

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 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,

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

N°	Sommaire	Page
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

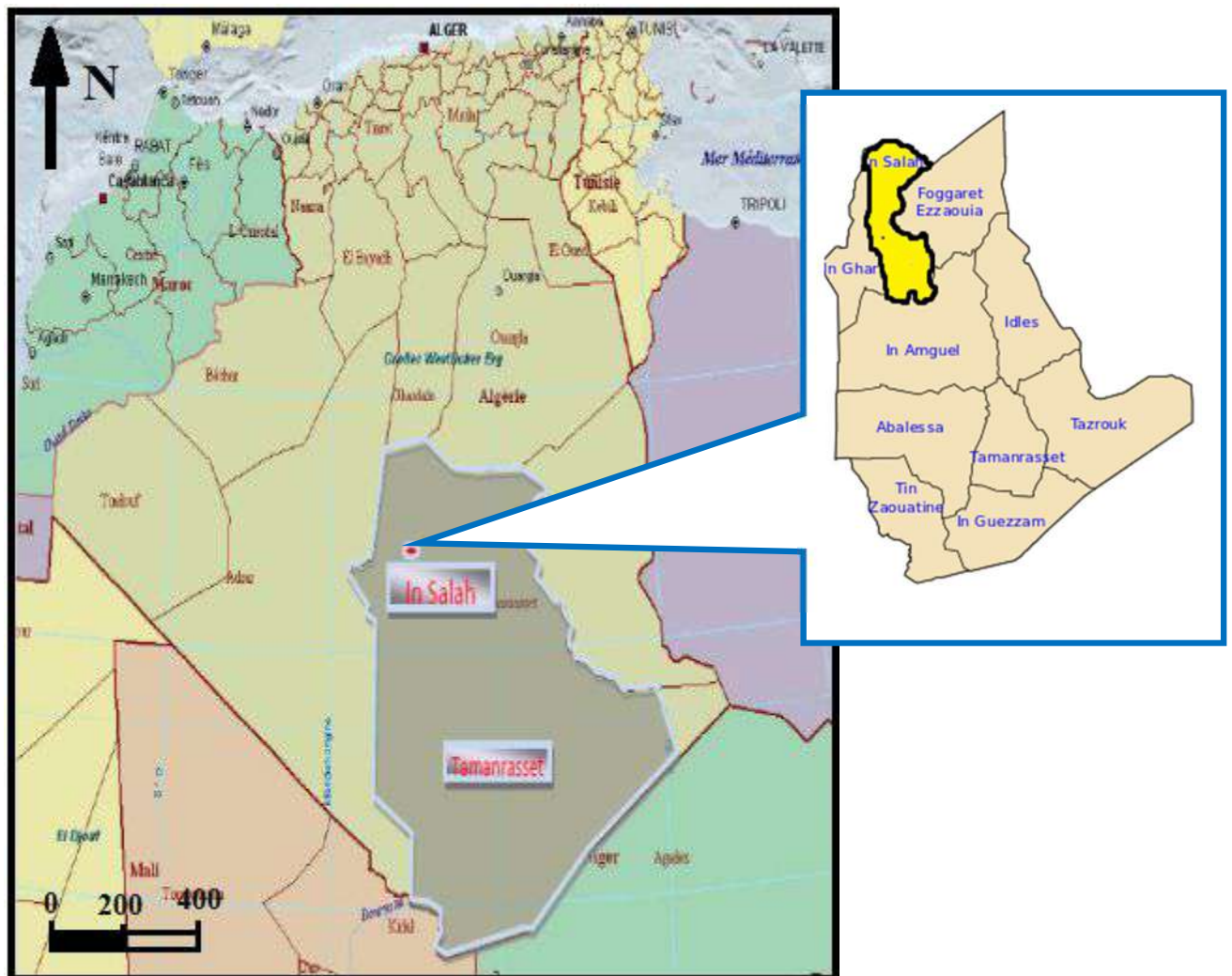


Figure.01: Carte de situation géographique de la zone d'étude

- 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.

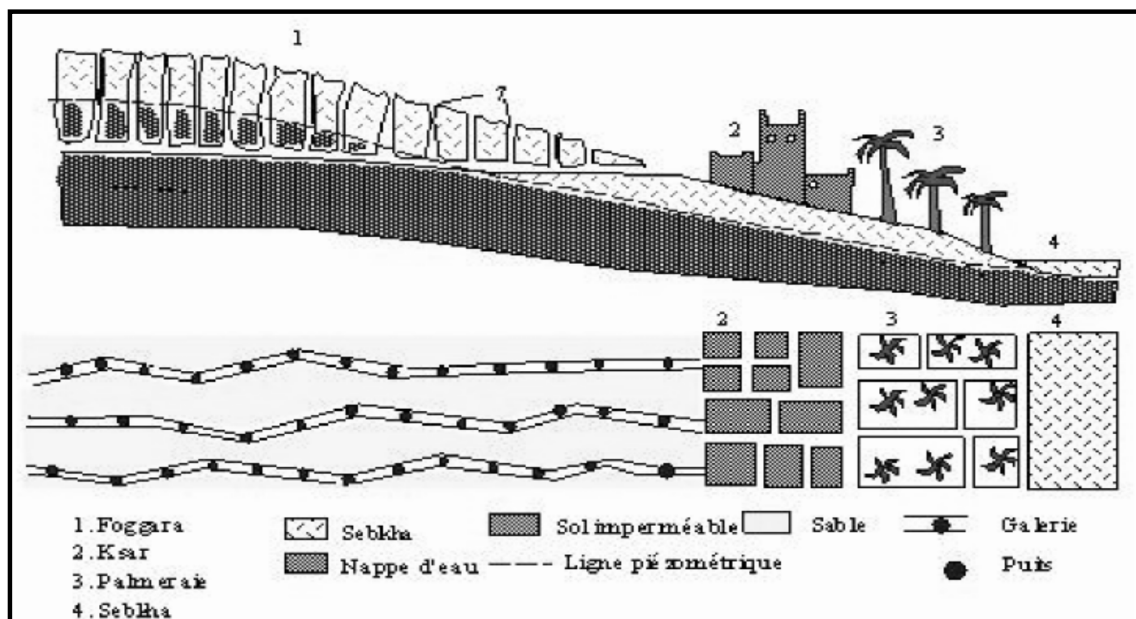


Figure.03 : Schéma de fonctionnement de la foggara

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.

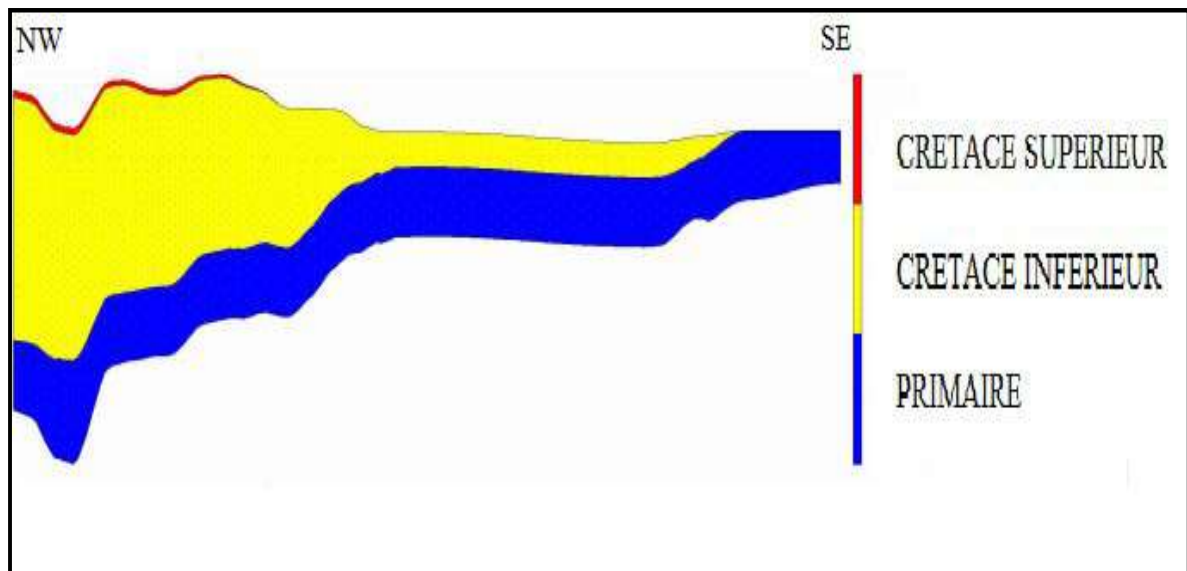


Figure.04: Coupe géologique dans la zone d'étude

- 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.

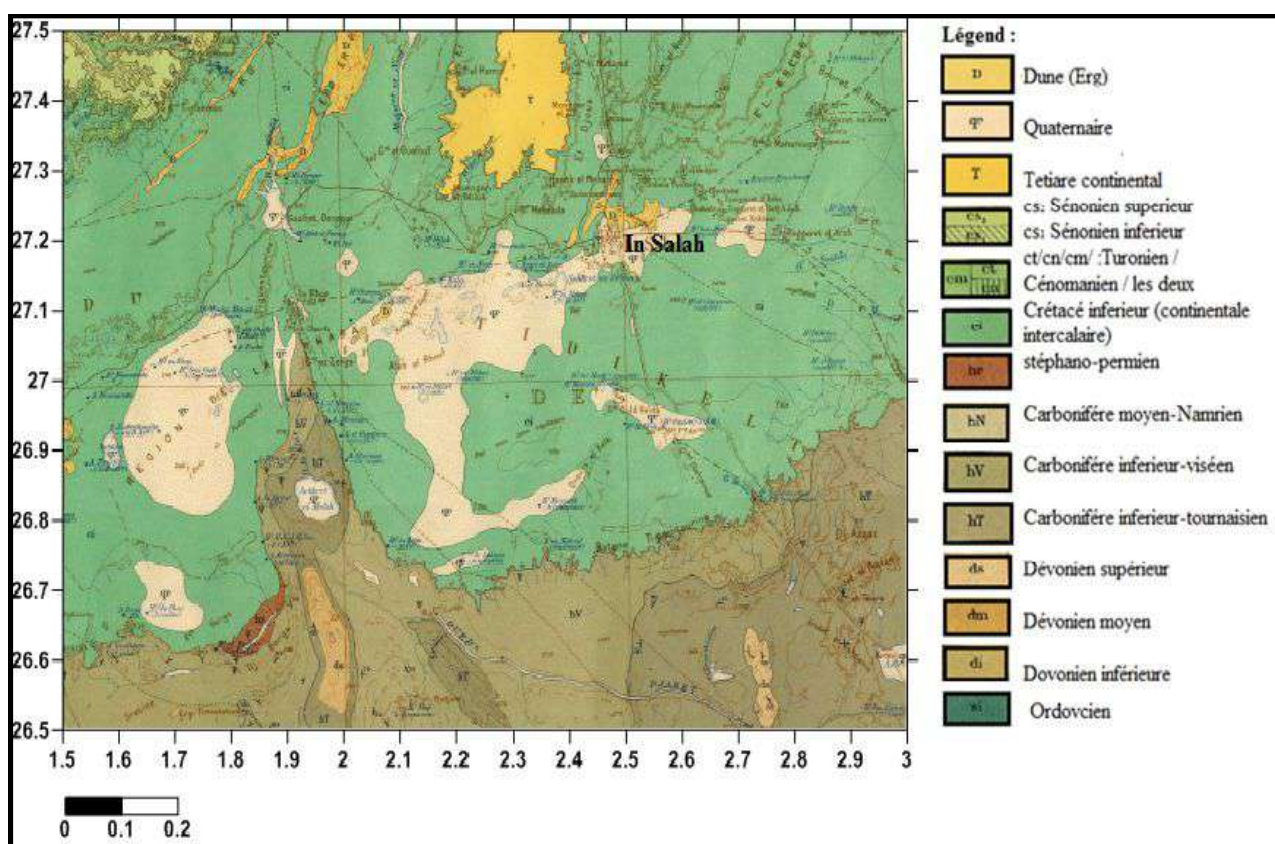


Figure.05: Carte géologique de la région In Salah (ANRH. Ouargla)

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

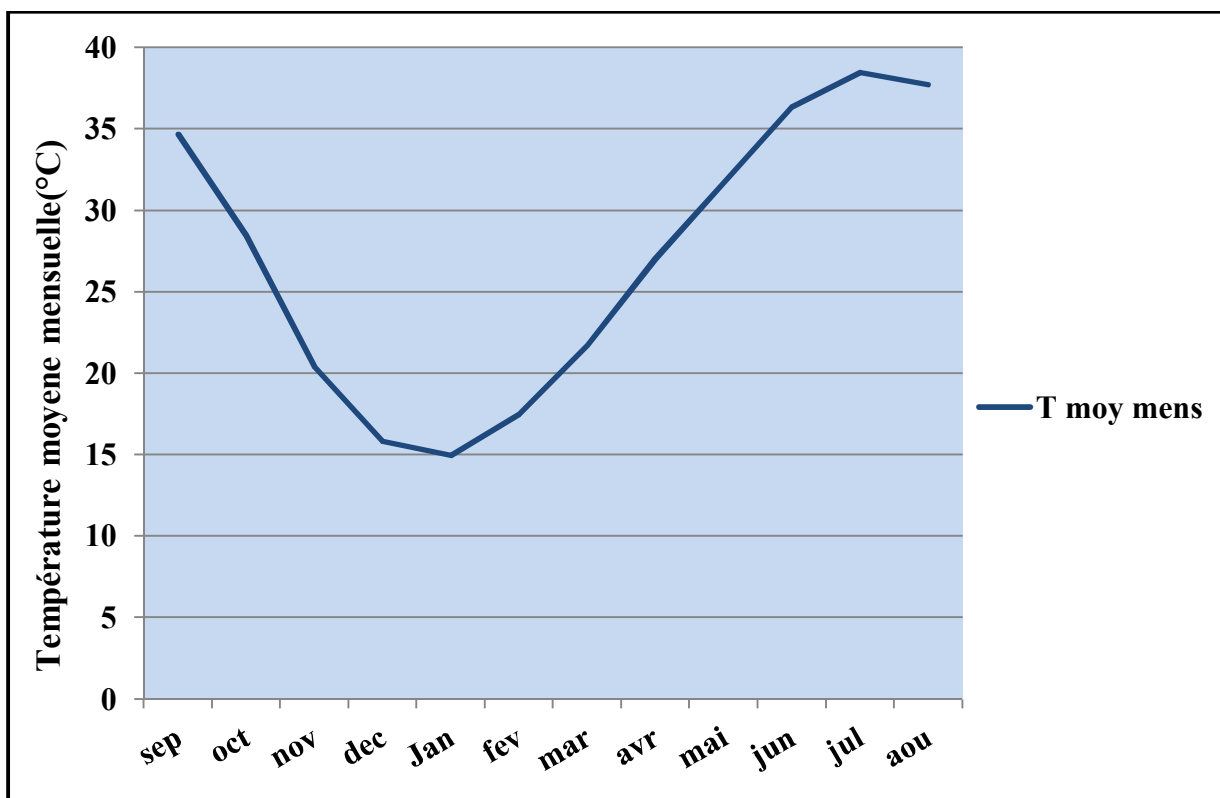


Figure.07: Température moyenne mensuelle en °C de période 2007-2016

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

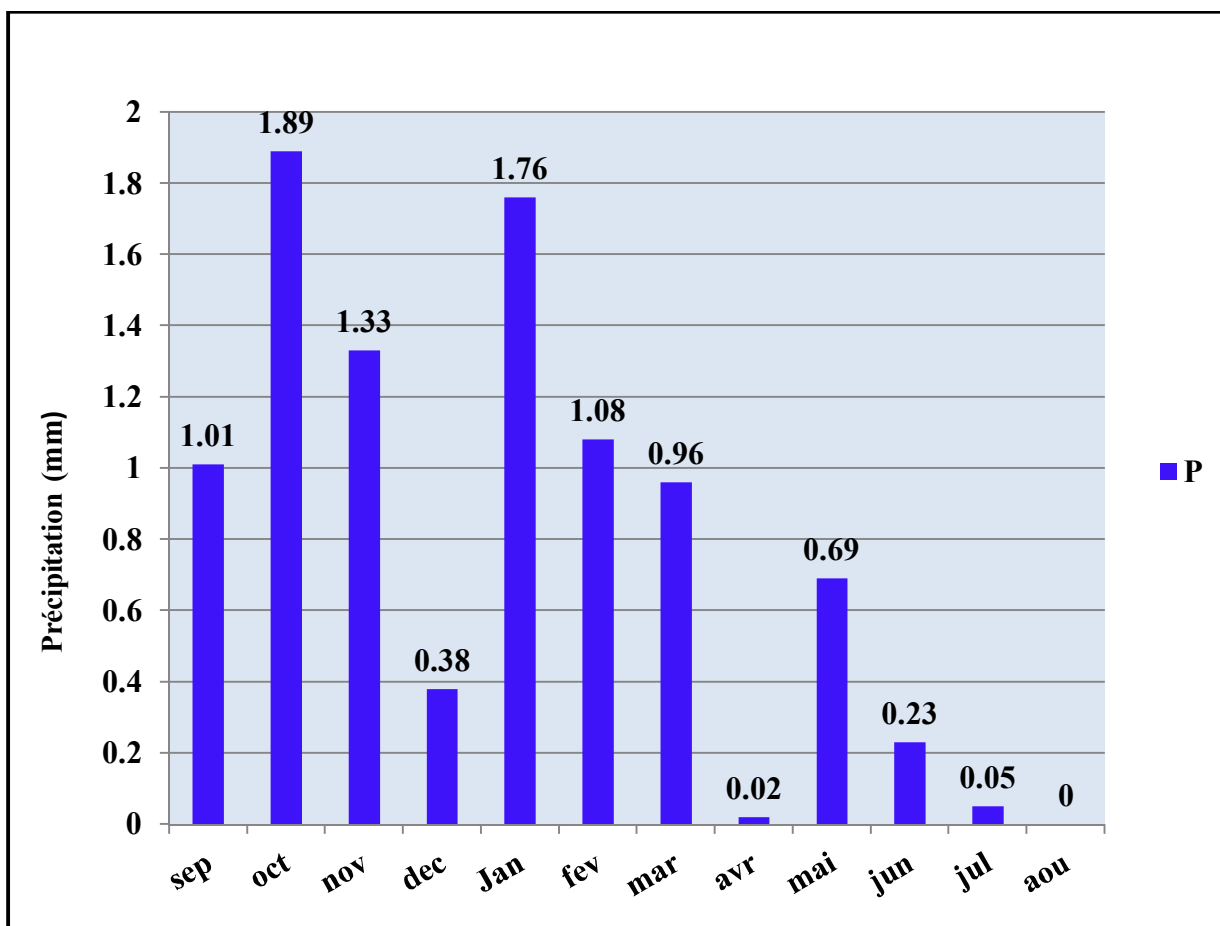


Figure.08: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) pour lapériode 2007-2016

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

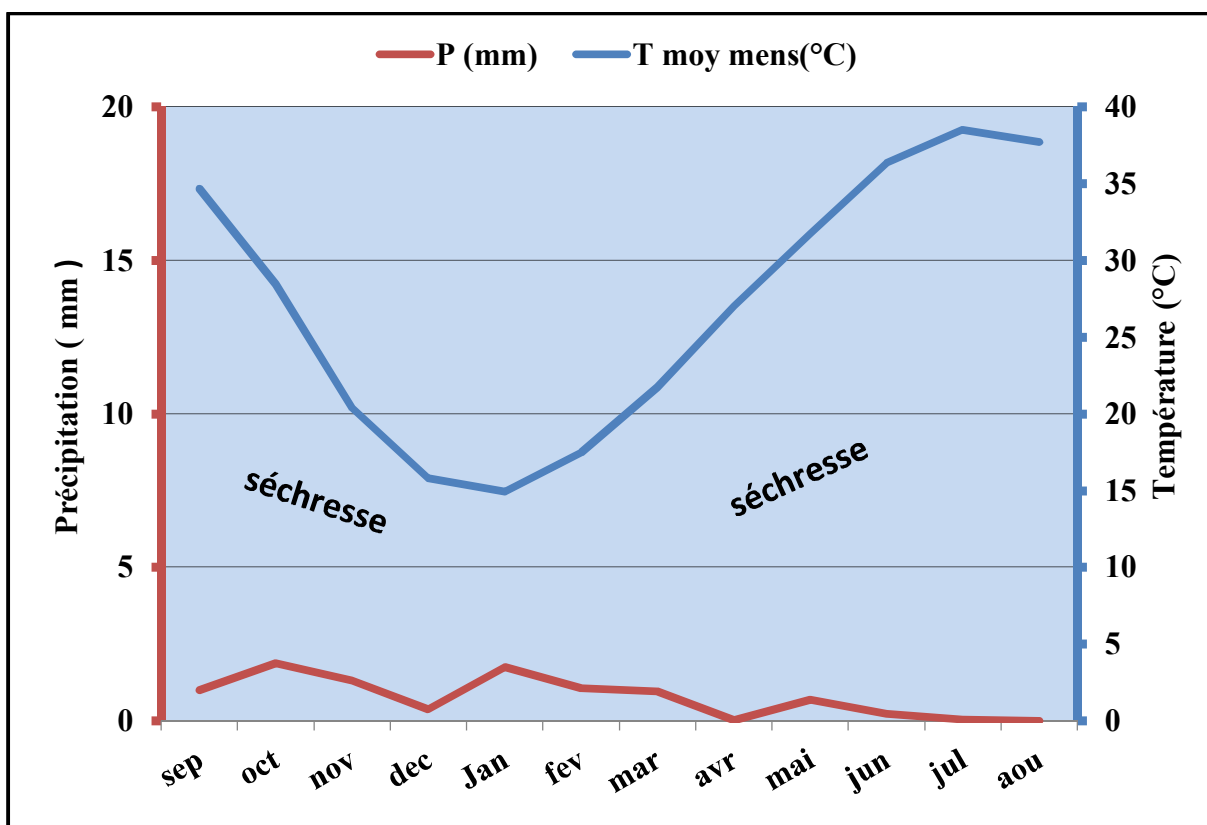


Figure.09: Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN de la région d'In Salah

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

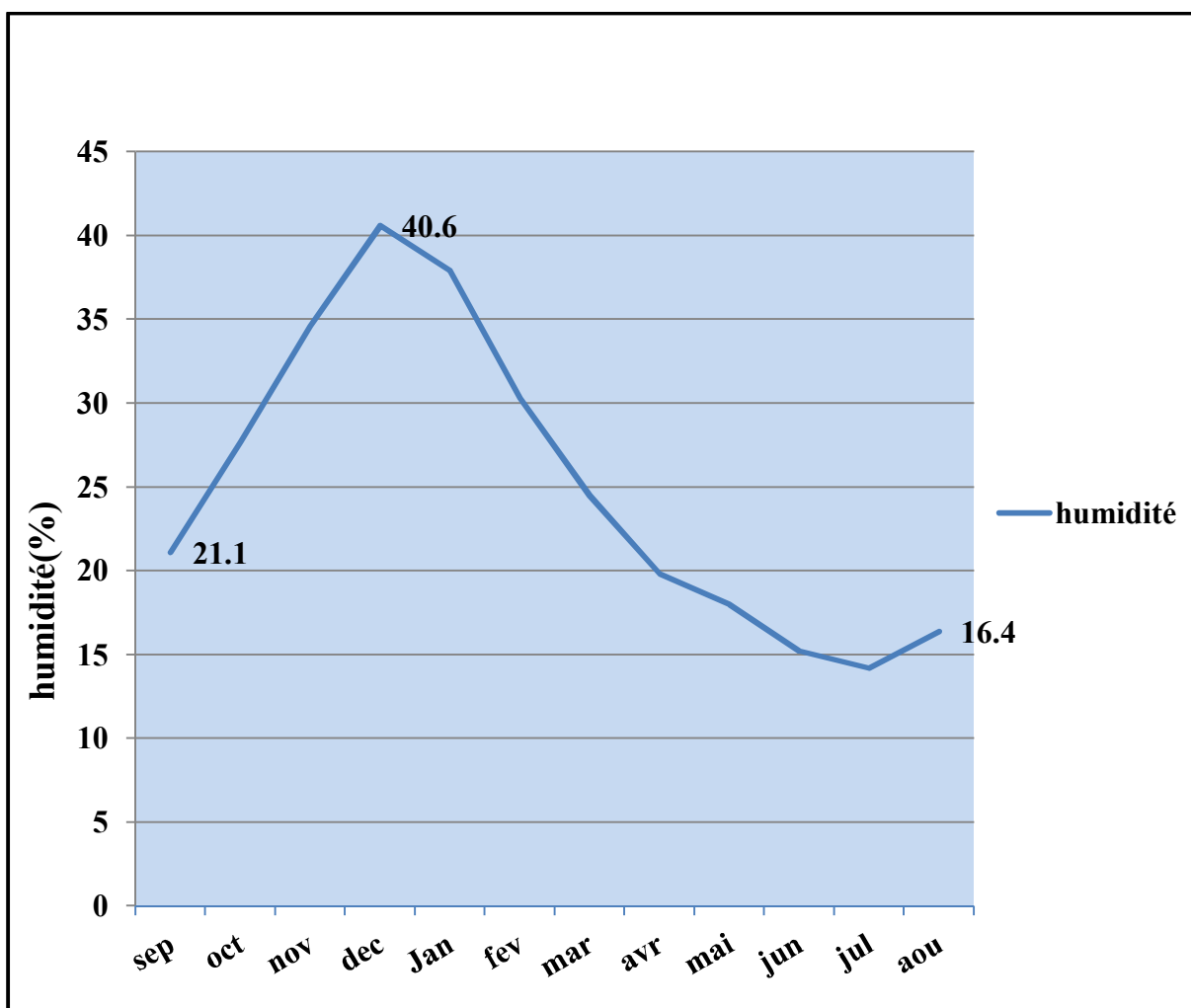


Figure.10: humidité relative moyennes mensuelle (%)

Selon le courbe généralement notre région caractérise pare 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

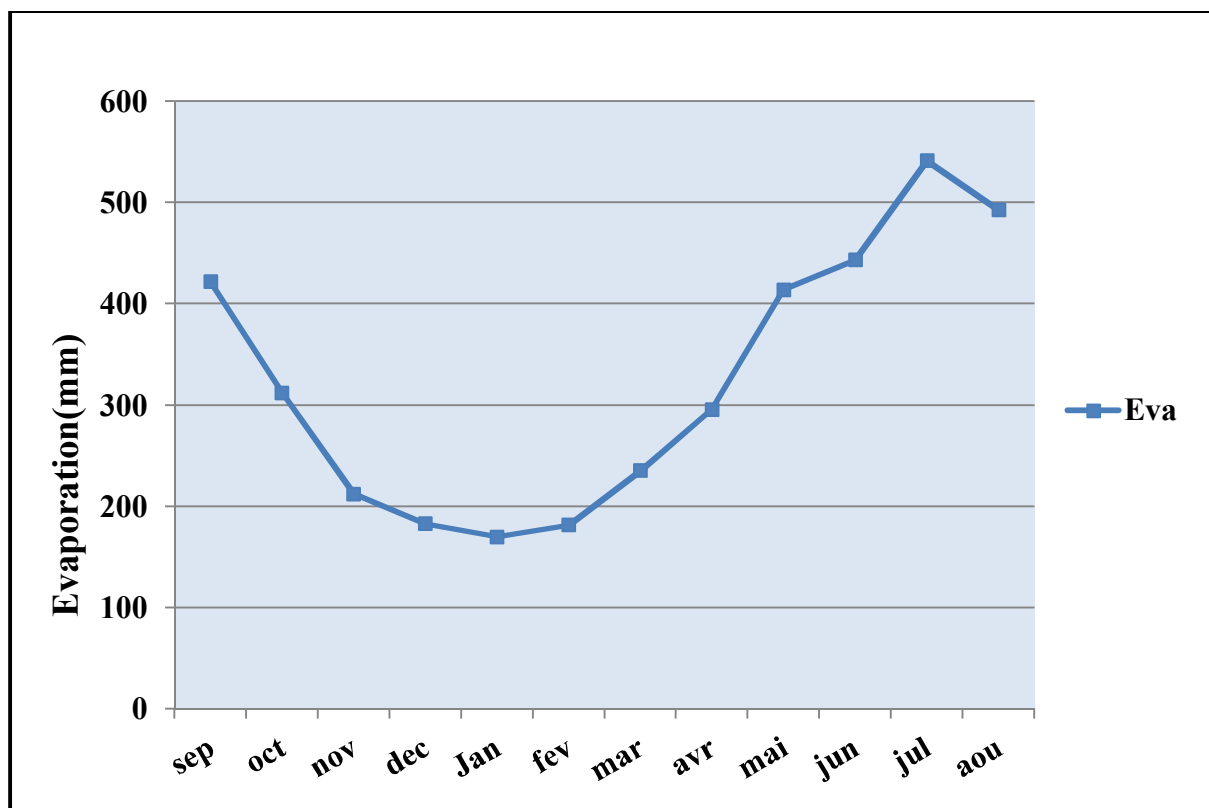


Figure.11 : Evaporation moyennes mensuelle (mm)

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 :

$$ETP (mm) = 16 (10T/I)^{3*}K$$

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 a 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 Thornthwait 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

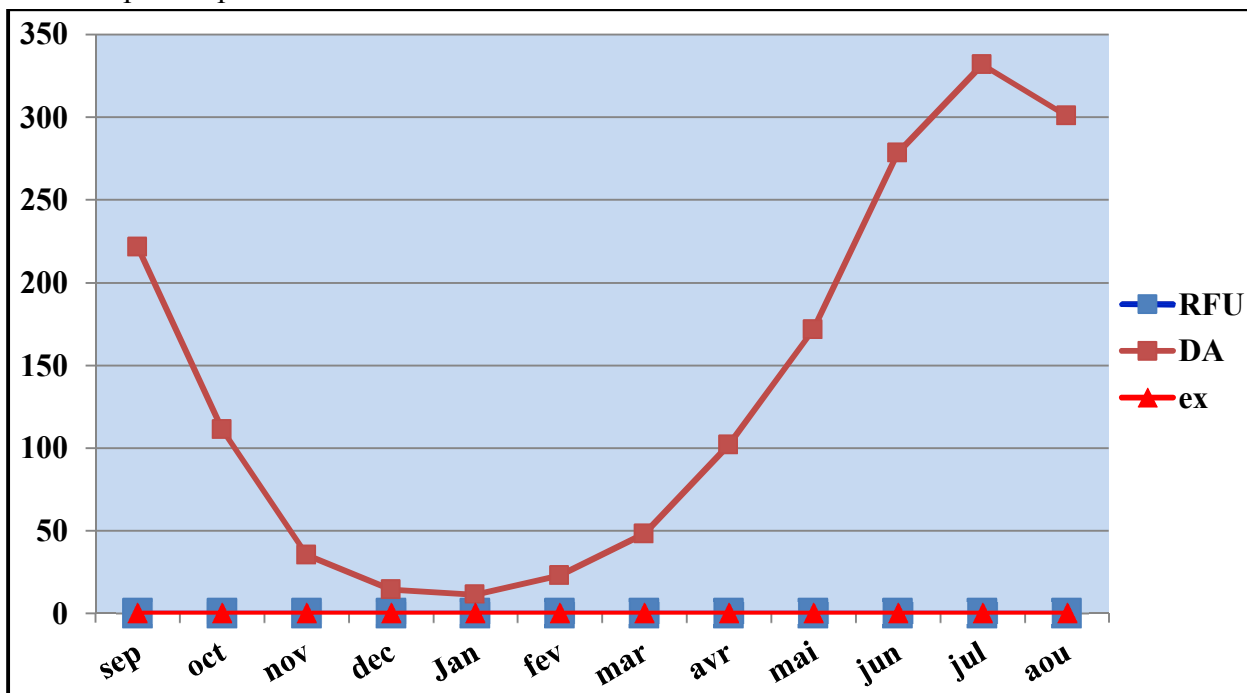


Figure.12 : la présentation des bilans hydrique de la région d’In Salah

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 <A < 30

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**.

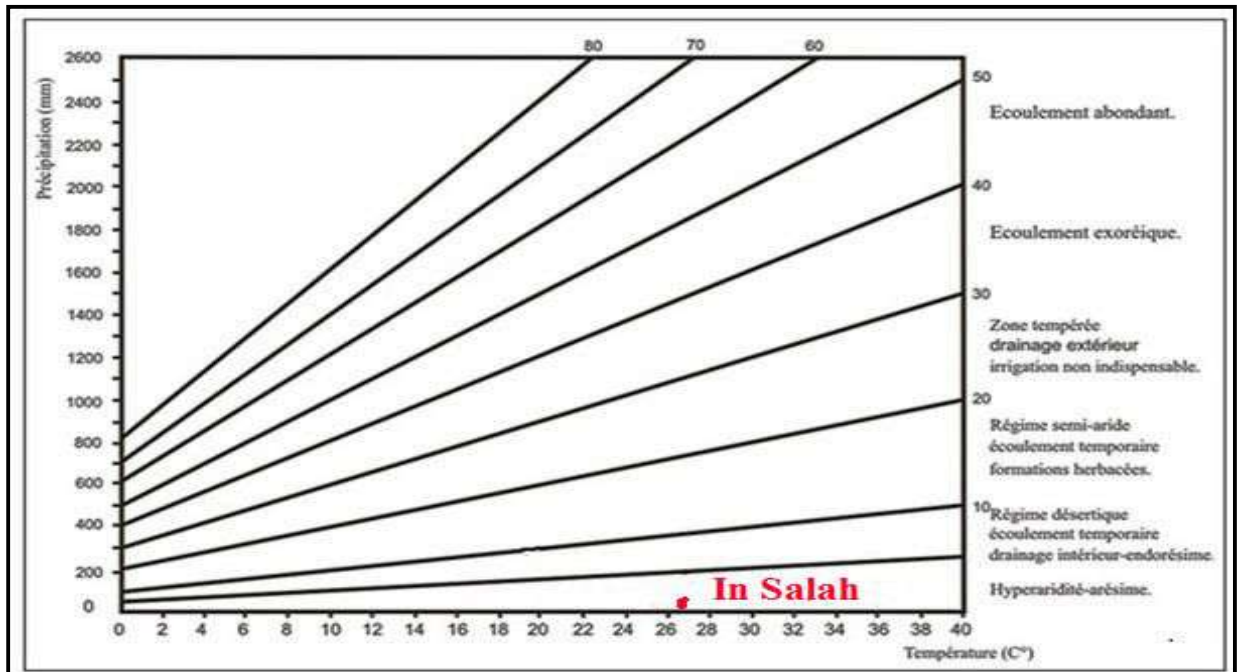


Figure.13: Abaque de l'indice d'aridité annuel De MARTONE.

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 un 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.

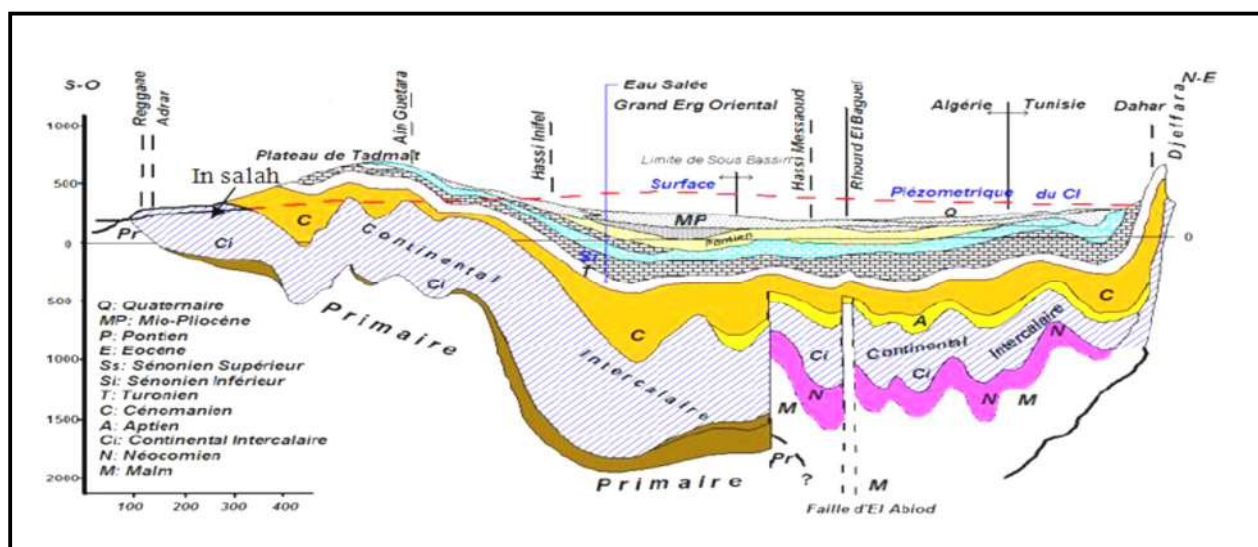


Figure.14: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (UNESCO 1972)

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)

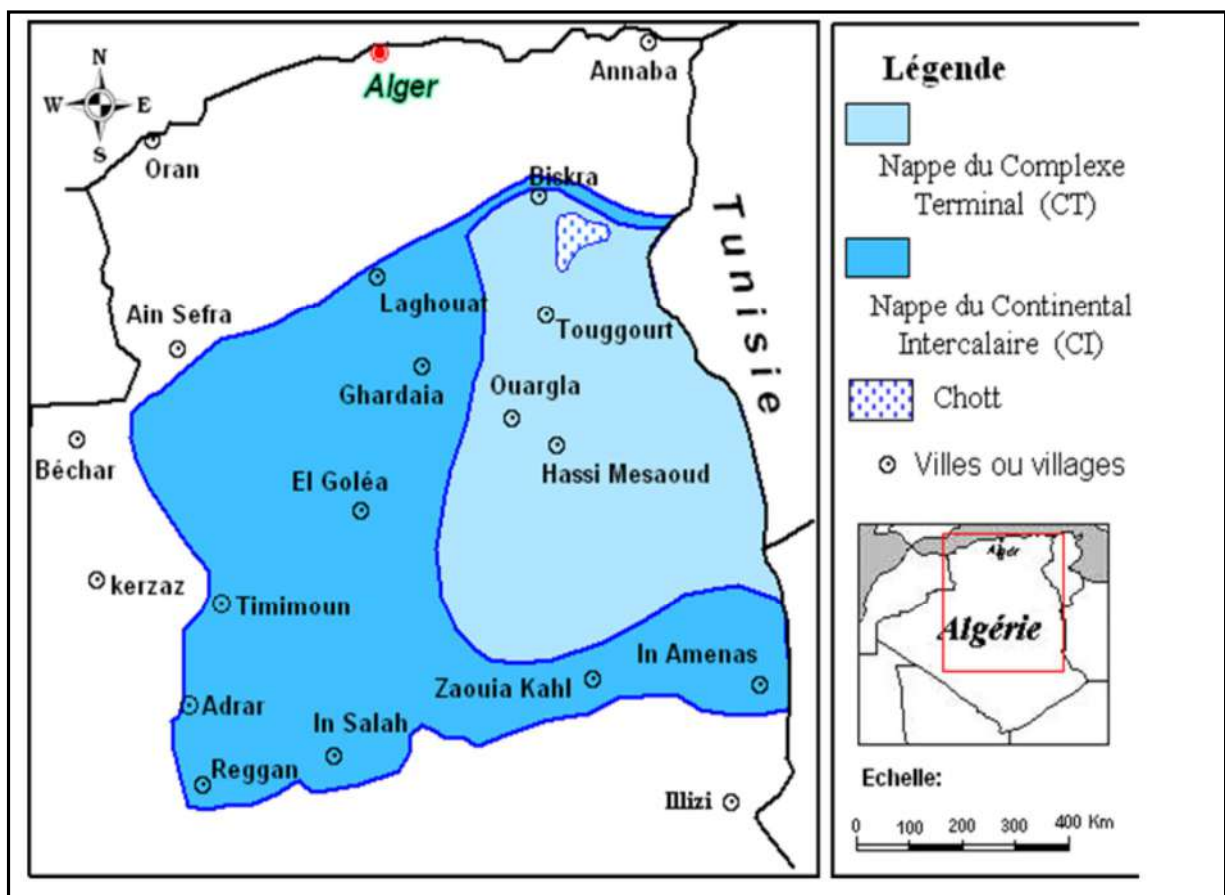


Figure.15: Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)

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.

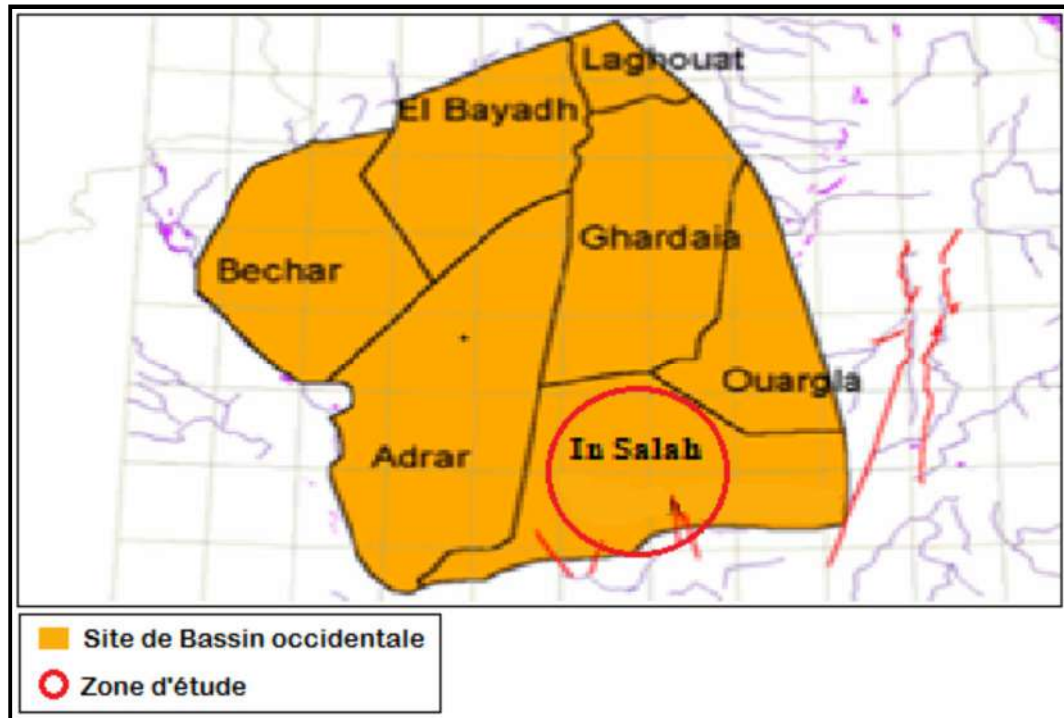


Figure.16: bassin occidentale de le SSAS.

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.

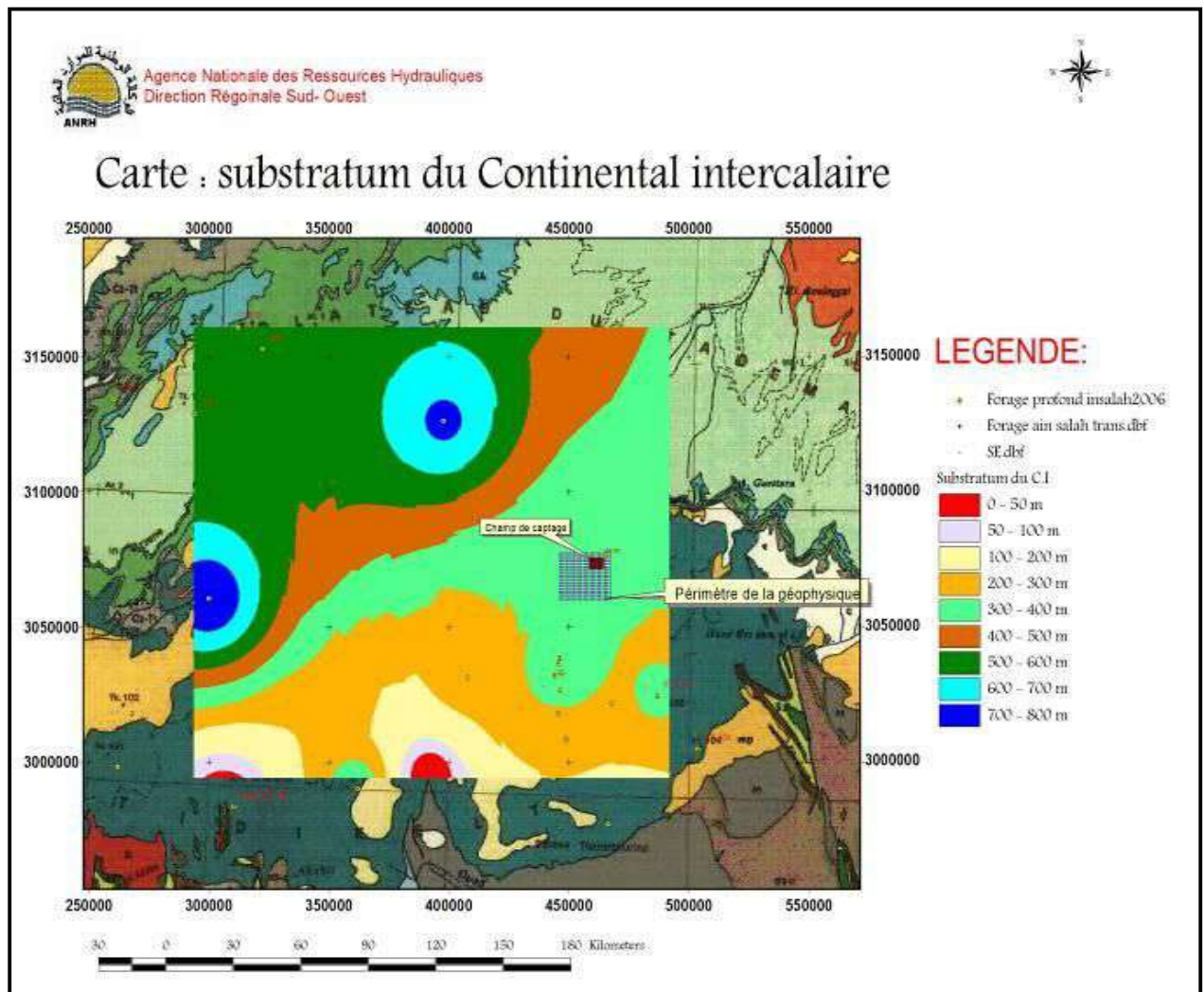


Figure.17 : Carte de substratum de CI dans la région d'étude (ANRH-DRSO-ADRAR)

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:

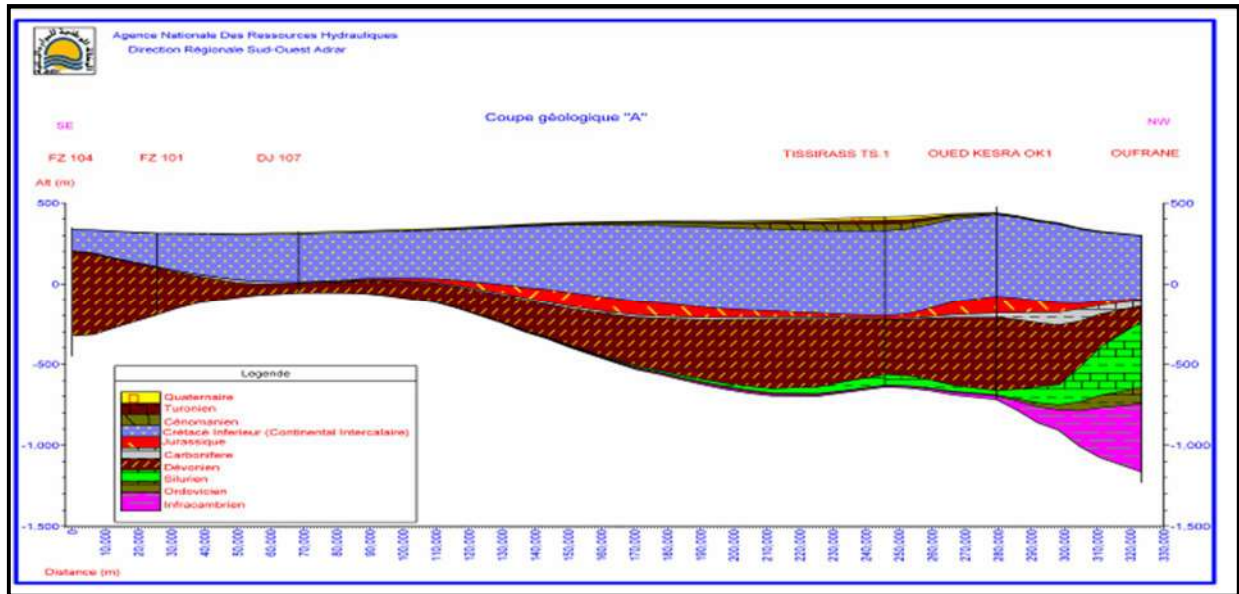


Figure.18:La coupe géologique (A) traverse la région d'étude SE au NW. (ANRH.ADRAR)

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:

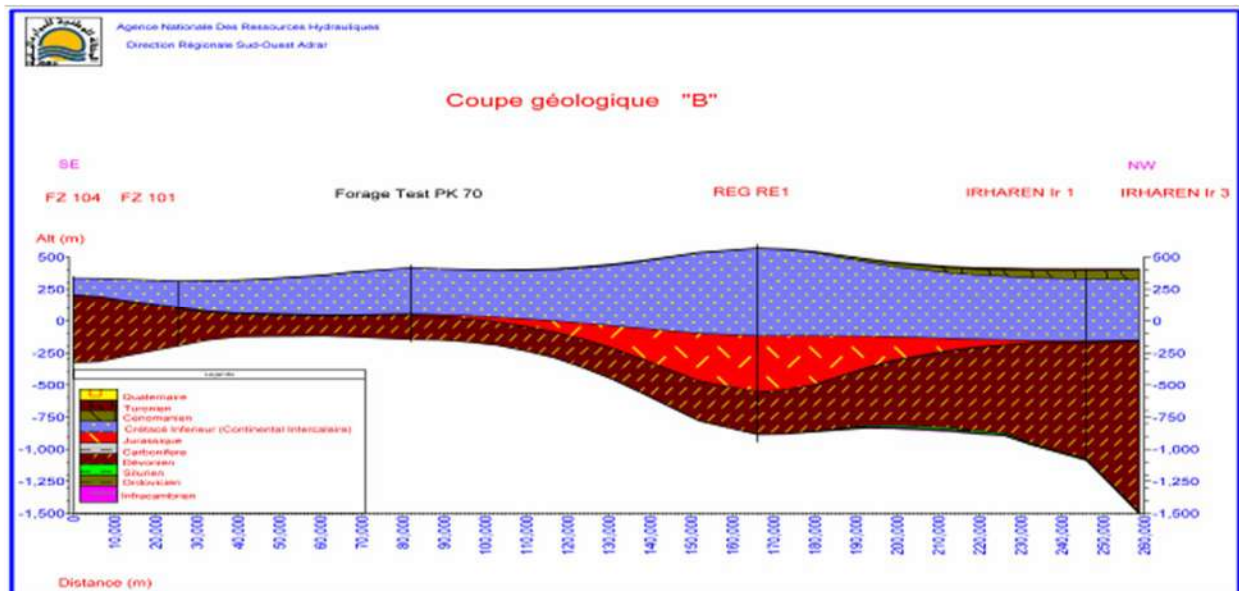


Figure.19:La coupe géologique (B) traverse la région d'étude ES au NW. (ANRH.ADRAR)

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:

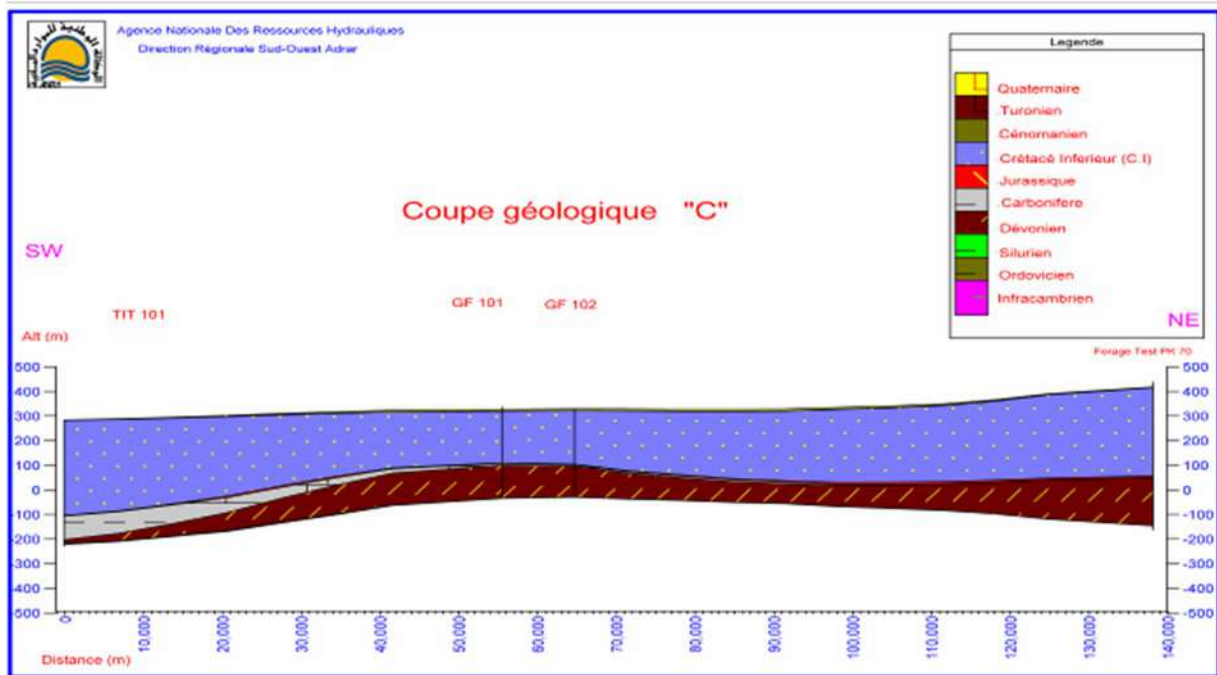


Figure.20: La coupe géologique (C) traverse la région d'étude SW au NE. (ANRH.ADRAR)

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:

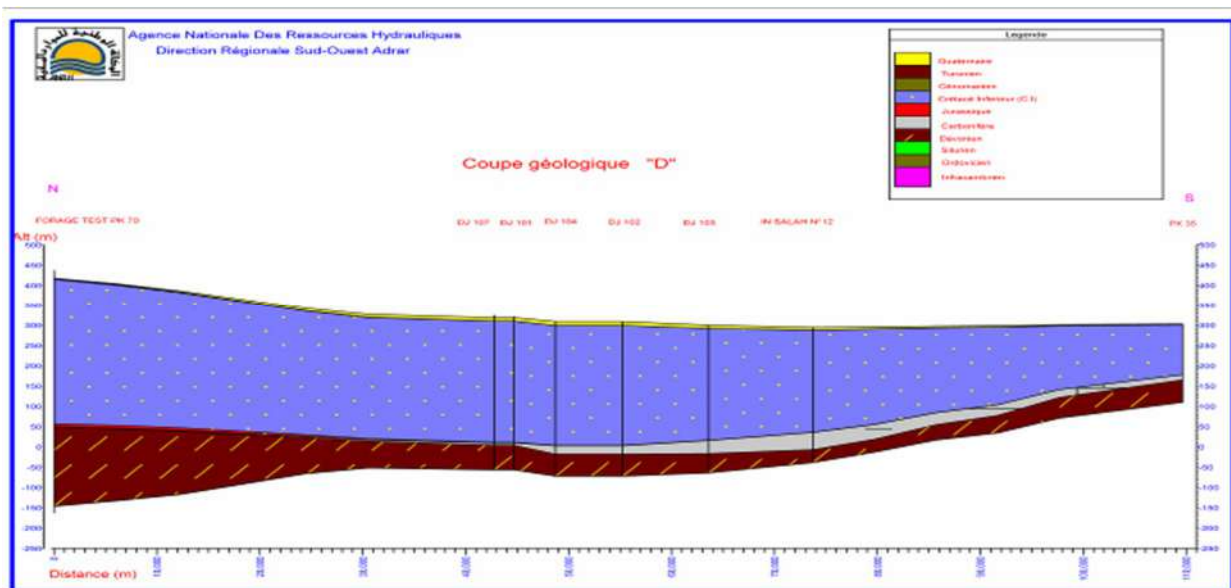


Figure.21: La coupe géologique (D) traverse la région d'étude de N au S. (ANRH.ADRAR)

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 :

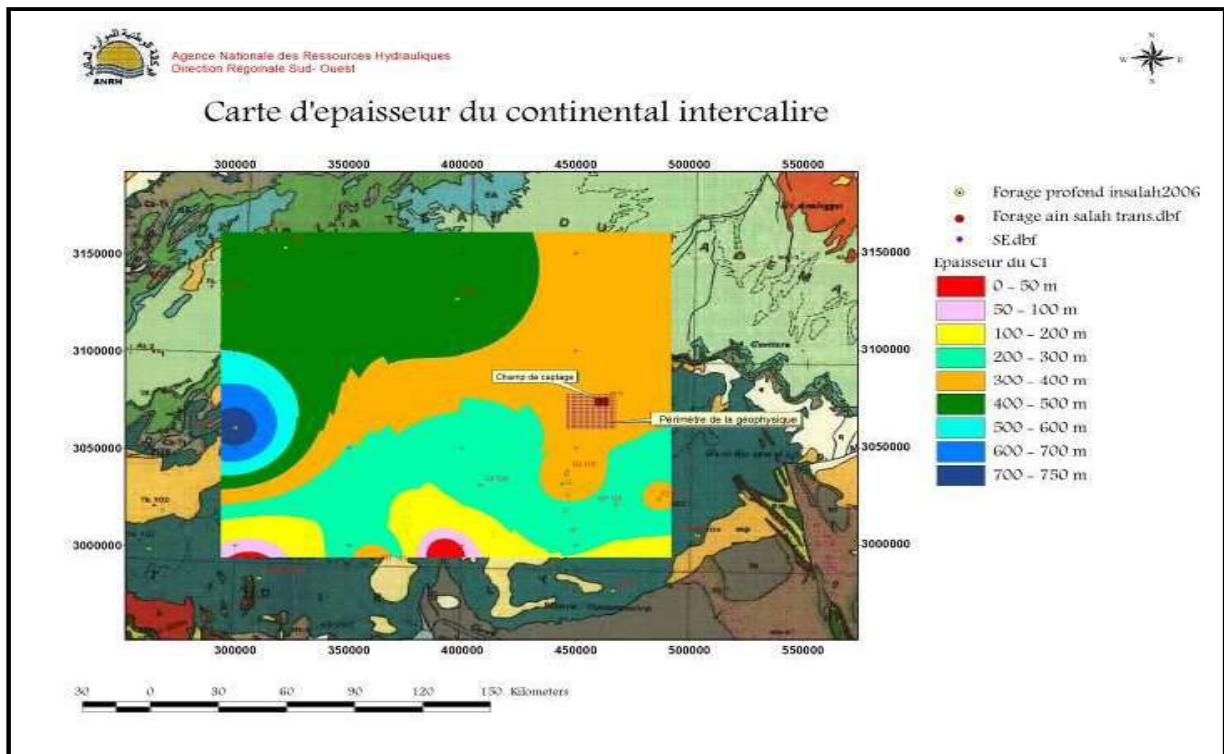


Figure.22 : Carte N°1 d'épaisseur de CI dans la région d'étude. (ANRH.ADRAR)

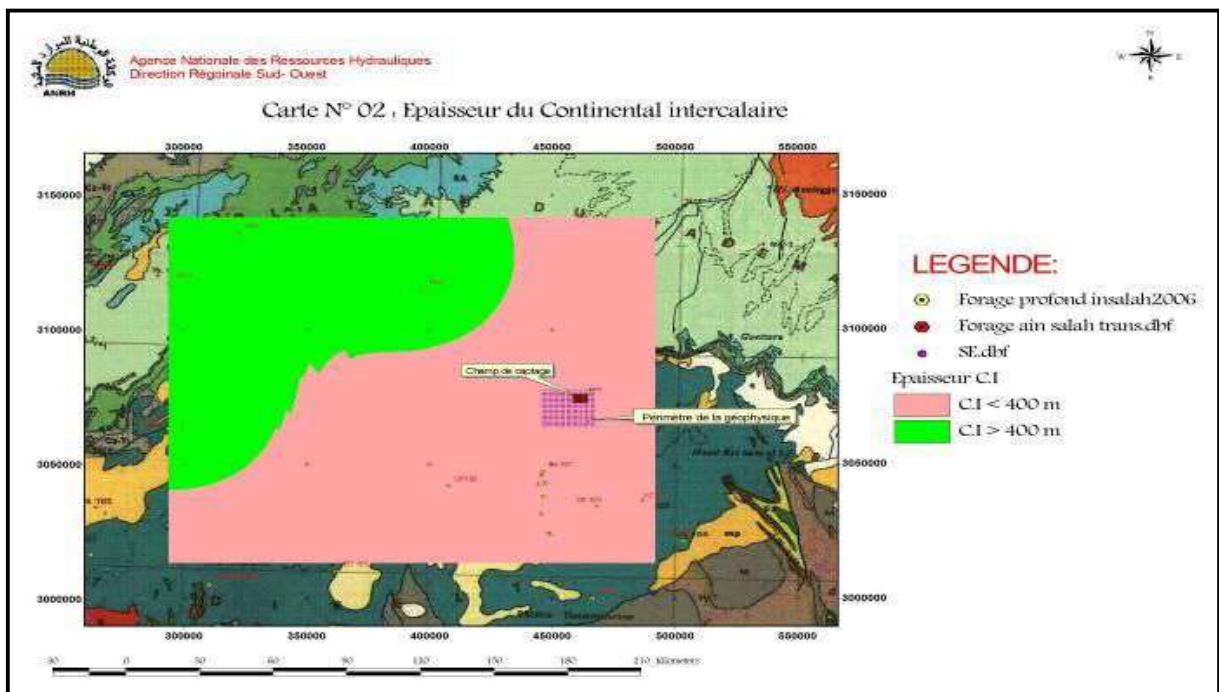


Figure.23 : Carte N°2 d'épaisseur N°2 de CI dans la région d'étude. (ANRH.ADRAR)

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) :

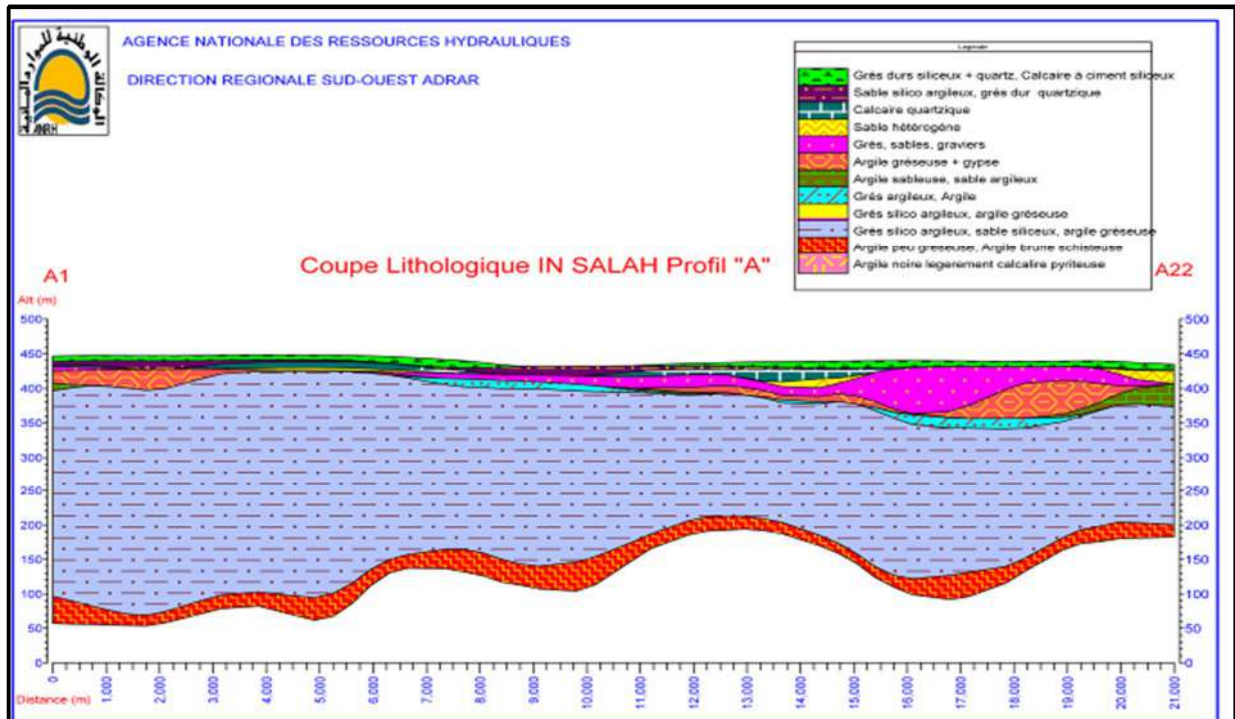


Figure.24: La coupe lithologique (A) traverse la région d'étude (ANRH.ADRAR)

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 50 000 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

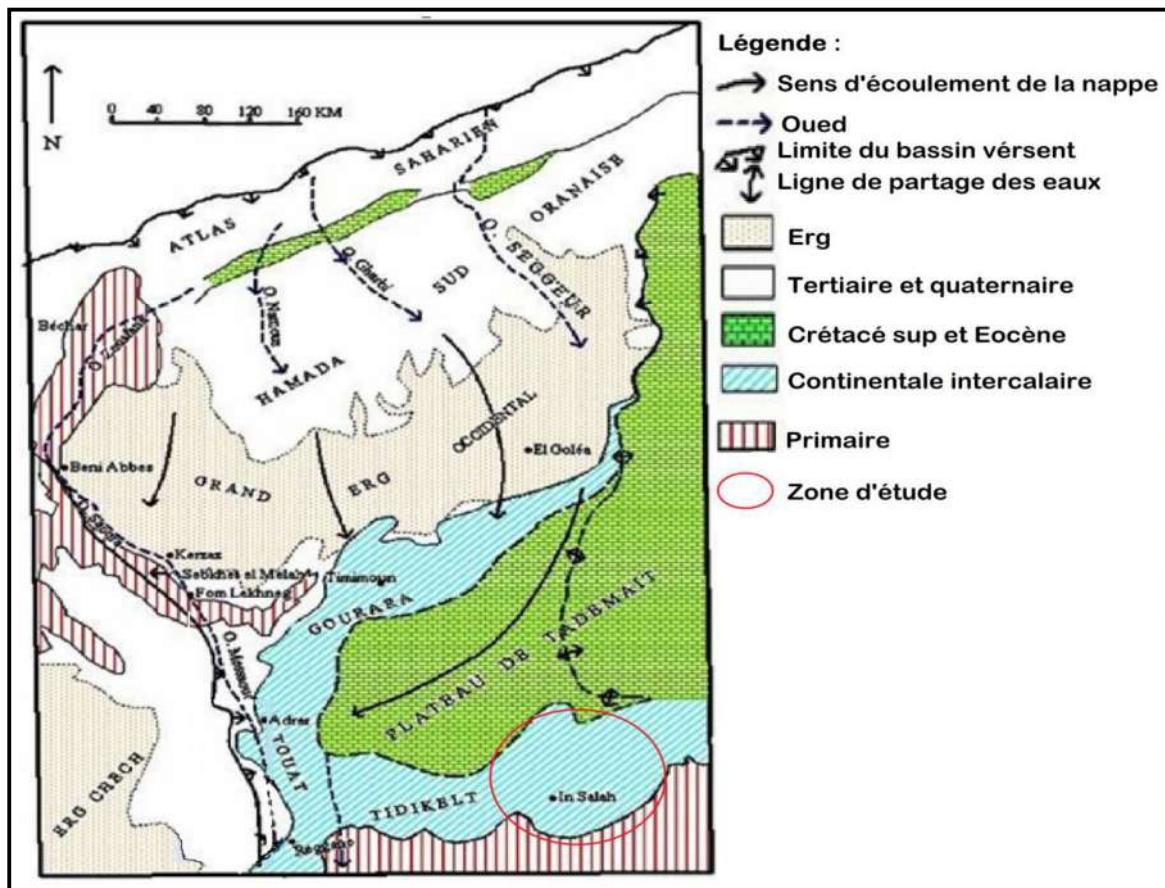


Figure.25 : Le Sens d'écoulement de zone d'étude (d'après G.Gonfiantini , atall.Payne,(1974)).

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

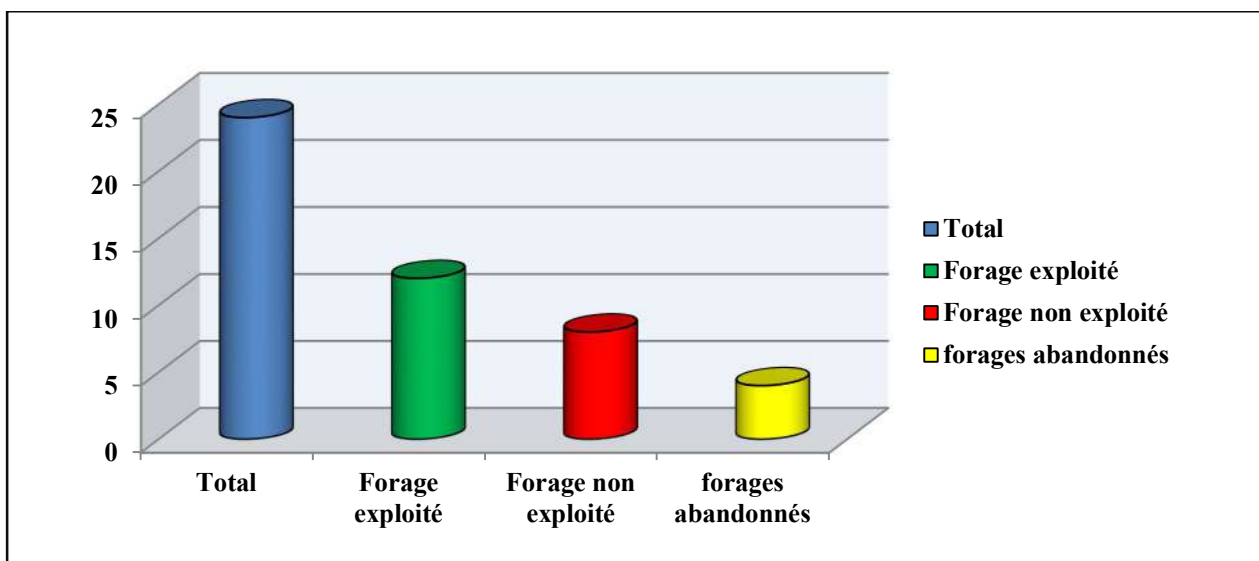


Figure.26: SITUATION DES FORAGES D'AEP d'In Salah

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

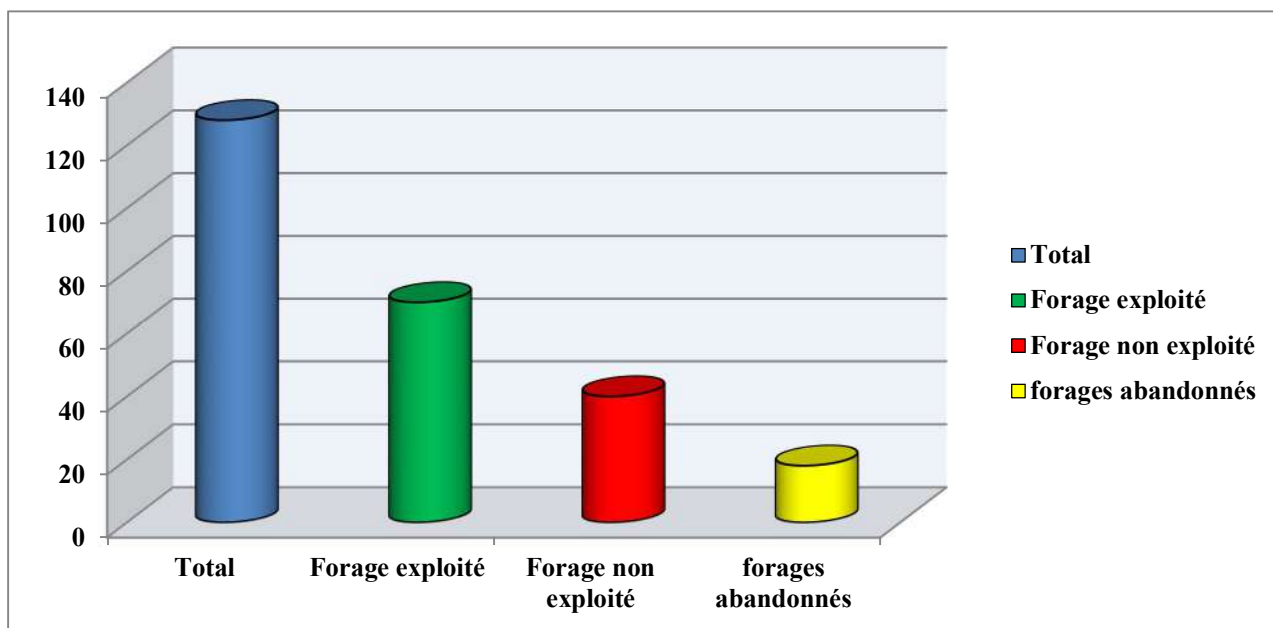


Figure.27: Situation des forages d'irrigation d'In Salah

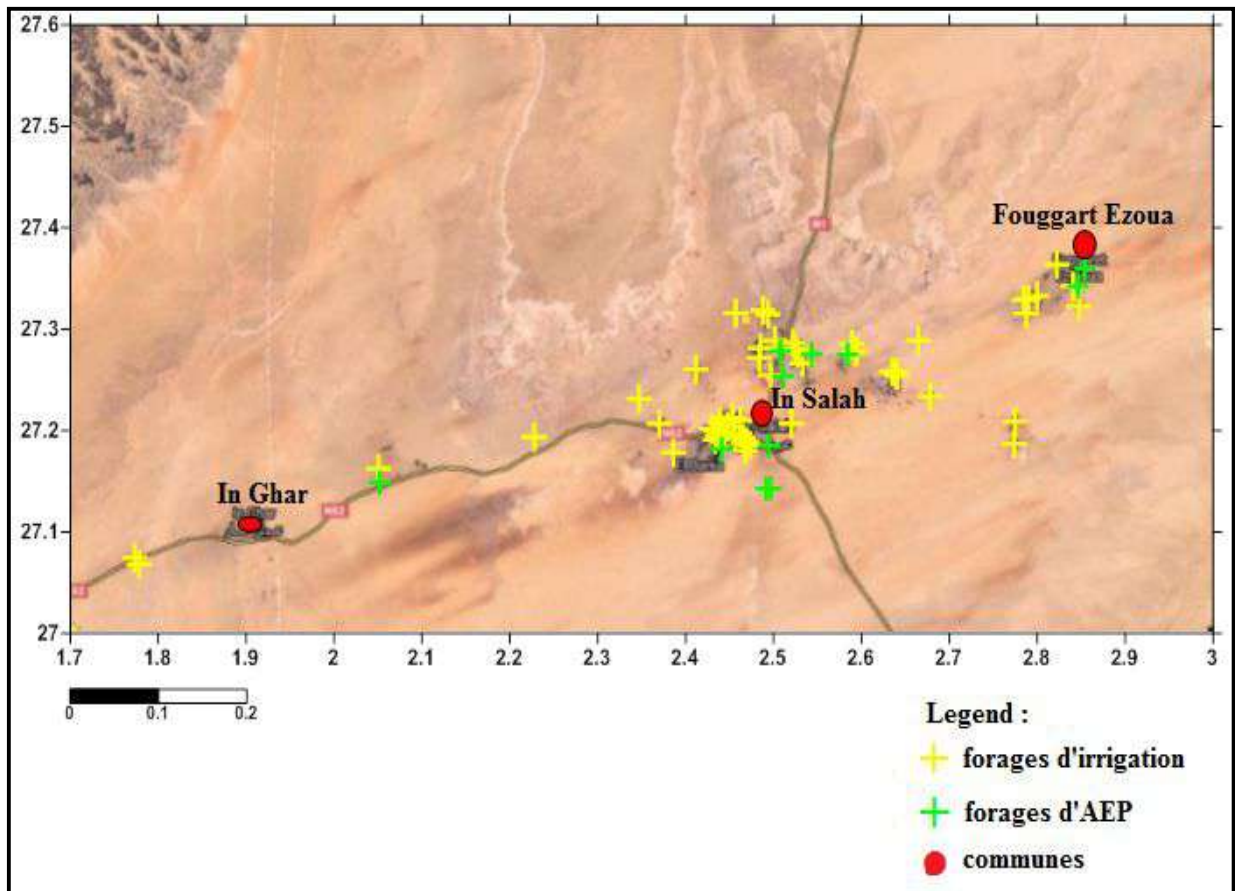


Figure.28: Carte localisation des forages exploités dans la région d'in Salah

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,

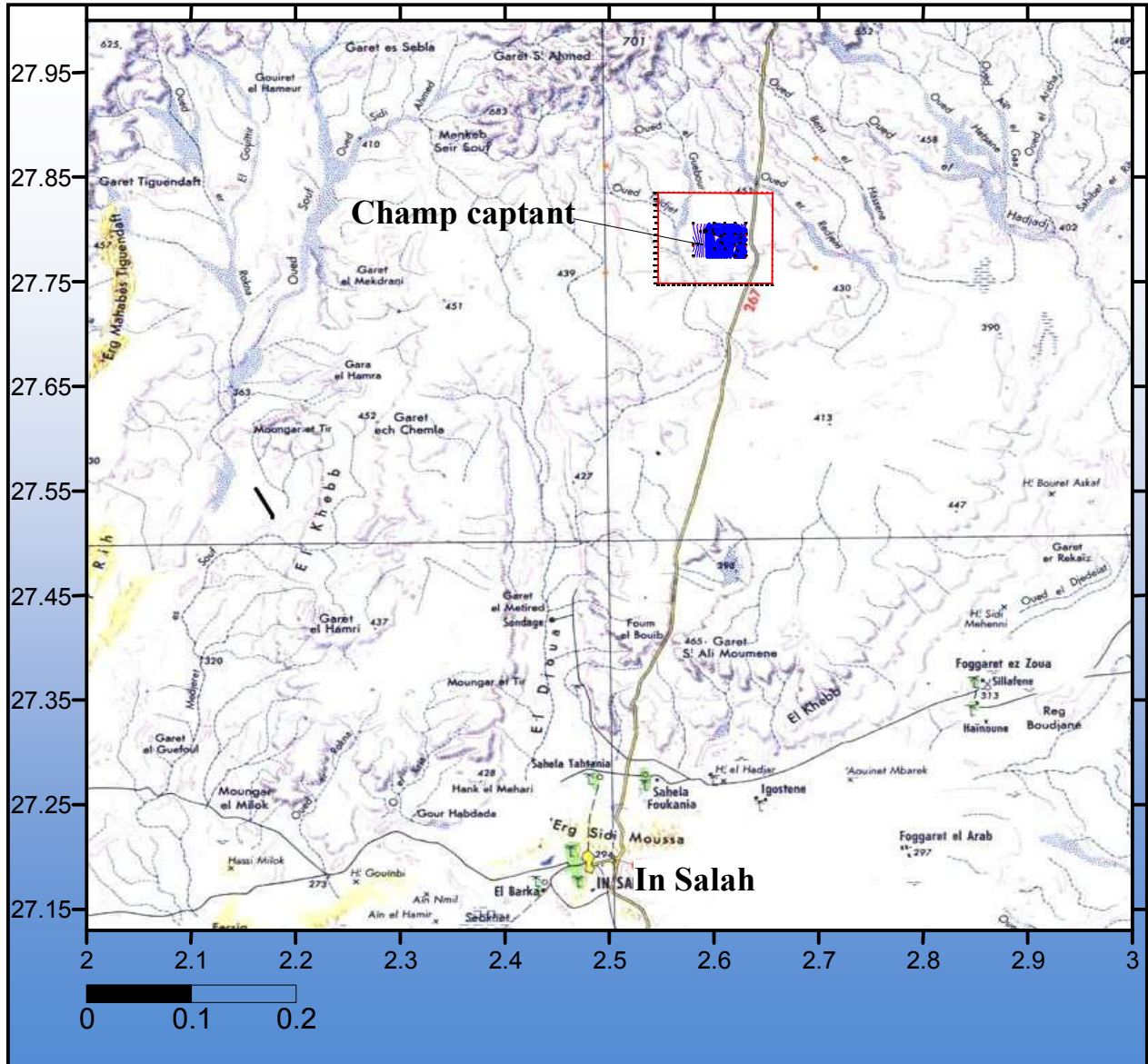


Figure.29: Situation géographique de champ captant

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

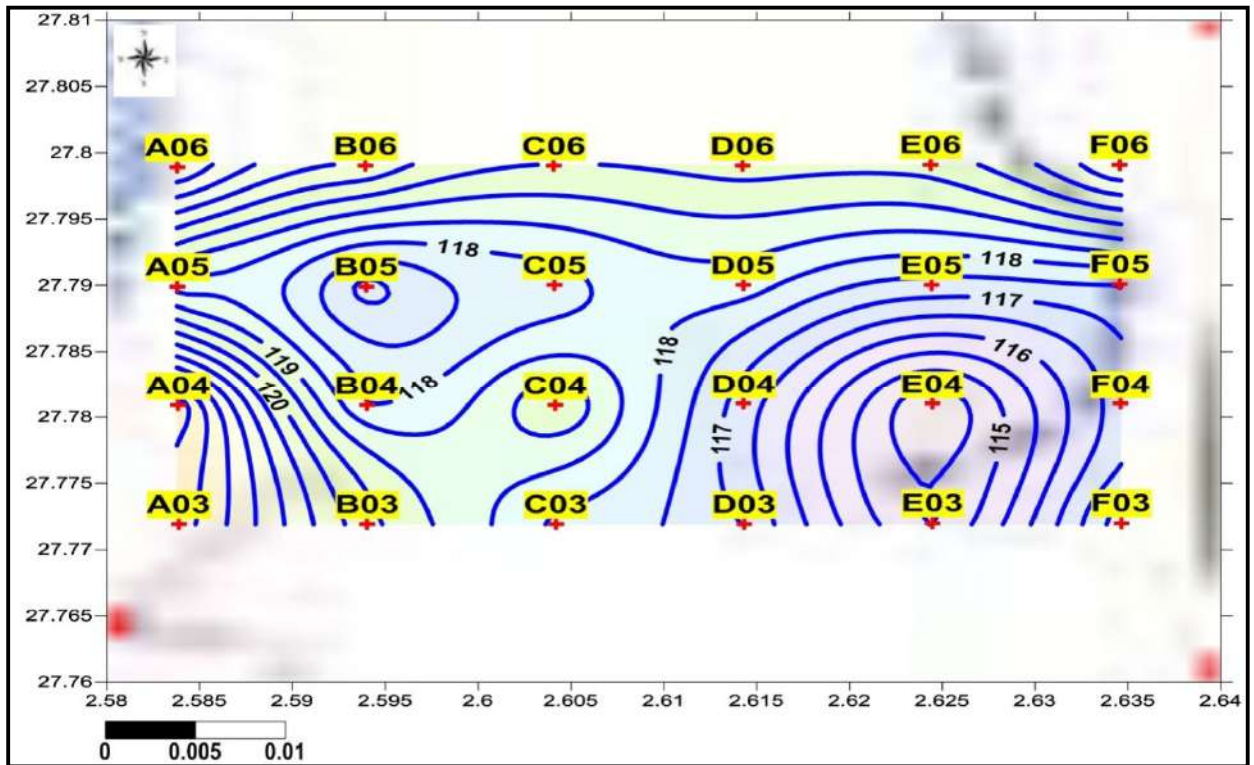


Figure.30 : carte piézométrique de le champ captant

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	Grèsargileux	Libre	54,25	122,75	136,29	13,54
A04	2,58385	27,7809	447	600	CI	Grèsargileux	Libre	51	123,33	132,2	8,87
A05	2,58381	27,7899	440	600	CI	Grèsargileux	Libre	57,47	118,32	127,46	9,14
A06	2,58378	27,7989	443	601	CI	Grèsargileux	Libre	54,41	122	132,85	10,85
D06	2,61423	27,799	439	603	CI	Grèsargileux	Libre	47,03	119,71	133,9	14,19
F05	2,63457	27,7901	438	600	CI	Grèsargileux	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 3jours 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 :

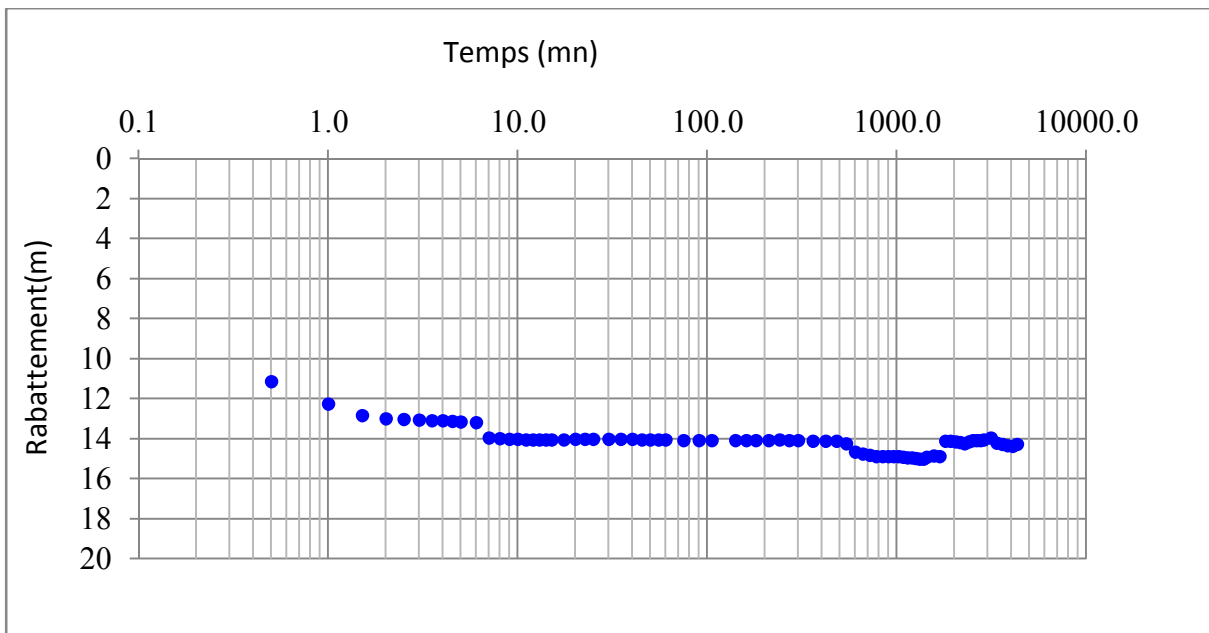


Figure.31: le Rabattement mesurée au niveau de forages A3

A.2.2 Le remonté :

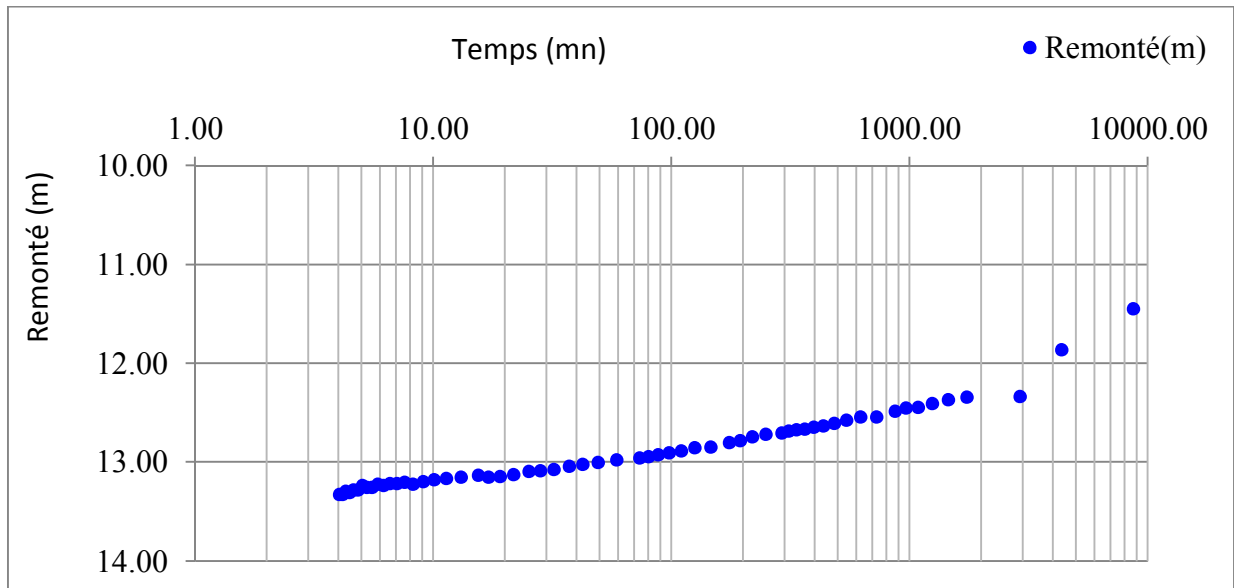


Figure.32: la remonté mesurée au niveau de forages A3

B.Forages D6

B.1. Par palier :

Durant 3 jours et un débit de pompage de 54 l/s on enregistre la variation de la baisse de niveau de la nappe dans les forages comme suit :

Niveau piézométrique initial: 119,71m

Tableau.14: résultat d'essai de pompages par palier sur les 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

Durant 3 jours et un débit de pompage de 47 l/s on enregistre la variation de la baisse de niveau de la nappe dans les forages comme suit :

B.2.1. Le Rabattement :

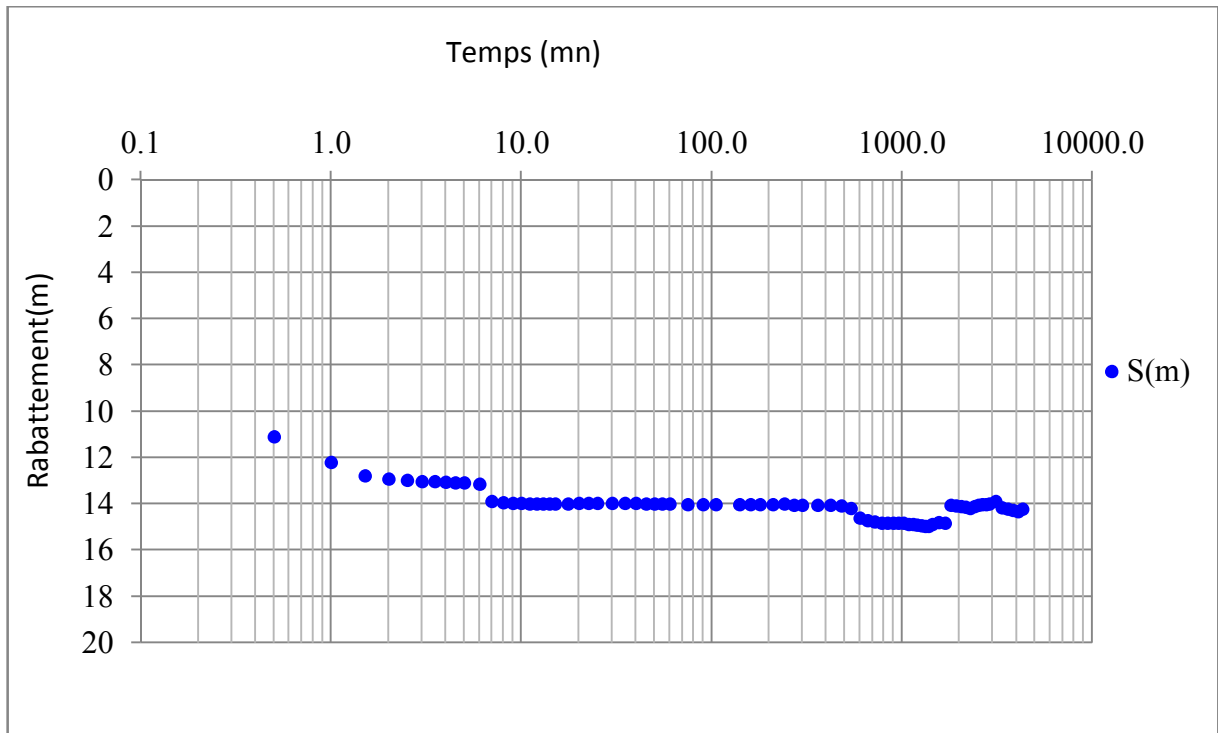


Figure.33: l mesurée au niveau de forages D6

B.2.2. Le remonté :

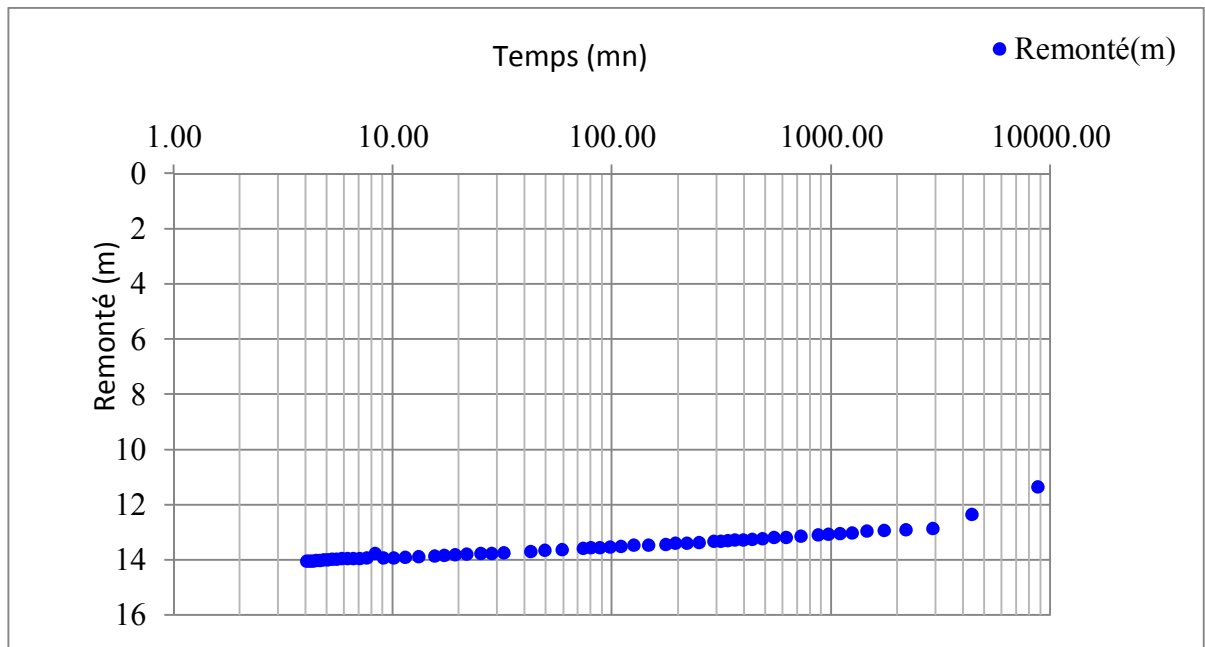


Figure.34: la remonté mesurée au niveau de forages D6

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 :

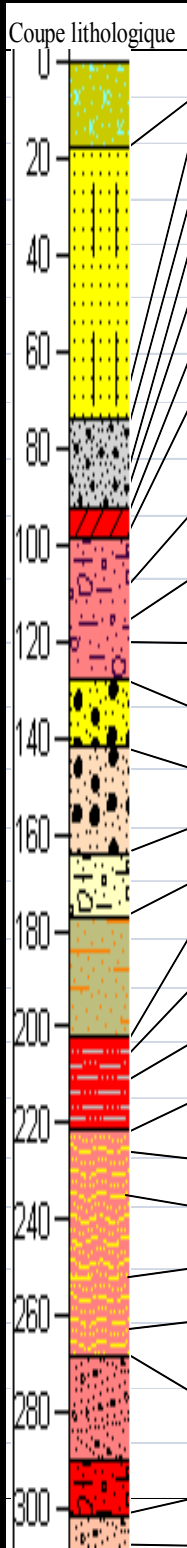
Coupe lithologique	Base (m)	Description lithologique
	0	Grès dur en bille et QIQ grain de quartz et sable moyen à fin
	18	Grès dur en bille et QIQ grain de quartz et sable moyen à fin
	69	Sable moyen et peu de Grès dur siliceux
	74	Sable fin à moyen rouge argileux (80 à 20%) et QIQ grains du gravier
	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

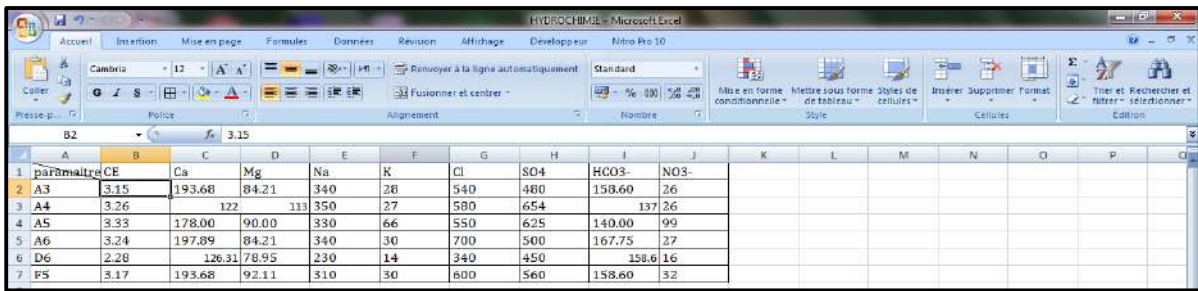
II.1.2. Outils de traitement des données

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 ;

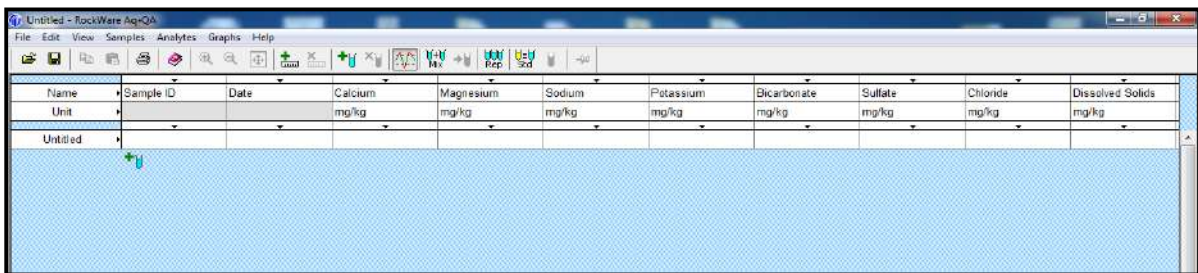
n.	Non	Libellé	Date	Groupe	Pipe	Schvalbe	Soll	NY	Konnes	Phaeq	Stat	TDS	T°C	pH	c25°C	cDALC	cCar	Ba+Mg	Ba+Mg	Ba+Mg	relat	Calcium	Arsonif	Ca	Mg	Na	
1	A3			1	CA	1	1	oui	oui	oui	oui	1200		7.03	3.15	2964	+100%	284.11	0.6	+45%	oui	rel	37.1000	28.24	103.894	84.2705	330
2	A4			2	CA	2	2	oui	oui	oui	oui	2038		6.67	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	FE			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 ;



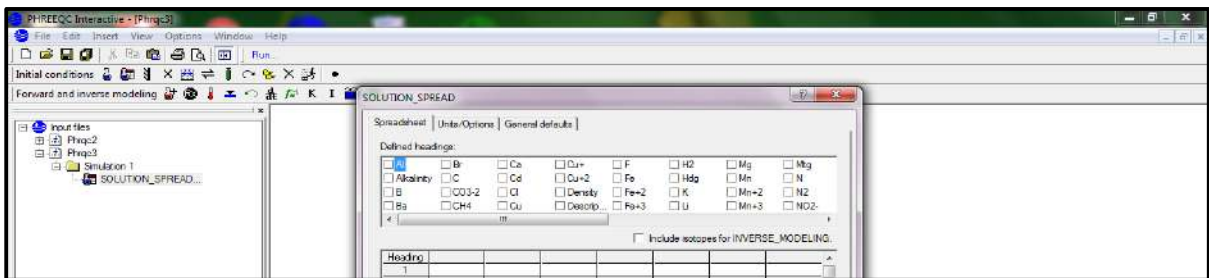
paramètre	CE	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3-	NO3-
A3	3.15	193.68	84.21	340	26	540	480	158.60	26
A4	3.26		122	113	350	27	580	654	137
A5	3.33	178.00	90.00	330	66	550	625	140.00	99
A6	3.24	197.89	84.21	340	30	700	500	167.75	27
D6	2.28	126.31	78.95	230	14	340	450	158.6	16
FS	3.17	193.68	92.11	310	30	600	560	158.60	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 calculer 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 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	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 $25\text{ }^\circ\text{C}$.

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

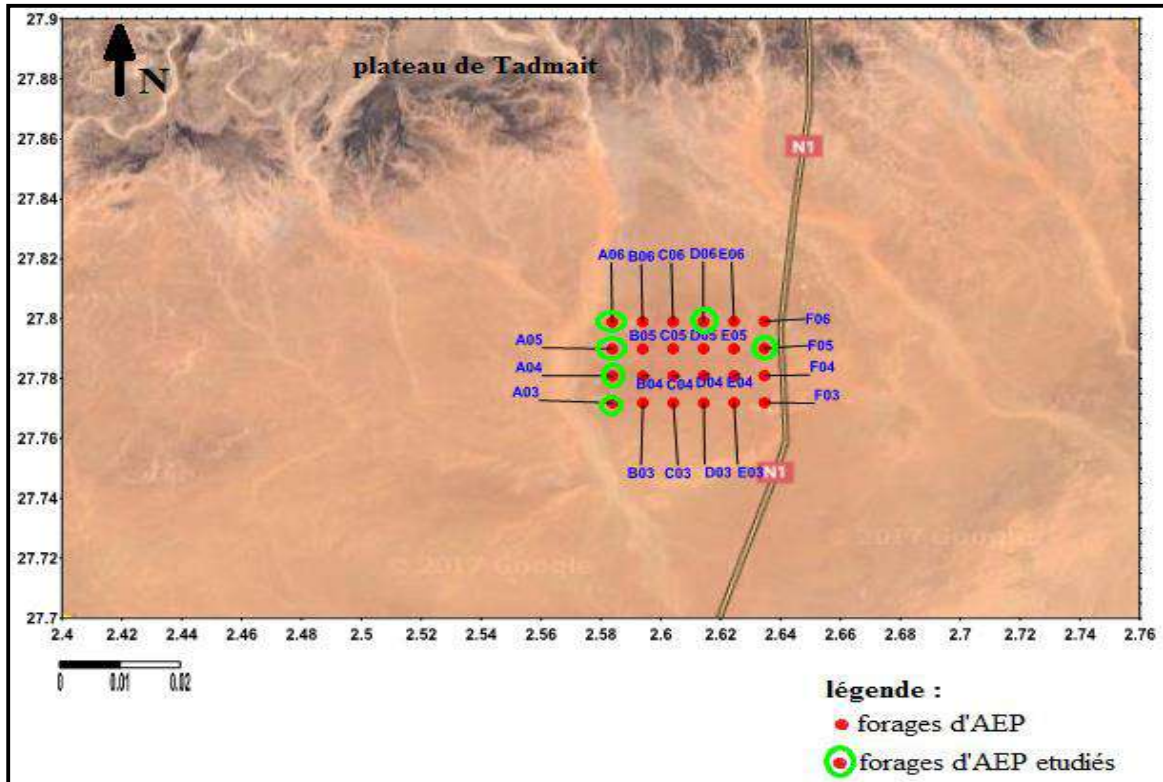


Figure.37: carte d'inventaire des points d'eau

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:

Tableau 21 : Calcul d'erreur sur les analyses chimiques.

Forages	\sum Cations	\sum Inions	BI	Résultats
A3	32,1	28,244	6,4 %	mauvaise analyse
A4	31,321	33,352	-3,1 %	analyse acceptable
A5	32,349	32,418	-0,1 %	bon analyse
A6	32,361	33,34	-1,5 %	bon analyse
D6	23,162	21,817	3,0 %	analyse acceptable
F5	31,496	31,699	-0,3 %	bon analyse

III.1.3. Minéralisation :

La conductivité dans tout les forages dépassé 1000 alors le taux de minéralisation d'eau est élevée

Tableau.22: classification de l'eau en fonction de la conductivité

Forages	CE μ S/cm	Minéralisation	interprétation
A3	3150 >1000	1953	Elevée
A4	3260 >1000	2020	Elevée
A5	3330 >1000	2065	Elevée
A6	3240 >1000	2008.8	Elevée
D6	2280 >1000	1413.6	Elevée
F5	3170 >1000	1965.4	Elevée

III.1.4. Classification des eaux souterraines selon PIPER :

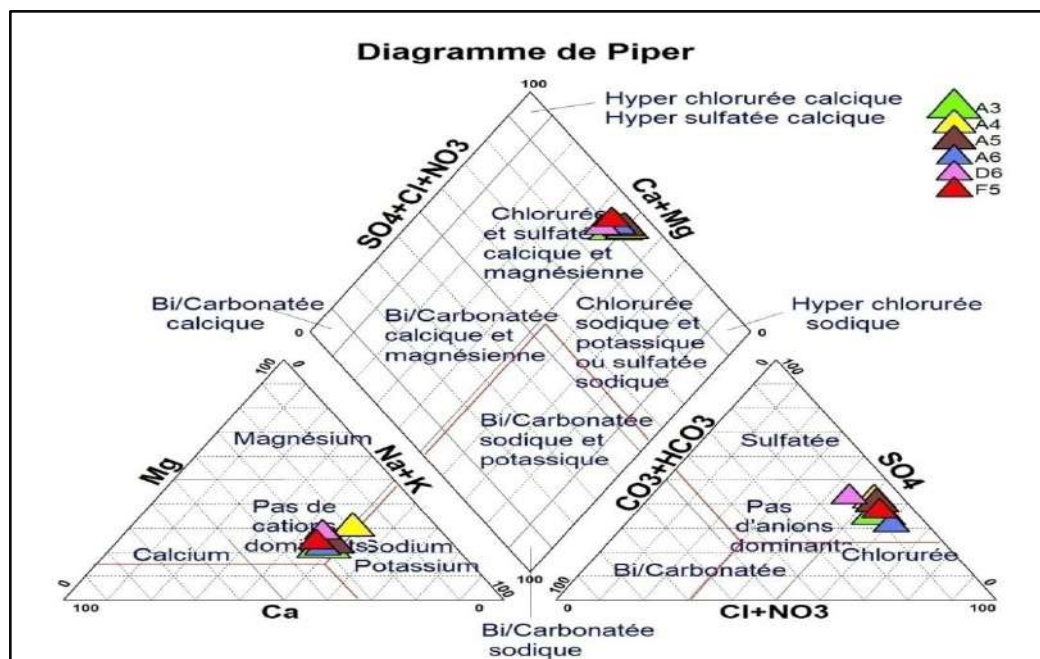


Figure.38 : Représentation graphique des eaux du forages sur le diagramme de PIPER.

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	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rNa^+ + K^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	50 %	A03 A06 F5
Sulfaté sodique	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $rNa^+ + K^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	50%	A04 A05 D06

III.1.5. Diagramme de Schoeler Berkaloff :

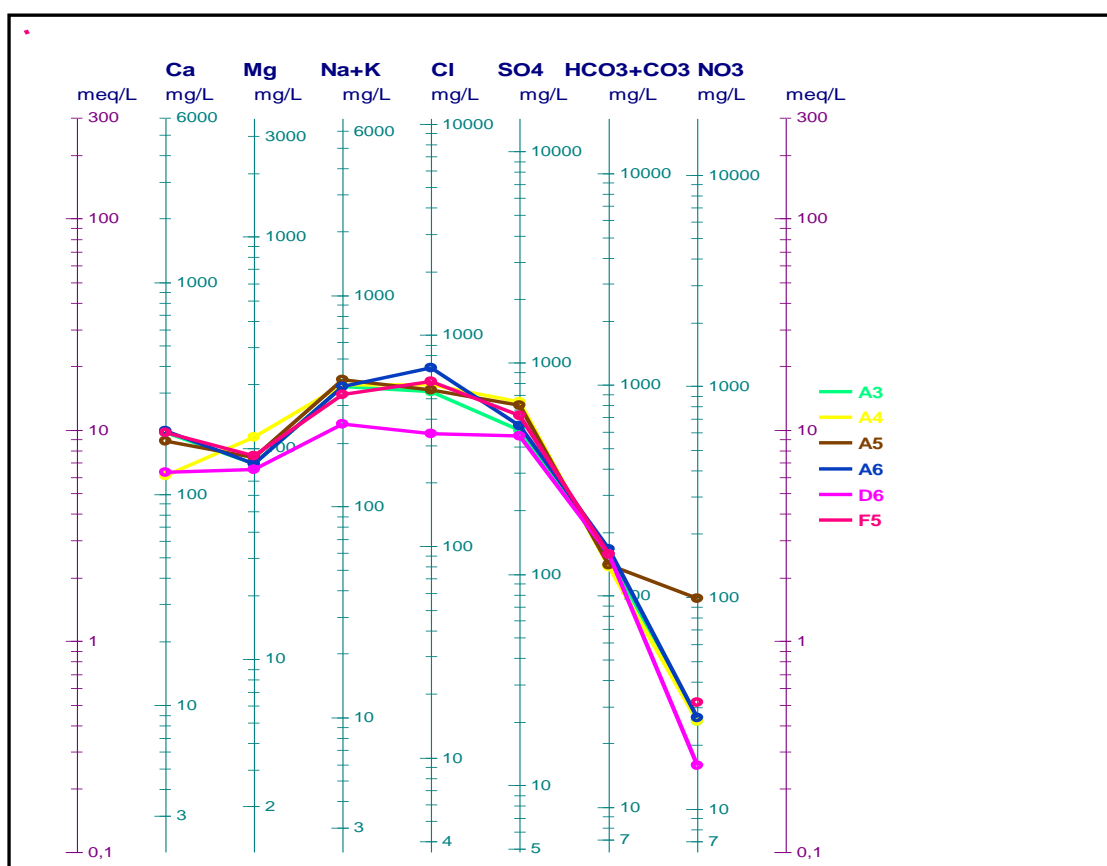


Figure.39: Représentation graphique des eaux des forages selon Schoeler Berkaloff

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

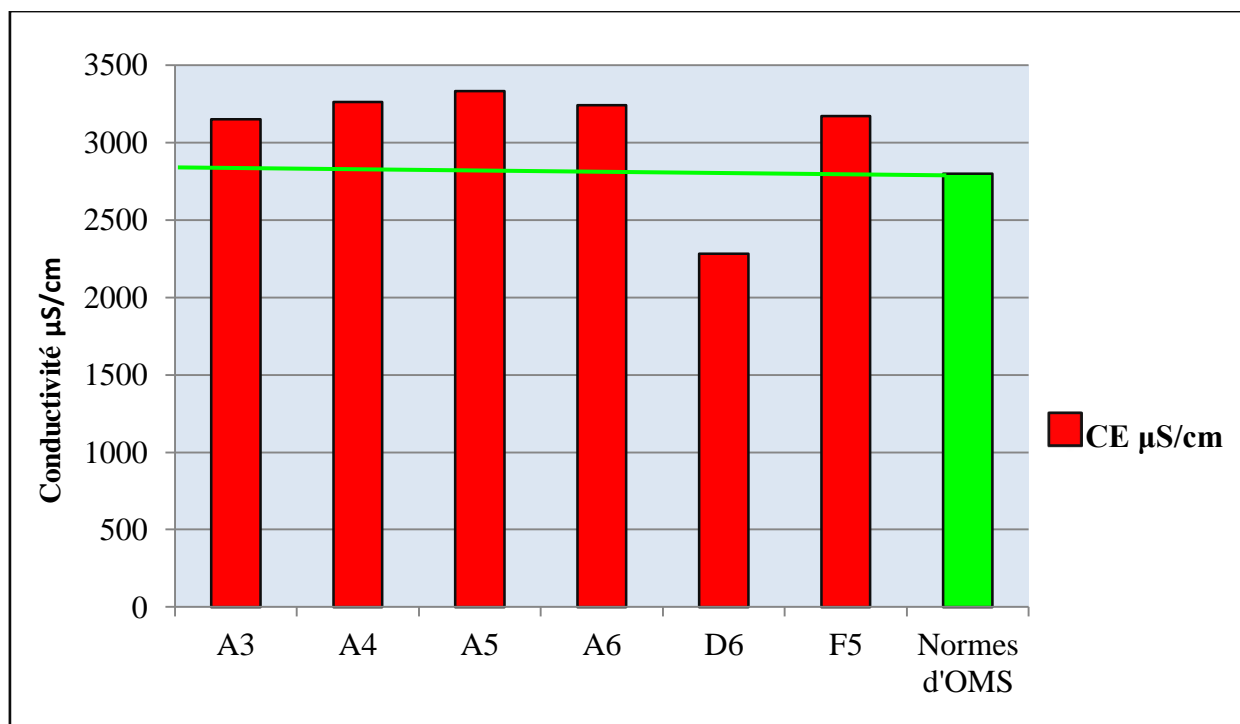


Figure.40: Histogrammes des conductivités

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 :

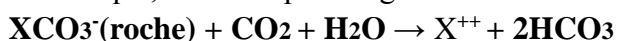
- ♦ Des formations gypseuses.
- ♦ Légère solubilité de CaCO₄ avec des passées gypseuses.
- ♦ Des eaux usées industrielles

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 :

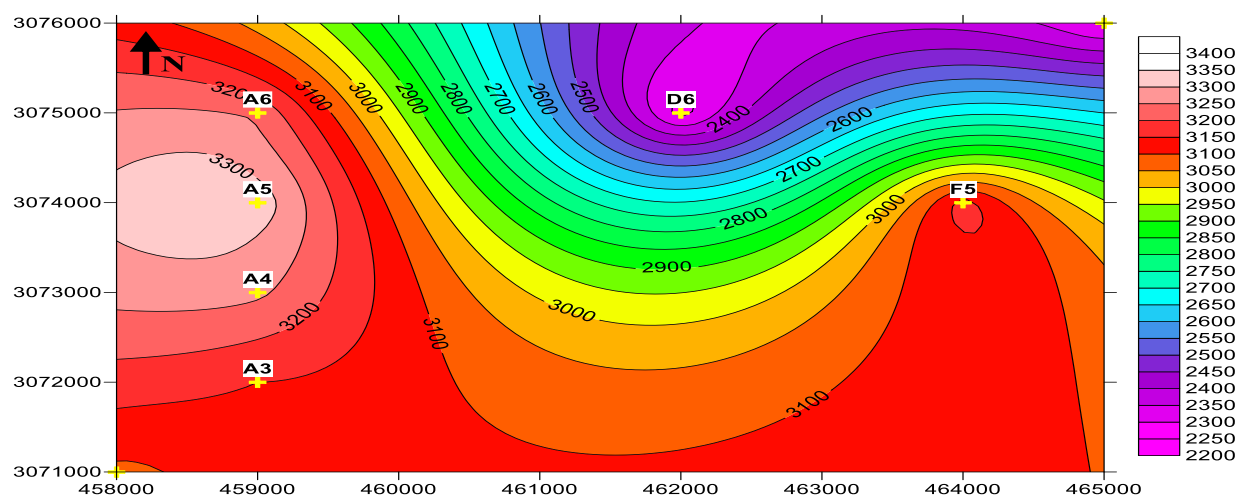


Figure.41: Carte de variation de conductivité

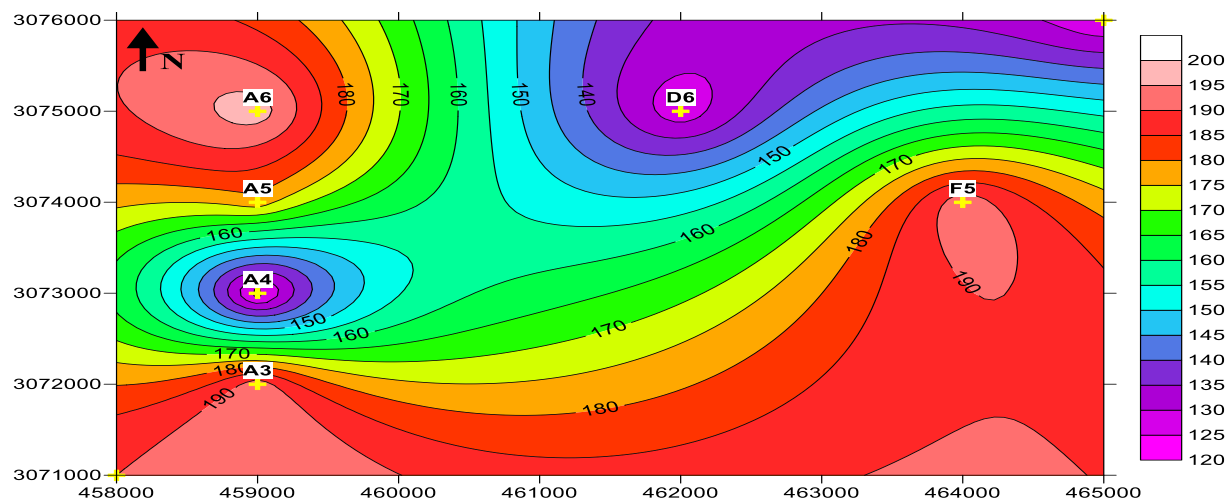


Figure.42: Carte de variation de Ca

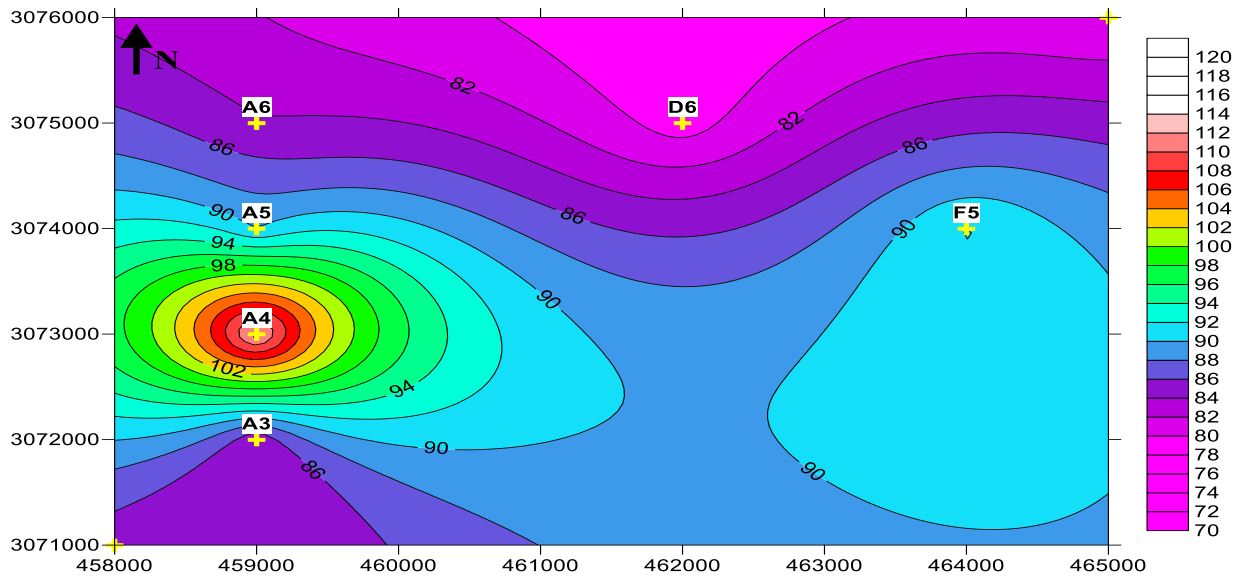


Figure.43: Carte de variation de Mg

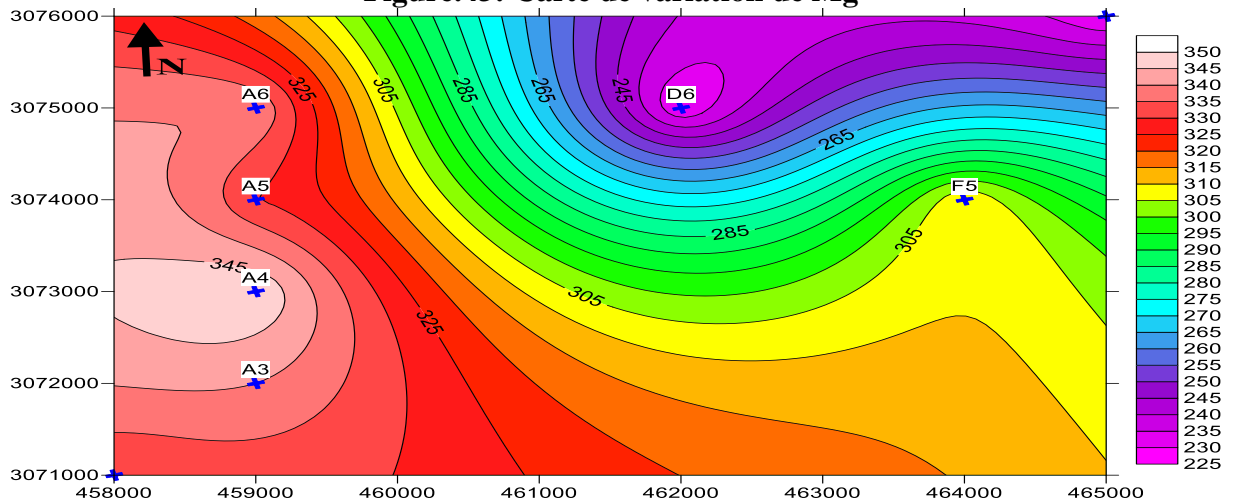


Figure.44: Carte de variation de Na

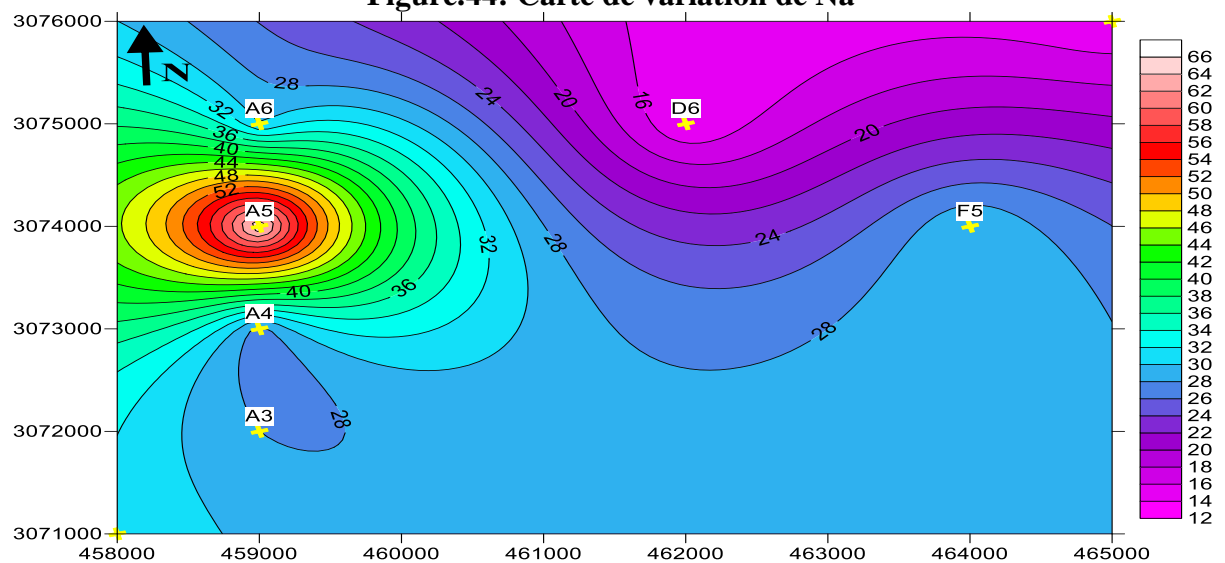


Figure.45: Carte de variation des K

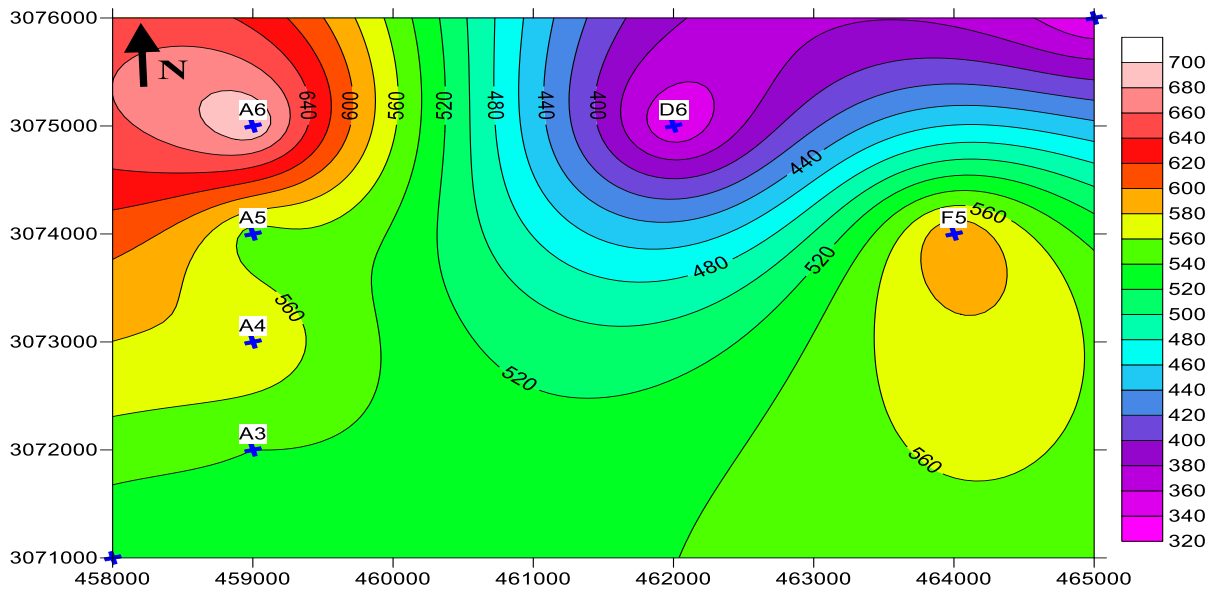


Figure.46: Carte de variation de Cl

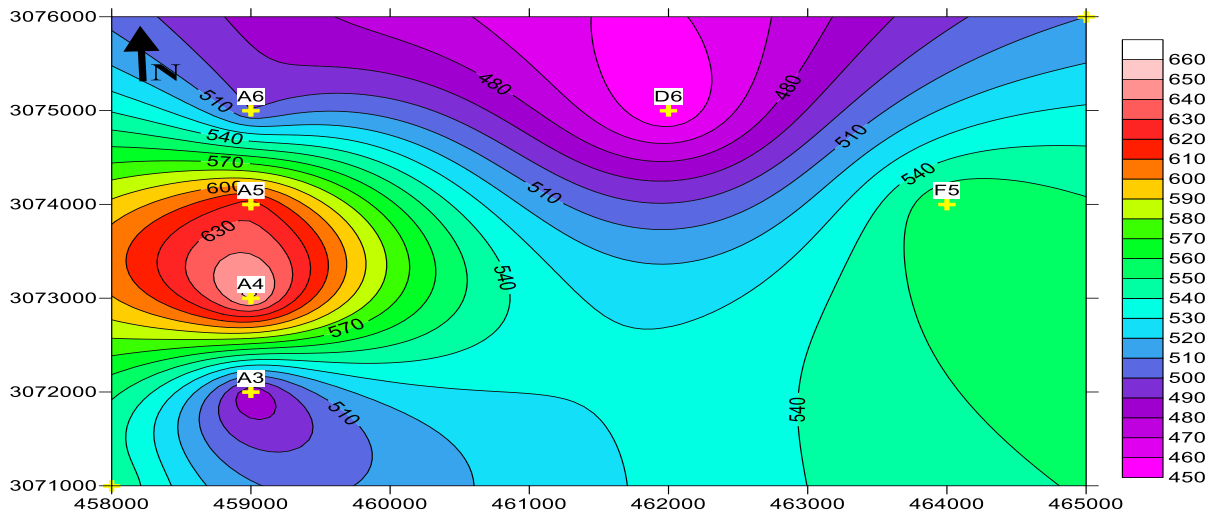


Figure.47: Carte de variation de SO4

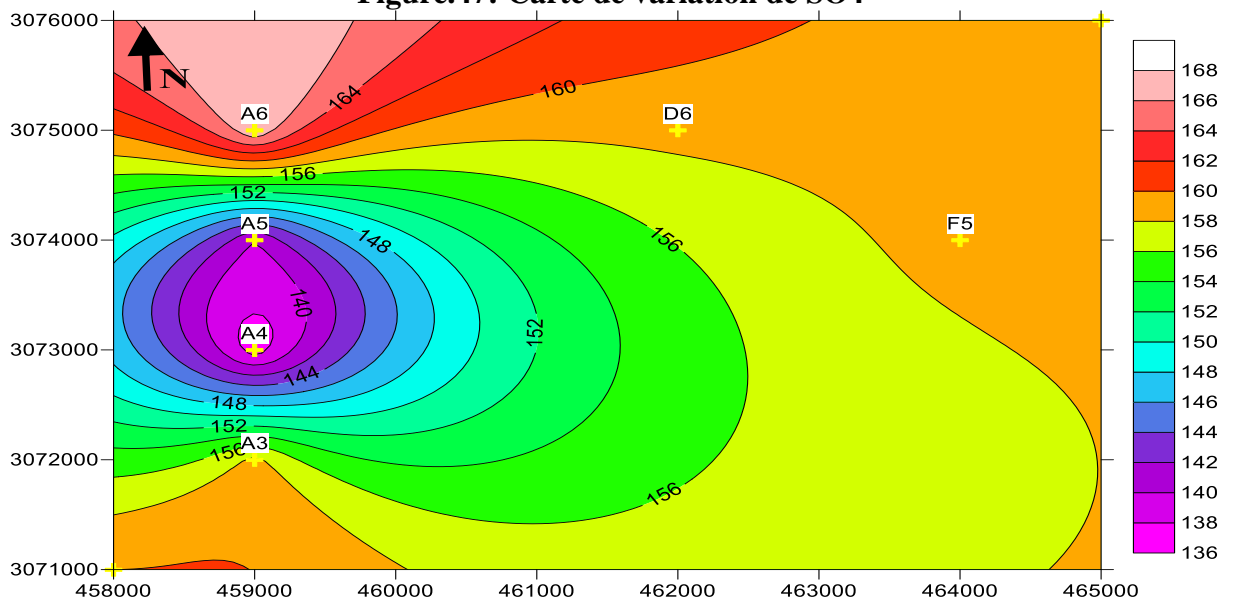


Figure.29: Carte de variation de HCO3

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 observer un corrélation très claire entre la conductivité et le sodium avec un coefficient de de régression linéaire égale 0.91 ces sa montre la classification de diagramme de piper et les pourcentages élevée des minéralisation et des salinité dans ces eaux

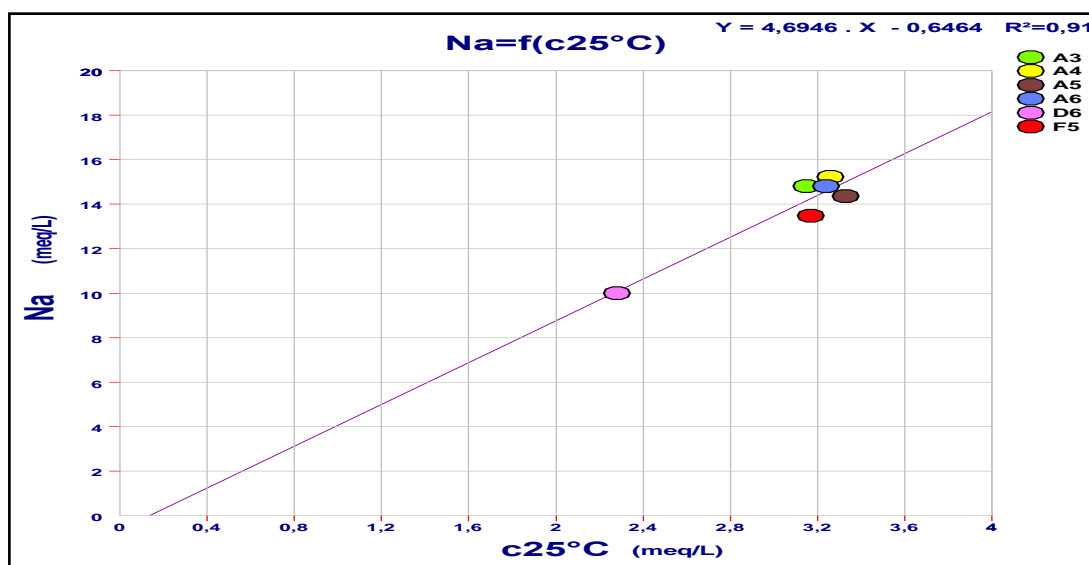


Figure.49: Relation Na- CE

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.

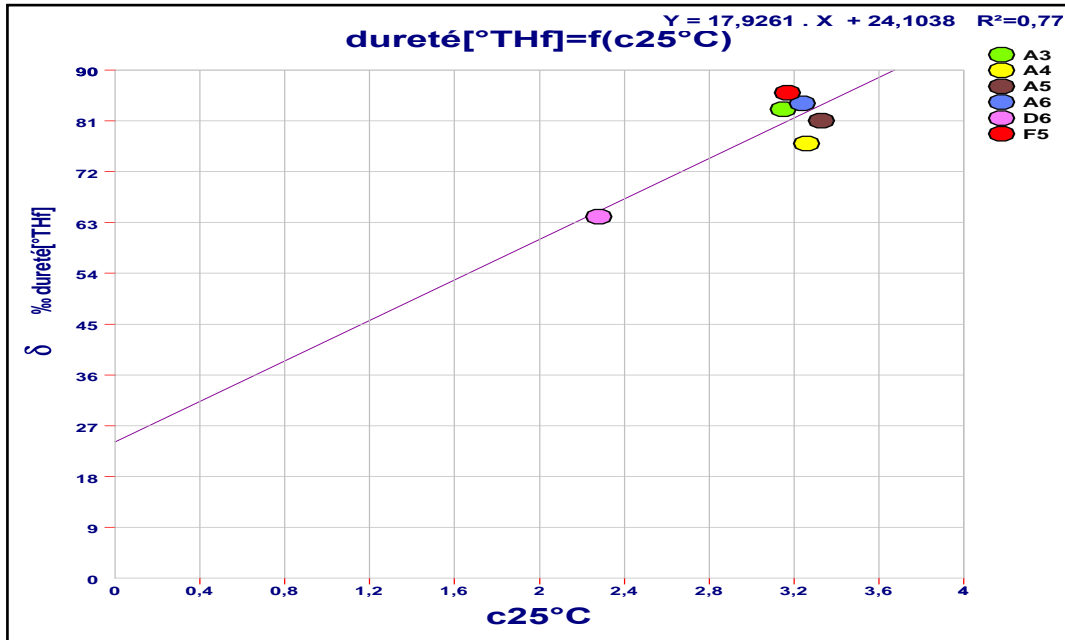


Figure.50: Relation CE-TH

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.

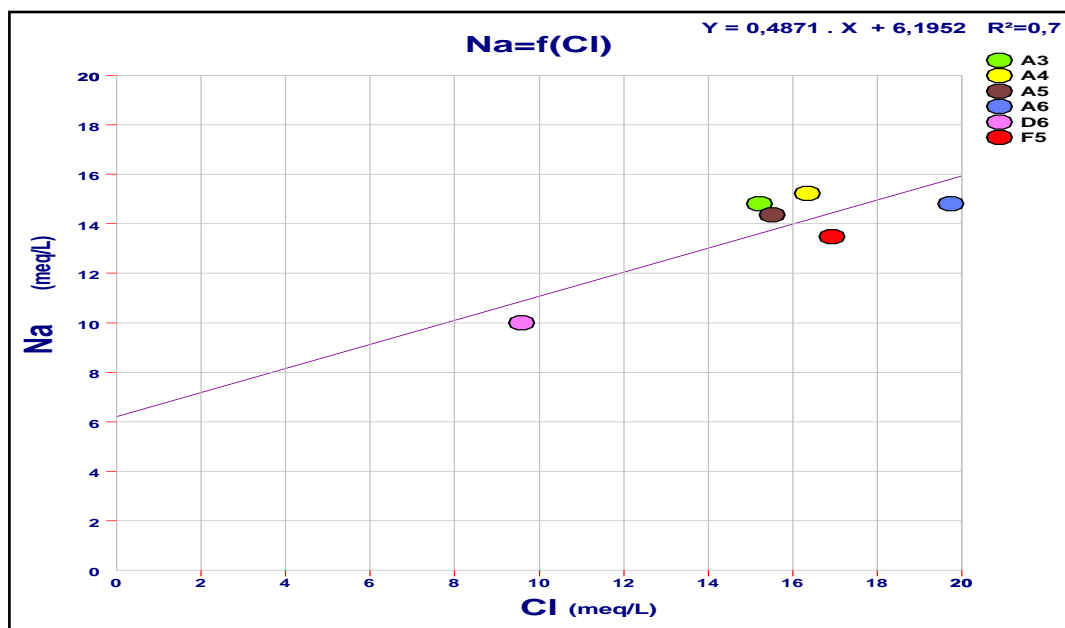


Figure.51: Relation Na- Cl

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).

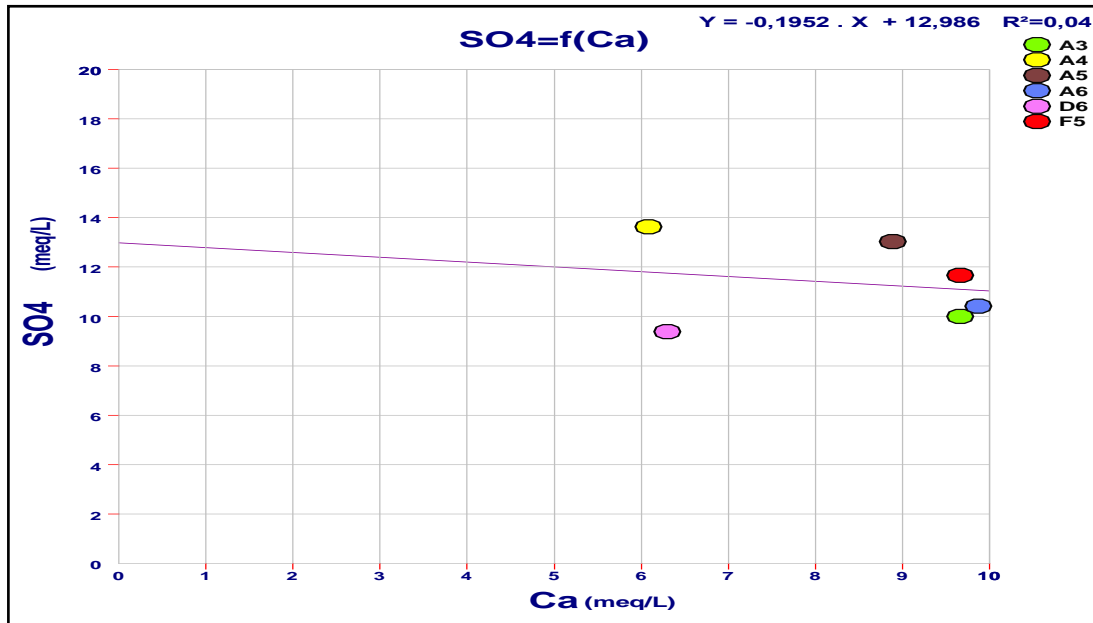


Figure.52: Relation SO4 Ca

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.

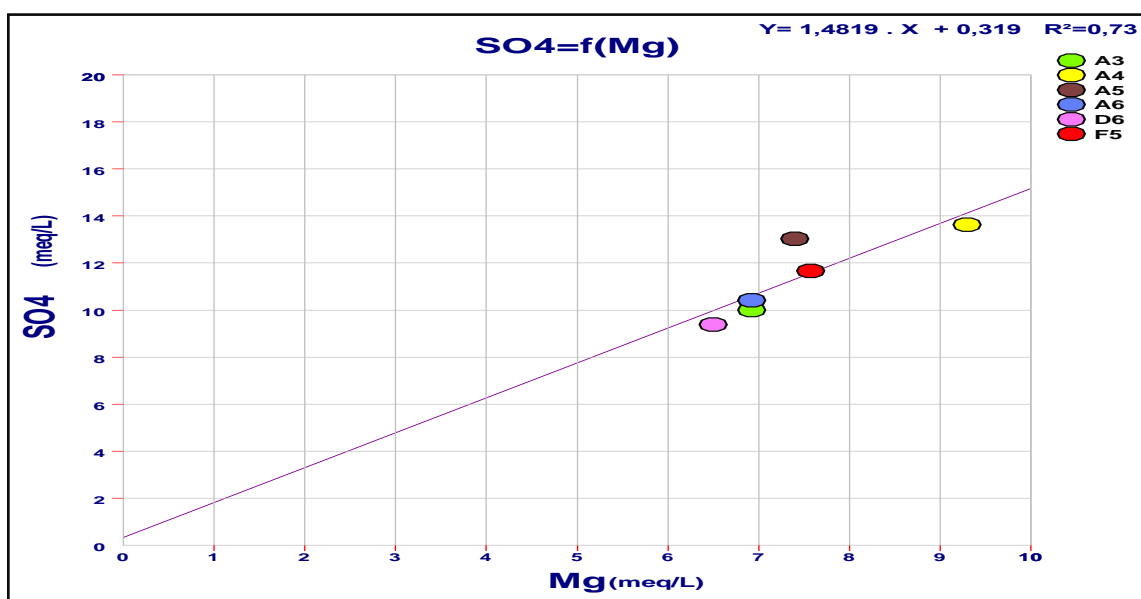


Figure.53: Relation Mg - SO4

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

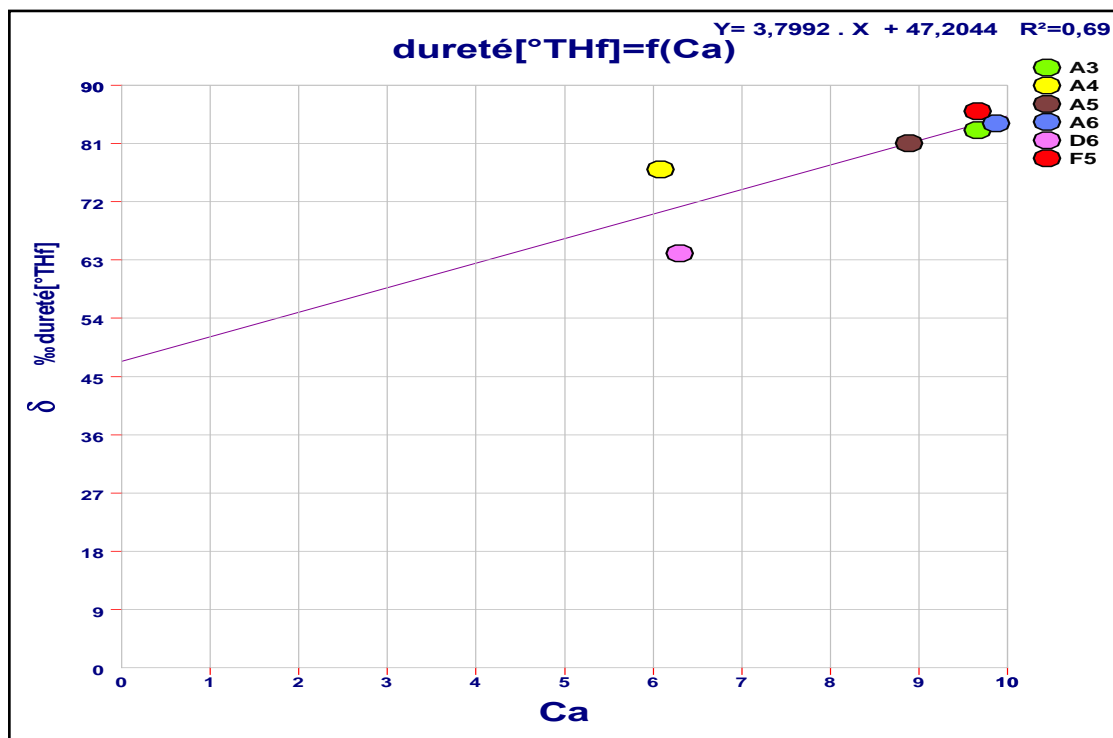


Figure.54: Relation TH – Ca

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 :

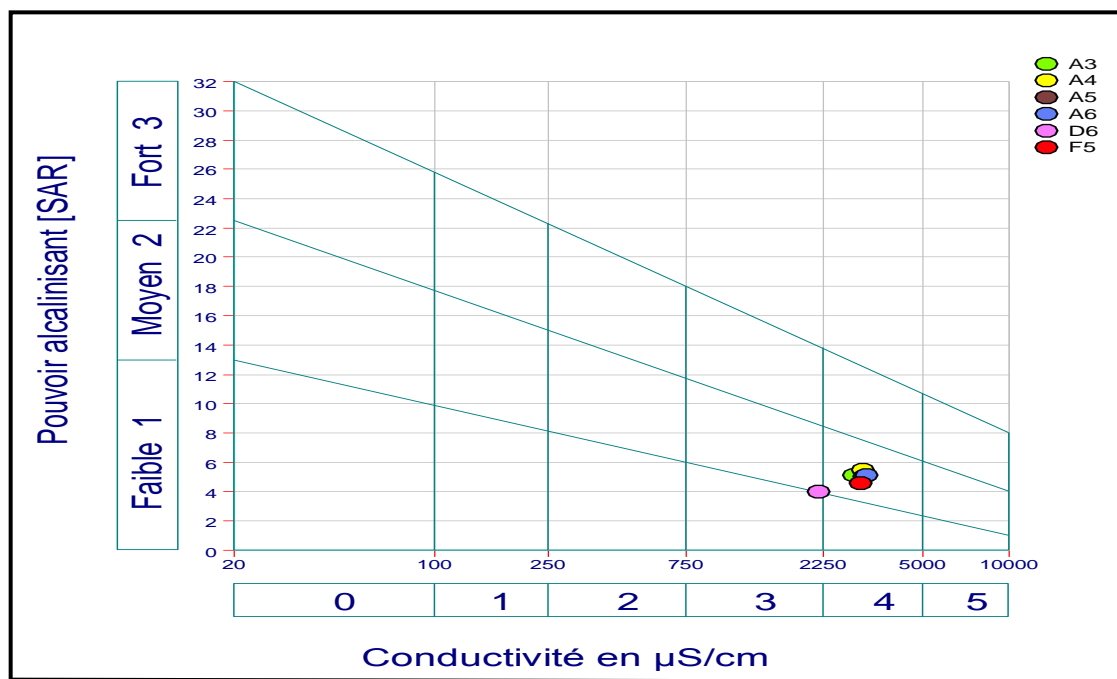


Figure.55: Diagramme de Riverside des eaux des forages.

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 :

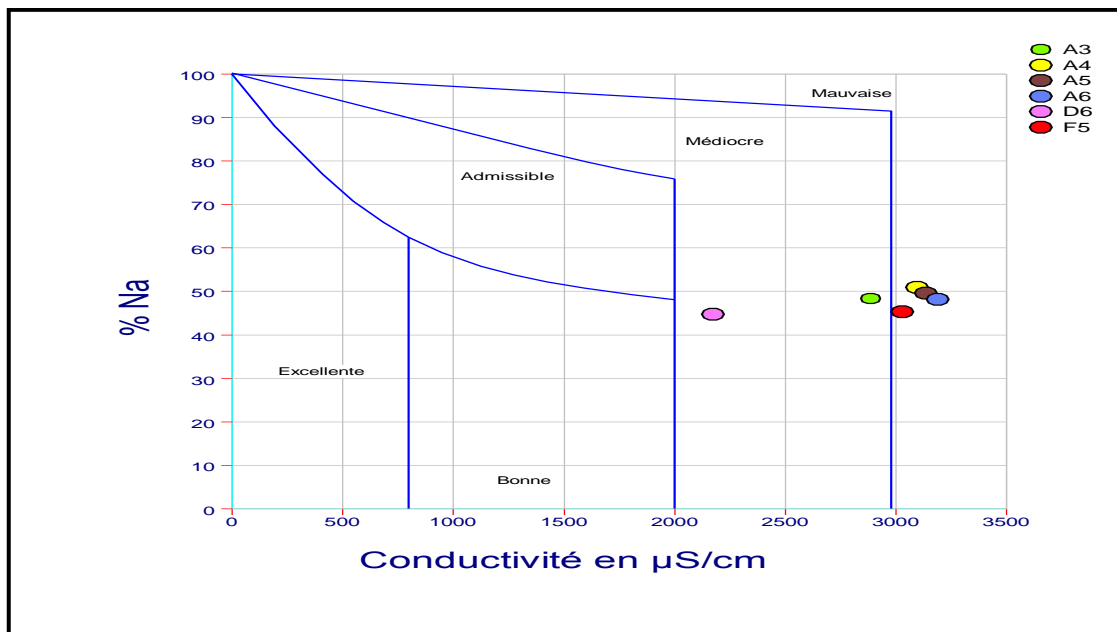


Figure.56: Diagramme de Wilcox des eaux des forages

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 :

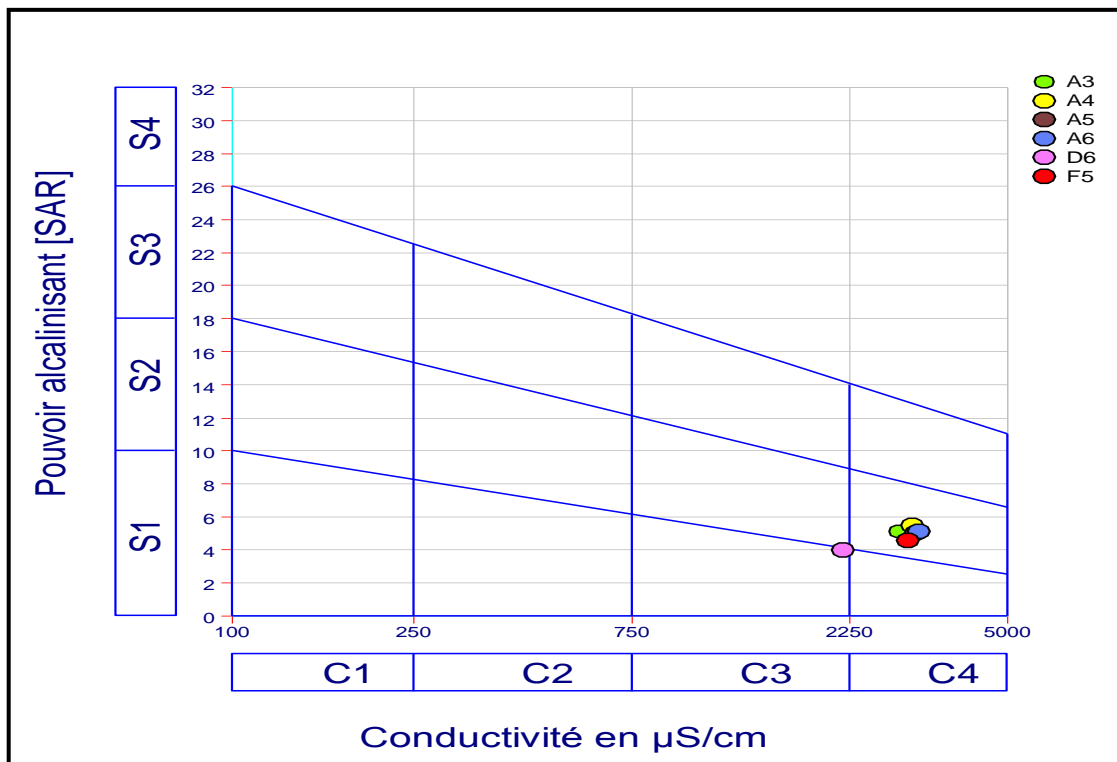


Figure.57: Diagramme de Wilcox log des eaux des forages

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^-) :

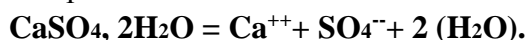
L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines proviennent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

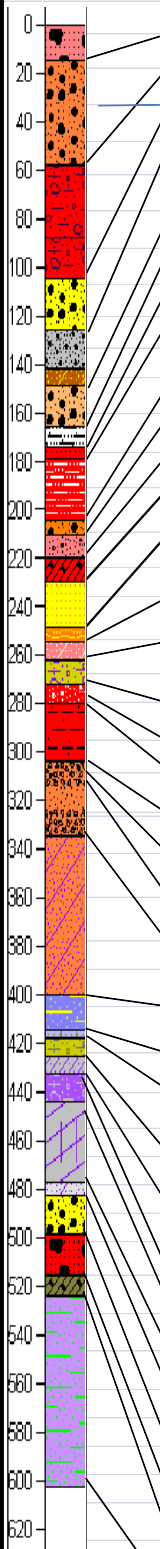
www.lenntech.fr: Norme de l'OMS sur l'eau potable

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
	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		
240	361	Grès tendre avec argiles violettes et brunâtres et gravier quartzitique
260	378	Sable grossier et gravier de quartz
280		
300	422	Grès tendre, argiles rouge brique, graviers plus ou moins grossiers et quelques particules de gypse
320	442	Argile gréseuse et quelque gravier de quartz
340		
360	450	Argile de couleur violette parfois verdâtre et gravie plus ou moins grossier
380		
400	460	Sables grossiers, gravier de quartz, argiles sableuses et quelque passage d'argile violette
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 grès 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 grès 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	Grès 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	Grès 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	Grès rouge tendre graveleux et argile schisteuse violette grisâtre
		550	Grès fin rouge tendre graveleux et trace d'argile violette et grisâtre et trace de gypse
		600	Grès 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