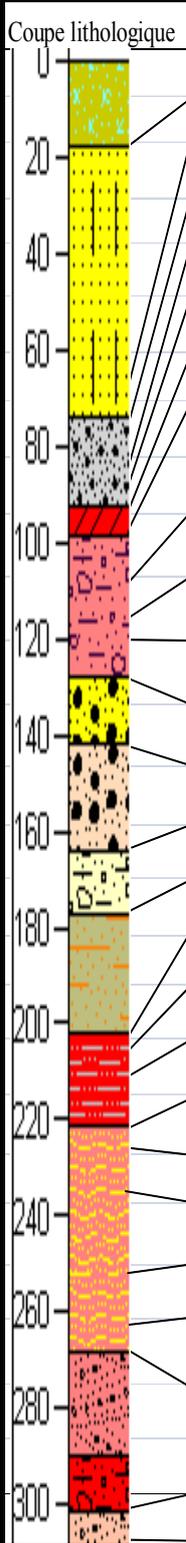
I.5.4.4. Description lithologique des forages :

A. Forage A03:

| Coupe lithologique | profondeur(m) | Description lithologique |
|---|---------------|--|
|  | 12 | Grès siliceux rouge dur et argile rouge |
|  | 20 | |
|  | 41 | Sable moyen et de gravier fin siliceux |
|  | 46 | Argile rouge gréseuse 70 / 30 % et QIQ gravier fin siliceux et tache de gypse |
|  | 56 | Sable rouge hétérogène et QIQ gravier fin siliceux |
|  | 67 | Argile rouge sableuse 75 / 25 % et QIQ gravier fin siliceux |
|  | 95 | Argile brune gréseuse 85 / 15 % et QIQ gravier fin siliceux |
|  | 170 | Alternance de sable rouge moyen argileux 75 - 25 % et gravier fin à siliceux |
|  | 180 | Calcaire blanc débite en lames |
|  | 208 | Argile rouge gréseuse 75 / 25 % et trace de gypse |
|  | 223 | Sable fin à moyen argileux, QIQ grain de gravier fin et trace de gypse |
|  | 239 | Argile rouge gréseuse, QIQ grain de gravier fin, trace de gypse et argile grisâtre |
|  | 256 | Sable moyen à grossier argileux, argile rouge, QIQ grain de gravier fin et trace de gypse |
|  | 262 | Grès fin friable argileux, argile rouge et QIQ grain du gravier fin siliceux et trace de gypse |
|  | 276 | Argile rouge sableuse, QIQ grain du gravier fin siliceux et trace de gypse |
|  | 291 | Grès fins friable argileux, argile grisâtre et violette et QIQ grain du gravier fin siliceux et trace de gypse |
|  | 341 | Alternance d'argile rouge gréseuse (80 à 20%), calcaire siliceux dur et trace d'argile grisâtre et QIQ gravier fin, sable argileux |
|  | 368 | Grès tendre argileux, gravier fin siliceux et trace d'argile violette et grise et grain de gypse |
|  | 404 | Argile rouge gréseuse (75 à 25%), QIQ grain du graver fin, grain de gypse et trace d'argile violette |
|  | 474 | Argile schisteuse violette et grise, QIQ gravier fin et grain de gypse |
|  | 520 | Grès tendre graveleux et trace des argiles violettes et QIQ grain de gypse |
|  | 603 | Alternance de sable grossier à moyen et grès fin tendre graveleux et argile violette et grise et grain de gypse |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |

Figure.35: Description lithologique des forages A3

B. Forage D06 :

| Coupe lithologique | Base (m) | Description lithologique |
|--|--|--|
|  | 18 | Grès dur en bille et QIQ grain de quartz et sable moyen à fin |
| | 69 | Sable moyen et peu de Grès dur siliceux |
| | 74 | Sable fin à moyen rouge argileux (80 à 20%) et QIQ grains du gravier |
| | 87 | Gravier moyen et peu de sable |
| | 91 | Sable moyen à fin |
| | 93 | Grès durs siliceux et QIQ grain de quartz |
| | 99 | Argile rouge gréseuse (80 à 20%) |
| | 107 | Sable rouge moyen à grossier et gravier fin avec présence d'un niveau de Grès dur |
| | 116 | Gravier fin siliceux et sable moyen à grossier légèrement argileux avec présence d'un niveau de Grès dur |
| | 120 | Grès tendres et gravier fin et peu de Grès dur |
| | 128 | Sable moyen à grossier et gravier fin siliceux |
| | 142 | Grès tendres et gravier fin et QIQ grain de gypse avec présence d'un niveau de Grès dur |
| | 164 | Gravier fin siliceux, sable grossier et trace d'argile grise et grain de gypse |
| | 177 | Grès tendre et gravier fin, trace d'argile grise et grain de gypse |
| | 203 | Grès siliceux dur gravier fin à moyen et trace d'argile grise |
| | 207 | Argile rouge gréseuse et gravier fin siliceux et trace d'argile grise QIQ gravier fin et gypse |
| | 211 | Gravier fin et sable grossier et Grès siliceux dur et QIQ gravier grossier |
| | 222 | Argile rouge gréseuse et gravier avec présence de Grès dur et grain de gypse |
| | 225 | Grès rouge tendre et QIQ gravier fin siliceux et trace d'argile grise et grain de gypse |
| | 236 | Argile rouge plastique et Grès mi dur et peu d'argile grise et QIQ gravier fin |
| 255 | Grès rouge tendre et QIQ gravier fin siliceux et trace d'argile grise et grain de gypse | |
| 263 | Argile rouge plastique et Grès tendre et QIQ gravier fin à passe de Grès tendre | |
| 269 | Grès tendres et argile rouge et violette et QIQ grain de gravier fin siliceux | |
| 290 | Sable rouge argileux (70 à 30%) et QIQ grain du graver fin | |
| 302 | Grès fins rouges argileux et QIQ grain du gravier, gypse avec présence d'argile rouge et violette et du calcaire dur | |
| 313 | Sable moyen à grossier et gravier fin et gypse | |

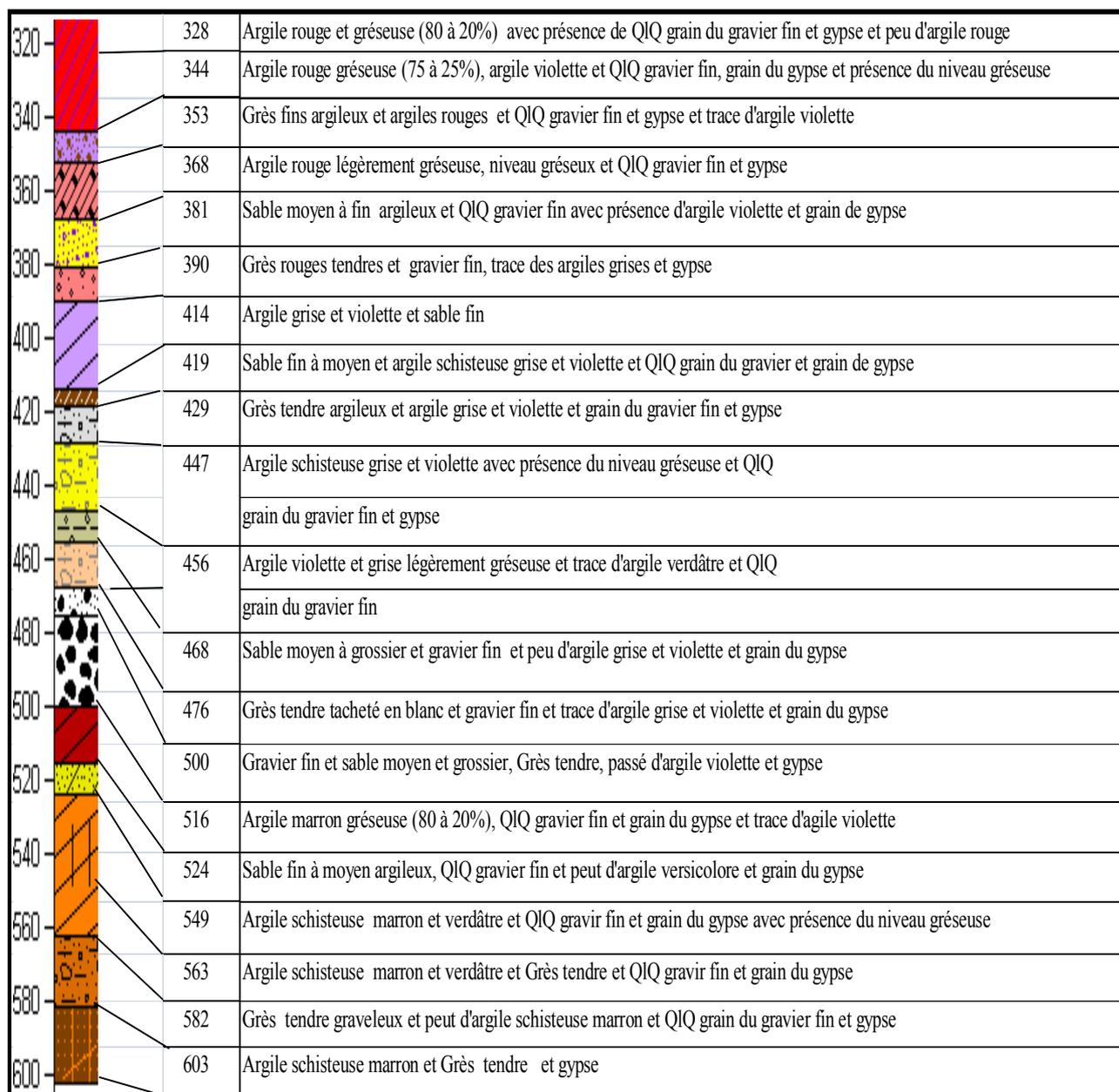


Figure.36 :Description lithologique des forages F5

Conclusion :

La région d'In Salah est située au Nord du bassin de l'Ahnet constitue la limite sud du grand plateau de Tidikelt . est caractérisé par la présence de terrains primaires qui sont affectés par des plissements, ils sont surmontés par les séries du continental intercalaire (crétacé inférieure) se terminant par des formations du tertiaire continental.

Le climat de la région est caractérisé par une grande aridité due à la rareté des pluies, une température généralement élevée et forte évaporation ont un impact négatif où ne contribue pas à l'alimentation ou le renouvellement de la nappe.

La zone d'In Salah est située en limite sud du bassin occidental, dans les affleurements du CI. Dans la région d'étude Le toit du substratum primaire est à une profondeur maximum de 700 m. La profondeur minimum se localise dans la formation carbonifère et ne dépasse guère les 50 m. L'épaisseur du continental intercalaire dans le nord oscille entre 300 à 400 m. et dans le sud de la région ne dépasse pas 50 m La formation du Continental Intercalaire dans la région est constituée par une alternance des formations détritiques continentales. Elle est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux et grés-argileux du Crétacé Inférieur .

L'alimentation dans la région est indirecte de Nord vers le Sud par cours d'eau de plateau Tademaït (Les calcaires fissurés du Sénonien) . La région inventoriée renferme 152 forages hydrauliques, la majorité des forages sont exploités

Le niveau de la nappe dans la région d'étude oscille entre 114,12m et 123,3m

CHAPITRE II :
MATERIELS ET METHODES

II.MATERIELES ET METHODES

Introduction:

L'analyse hydrochimique des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu dans lequel les eaux souterraines circulent, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, ..., etc.

Nous avons interpréter les analyse hydrochimique et les différent résultat à 6 forage de champ captant dans nappe continentale intercalaire CI de la zone d'étude pour alimenter la ville Tamanrasset.

Ce chapitre destine au différent classification des eaux souterraine a l'usage d'irrigation et alimentation en eau potable A fin de comparé é différent résultat d'Analyses au norme de potabilité OMS.

Le bute et l'objectif à l'étude hydrochimie pour déterminer:

- ❖ les principaux faciès chimiques des eaux.
- ❖ l'origine des éléments chimique des eaux de la région d'étude.
- ❖ Apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution du chimisme des eaux.
- ❖ Relation enter lithologie d'aquifère et les faciès chimiques .

II.1. Matériels

II.1.1. Données hydrochimiques :

Résultats numérique des analyse physicochimique des eaux de quelque forages de champ captant fait par l'ANRH .ADRAR

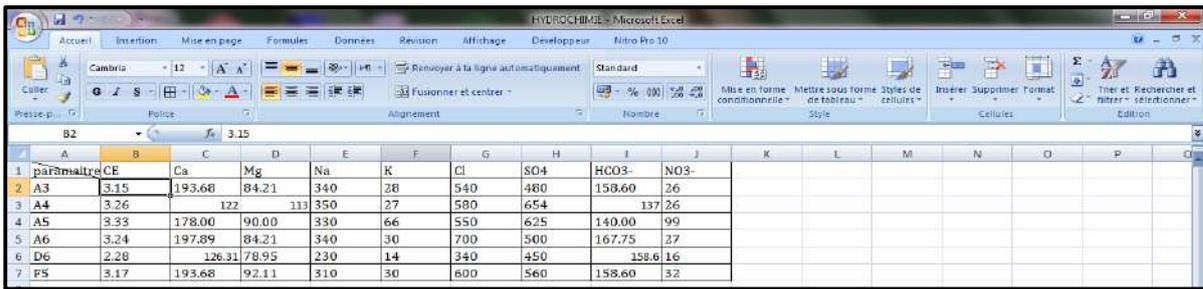
II.1.2. Outils de traitement des données

Pour le traitement des données, nous avons eu recours aux outils de traitement de données spécialisés suivants

Le programme **DIAGRAMME** du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (France) pour l'étude hydrochimique ;

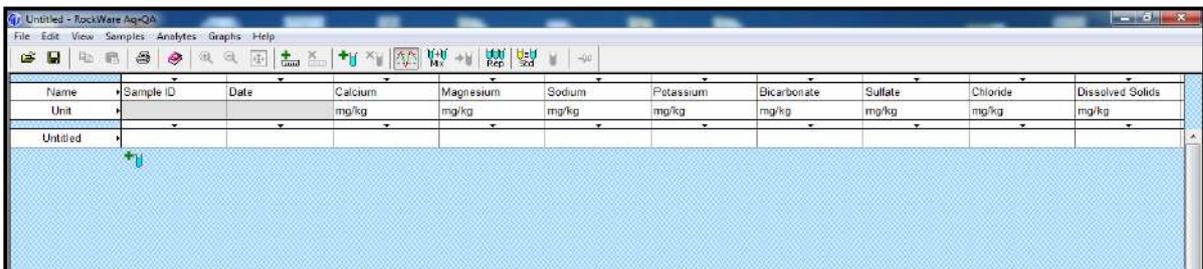
| n. | Non | Libellé | Date | Groupe | Pipe | Schvalbe | Soll | NY | Konnes | Phaeq | Stat | TDS | T°C | pH | c25°C | cDALC | cCar | Ba+Mg | Ba+Mg | Balanced | relat | Calcium | Arsonic | Ca | Mg | Na | |
|----|-----|---------|------|--------|------|----------|------|-----|--------|-------|------|------|-----|------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 1 | A3 | | | 1 | CA | 1 | 1 | oui | oui | oui | oui | 1200 | | 7.03 | 3.15 | 2964 | +100% | 284.11 | 0.6 | +45% | oui | rel | 37.1000 | 28.24 | 103.894 | 84.2705 | 340 |
| 2 | A4 | | | 2 | CA | 2 | 2 | oui | oui | oui | oui | 2038 | | 6.67 | 3.25 | 3054 | +100% | 131.11 | 1.3 | -3% | oui | rel | 31.3210 | 33.3520 | 122 | 113 | 350 |
| 3 | A5 | | | 3 | CA | 3 | 3 | oui | oui | oui | oui | 2078 | | 7.03 | 3.23 | 3127 | +100% | 136.11 | 1.3 | +0% | oui | rel | 32.2400 | 22.4160 | 175 | 90 | 230 |
| 4 | A5 | | | 4 | CA | 4 | 4 | oui | oui | oui | oui | 2057 | | 6.93 | 3.24 | 3155 | +100% | 108.11 | 1.1 | 1% | oui | rel | 32.2810 | 33.3410 | 147.854 | 84.2105 | 340 |
| 5 | D6 | | | 5 | CA | 5 | 5 | oui | oui | oui | oui | 1414 | | 7.31 | 2.28 | 2176 | +100% | 247.11 | 0.8 | +3% | oui | rel | 23.1630 | 21.8170 | 126.315 | 76.3473 | 230 |
| 6 | F5 | | | 6 | CA | 6 | 6 | oui | oui | oui | oui | 2001 | | 6.84 | 3.17 | 3021 | +100% | 146.11 | 1.0 | +0% | oui | rel | 31.4960 | 21.6930 | 193.684 | 92.1052 | 310 |

Le logiciel EXCEL: pour la réalisation des différentes courbes et diagrammes ;



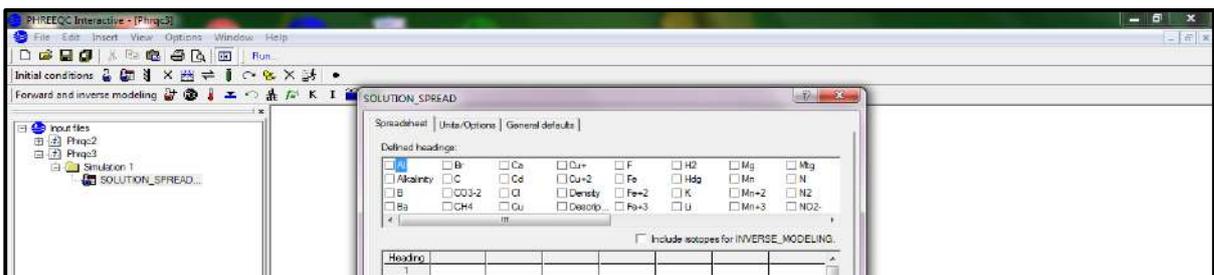
| paramètre | CE | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO4 | HCO3- | NO3- |
|-----------|------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|------|
| A3 | 3.15 | 193.68 | 84.21 | 340 | 26 | 540 | 480 | 158.60 | 26 |
| A4 | 3.26 | | 122 | 113 | 350 | 27 | 580 | 654 | 137 |
| A5 | 3.33 | 178.00 | 90.00 | 330 | 66 | 550 | 625 | 140.00 | 99 |
| A6 | 3.24 | 197.89 | 84.21 | 340 | 30 | 700 | 500 | 167.75 | 27 |
| D6 | 2.28 | 126.31 | 78.95 | 230 | 14 | 340 | 450 | 158.6 | 16 |
| FS | 3.17 | 193.68 | 92.11 | 310 | 30 | 600 | 560 | 158.60 | 32 |

Le logiciel Aq.QA 1.1.1 :pour le changement de l'unité



| Name | Sample ID | Date | Calcium | Magnesium | Sodium | Potassium | Bicarbonate | Sulfate | Chloride | Dissolved Solids |
|----------|-----------|------|---------|-----------|--------|-----------|-------------|---------|----------|------------------|
| Unit | | | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| Untitled | | | | | | | | | | |

PHREEQC 3.0.6 : pour calcule l'indice de saturation



II.2.Méthodes :

II.2.1. Etudes hydro chimiques :

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, ainsi que leur qualité de potabilité.

II.2.1.1.Traitement des données hydro chimiques :

Avant toute utilisation des données hydrochimiques, il faut vérifier la validité des résultats. Pour cela, on dispose de plusieurs outils de validation dont le plus célèbre est la méthode de « la balance ionique ». Elle est basée sur le principe que tous les éléments dissouts présents dans l'eau sont à l'état d'ion. De ce point de vue, on a une solution électriquement neutre. Ce qui veut dire que la somme des charges positives est égale à la somme des charges négatives(Kouamé Xavier KOUASSI. 2011) :

$$\sum C^+ = \sum A^-$$

avec :

$$\sum C^+ = rCa + rMg + rNa + rK$$

$$\sum A^- = rHCO_3 + rCl + rNO_3 + rSO_4$$

$$BI = (\sum C^+ - \sum A^-) / (\sum A^- + \sum C^+)$$

II.2.1.2. Etude de la minéralisation :

L'eau météorique, lors de sa circulation dans les systèmes aquifères acquiert une charge minérale dont l'origine peut être variée. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction:

- de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol;
- du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

La minéralisation de l'eau se produit par des phénomènes d'interaction eau-roche passant par différents processus physico-chimiques et/ou de mélanges entre différents types d'eau, la composition chimique des eaux naturelles est le résultat combiné de la composition chimique des précipitations qui atteignent le sol et des réactions avec les minéraux présents dans l'encaissant. La désagrégation mécanique est la première étape du processus de minéralisation des eaux. Elle consiste à l'arrachement, au transfert et à la sédimentation des particules de roche par l'eau. L'altération chimique, deuxième phase de la minéralisation, consiste à la fois à la dissolution et à l'attaque chimique des solides et des gaz par l'eau. Le processus de désagrégation mécanique contribue faiblement à la minéralisation des eaux car associé à de faible mise en solution d'éléments dissous tandis que l'altération chimique est responsable de la grande partie de la minéralisation des eaux (Kamagaté, 2006). La relation entre la conductivité et la minéralisation exprimée entre le tableau suivant :

Tableau.15 : La relation entre la conductivité et la minéralisation

| Conductivité ($\mu S/cm$) | Minéralisation (mg/L) |
|-----------------------------|-----------------------|
| CE < 100 | Très faible |
| 100 < CE < 200 | Faible |
| 200 < CE < 333 | Moyenne |
| 333 < CE < 666 | Moyenne accen |
| 666 < CE < 1000 | Important |
| CE > 1000 | Elevée |

Pour mener à bien notre étude, nous allons nous appuyer sur l'analyse des diagrammes de minéralisations (diagramme de Piper et diagramme de Schoeller-Berkaloff),

II.2.1.3. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet de caractériser les faciès géochimiques des eaux. Cette caractérisation est basée sur des calculs de proportions relatives des différentes espèces cationiques et anioniques analysées. Ce diagramme est très fréquemment utilisé et donne de très bons résultats, Le diagramme de Piper fournit le même résultat qu'une classique caractérisation de la composition chimique par l'anion principal ou le cation principal. Cependant, il a l'avantage de définir en même temps un certain nombre de famille d'eau et de mettre clairement en évidence l'évolution de la minéralisation. Ce diagramme est formé d'un 1^{er} triangle pour les cations, d'un 2^{ème} triangle pour les anions et d'un losange découpé en famille d'eau. Les éléments considérés sont Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ pour les cations et HCO_3^- , $(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)$ et SO_4^{2-} pour les anions. Dans le diagramme, la concentration relative en *meq/l* de chaque élément calculé permet de placer les points sur les triangles qui sont ensuite projetés sur le losange. Cette concentration est définie par la proximité des points de projection par rapport aux différents sommets ou pôles. La projection dans le parallélogramme des points placés dans les triangles des anions et des cations, classe la solution en faciès suivant les ions prédominants.(Allassane. 2004)

II.2.1.4. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau et facilite sa comparaison. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. Il est ainsi possible de visualiser à la fois le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau (sa charge dissoute), ce qui est appréciable.(Gouaidia, 2008)

II.2.1.5. L'indice d'échange de base (IEB) :

L'indice d'échange de base (IEB) défini par H. Schoeller en 1934 *in* Bouziane et Labadi (2009), est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant dans l'eau. Il est donné par l'expression suivante:

$$\text{IEB} = \frac{r_{\text{Cl}} - (r_{\text{Na}} + r_{\text{K}})}{r_{\text{Cl}}}$$

Cet indice définit le sens d'échanges ioniques entre l'eau et les terrains encaissants.

Si :

· IEB = 0, pas d'échanges

· IEB < 0, Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés par Na^+ et K^+

la matrice de l'aquifère

· IEB > 0, Na^+ et K^+ de l'eau sont échangés par Ca^{2+} et Mg^{2+}

la matrice de l'aquifère

II.2.2. Détermination de la nature des eaux :

II.2.2.1 Indices de saturation :

L'indice de saturation **IS** permet d'étudier l'évolution chimique de l'eau en fonction de son état d'équilibre (ou de déséquilibre) vis-à-vis des minéraux primaires et néoformés de la roche-réservoir.

Formule de IS = phs-ph

Si $IS < 0$ est négatif montre que l'eau est sous-saturée

Si $IS > 0$ est positif et l'eau est sursaturée

Si $IS = 0$ est nulle l'eau est saturée

Cet indice traduit le caractère chimique de l'eau.

II.2.2.2. Indice de stabilité de Ryznar :

$$Ir = 2pHs - pH$$

Tableau.16: Indice de stabilité de Ryznar

| Indice de stabilité de Ryznar | Tendance de l'eau |
|-------------------------------|--------------------------|
| 4,0 à 5,0 | Très incrustante |
| 5,0 à 6,0 | Faiblement incrustante |
| 6,0 à 7,0 | Equilibre |
| 7,0 à 7,5 | Légèrement corrosive |
| 7,5 à 9,0 | Fortement corrosive |
| 9,0 et au-delà | Très fortement corrosive |

II.2.3. Etude de la potabilité des eaux :

La potabilité de l'eau est définie par les teneurs paramètres physiques, chimiques et biologiques, . Dans le cadre de cette étude, la potabilité de l'eau a été analysée uniquement les paramètres physiques et chimiques. par une comparaison des teneurs en éléments physiques et chimiques des eaux des forages d'AEP qui transferts l'eau vers Tamenrasset avec les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (Kouassi.2012)

II.2.3.1 Les normes de potabilité:

1 Les normes de la qualité de l'eau de consommation établies par l'organisation mondiale de la santé (OMS).

Tableau.17:les normes de potabilité

| Paramètrephysico-chimiques | | Unités |
|----------------------------|------------|--------|
| Conductivité CE | 2800 | μS/cm |
| Résidu sec | 2000 | mg/l |
| La durte TH | 50 | °F |
| PH | 6.5-8.5 | - |
| Température T | 25 | °C |
| Calcium ca+2 | 75 – 200 | mg/l |
| Magnésium Mg+2 | 150 | mg/l |
| Sodium Na+ | 200 | mg/l |
| Potassium k+ | 20 | mg/l |
| Chlorure | 200 -500 | mg/l |
| Sulfaté SO4 | 200 – 400 | mg/l |
| HCO3- | 250 | mg/l |
| Substance indésirable | | |
| Nitrates NO3 | 50 | mg/l |
| Ammonium | 0.05 – 0.5 | mg/l |
| Phosphates | 0.5 | mg/l |
| Nitrites NO2 | 0.1 | mg/l |
| Silice | | |

II.2.4. Les classificationsdes eaux d'irrigation :

II.2.4.1.Evaluation du risque de salinité :

La salinité provoque des effets directs sur les végétaux et des risques de salinisation du sol. En effet, elle perturbe le développement des végétaux en limitant l'assimilation des éléments nutritifs. Un niveau de salinité élevé des sols provoque le flétrissement des plantes du fait d'une augmentation de la pression osmotique et des effets toxiques des sels. La salinité d'une eau est exprimée en terme de conductivité électrique en μS/cm. Cette dernière caractérise la faculté de l'eau à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en

solution et la température. Elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Généralement, les valeurs sont ramenées à 25 C° .

Tableau.18: Classification de l'eau basée sur la concentration totale en sels, s

| Classes de salinité | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) |
|---------------------|--------------------------------|
| C1 | <250 |
| C2 | 250-750 |
| C3 | 750-2250 |
| C4 | 2250-5000 |

Classe C1 : Elle est satisfaisante pour toutes les cultures, exceptée les cultures sensibles

Classe C2 : En général, elle est satisfaisante bien que quelques cultures sensibles peuvent être affectées ;

Classe C3 : satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats ;

Classe C4: Elle est non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées comme le palmier dattier et si le lessivage et le drainage sont impératifs.

II.2.4.2. Evaluation du risque d'alcalinité :

Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû à l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure et par conséquent la culture n'est plus suffisamment alimentée en eau et le rendement diminue. L'alcalinisation est le processus par lequel la teneur en Na échangeable d'un sol augmente par la fixation sur le complexe adsorbant. (Bekkouch.2013)

La précipitation rapide des carbonates de calcium et de magnésium permet aux ions sodiques de se fixer sur le complexe. La teneur en ions Na^{2+} et K^+ du sol provenant des sels alcalins (carbonates et sulfates) conduit à des pH supérieurs à 8. Le coefficient utilisé est celui d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

Où rNa, rCa et rMg sont les quantités en réaction du Na, du Ca et du Mg exprimées en meq/l.

Tableau.19: Classe d'alcalinité des eaux selon U.S.S.L (1954)

| Classes | SAR |
|---------|-------|
| S1 | <10 |
| S2 | 10-18 |
| S3 | 18-26 |
| S4 | >26 |

- 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).

II.2.4.3. Les normes de classification des eaux d'irrigation

C1 S1 eau de bonne qualité précautions avec les plantes sensibles.

C1 S2 qualité moyenne à bonne .a utiliser avec précaution dans les sols

C2 S1 lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (fruiter) .

C2 S2 Qualité moyenne à médiocre .A utiliser avec précaution .nécessité

C1 S3 de drainage avec doses de lessivage et /ou apports de gypse

C3 S1 Qualité médiocre à mauvaise Exclure les plantes sensibles et les sels.

C1 S4 lourds utilisable avec beaucoup de précautions dans les sels

C2 S3 légers et biens drainés avec doses de lessivage et /ou apports de gypse.

C2 S4 Qualité mauvaise, A n'utiliser, avec beaucoup de précautions,

C4 S2 Que dans les sels légers et bien drainés et pour des plantes Résistantes .

C3 S3 Risques élevés Lessivage et apports de gypse indispensable.

C3 S4 Qualité très mauvaise A n'utiliser que dans des circonstances

C4 S3 exceptionnelles.

C4 S4 Eau déconseillée pour l'irrigation.

- Dans cette étude nous allons interpréter les données physico-chimique de 7 de 24 forages d'AEP qui pompe l'eau de In Salah vers Tamanrasset la situation géographique des forages étudiés montré dans la figure comme suit

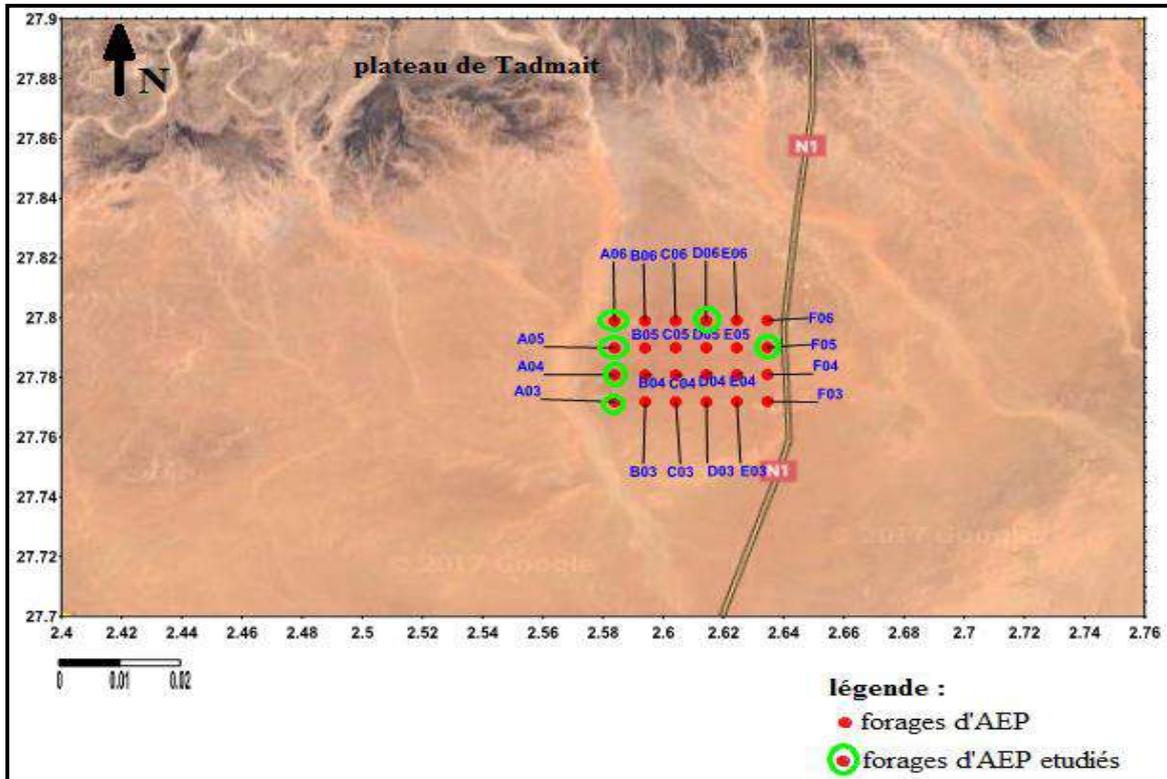


Figure.37: carte d'inventaire des points d'eau

CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSION

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau des forages de transfert d'AEP (A03 A04 A05 A06 D06 F05)

. Les paramètres physico-chimiques sont la conductivité électrique, les éléments chimiques interprétés ont porté essentiellement sur les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-).

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité, le degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques

- Pour cela, un certain nombre de cartes et de diagrammes ont été élaborés et qui serviront de base pour l'interprétation générale des résultats de mesures des paramètres physico-chimiques et d'analyses chimiques.

III.1. Hydrochimie des forages :

III.1.1. Paramètres physico-chimiques :

Tableau.20 : concentration des éléments physico-chimiques des eaux des forages

| Forages paramètres | A3 | A4 | A5 | A6 | D6 | F5 | Norms OMS | NA | unités |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|-------------------------|
| CE | 3150 | 3260 | 3330 | 3240 | 2280 | 3170 | 2800 | 2880 | $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Ph | 7.03 | 6.67 | 7.03 | 6.93 | 7.31 | 6.84 | 6.5-8.5 | 6,5-8,5 | - |
| Rés.sec | 2000 | 2000 | 2070 | 2000 | 1500 | 2100 | 2000 | 2000 | mg/l |
| TH | 82.11 | 76.00 | 80.00 | 83.16 | 63.16 | 85.26 | 50 | | $^{\circ}\text{F}$ |
| Ca | 193.68 | 122.00 | 178.00 | 197.89 | 126.32 | 193.68 | 75 - 200 | 200 | mg/l |
| Mg | 84.21 | 113.00 | 90.00 | 84.21 | 78.95 | 92.11 | 150 | 150 | mg/l |
| Na | 340 | 350 | 330 | 340 | 230 | 310 | 200 | 200 | mg/l |
| K | 28 | 27 | 66 | 30 | 14 | 30 | 20 | 20 | mg/l |
| Cl | 540 | 580 | 550 | 700 | 340 | 600 | 200 - 500 | 500 | mg/l |
| SO ₄ | 480 | 654 | 625 | 500 | 450 | 560 | 200 - 400 | 400 | mg/l |
| HCO ₃ ⁻ | 158.60 | 137 | 140 | 167.75 | 158.60 | 158.60 | 250 | | mg/l |
| NH ₄ ⁺ | 0 | 0.35 | 0.33 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | | mg/l |
| NO ₂ ⁻ | 0 | 0 | 0.002 | 0.02 | 0 | 0.01 | 0.1 | 0,1 | mg/l |
| NO ₃ ⁻ | 26 | 26 | 99 | 27 | 16 | 32 | 50 | 50 | mg/l |
| PO ₄ ⁻ | 0 | 22.5 | 0 | 0 | 0 | | 0.5 | 0.5 | mg/l |
| SiO ₂ | 0 | 4 | 0 | 12.5 | 0 | 15.5 | | | mg/l |
| M.Ox. | 2 | 1.7 | 2.9 | 2.2 | 2 | 0 | | | mg/l |
| Minéra | 1953 | 2020 | 2065 | 2008.8 | 1413.6 | 1965.4 | | | mg/l |

III.1.2. La balance ionique :

Les résultats de la balance ionique sont calculés par le logiciel diagramme:

Selon le diagramme de Piper on conclure 2 faciès hydrochimiques :
 Chloruré sodique
 Sulfaté sodique

Tableau.23: Formule et faciès chimique des eaux des forages

| Faciès chimique | Formule caractéristique | % | Points d'eau |
|-----------------|--|------|--------------|
| ChloruréSodique | $rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rNa^+ + K^+ > rMg^{++} > rCa^{++}$ | 50 % | A03 A06 F5 |
| Sulfaté sodique | $rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $rNa^+ + K^+ > rMg^{++} > rCa^{++}$ | 50% | A04 A05 D06 |

III.1.5. Diagramme de Schoeler Berkaloff :

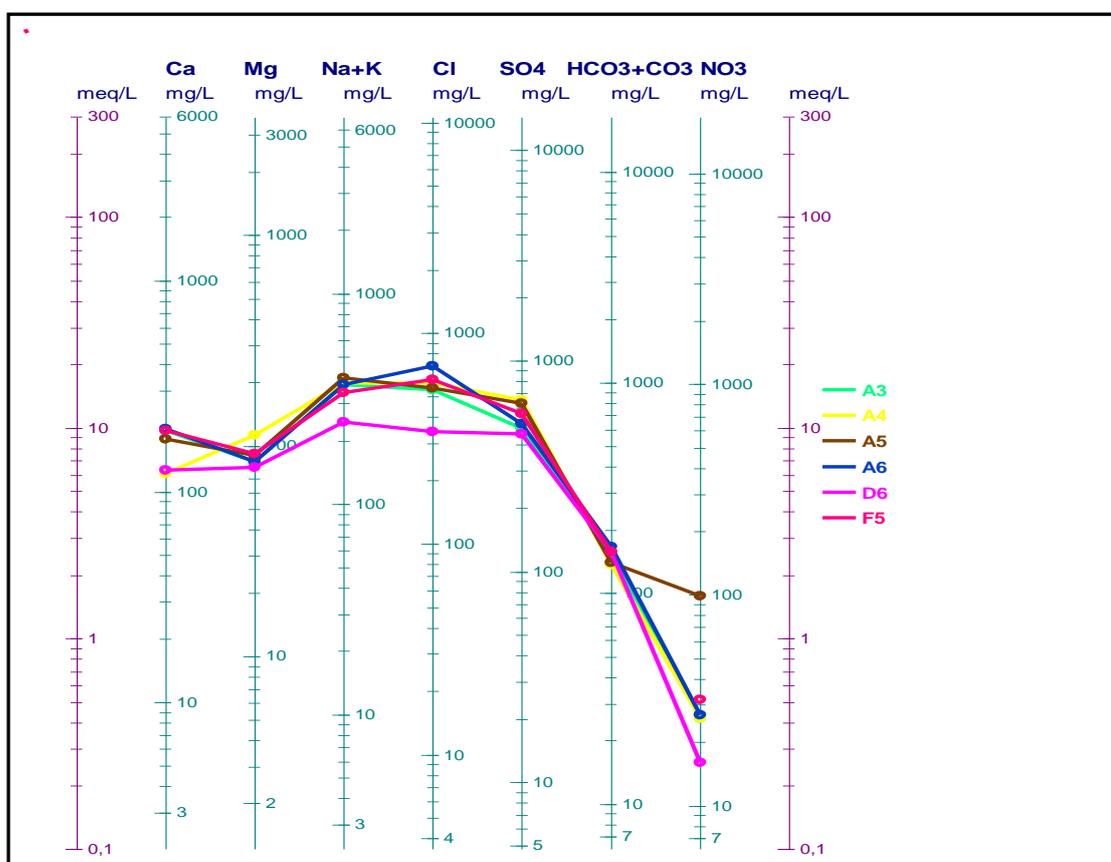


Figure.39: Représentation graphique des eaux des forages selon Schoeler Berkaloff

Ce digramme à échelle logarithmique, permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions dominants et donc de déduire rapidement les différents faciès chimiques.

Les éléments dominants : **SO4; Cl ; Na**

Les faciès chimique :

Chloruré sodique

Sulfaté sodique

III .1.5.L'indice d'échange de base (IEB) :

L'indice d'échange de base calculé par le logiciel diagramme se présente dans le tableau. Les valeurs de l'IEB sont 50 % négatives et 50 % positif

Les valeurs négatives traduites la substitution du calcium et du magnésium de l'eau avec le sodium et le potassium des terrains traversés.les valeurs positif traduit la substitution du sodium et du potassium de l'eau avec le calcium et le magnésium des formations (**Bouziane et al, 2009**)

Tableau.24: l'indice d'échange de base

| Frages | IEB |
|---------------|------------|
| A03 | -0,018 |
| A04 | 0,027 |
| A05 | -0,034 |
| A06 | 0,212 |
| D06 | -0,081 |
| F05 | 0,158 |

Selon le tableau on a :

Les forage (A3 A5 D6) les valeurs de IEB est négatif < 0 alors les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés contre les ions Na^+ et K^+ des formations encaissantes

Les forages (A4 A6 F5) les valeurs de IEB est positif > 0 alors, Na^+ et K^+ sont échangés par Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations encaissant.

III .2. Détermination de la nature des eaux :

III .2.1. L'indice de saturation :

L'indice de saturation a été obtenu en utilisant le logiciel Phreeqc. Les résultats sont représentés dans le Tableau

Tableau.25: Indices de saturation des eaux des forages

| Nom des forages | Is Calcite | Is Aragonite | Is Dolomite | Is Gypse | Is Anhydrite | Is Halite |
|-----------------|------------|--------------|-------------|----------|--------------|-----------|
| A3 | -0,19 | -0,33 | -0,39 | -0,86 | -1,08 | -5,39 |
| A4 | -0,86 | -1 | -1,42 | -0,95 | -1,16 | -5,35 |
| A5 | -0,3 | -0,45 | -0,56 | -0,8 | -1,02 | -5,4 |
| A6 | -0,26 | -0,41 | -0,55 | -0,84 | -1,06 | -5,28 |
| D6 | -0,06 | -0,21 | 0,01 | -1 | -1,22 | -5,74 |
| F5 | -0,39 | -0,53 | -0,76 | -0,81 | -1,03 | -5,39 |

III .2.1.1 Les minéraux carbonatés : (Tableau.25) présentent des degrés de saturation différents. En effet, celui de la calcite varie de -0,86 à -0,06, suivi par celui de l'aragonite qui varie de -1 à 0.21 et enfin celui de la dolomite varie de -1,42 à 0.01. La quasi-totalité des

points n'ont pas atteint les degrés de saturation. sauf la Dolomite dans le forage D6 est sursaturé

III .2.1. 2. Les minéraux évaporitiques : (Tableau.25) montrent des degrés de saturation de gypse varie de -1 à -0,8 (tous les points sont sous-saturés). et l'anhydrite varie de -1.22 jusqu'à -1,02 (tous les points sont sous-saturés).

III .2.1. Indice de stabilité de Ryznar :

Tableau.26: l'indice de Ryznar

| Nom des forages | Ir | Tendance de l'eau | Echelle de Ryznar |
|-----------------|------|----------------------|---------------------------|
| A3 | 7,22 | Légèrement corrosive | corrosion général |
| A4 | 8,13 | Fortement corrosive | Corrosionsévèreeau rouge |
| A5 | 7,42 | Légèrement corrosive | Corrosiondes réchauffeurs |
| A6 | 7,27 | Légèrement corrosive | corrosion générale |
| D6 | 7,24 | Légèrement corrosive | corrosion générale |
| F5 | 7,42 | Légèrement corrosive | Corrosiondesréchauffeurs |

Les types de roches et de sols avec lesquels l'eau souterraine entre en contact déterminent son niveau de corrosivité. L'eau corrosive peut également être le résultat d'une contamination naturelle ou artificielle provenant d'un drainage rocheux acide par lequel les sulfures sont exposés au processus d'altération météorique. La corrosivité de l'eau est également liée aux facteurs suivants : température, concentration totale de minéraux dissous, dureté calcique, alcalinité et pH. (Novascotia 2008)

III .3. Etude de la potabilité des eaux :

III .3.1. Paramètres physico-chimiques

III .3.1.1. Paramètre physique :

A. Le potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH C'est le cologarithme de la concentration en hydrogène représente le caractère acide ou alcalin d'une masse d'eau. Ce paramètre est sensible à la température

$$\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}^+).$$

. Les valeurs des ph dans les forages varie entre 6.67 et 7.31 alors ne dépasse pas les normes d'OMS et NA (6.5-8.5)

B. La Conductivité :

La conductivité permet de mesurer la propriété de l'eau à conduire le courant électrique qui dépend de la concentration en sels dissous. La mesure de la conductivité donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

Dans ce cas les valeurs de conductivité varie de 2280 jusqu'à 3330 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 5 forages (A3 A4 A5 A6 AF5) dépassé les normes d'OMS et les Normes Algérien (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et sel forages (D6) Dans le cadre des normes

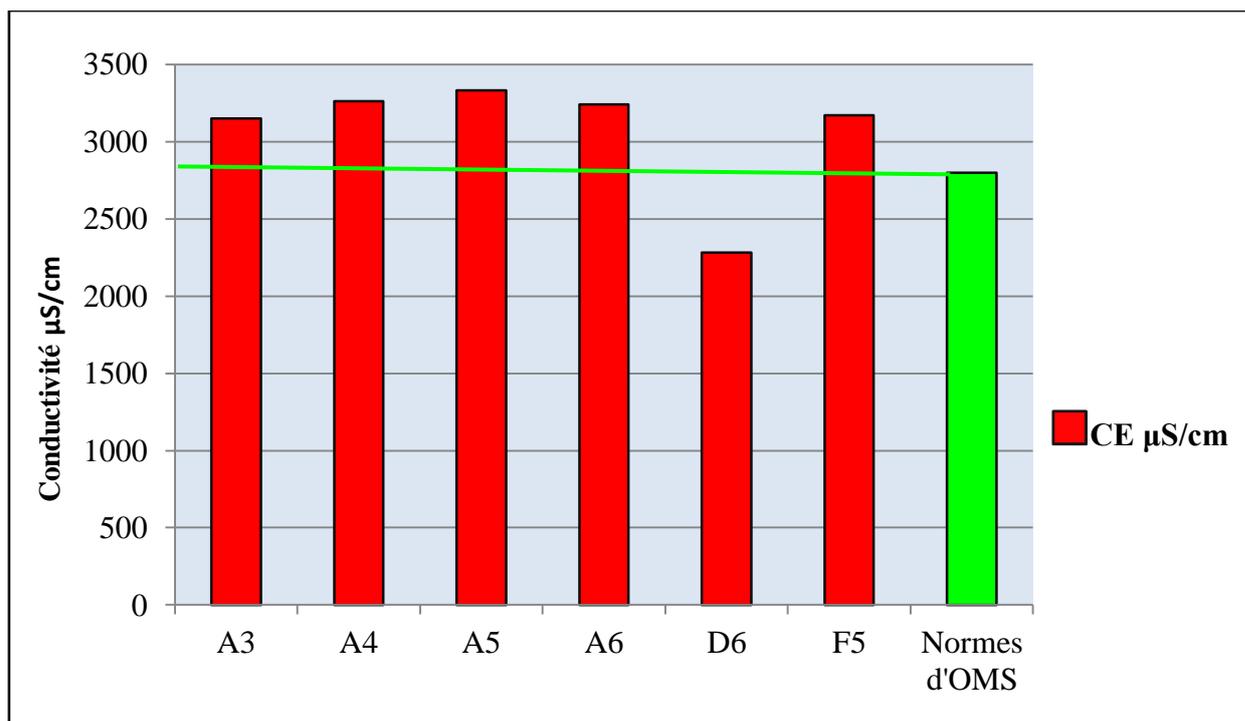


Figure.40: Histogrammes des conductivités

C. La dureté (TH) : La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche-mère et des échanges de bases. Il se calcule par la formule suivante :

$$T H = (r Ca + r Mg) \times 5$$

Exprimer par (°F)

Avec :

r Ca : quantité en réaction du calcium exprimée en méq/l ;

r Mg : quantité en réaction du magnésium exprimée en méq/l .

Tableau.27: l'échelle de durété

| TH (°f) | 0 à 7 | 7 à 15 | 15 à 30 | 30 à 40 | + 40 |
|---------|------------|-----------|-------------|---------|-----------|
| Eau | très douce | eau douce | plutôt dure | dure | très dure |

On observe que les valeurs des dureté dans les 6 forages varient entre 63.16 et 85.26 (°F) cela montre que ces valeurs dépassent les normes d'OMS (50 °F) et présentent des eaux très dures .

D. Résidue.Sec : le résidu sec de l'eau est ce qui reste quand vous laissez toute l'eau s'évaporer .en principe le résidu sec de l'eau est presque égale la teneur en minéraux dans l'eau

on Remarque 2 forages (A5 F5) dépassent les normes (2000 mg/l) et les autres valeurs de forages (A3 A4 A6 D6) dans les normes

III .3.1.2. Paramètres chimique :**A. Le calcium (Ca⁺⁺):**

Sa présence résulte de traverssement des eaux à les formations carbonatées. La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carboniqueprovenant de l'atmosphère et du sol.



Les teneures de Ca²⁺ des forages sont comprises entre 122et 197.89mg/l tous les teneurs respect les normes ne dépassent pas 200 mg/l

B. Le Magnésium (Mg⁺⁺) :

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, Ces ions proviennent de ladissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques.

Les teneurs des Mg⁺⁺ au niveau des forages varie entre 78.95 et 113mg/l et tout dans le cadre des normes D'OMS et les normes Algérien

C. Le sodium et le potassium (Na⁺, K⁺) :

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut prévenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau.

Dans ce cas les valeurs de concentrations Na⁺ dans les 6 forages supérieur 200 mg/l dépassent les normes

Les teneurs des K⁺ dépassent les normes (20 mg/l) dans 5 forages (A3 A4 A5 A6 F5)

Et on registrar une valeur dans les normes au niveau de forage D6

D. Les chlorures Cl⁻:

Ils sont toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte de :

La dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux.

L'évapotranspiration intense dans les régions ou le niveau piézométrique est proche de lasurface du sol.

On remarque que les valeurs de Cl⁻ de 5 forages (A3 A4 A5 A6 F5) sont dépassé les normes d'OMS (200 – 500 mg /l) et les normes algérien (500 mg/l) et la valeur de forages D6 dans les normes

E. Les sulfates (SO₄⁻) :

Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

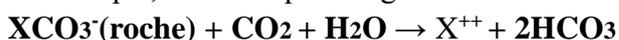
- ♦ Des formations gypseuses.
- ♦ Légère solubilité de CaCO₄ avec des passées gypseuses.
- ♦ Des eaux usées industrielles

On observer dans les 6 forages des valeurs très élevé des concentration des SO₄⁻varie entre 450 et 654 mg/l la minimum valeurs (450 mg/l) dépassé les normes (400 mg/l) par 50 mg

F. Les bicarbonates HCO₃⁻:

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO₂, de la température, le pH de l'eau et la nature lithologique des terrains traversées.

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



Les valeurs des concentrations des HCO_3 dans tous les forages de 130 jusqu'à 167.75 mg/l elles sont respecté les normes d'OMS (250 mg/l)

III.3.1.3.Eléments Indésirables :

A. Nitrates NO_3^- :

L'excès de nitrates dans les eaux de boisson peut provoquer une inflammation des muqueuses intestinales chez l'adulte. L'OMS considère comme limite maximale acceptable une concentration de 50mg/l de nitrates.

Dans ce cas le valeur qui enregistré au niveau de forage A5 dépasse les normes (50 mg/l) et les autres forages (A3 A4 A6 D6 F5) dans les normes.

A. Nitrites NO_2^- :

Un excès de nitrites dans les eaux de boisson peut provoquer de l'hypotension chez les adultes et la méthémoglobinémie chez les nourrissons. Donc, il est conseillé qu'une eau potable ne doit pas contenir plus que 0.1mg/l en azote nitreux.

Les valeurs des concentrations de NO_2 dans tous les forages (A3 A4 A5 A6 D6 F5) sont acceptables ne dépassent pas les normes (0.1 mg/l)

III.3.2. Les cartes des teneurs des éléments physicochimiques des eaux dans les forages :

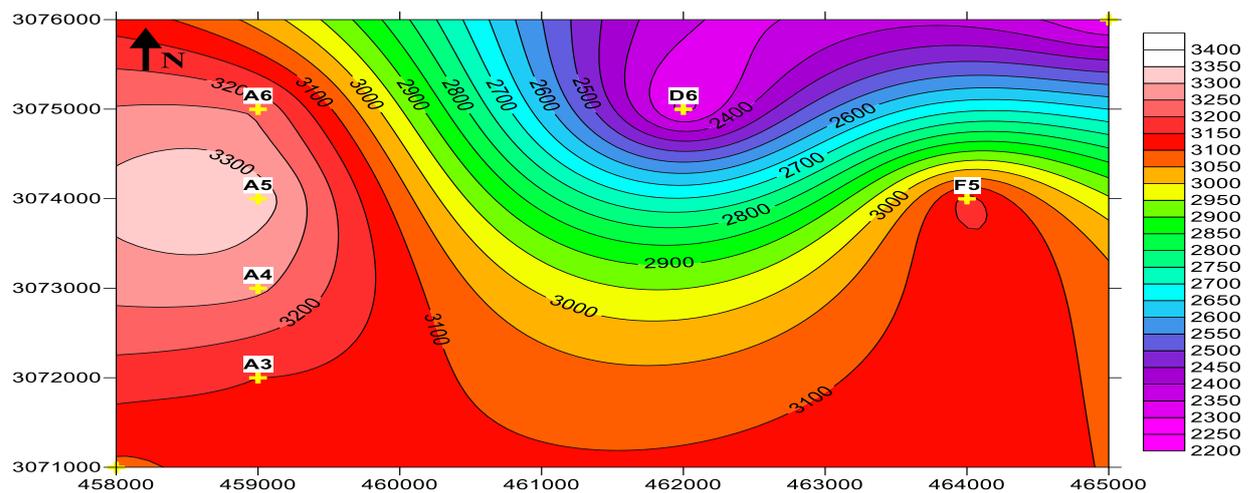


Figure.41: Carte de variation de conductivité

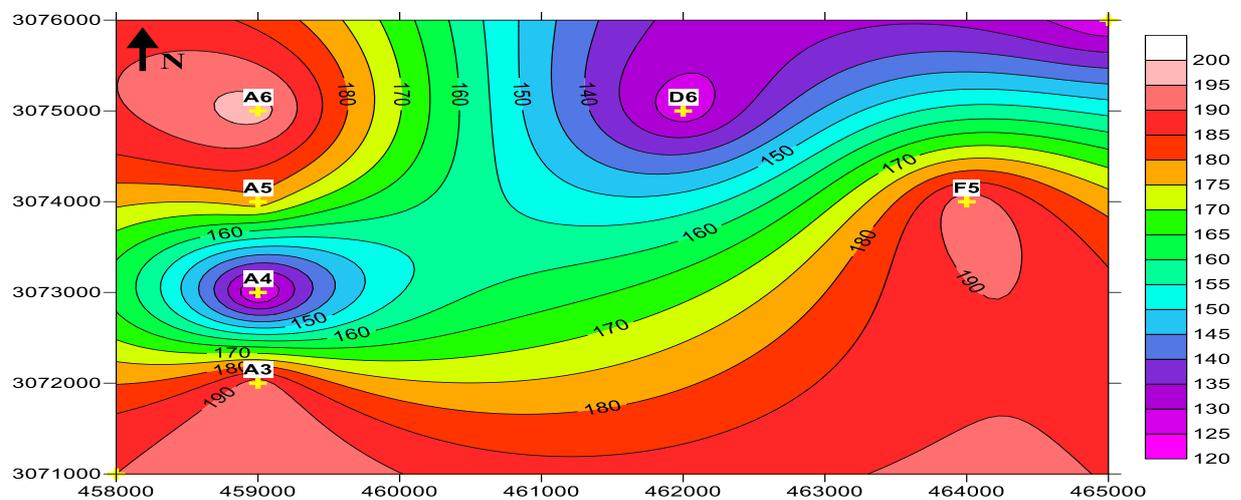


Figure.42: Carte de variation de Ca

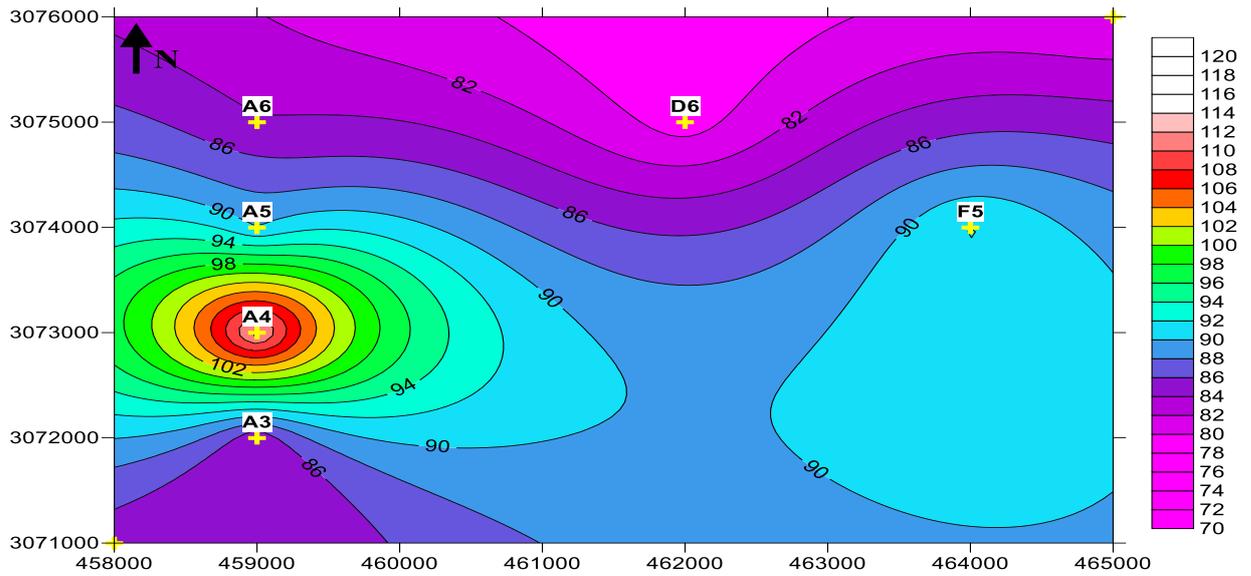


Figure.43: Carte de variation de Mg

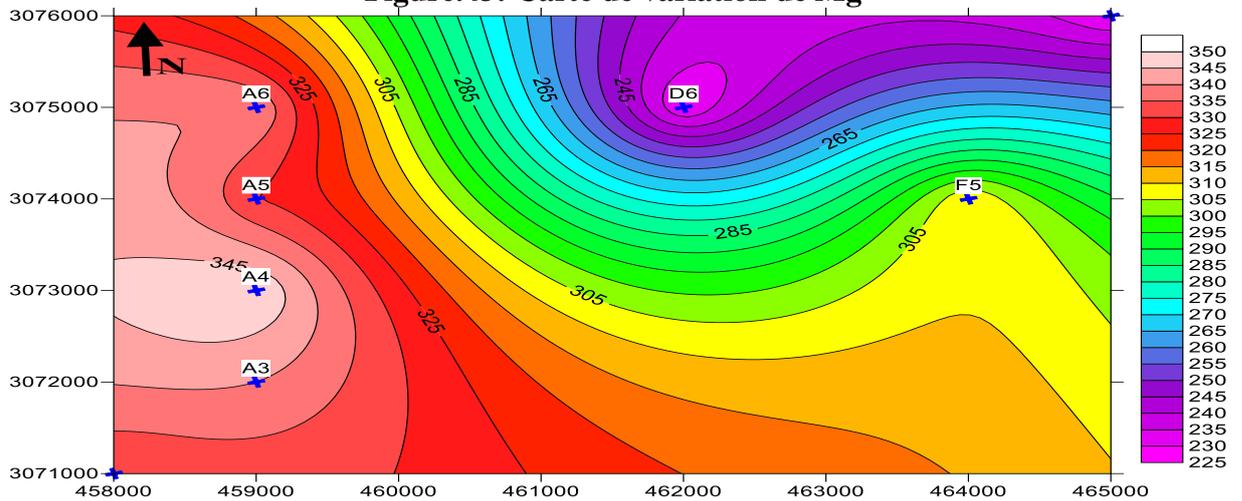


Figure.44: Carte de variation de Na

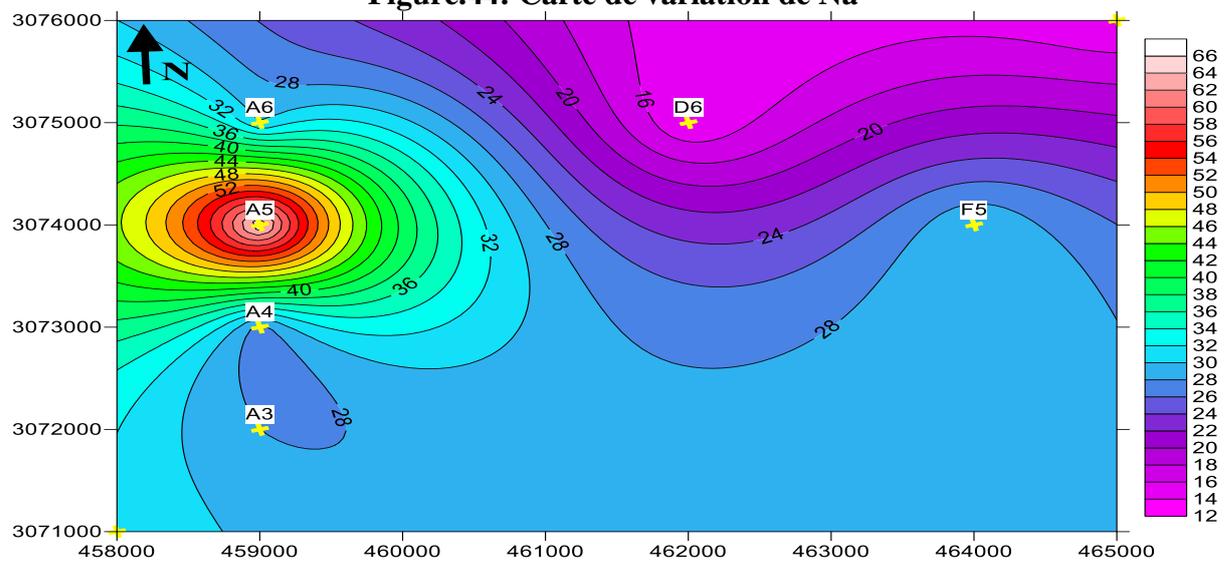


Figure.45: Carte de variation des K

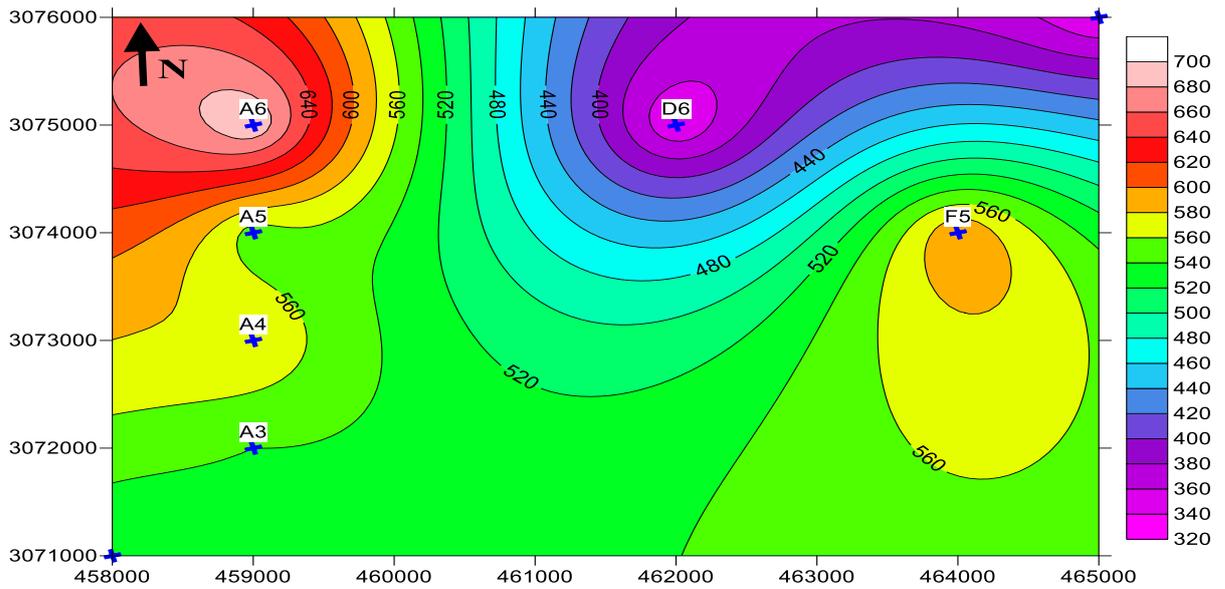


Figure.46: Carte de variation de Cl

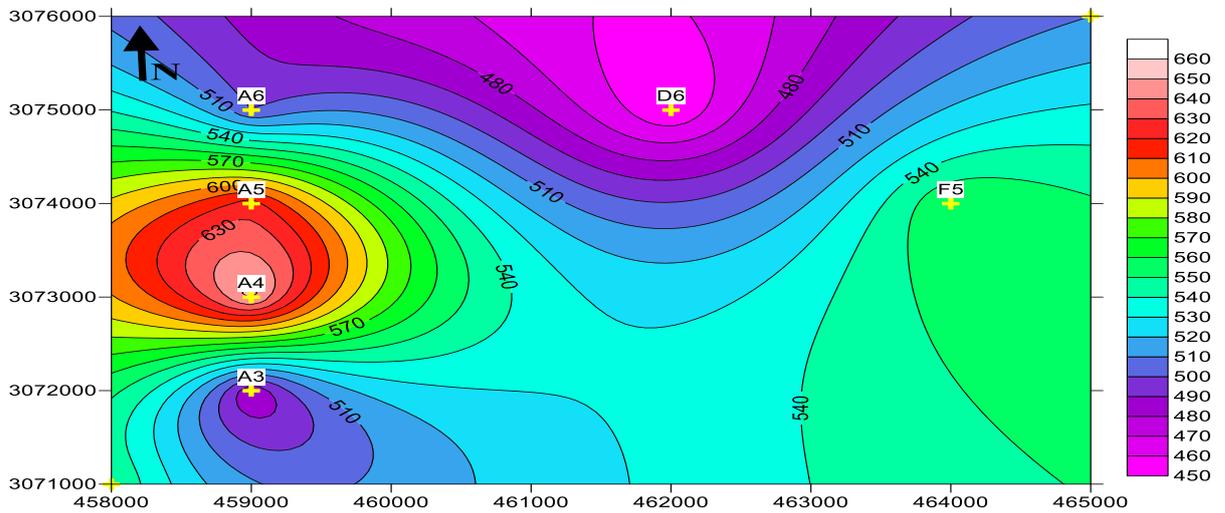


Figure.47: Carte de variation de SO4

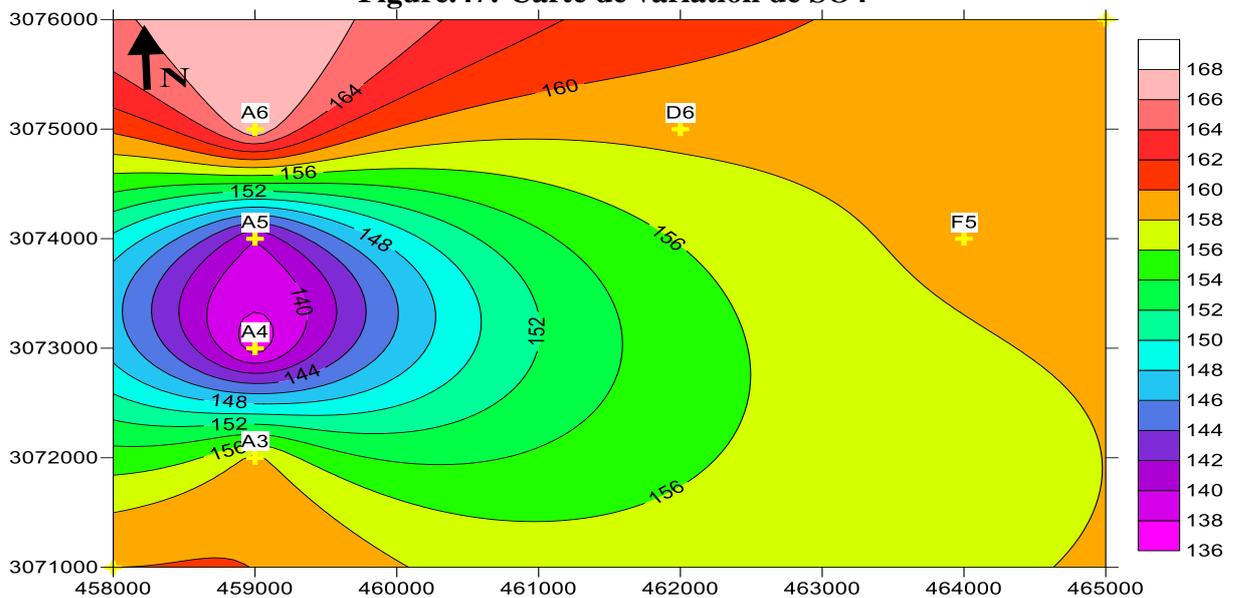


Figure.29: Carte de variation de HCO3

III .4. La matrice de corrélation :

Le bute d'une analyse de corrélation est de mesurer la relation qui existe entre deux variables. Avec coefficient de corrélation (r).

Tableau 28 : matrice de corrélation des analyses des données physico-chimiques

| | CE | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻ | NO ₃ ⁻ |
|-------------------------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| CE | 1 | | | | | | | | |
| Ca ⁺⁺ | 0,53 | 1 | | | | | | | |
| Mg ⁺ | 0,5 | -0,41 | 1 | | | | | | |
| Na ⁺ | 0,95 | 0,43 | 0,54 | 1 | | | | | |
| K ⁺ | 0,62 | 0,36 | 0,11 | 0,44 | 1 | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | -0,31 | 0,52 | -0,74 | -0,28 | -0,5 | 1 | | | |
| Cl ⁻ | 0,86 | 0,62 | 0,32 | 0,84 | 0,32 | 0,11 | 1 | | |
| SO ₄ ⁻ | 0,65 | -0,2 | 0,86 | 0,56 | 0,59 | -0,85 | 0,37 | 1 | |
| NO ₃ ⁻ | 0,46 | 0,24 | 0,05 | 0,27 | 0,98 | -0,53 | 0,13 | 0,55 | 1 |

La matrice de corrélation (Tableau) entre les variables nous permet de déterminer les fortes corrélations positives significatives à savoir :

CE-Mg ; CE-Cl ; Ca-Cl ; SO₄-Mg ; Na-Cl et très forte corrélation entre NO₃-K et CE-Na

III .4. 1. Les Relation chimiques :

III .4. 1.1. Le couple Conductivité – sodium :

On observe une corrélation très claire entre la conductivité et le sodium avec un coefficient de régression linéaire égale 0.91 ce qui montre la classification de diagramme de piper et les pourcentages élevés de minéralisation et de salinité dans ces eaux

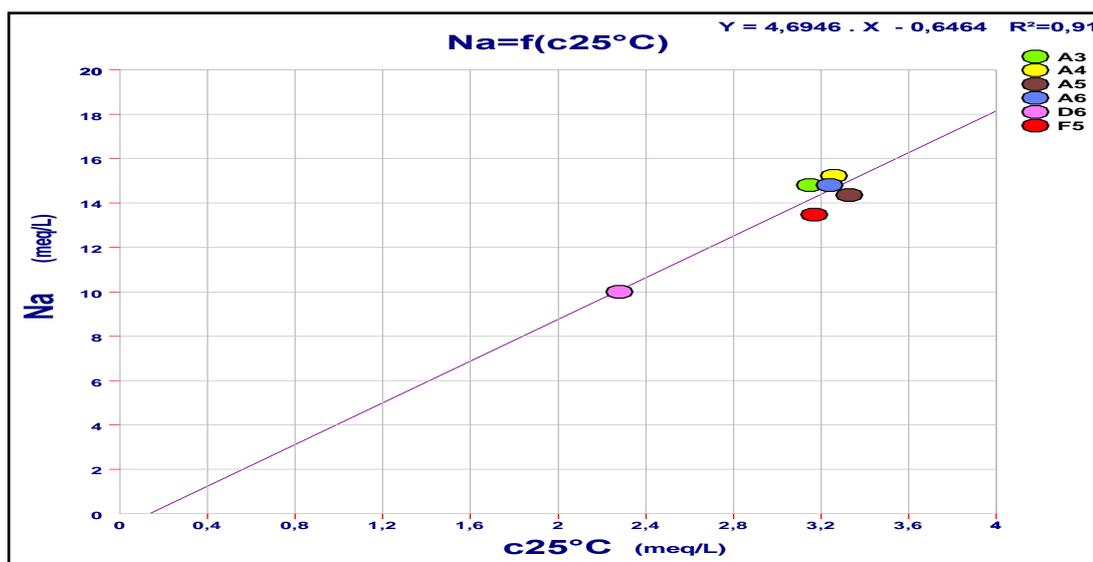


Figure.49: Relation Na- CE

III .4.1.2. Le couple Conductivité -Dureté (CE-TH) :

La relation est bien visible sur la figure entre la dureté et la conductivité, avec un coefficient de corrélation de la régression linéaire de 0,88, qui confirme le classement de diagramme de Piper où les eaux sont classés d'une dureté très élevée et d'une salinité très élevée.

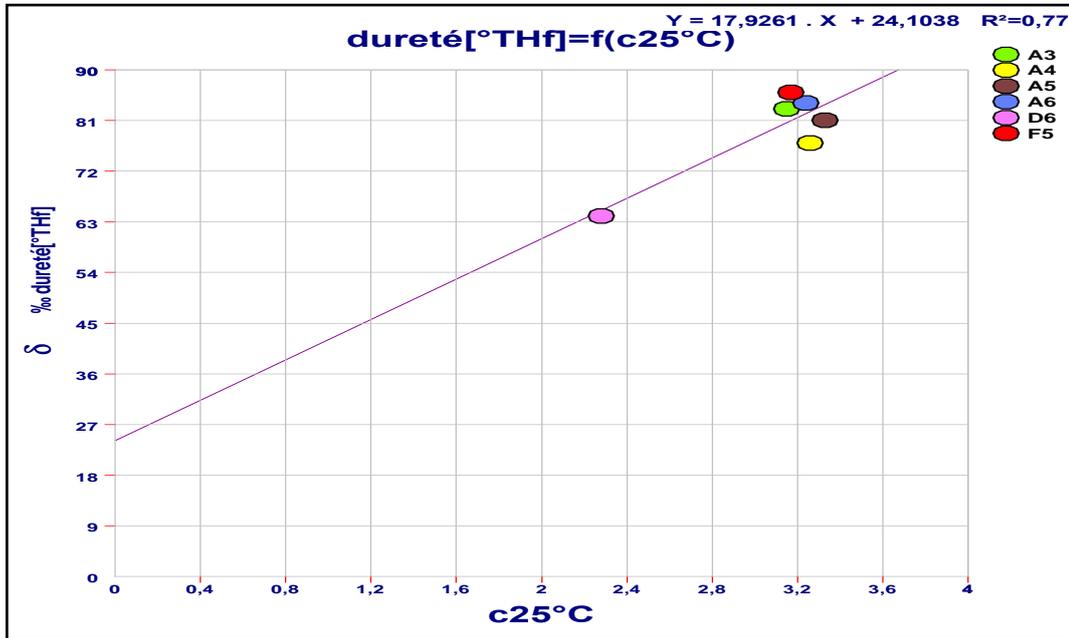


Figure.50: Relation CE-TH

III .4.1.3. Le couple Sodium-Chlorure (Na-Cl)

L'analyse de cette relation montre une évolution proportionnelle entre le sodium et les chlorures (Figure 51) ce qui indique une origine commune, probablement l'halite (NaCl) et qui confirme la domination du faciès chloruré sodique. Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0,7.

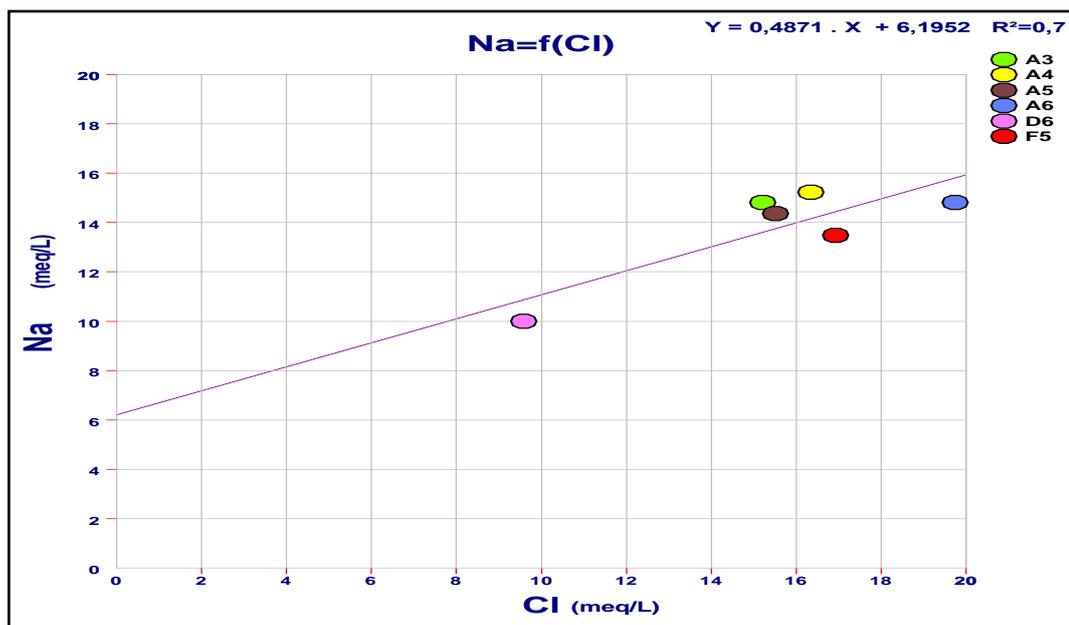


Figure.51: Relation Na- Cl

III .4.1.4. Le couple Sulfate-Calcium (SO₄-Ca):

Les sulfates ont une relation proportionnelle mais faible avec le Calcium, donc ils ont des origines communes, soit du gypse (CaSO₄, 2H₂O) soit de l’anhydrite (CaSO₄), avec un excès pour les sulfates, d’où l’échange de base du calcium des formations argileuses. Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0,04 (Figure.52).

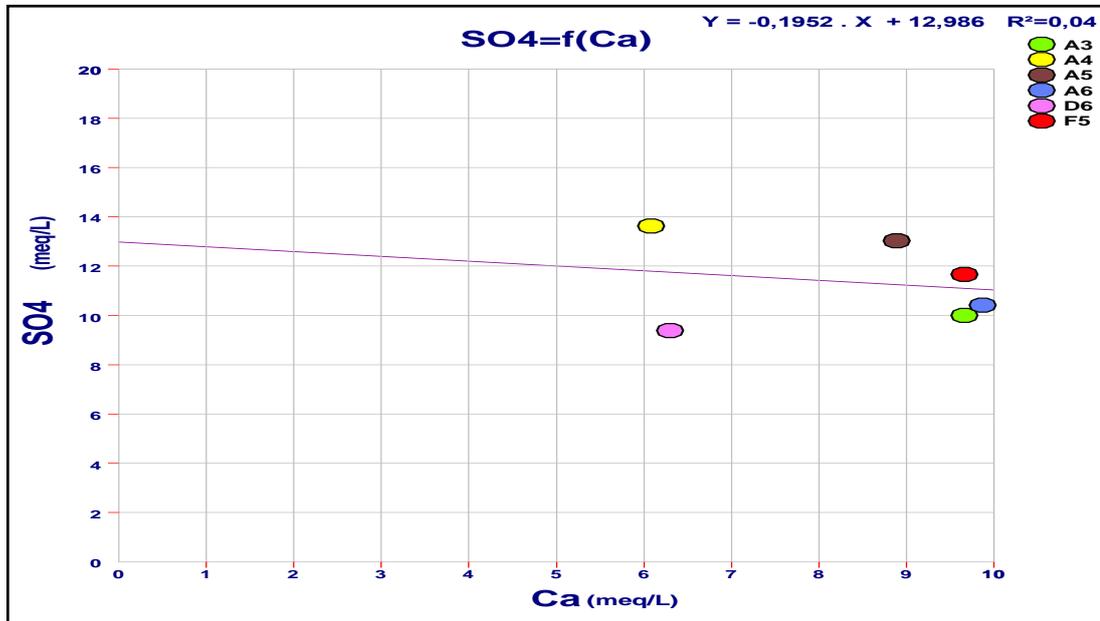


Figure.52: Relation SO4 Ca

III .4.1.5. Le couple Magnesium - Sulfate (Mg- SO₄):

La figure 53 indique que la relation sulfate magnésium est bien liée avec une évolution proportionnelle, donc l’origine est probablement du sel de magnésium la kiesérite (MgSO₄). Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0,73.

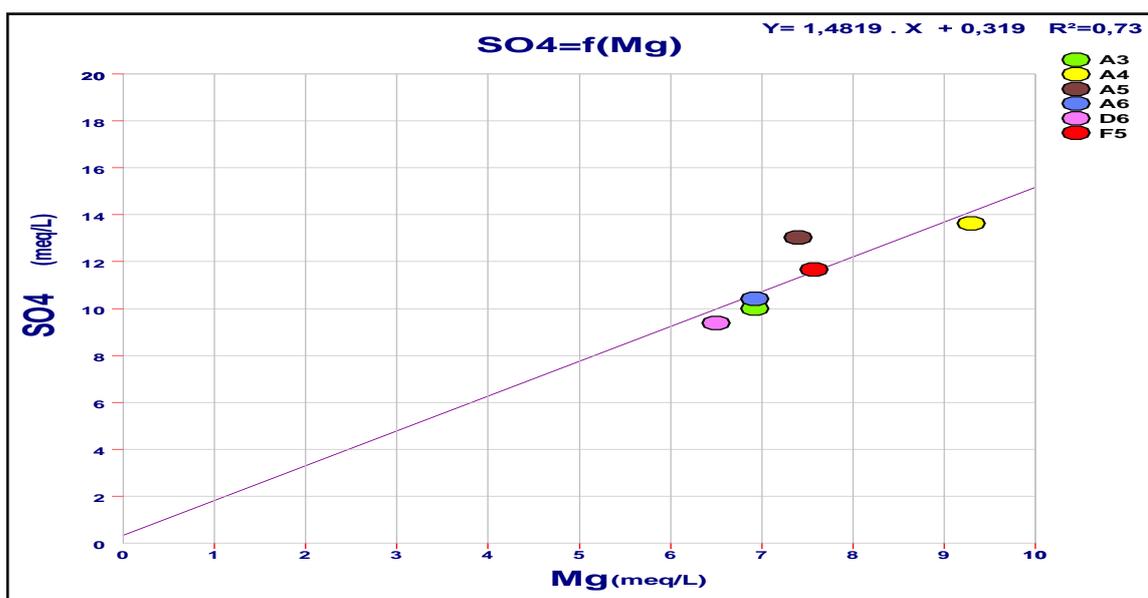


Figure.53: Relation Mg - SO4

III .4.1.6. La relation TH - Ca :

nous observons bon corrélation entre la dureté et le Ca avec une évolution proportionnelle et un coefficient de corrélation de la régression linéaire de 0.69

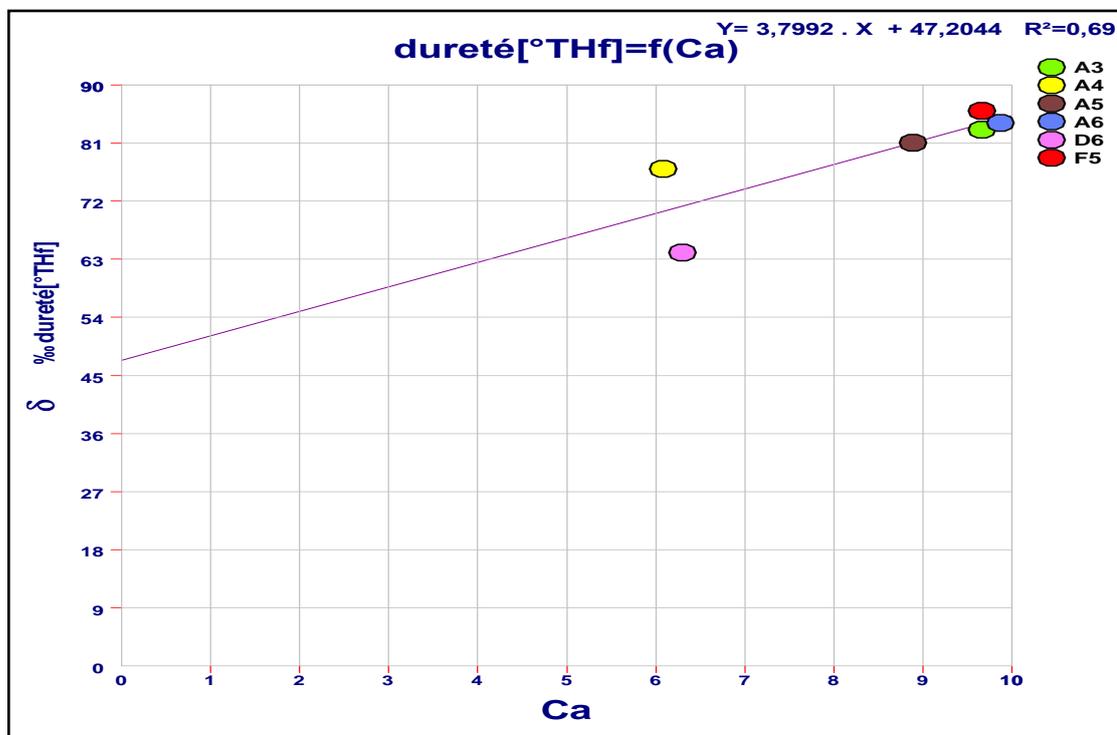


Figure.54: Relation TH – Ca

Tableau 29. Classification de la potabilité des eaux d'après la norme d'OMS et les normes algérienne.

| | CE | TH | Ca mg/l | Mg | Na | K | Cl | SO4 | NO2 ⁻ | NO3 ⁻ | HCO3 ⁻ | Remarque |
|-----|------|-------|----------|--------|-----|----|-----------|-----------|------------------|------------------|-------------------|-------------|
| A3 | 3150 | 82.11 | 193.68 | 84.21 | 340 | 28 | 540 | 480 | 0 | 26 | 158.60 | Non potable |
| A4 | 3260 | 76.00 | 122.00 | 113.00 | 350 | 27 | 580 | 654 | 0 | 26 | 137.00 | Non potable |
| A5 | 3330 | 80.00 | 178.00 | 90.00 | 330 | 66 | 550 | 625 | 0.002 | 99 | 140.00 | Non potable |
| A6 | 3240 | 83.16 | 197.89 | 84.21 | 340 | 30 | 700 | 500 | 0.02 | 27 | 167.75 | Non potable |
| D6 | 2280 | 63.16 | 126.32 | 78.95 | 230 | 14 | 340 | 450 | 0 | 16 | 158.60 | Non potable |
| F5 | 3170 | 85.26 | 193.68 | 92.11 | 310 | 30 | 600 | 560 | 0.01 | 32 | 158.60 | Non potable |
| OMS | 2800 | 50 | 75 - 200 | 150 | 200 | 20 | 200 - 500 | 200 - 400 | 0.1 | 50 | 250 | Eau potable |
| NA | 2880 | 50 | 200 | 150 | 200 | 20 | 500 | 400 | 0,1 | 50 | | Eau potable |

III .5. L'aptitude d'irrigation :

III .5. 1. Critères des eaux pour l'irrigation :

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. La rareté des ressources superficielles, dans ces zones, engendre une sollicitation des eaux souterraines. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols qui peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière est due aux échanges ioniques (du sodium, du calcium et du magnésium) entre l'eau et le sol irrigué (ZAGHTOU, 2011).

III .5. 2. Sodium Adsorption Ratio (SAR) :

Le SAR est un indice qui mesure le danger de la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le S. A. R. est donné par la formule suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

La concentration de chaque ion est exprimée en méq/L ;

selon le taux d'absorption du sodium (S. A. R.), on a la classification des eaux (tableau 31)

- 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).

III .5. 3. Diagramme de Riverside :

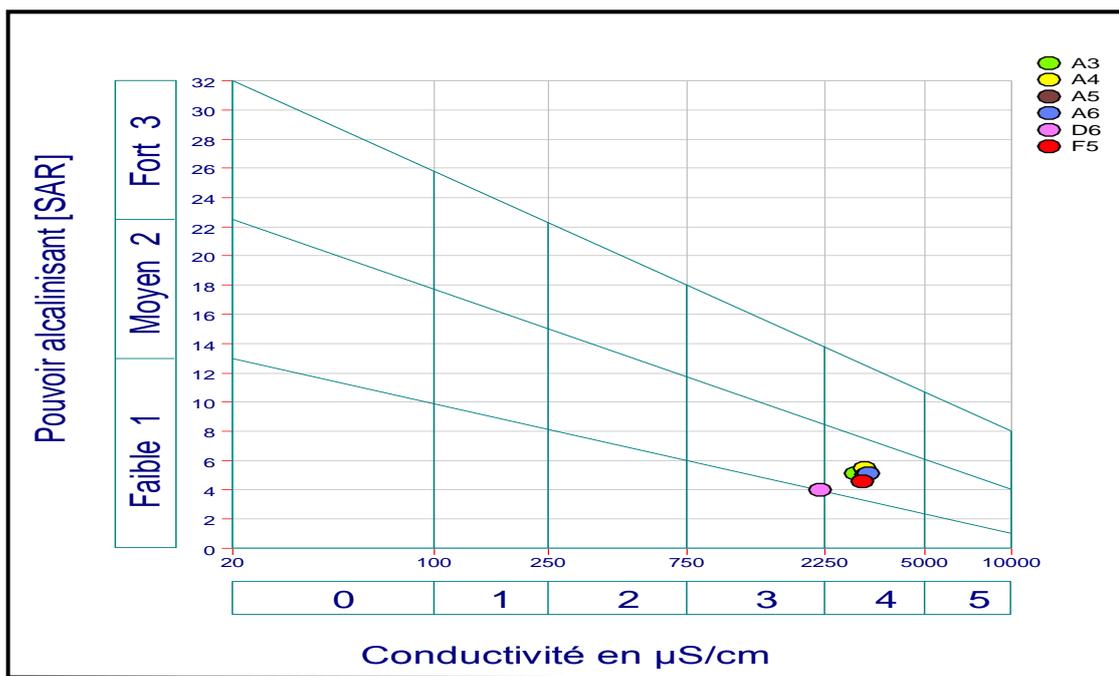


Figure.55: Diagramme de Riverside des eaux des forages.

III .5. 4. Le pourcentage de sodium :

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés de sodium.

Nous avons d'utiliser la classification de « Wilcox », qui basé sur la comparaison de 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 :

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

Les éléments sont exprimés en meq/l

Cette méthode se traduit sous forme d'un diagramme qui définit cinq classes d'eau suivante :

Tableau.30: classification de Wilcox

| Degré | Qualité | Classe | L'état d'utilisation |
|-------|------------|-------------------------|---|
| 1 | Excellente | C1-S1 | 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 | Mediocre | 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. |

III .5. 5. Diagramme de Welcox :

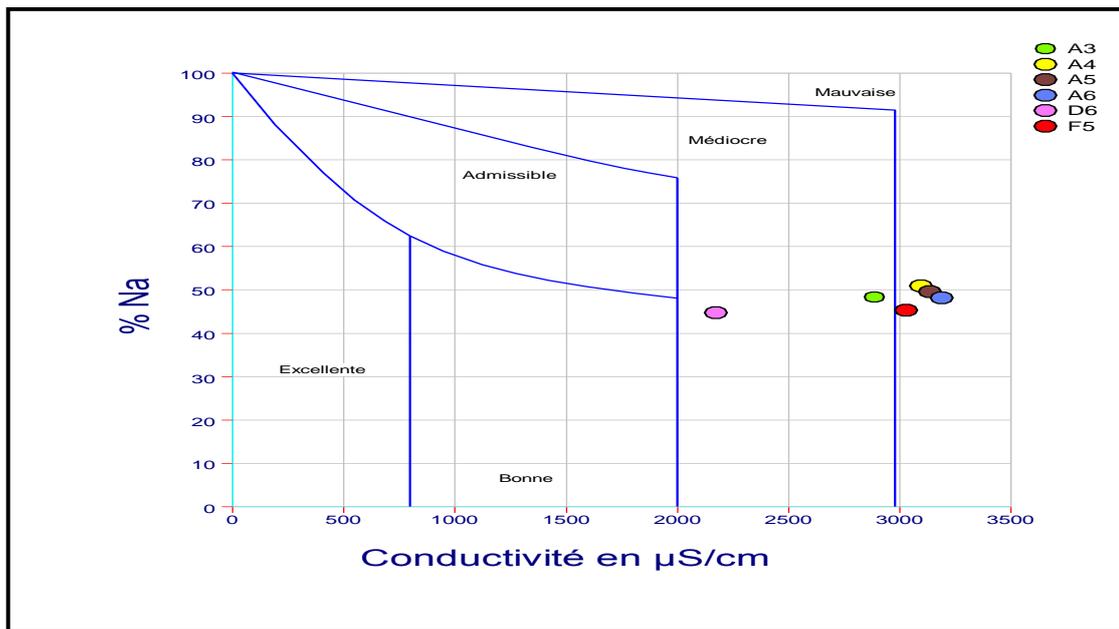


Figure.56: Diagramme de Wilcox des eaux des forages

Les valeurs élevées de conductivité et de sodium dans les eaux du forages montrent des grandes proportions de salinité dans l'eau, ce qui réduit son aptitude à l'irrigation et conduit à des problèmes lorsqu'ils sont utilisés

III .5. 6. Diagramme de Wilcox log :

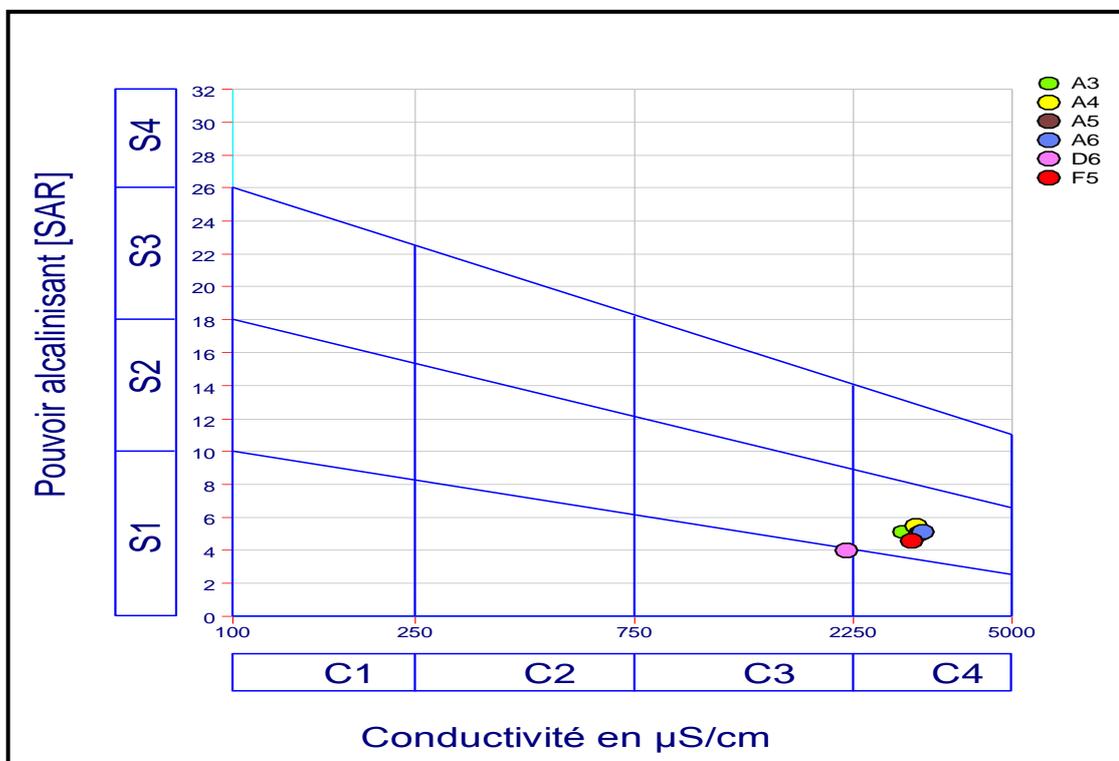


Figure.57: Diagramme de Wilcox log des eaux des forages

En liant Le diagramme de Wilcox et le diagramme de Wilcox log nous peut concluons un idée sur la qualité des eaux du forages et sont aptitude a l'irrigation les résultat sont montré dans le tableau suivant

Tableau.31: classification des eaux des forages

| Forages | Classe | Qualité d'eau | L'état d'utilisation |
|-------------------|--------|---------------|--|
| A3 A4 A5 A6 F5 | C4S2 | Médiocre | 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 |
| D6 | C3S1 | Admissible | En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée |

III .6. Relation entre la lithologie d'aquifère et les éléments chimique des eaux :

III .6. 1. Le calcium :

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$), soit la dissolution des formations gypseuses

L'origine de ces teneurs est certainement liée au lessivage des terrains et des dalles calcaires du plateau de Tademaït (sénonien, turonien)

III .6.2. Le Magnésium (Mg^{2+}) :

Ses origines sont comparables à celles du calcium, ils proviennent de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite)

III .6.3. Le Sodium (Na^+) et le Potassium (K^+) :

L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base.

III .6.4. Les Chlorures (Cl^-) :

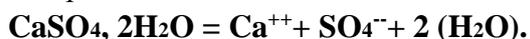
L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines proviennent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

III .6.5. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et par les eaux chargées en gaz carbonique.

III .6.6. Les Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.



III .6.6. Les Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée, en général à l'utilisation des engrais chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées.

Conclusion :

- L'étude hydro-chimique des eaux du C. I. dans la région d'In Salah, montre que :
- Ces eaux présentent une forte salinité, elles sont caractérisées par une minéralisation relativement élevée.
 - La relation entre Le contexte géologique de la région et la répartition spatiale des éléments chimiques montre que leurs origines sont liées principalement à la dissolution des formations essentiellement grés-argileuses sablo-gréseux du CI.
 - Les faciès chimiques caractérisent les eaux de la région d'étude :
 - un faciès : Chloruré sodique
 - un faciès : sulfaté sodique
 - Ces eaux sont très dures à caractère incrustant de qualité médiocre à mauvaise, ces eaux souterraines ont une faible potabilité
 - Plusieurs facteurs ont contribué à l'acquisition de la minéralisation de la nappe du C I:
 - Principalement par la contamination lithologique des terrains géologiques de la région et essentiellement les terrains du Crétacé inférieur (grès, argiles, sable...).
 - Par le lessivage et la dissolution des terrains (calcaire du Cénomaniens, terrains carbonatés du Sénonien supérieur, terrains carbonatés et évaporitiques de l'Eocène et les terrains du Mio-Plio-Quaternaire).
 - L'infiltration directe et indirecte surtout au niveau des zones d'alimentation (piémonts du l'Atlas Saharien, Plateau du Tademaït) qui traverse ces formations géologiques, où :
 - les terrains calcaires chargent les eaux par les ions Ca^{2+} , HCO_3^- ,
 - les terrains salifères et gypsifères riches en gypses et en sels, chargent les eaux inions Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} .
 - l'augmentation des concentrations en éléments de NO_3 a cause de l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, comme fertilisants,

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion générale :

La région d'In-Salah est située au centre sud du Sahara algérien entre le plateau du Tademaït au Nord, à la lisière du Tidikelt au Sud

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride. Résultat de température très élevée et une forte évaporation

L'établissement du bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres nous permette Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU nul aussi durant toute l'année

- Les forages de champ captant est alimenté à la nappe continentale intercalaire.
- La zone d'In Salah est un exutoire de SSAS par les forages et les foggaras (artisanales)
- les forages réalisés dans cette région ont mis en évidence des terrains constitués dans l'ensemble, de grès argileux, d'argile sableuse, de grès et de sables, d'argile gréseuses rouges

La nappe dans la région est caractérisée par une épaisseur de 300 à 400, cette dernière est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux et argilo-gréseux du Crétacé Inférieur

- Le niveau statique dans le champ captant varie entre 114,12 m et 123,3m
- L'alimentation réelle de la région est de plateau Tademaït (Nord vers le Sud)

L'utilisation de différentes méthodes de classifications des eaux souterraines de champ captant telles que les classifications de Piper et Schoeller – BerkaloﬀWilcox, Reverside montrent

- L'existence des faciès chimique dominants qui sont les faciès chloruré sodique et sulfate sodique
- La dureté plus importante et forte minéralisation est due à la géologie de la nappe CI et du terrain et à la formation
- Des eaux sont chargées en sels et qu'elles présentent un danger de salinité forte (C3 et C4). Avec un danger d'alcalinisation assez appréciable (S2.) .

Selon les normes de l'O.M.S et les normes algériennes, les eaux de la nappe du continental intercalaire dans le champ captant sont d'une potabilité faible

Du point de vue, les eaux souterraines des forages sont de qualité médiocre, ce qui rend ces eaux chimiquement appropriées à l'irrigation mais pour des plantes résistantes (palmeraies)

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

OSS.(2003) : Système d'aquifère de Sahara septentrional une conscience de bassin

BG STOKY(2004) : Etude d'avant-projet détaillé de l'alimentation en eau potable de la ville de Tamanrasset à partir de In Salah

Belhamdo .(2013) : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe continentale intercalaire de la région d'In Salah

BEN ALI .(2013) : L'efficacité de traitement des eaux naturelles issues de la nappe continentale intercalaire au niveau d'In Salah

Ben Yazza (2014) : Evaluation des faciès hydrochimiques des eaux souterraines de la région d'In Salah (Wilaya de Tamanrasset)

Bekkouche (2016) : Qualité et cartes d'état des faciès des eaux souterraines de la région de Bordj Omar Driss Wilaya d'Illizi

Bahous. et Merzougui (2004) : Rapport de mission d'inventaire In Salah

ANRH.ADRAR : Alimentation en eau potable de la ville de Tamanrasset à partir d'In Salah, Rapport de 24 forages de 1^{re} champ captant

Bousboula(2013) : Rapport de transfert d'eau potable In-Salah – Tamanrasset, ou les ratés d'un projet ambitieux

Hidaouiet Louannas (2015) : Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar(Touat)

Zaghtou2011: Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans la région d'Adrar (Touat)

Novascotia (2008) : crétaire de l'eau corrosive

Kouamé Xavier KOUASSI. (2011) Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau de la région centre: cas du département de Didiévi en Côte d'Ivoire

Kamagaté B. (2006) : Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin: bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé). Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 319p.

Alassane A. (2004) : Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (sud du Bénin) : identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle.

Gouaidia L. (2008) : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride,

Kouassi(2012) : Analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du N'Zi-Comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire).

www.lenntech.fr: Norme de l'OMS sur l'eau potable

ANNEXES

Annex 02 :

Description lithologique des forages

Forage A04 :

| Coupe lithologique | profondeur(m) | Description lithologique |
|--------------------|---|---|
| | 0 | Grès rouge siliceux dur et QIQ gravier fin siliceux |
| | 15 | Grès rouge siliceux dur et QIQ gravier fin siliceux |
| | 20 | Sable moyen à fin et Grès mi dur et QIQ gravier fin siliceux |
| | 58 | Sable moyen à fin et Grès mi dur et QIQ gravier fin siliceux |
| | 105 | Grès rouge tendre et QIQ gravier fin siliceux a passé d'argile rouge et sable fin |
| | 126 | Sable moyen à grossier et QIQ gravier fin à moyen |
| | 142 | Gravier fin siliceux sableux |
| | 149 | Grès bruns, sable fin et argile brune |
| | 166 | Sable hétérogène et QIQ gravier siliceux fin |
| | 174 | Calcaire blanc siliceux et un peu de sable fin |
| | 179 | Grès rougeâtre mi dur siliceux |
| | 205 | Argile rouge légèrement gréseuse 85/ 15 % et calcaire blanc à passé de Grès dur siliceux |
| | 211 | Sable fin argileux et gravier fin siliceux, peut Grès mi dur, QIQ gravier fin et d'argile grisâtre |
| | 220 | Argile rouge légèrement gréseuse (80/ 20%), peut de Grès dur et QIQ gravier fin et d'argile grisâtre |
| | 230 | Argile schisteuse violette et rouge, QIQ gravier fin siliceux et peut de sable fin argileux |
| | 249 | Sable moyen à grossier graveleux et Grès friables et trace d'argile rouge |
| | 255 | Argile rouge légèrement gréseuse (80/ 20%) avec présence de calcaire siliceux et QIQ gravier fin siliceux |
| | 263 | Sable fin argileuse, QIQ gravier fin et trace de calcaire dur et gypse |
| | 273 | Grès rouge mi dur, argile rouge gréseuse, QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| | 278 | Argile rouge silteuse à passage des argiles rouges et QIQ gravier fin siliceux |
| | 280 | Grès argileux à passage des argiles et gravier fin siliceux |
| | 304 | Argile gréseuse rouge (75/25%) à passage d'argile rouge et QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| | 312 | Grès rouge argileux (75/25%), QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| | 314 | Argile marron, peu de Grès rouge, QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| | 335 | Grès argileux, QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| | 400 | Sable fin argileux (80/20%) à passage des argiles violette, QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| | 415 | Grès friable peu graveleux, argile schisteuse violette et grisâtre |
| | 418 | Argile violette et grisâtre schisteuse, peu de Grès friable et QIQ gravier fin siliceux |
| 426 | Grès friables graveleux à passage de Grès mi dur et argile schisteuse violette et grisâtre et verdâtre | |
| 433 | Argile schisteuse violette et grisâtre et Grès fins rouges et peu de gravier fin siliceux | |
| 436 | Grès rouge friable graveleux, argile violette et grisâtre schisteuse et QIQ gravier fin siliceux | |
| 444 | Grès fin rouge friable, à passage d'argile violette et grisâtre schisteuse | |
| 477 | Argile schisteuse violette et grisâtre, argile rouge et peu de Grès fin | |
| 483 | Grès fin friables, argile schisteuse violette et grisâtre et argile rouge | |
| 499 | Sable hétérogène, peu de gravier fin à moyen siliceux et trace des argiles schisteuses violettes et grisâtres | |
| 516 | Grès rouges friables, gravier fin à moyen et passage d'argile schisteuse violette et grisâtre | |
| 524 | Argile graveleux et passage d'argile verdâtre, argile schisteuse violette et grisâtre et QIQ gravier fin | |
| 603 | Grès fin, sable hétérogène, peu d'argile, peu d'argile schisteuse violette et trace d'argile de verdâtre et gypse | |

Forage A05 :

| Coupe lithologique | Base (m) | Description lithologique |
|--------------------|----------|---|
| 0 | | |
| 20 | 9 | Grès dur, sable et quelque grain de gravier siliceux |
| 40 | 99 | Grès friables à dur et quelques grains de gravier siliceux |
| 60 | | |
| 80 | 143 | Sable hétérogène (grossier à fin) siliceux avec gravier fin à moyen siliceux, peu de Grès friable et rarement quelque grain de Grès dur |
| 100 | 160 | Gravier très siliceux avec sable et très peu de Grès friable |
| 120 | | |
| 140 | 180 | Sable hétérogène siliceux à passage d'argile, gravier siliceux, peu de Grès dur et de Grès tendre et quelque grain de gravier siliceux |
| 160 | 303 | Grès tendres argileux, sable et argile, peu de Grès dur et quelque grain de gravier siliceux |
| 180 | | |
| 200 | 328 | Sable fin |
| 220 | 361 | Grès tendre avec argiles violettes et brunâtres et gravier quartzitique |
| 240 | | |
| 260 | 378 | Sable grossier et gravier de quartz |
| 280 | 422 | Grès tendre, argiles rouge brique, graviers plus ou moins grossiers et quelques particules de gypse |
| 300 | | |
| 320 | 442 | Argile gréseuse et quelque gravier de quartz |
| 340 | 450 | Argile de couleur violette parfois verdâtre et gravie plus ou moins grossier |
| 360 | | |
| 380 | 460 | Sables grossiers, gravier de quartz, argiles sableuses et quelque passage d'argile violette |
| 400 | | |
| 420 | 472 | Grès tendre argileux, gravier de quartz et quelque particule de gypse |
| 440 | | |
| 460 | 506 | Sables grossiers et gravier de quartz |
| 480 | 552 | Argiles brique parfois verdâtre |
| 500 | 557 | Grès tendre, gravier quartzitique siliceux, trace d'argile avec présence de gypse |
| 520 | | |
| 540 | 566 | Grès argileux |
| 560 | 579 | Grès tendre et gravier |
| 580 | | |
| 600 | 600 | Sable grossier et gravier |

Forage A06 :

| Coupe lithologique | Base (m) | Description lithologique |
|--------------------|----------|---|
| 0 | 12 | Grès dur siliceux et gravier moyen siliceux |
| 20 | 19 | Gravier fin siliceux |
| | 21 | Grès rouge tendre, argile rouge et gravier fin |
| 40 | 30 | Sable fin jaune siliceux, argile rouge et un peu de gravier fin |
| 60 | 58 | Sable fin, Grès dur et QIQ grain du gravier moyen |
| 80 | 98 | Sable rouge argileux 75 - 25 % et QIQ gravier siliceux fin |
| 100 | 151 | Gravier moyen siliceux et sable fin |
| | 169 | Sable fin à moyen argileux et QIQ grain de gravier fin siliceux |
| 120 | 177 | Calcaire blanc siliceux et un peu de sable fin |
| | 182 | Grès rougeâtre mi dur siliceux |
| 140 | 200 | Argile rouge gréseuse 70 / 30% et calcaire blanchâtre |
| 160 | 208 | Argile rouge gréseuse, calcaire siliceux dur, trace d'argile grisâtre et violette, QIQ grain du gravier fin et trace de gypse |
| 180 | 214 | Sable fin argileux et gravier fin siliceux, peut Grès mi dur, QIQ gravier fin et d'argile grisâtre |
| 200 | 232 | Argile rouge sableuse, Trace d'argile rouge et grisâtre, QIQ gravier fin et QIQ grain de gypse |
| 220 | 249 | Sable moyen à fin et argile schisteuse violette et rouge, QIQ gravier fin |
| 240 | 253 | Grès friable, sable moyen, gravier fin et argile schisteuse grisâtre |
| | 256 | Argile rouge légèrement gréseuse (80/ 20%) avec présence de calcaire siliceux et QIQ gravier fin siliceux |
| | 258 | Grès friable et calcaire siliceux et QIQ gravier fin siliceux |
| 260 | 266 | Sable fin argileuse, QIQ gravier fin et trace de calcaire dur et gypse |
| 280 | 289 | Grès rouge mi dur, argile rouge gréseuse, QIQ gravier fin siliceux, trace de gypse et argile grisâtre |
| 300 | 306 | Sable rouge fin à moyen, Grès siliceux dur, QIQ gravier fin et trace d'argile grisâtre grisâtre |
| 320 | 315 | Sable rouge fin, gravier fin siliceux et Grès dur et trace des argiles grisâtre |
| 340 | 318 | Argile schisteuse violette et rouge, QIQ gravier fin siliceux et peut de sable fin argileux |
| 360 | 325 | Sable rouge moyen à fin, QIQ gravier fin siliceux, et argile rouge |
| 380 | 329 | Argile schisteuse violette, sable rouge fin Argileux (80/20%) |
| | 341 | Sable moyen à grossier, QIQ gravier fin siliceux et argile schisteuse violette |
| 400 | 351 | Argile schisteuse violette, QIQ gravier fin Siliceux |
| | 360 | Sable moyen à grossier, QIQ Gravier fin siliceux et argile violette et trace de gypse |
| 420 | 367 | Grès fin Argileux, argile schisteuse violette, QIQ gravier fin siliceux et grains gypse |
| 440 | 378 | Sable moyen à grossier et gravier fin siliceux et peu d'argile schisteuse violette et trace de gypse |
| | 400 | Argile schisteuse violette et grisâtre, peu de sable fin rouge argileux et QIQ grain de gypse |
| 460 | 417 | Sable grossier à moyen, gravier fin siliceux et peu d'argile schisteuse violette et grisâtre |
| 480 | 446 | Argile schisteuse grisâtre, QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| 500 | 453 | Sable fin et Argile schisteuse violette et grisâtre et QIQ grain de gravier fin |
| 520 | 528 | Gravier fin siliceux et sable moyen à grossier et peu d'argile violette et grisâtre |
| 540 | 540 | Argile schisteuse violette et verdâtre et QIQ gravier fin siliceux |
| 560 | 564 | Sable moyen à grossier et gravier moyen à fin siliceux et peu d'argile violette et grisâtre et gypse |
| 580 | 572 | Argile gréseuse avec grain de gypse |
| | 588 | Sable moyen, gravier fin siliceux et peu d'argile schisteuse |
| 600 | 595 | Argile gréseuse violette et grisâtre avec de gravier moyen à fin siliceux |
| | 603 | Sable + argile violette gypseuse et gravier moyen à fin siliceux |

Forage F05 :

| Coupe lithologique | Base (m) | Description lithologique |
|--------------------|----------|--|
| 0 | 1 | Sable moyen à grossier et gravier fin siliceux |
| 15 | 19 | Grès fin tendre |
| | 24 | Sable moyen à grossier |
| 30 | 26 | Gravier fin siliceux et sable grossier et peu de grès dur siliceux |
| 45 | 30 | Sable moyen à fin argileux et QIQ gravier fin et peu d'argile rouge |
| | 34 | Sable moyen à grossier et gravier fin argileux et trace d'argile rouge |
| 60 | 38 | Gravier fin siliceux et sable grossier et trace de grès dur siliceux |
| | 54 | Grès tendre |
| 75 | 57 | Gravier fin siliceux et sable grossier et trace d'argile rouge |
| | 60 | Grès dur en bille et gravier fin siliceux et peu de sable moyen |
| 90 | 69 | Grès tendre graveleux et argile marron et grise et grain de gypse |
| 105 | 73 | Grès siliceux dur et gravier fin et argile marron et grise et grain de gypse |
| | 78 | Grès fin argileux, QIQ gravier fin siliceux avec présence des argiles violette et rouge et de grain de gypse |
| 120 | 124 | Grès grossier tendre et grain de gypse |
| 135 | 131 | Grès grossier tendre graveleux et grain de gypse |
| | 146 | Sable grossier et gravier fin siliceux |
| 150 | 153 | Grès tendre |
| | 163 | Sable grossier et gravier fin siliceux et peu d'argile rouge et brun |
| 165 | 167 | Gravier fin légèrement argileux et sable grossier |
| 180 | 171 | Argile violette et QIQ gravier fin siliceux |
| | 176 | Gravier fin argileux et peu de grès siliceux dur et grain de gypse |
| 195 | 188 | Grès dur siliceux et gravier fin et trace d'argile grise |
| 210 | 190 | Grès tendre avec présence des niveaux de grès dur |
| | 193 | Grès tendre légèrement argileux et QIQ gravier fin siliceux |
| 225 | 196 | Calcaire dur et sable grossier et QIQ gravier fin |
| | 201 | Calcaire dur et argile rouge et QIQ gravier fin |
| 240 | 205 | Sable moyen à grossier et gravier fin et trace d'argile grise |
| 255 | 207 | Argile rouge plastique et grès siliceux dur |
| | 215 | Argile rouge plastique |
| 270 | 219 | Argile rouge légèrement gréseuse |
| | 229 | Argile rouge plastique et QIQ gravier fin et trace de grès dur |
| 285 | 276-286 | Argile rouge gréseuse (80/20%) et trace de gypse et peu de grès dur siliceux |
| | 297 | Sable fin rouge argileux et peu de grès siliceux dur |
| 300 | 300 | Argile rouge gréseuse et grès dur siliceux |

| | | | |
|-----|---|-----|--|
| 300 |  | 308 | Argile rouge sableuse (75/25%) et peu de grés dur siliceux et trace d'argile grisâtre |
| 315 |  | 326 | Sable fin rouge argileux et gravier fin siliceux |
| 330 |  | 339 | Gravier fin siliceux, peu de sable fin argileux et trace de gypse et argile brunâtre |
| 345 |  | 344 | Argile rouge gréseuse, QIQ gravier fin siliceux avec présence de grés dur siliceux et trace de gypse |
| 360 |  | 347 | Argile rouge peu gréseuse, QIQ gravier fin siliceux et peu d'argile brunâtre et trace de gypse |
| 375 |  | 355 | Sable rouge fin argileux, QIQ gravier fin siliceux et argile brunâtre et trace de gypse |
| 390 |  | 357 | Sable fin et argile brunâtre, QIQ gravier fin siliceux et trace de gypse |
| 405 |  | 361 | Argile rouge sableuse (75/25%), QIQ gravier fin siliceux et argile brunâtre et trace d'argile grisâtre |
| 420 |  | 375 | Sable fin rouge argileux, QIQ gravier fin siliceux, argile brunâtre et trace de gypse |
| 435 |  | 381 | Argile rouge gréseuse, QIQ gravier fin siliceux, argile grisâtre et trace de gypse |
| 450 |  | 385 | Sable fin argileux et argile schisteuse violette et QIQ gravier fin siliceux |
| 465 |  | 400 | Argile schisteuse violette et grisâtre, QIQ gravier fin siliceux et peu de sable moyen à fin |
| 480 |  | 410 | Sable moyen à grossier et trace d'argile violette et grisâtre et QIQ gravier fin |
| 495 |  | 414 | Argile schisteuse violette et grisâtre, trace d'argile verdâtre et de sable moyen à fin et QIQ gravier fin |
| 510 |  | 424 | Argile schisteuse violette et grisâtre, argile marron et QIQ gravier fin siliceux |
| 525 |  | 428 | Sable fin argileux et argile schisteuse violette et grisâtre et trace de gypse |
| 540 |  | 430 | Argile schisteuse violette et grisâtre, argile marron et sable moyen à fin et QIQ gravier fin |
| 555 |  | 435 | Sable moyen à grossier et peu d'argile violette et grisâtre, gravier fin siliceux et trace de gypse |
| 570 |  | 450 | Grés rouge tendre graveleux et argile schisteuse violette grisâtre et trace de gypse |
| 585 |  | 462 | Argile schisteuse violette et grisâtre, QIQ gravier fin siliceux et grain de gypse |
| 600 |  | 491 | Grés rouge tendre et peu d'argile schisteuse violette grisâtre et QIQ gravier fin siliceux |
| |  | 515 | Sable grossier à moyen, gravier fin siliceux et peu d'argile violette et grisâtre et trace de gypse |
| |  | 526 | Grés rouge tendre graveleux et argile schisteuse violette grisâtre |
| |  | 550 | Grés fin rouge tendre graveleux et trace d'argile violette et grisâtre et trace de gypse |
| |  | 600 | Grés rouge tendre et gravier fin siliceux et trace d'argile schisteuse violette grisâtre |

Annexe 03 :

Méthode de calcul du PH de saturation (PHs)

$$\text{pHs} = A+B-\log \text{ca}^{++} - \log \text{Alc}$$

où:

$$\text{pHs} = \text{pH de saturation en caco}_3$$

A=coefficient A de Larsen pour 20 C°, soit 2,1

B= coefficient B de Larsen pour l'influence de la for ionique μ , calculé selon l'équation suivante :

$$B = 6E-10X^3 - 1E-06X^2 + 0.0008X + 9.7028 ; \quad R^2 = 0.9911$$

Ou :

X = résidus secs filtrables, en mg/l , calculé selon l'équation suivant :

$$\text{Résidus secs filtrables } \mu / 2.5 \times 5^E - 10$$

Ou:

μ = farce ionique calculé selon l'équation suivante :

$$\mu = 1.65 \ 5E -10 \times k$$

Ou :

K = conductivité en $\mu\text{S/cm}$ a 20 °C .

ملخص :

التزايد الكبير في عدد السكان في مدينة تمنراست زادت معه الحاجة لمياه الشرب و في هذا الاطار أنجزت الدولة مشروع تحويل المياه من منطقة عين صالح نحو مدينة تمنراست. منطقة عين صالح تقع في منتصف الجنوب الجزائري شمال ولاية تمنراست تتميز بمناخها الحار تربتها الرسوبية المتنوعة. تعتبر المياه الجوفية للمجمع الألباني المورد الأساسي لمياه الشرب والسقي في المنطقة الهدف من هذا العمل دراسة نوعية مياه الابار التي تغذي مدينة تمنراست وقابليتها للشرب والسقي في هذا العمل الدراسة الهيدروكيميائية أثبتت أن المياه الجوفية عسرة ومالحة و اكثر معدنية أخذت صبغتها الكيميائية من التشكيلات الجيولوجية المتواجدة بها. قابلية هذه المياه للشرب ضعيفة وتصلح لسقي النباتات التي تتحمل الملوحة الكلمات المفتاحية: القاري المتداخل, عين صالح, مياه جوفية, كيميائية الماء,

Résumé :

L'accroissement excessif du nombre d'habitantes de la ville de Tamanrasset est augmenté sa besoin d'alimentation en eau potable on ce cadre l'état fait le projet de transfert l'eau de la la région In Salah vers la ville de Tamanrasset.

L a région d'In Salah est située au centre sud du Sahara algérien , au nord de la wilaya de Tamanrasset. cette région caractérisé par sont climat hyper aride et ses formation sédimentaire hétérogène. les eaux souterraines de CI sont la principale source pour l'alimentation en eau potable et des besoins agricoles dans la région.

L'objet de ce travail est l'étude de qualité des eaux des forages qui transfert l'eau a la ville de Tamanrasset on plus leurs potabilité et leurs l'aptitude a l'irrigation

Dans ce cas l'étude hydrochimique des eaux montre que. les eaux souterraine est très dure avec un salinité très élevé et fort minéralisation . L'eaux prend sa signature géochimique de la formation géologique qui l'encaissait , ces eaux de un potabilité faible et adapté pour irriguer les plants résistante

Mots Clés : Continentale intercalaire, In Salah, Eaux souterraines, Hydrochimie

Abstract :

The excessive increase in the number of inhabitants of the town of Tamanrasset is increased its need of supply of drinking water in this framework the project makes transfer the water of the region In Salah to the city of Tamanrasset

The In Salah region is located in the southern center of the Algerian Sahara, north of the wilaya Of Tamanrasset. This region characterized by are hyper-arid climate and its heterogeneous sedimentary formation. CI groundwater is the main source for drinking water supply and agricultural needs in the region.

The purpose of this work is to study the water quality of the wells which transfers water to the town of Tamanrasset and their potability and irrigability In this case the hydrochemical study of the waters shows that.

The groundwater is very hard with a very high salinity and high mineralization. The waters take its geochemical signature of the geological formation that encircled it, these waters of a weak potability and adapted to irrigate the plants resistant

Keywords : Continental cross, In Salah, groundwater, Water chemistry