

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

**Etude hydrogéologique et hydrochimique
de foggara dans la région Touat (Adrar)**

Soutenu publiquement par :

M. banaceur omar

Le 02 /07 /2016

Devant le jury :

Président :	M. ZERROUKI.H	M. C. A Univ. Ouargla
Promoteur :	M. NEZLI Imed Eddine	Pr Univ.Ouargla
CO-promoteur :	M. BENHAMIDA.S	Ingénieur de l'A.N.R.H
Examineur :	M ^{me} . HADJ- SAID .S	Pr : Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016



Remerciements

Remercie, en premier lieu, **Allah** le tout puissant de nous avoir
donnés La volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail

Tout d'abord, j'exprime ma sincère gratitude à Mr NEZLI Imed Eddine et
à Monsieur BENHAMIDA SELIMAN pour leurs précieuses contributions
pédagogiques et scientifiques

Leurs orientations et leurs critiques constructives, tout au long de ce travail, ont
été pour moi un apport considérable

Que Mr .ZERROUKI.H, trouve ici l'expression de mes chaleureux remerciements
pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury.

Mes remerciements vont aussi à Mm. HADJ- SAID .S pour avoir accepté de
fairepart du jury.

J'exprime ma gratitude à tout le personnel de l'Agence National des Ressources
Hydriques (ANRH) d'Adrar de m'avoir fournis l'accès à la documentation
nécessaire à l'accomplissement de ce travail

Mes remerciements vont également :

J'aurai une pensée particulière pour tous mes camarades d'études, ainsi qu'à
tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Banaceur omar



Dédicace



Je dédie ce modeste mémoire:

A ma très chère mère.

A mon très cher père.

A mes très chers frères.

A mes très chères sœurs.

A toute la famille.

Omar

SOMMAIR :

Remerciement	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des unités	
Acronyme et glossaire	
Introduction général	01
. Chapitre I : I : Cadre physique et géologique	
I.1 Situation géographique général	03
I.2. Cadre physique de la zone d'étude.....	03
I.3. Aspect géomorphologique et topographique.....	04
I.3.1 Le Plateau.....	04
I.3.2 L'Erg	04
I.3.4 La Dépression.....	04
I.3.5 Réseau Hydrographique.....	05
I.4 : Aspect socio-économique.	05
I.4.1. Agriculture	05
I.4.2. L'Élevage.....	06
I.4.3. Industrie.....	06
I.5 Géologie de la région.....	06
I.5.1. Cadre géologique de la zone d'étude.....	06
I.5.1.1. Le Quaternaire.....	06
I.5.1.2. Le Continental Intercalaire (CI).	06
I.5.1.2.1. L'Albien.	07
I.5.1.2.2. L'Aptien.....	07
I.5.1.2.3. Le Barrémien.....	07
I.5.1.2.4.. Le Néocomien.	07
I.5.1.3. Le Jurassique.	07
I.5.1.4. Le Trias.....	08
I.5.1.5. Le Paléozoïque.....	08
I.5.1.2. <i>Carbonifère</i>	08
I.5.1.3. Le Dévonien.....	09
I.5.1.4. Le Silurien.....	09
I.5.1.5. L'Ordovicien.....	09
I.5.1.5. Précambrien.....	09
I.5.2. la coupe lithologique de terrain	10
I.5.2.1 : La coupe d'Ain-Ech-Cheikh	10
I.5.6.2 La coupe de Reggane-plateau	11
I.5.3 : Sondages de recherches hydrauliques	12
a). Le forage de reggane:.....	13
b). Le forage de barbaa.....	13
I.5.4. Paléorecharge.....	14

I.5.4. TECTONIQUE	14
I.5.6. Conclusion	15

Chapitre II : Etude hydro climatologique

II.1 Introduction	16
II.2 : Les paramètres climatiques.....	16
II 2.1. La Température.	16
II 2.1.1. Variations des températures moyennes annuelles.....	16
II.2.1.2. Variations des températures moyennes mensuelles.....	17
II.2.2. La Précipitation	17
II.2.2.1 Variations interannuelles des précipitations.....	17
II.2.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations.....	18
II 2.3 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN.....	19
II. 2.4. Vitesses des vents.....	19
II .3. Le Régime Hydrique.....	20
II .3.1. : L'humidité atmosphérique (l'air).....	20
II .3.2. L'évapotranspiration.....	20
II 3.3. Calcule L'évapotranspiration réelle (ETP) par la formule de TURC	21
II.3.4.L'évapotranspirationréelle (ETR) par la formule de C.W.THORNTHAITE.....	21
II.4. conclusion.....	23

Chapitre III : Etude Hydrogéologique

III.1. Introduction.....	24
III.2. Le Continental Intercalaire (CI).....	24
III.2.1 Géologie du (CI).....	25
III.2.3. L'alimentation du (CI).....	25
III.2.4 Direction d'écoulement du (CI).....	26
III.2.5.Les exutoires du Continental Intercalaire (CI).....	26
III.3. Hydrogéologie de la zone d'étude.....	26
III.3.1 Lithologie de la nappe du Continental Intercalaire.....	27
III.3.2. Carte piézométrique.....	27
III.3.2.1 Interprétation de la carte.....	28
III.4. Conclusion.....	29

Chapitre IV : Système de captage traditionnel (Foggara)

IV.1 Introduction.....	30
IV.2. Historique et origine de la Foggara.....	30
IV.3. Situation géographique des foggaras Touat.....	31
IV.4 description d'une Foggara	31
IV.5 Fonctionnement de la foggara.....	33
IV.6 Les palmeraies à foggaras (caractères).....	34
IV.7. Mesure et partage du débit de la foggara.....	35
IV.8. Outil de mesure.....	36
IV.9. Distribution des eaux des foggaras.....	36
IV.10. Unité de mesure.....	37
IV.11. Inventaires des foggaras.....	38
IV.12. Evolution de la foggara.....	38
IV.13. Nettoyage et entretien de la foggara.....	40

IV.4. Les contraintes qui agissent sur la foggara.....	41
IV.14. Relation (Forage-Foggara).....	42
IV.15. Conclusion.....	43

Chapitre V : Etude hydrochimie.

V.1 : Introduction.....	45
V.2 : Méthodes et stratégie de travail.....	45
V.3 : Études des paramètres physico-chimiques.....	46
V.3.1 : Paramètre physique.....	46
V.3.1.1 : La température (C°).....	46
V.3.1.2 : Potentiels d'hydrogène (PH).....	46
V.3.1.3 : La conductivité électrique (EC).....	46
V.4 : Les paramètres chimiques.....	48
V.4.1 : Les ions majeurs.....	48
V.4.1.1 : Le Calcium (Ca ²⁺).....	48
V.4.1.2 : Le Magnésium (Mg ²⁺).....	48
V.4.1.3 : Le Sodium (Na ⁺).....	49
V.4.1.4 : Le Potassium (K ⁺).....	50
V.4.1.5 : Les Chlorures (Cl ⁻).....	50
V.4.1.6 : Les Bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	51
V.4.1.7 : Les Sulfates (SO ₄ ⁻).....	51
V.4.2 : Les paramètres de pollution.....	52
V.4.2.1 : Les Nitrates (NO ₃ ⁻).....	52
V.4.2.2 : Les Nitrites (NO ₂ ⁻).....	53
V.4.2.3 : L'Ammonium (NH ₄).....	53
V.4.2.4 : Les Phosphates (PO ₄ ³⁻).....	54
V.5 : Les faciès chimiques des eaux.....	55
V.5.1 Diagramme de Piper.....	55
V.5.2 : Diagramme de SchoellerBerkaloff.....	56
V.5.3. Classification de STABLER.....	58
V.6. : Qualité des eaux de l'irrigation.....	61
V.6.1. Diagramme de REVERSIDE.....	62
V.6.2 : Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX).....	63
V.7. Potabilité chimique des eaux de foggara.....	66
V.7.1. Les normes de potabilité.....	66
V.7.2. Dureté totale (ΔTH).....	66
V.8. Conclusion.....	68
CONCLUSION GENERAL.....	69
Références bibliographiques	
Annexes	

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

N°	TITRE DE FIGURE	PAGE
Figure I.1 :	Situation géographique de la zone étude.....	3
Figure I.2 :	Traits morphologiques de la zone d'étude.....	5
Figure I.3 :	Diagramme géologique de la région d'étude (Benhamza.M, 2013)	8
Figure. I.4 :	Carte géologique de la région d'étude (Conrad. 1969, modifiée).....	10
Figure I.5 :	Coupe de CI d'Ain-Ech-Cheikh (G.Conrad, 1969).....	11
Figure I.6 :	Coupe de CI de Reggane-plateau (G.Conrad, 1969).....	12
Figure I.7 :	Coupe lithologique du forage barbaa (ANRH)Adrar	13
Figure I.8 :	Coupe lithologique du forage Reggan (ANRH) ADRAR.....	13
Figure I.9	Age des eaux du CI d'après la teneur en carbone 14 (OSS, 2004).....	14
Figure.II.1 :	Variations moyennes mensuelle des températures (1994-2014).....	17
Figure.II.2 :	Variations moyennes annuelles des précipitations (1994-2014).....	18
Figure.II.3 :	Variation des moyennes mensuelles interannuelles des précipitations.....	18
Figure II.4:	Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN de la région d'Adrar.....	19
FigureIII.1:	Situation du CI dans le Sahara septentrional (OSS, 2003.....	25
Figure.III.2 :	Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).....	26
Figure.III.3 :	Carte piézométrique de la région Touat en 2016.....	28
Figure IV.1:	Positionnement des foggaras et forages de la zone d'étude, sur Image satellite (benhamza 2013)	32
Figure.IV.2	Schéma descriptif d'une foggara. (INSID, 2003).....	33
Figure.IV.3 :	Schéma de fonctionnement d'une foggara. (Benhamza 2013).....	34
Figure.IV.4	Schéma en perspectif d'une foggara (Benhamza 2013).....	35
Figure.IV.6 :	Chegfa	36
Figure.IV.5 :	Nouba	36
Figure.IV.7 :	Schéma explicative d'évolution de la foggara d'après (Michel JANVOIS)) modifie	40
Figure.V.1 :	Carte iso teneur de conductivité.....	47
FigureV.2:	Variation des concentrations en Ca^{2+} dans la foggara Touat.....	48
Figure V.3:	Variation de la concentration en Mg^{2+} dans la foggara Touat.....	49
FigureV. 4:	Variation de la concentration en Na^{+} dans la foggara Touat	49
Figure V.5 :	Variation des concentrations en K^{+} dans la foggara Touat.....	50
Figure V.6 :	Variation des concentrations en CL dans la foggara Touat.....	51
Figure V.7 :	Variation des concentrations en HCO_3 -dans la foggara Touat.....	51
Figure V.8:	Variation des concentrations en SO_4 dans la foggara Touat.....	52
Figure V.9:	Variation des concentrations en (NO_3-) dans la foggara Touat	52
Figure V.10:	Variation des concentrations en (NO_2-) dans la foggara Touat.....	53
Figure V.11:	Variation des concentrations en (NH_4^{+}) dans la foggara Touat.....	54
Figure V.12 :	Variation des concentrations en (PO_4) dans la foggara Touat.....	54
Figure V.13:	Diagramme de Piper des eaux de la foggara de la région Touat.....	56
Figure V. 14a:	Digramme de Schöeller des eaux de la foggara de la région de Touat.....	57
Figure V.14.b:	Digramme de Schöeller des eaux de la foggara de la région de Touat.....	58

LISTE DES FIGURES

Figure V.15a : diagramme de stabler des eaux de la foggara de la région Touat.....	60
Figure V.15b diagramme de stabler des eaux de la foggara de la région Touat	61
Figure.V.16 : Diagramme de Riverside des eaux de foggara de la région Touat	62
Figure.V.16. Diagramme wilcox-log de la région Touat.....	64
Figure.V.17. Diagramme wilcox de la région Touat.....	65

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

N°	titre de tableau	PAGE
Tableau.II.1 :	Caractéristiques de la station pluviométrique d'Adrar.....	16
Tableau.II.2 :	Températures moyennes mensuelles durant la période (1994-2014).....	17
Tableau.II.3 :	précipitations moyennes mensuelles durant la période (1994-2014).....	18
Tableau II.4.	Présente la moyenne mensuelle des précipitations et températures (1994-2014)..	19
Tableau .II.5 :	les moyennes mensuelles de la vitesse des vents (1994-2014).....	20
Tableau. II.6:	Représente les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en Pourcentage (Hr %) pendant la période (1994-2014).....	20
Tableau (II.7) :	les résultats des calculs de bilan hydrique de la région de Touat d'après C.W.THORNTHAITE de période (1994-2014).....	21
Tableau.IV.1	Tableau des sous multiples de Habba.....	37
Tableau.IV.2 :	des sous multiples de Kirat.	37
Tableau. IV.3.	Débit des foggaras par commune (année 1960, 1933, 1998 et 2011).....	38
Tableau.V.1 :	Classification de STABLER des eaux de la nappe CI dans la région Touat	59
TableauV.2 :	les cinq classes des eaux d'après Wilcox.....	63
Tableau.V.3	Normes Algériennes de potabilité.....	66
Tableau.V.4	présente la potabilité en fonction de la dureté.....	67
Tableau.V.5 :	Classification de qualité d'eau dans la région à partir de la dureté totale.....	67
TableauV.6 :	Classification la potabilité des eaux de foggara la région Touat d'après la norme Algérienne.....	70

Liste des unités

Liste des unités

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 : Millilitre.

mn : Minute.

°K : Degré Kelvin

Acronyme et glossaire

Acronyme

- A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- A.E.P** : Alimentation en eau potable.
- MEV** : mise en valeur.
- C.T** : Complexe Terminal.
- C.I** : Continental Intercalaire.
- S.A.S.S** : Système Aquifère du Sahara Septentrional.
- ABHS** : Agence de Bassins Hydrographique du Sud.
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.
- UNESCO** : United Nations Éducation Science and Culture Organisation.
- OSS** : Observatoire du Sahara et du Sahel.
- INRA** : L'Institut Nationale des Recherches Agricoles d'Adrar.
- INRH** : L'institut National des Ressources Hydrauliques
- Tr** : Température annuelle en (C°).
- ETP** : Evapotranspiration potentiel (mm).
- Pr** : Précipitation annuelle (mm).
- ETR** : Evapotranspiration réelle. (mm).
- Def** : Déficit.
- RFU** : Reserve facilement utilisable
- hr** : L'humidité relative (%).
- TH** : Titre Hydrotimétrique.
- pH** : Potentiel d'Hydrogène.
- K** : Coefficient de correction.
- BI** : Balance ionique.
- INSID** : Institut national des sols de l'irrigation et du drainage.
- DHW** : Direction de l'hydraulique de la wilaya.

Acronyme et glossaire

Glossaire

Aghisrou : Canal qui se trouve entre le peigne répartiteur et le premier puits de la foggara.

Amazer : La partie enlevée de la galerie lors de son approfondissement.

Aud : Tige ou une partie de plante.

Chahed : Le témoin de la foggara.

Chegfa : Outil de mesure du débit de la foggara.

Djemaâ : Conseil de la tribu ou du Ksar.

El Hassab : Le comptable de la foggara qui fait les calculs du débit.

Erg : Dune de sable.

Foggara : Galerie souterraine qui draine l'eau de la nappe vers la surface du sol.

Fouaha : Puits, Hassi, ou bien cône de puits de foggara.

Gourara : Région de Timimoun entre Aougrou et Zaouiet Debagh.

Guemoun : Petite parcelle de culture dans le jardin.

Habba : Graine, unité de mesure du débit de la foggara.

Halafa : Outil de mesure du débit de la foggara signifie « par laquelle on jure ».

Hamada : Plateau rocheux.

Hassi : Puits de foggara.

Kasria : Peigne partiteur de forme triangulaire ou rectangulaire.

Kébira : La Grande

Khamas : Métayer, Qui reçoit le cinquième de la récolte.

Khorga : Trou.

Kial Asfar : Le mesureur jaune.

Kial El Ma : Le mesureur d'eau.

Kirat : Carat, unité de mesure de débit.

Kraa : Jambe, extension d'une foggara.

Ksar : Tour, Ensemble de bâtis d'une agglomération.

Louh : Outil de mesure de débit de la foggara « bois plane ».

Machte : Brosse, construction à la fin de Kasria aide à l'acheminement des parts d'eau.

Majen : Bassin d'accumulation des eaux.

Majra : Canal de la foggara.

Nfad : Galerie drainante qui relie tous les puits de la foggara.

Nouba : Débit reçu dans un intervalle de temps.

Oued : Cours d'eau.

Sbaâ : Doigt.

Sebkha : Dépression salée ou gypseuse.

Seghéria : La Petite

Seguia : Rigole, canal.

Tarha : Extension de la foggara.

Tidikelt : Région d'In Salah entre Aoulef et In Salah.

Tmen : Le huitième.

Ratba : Extension de la foggara.

Reg : Surface plane couverte de sable et gravier.

Zemam : Registre dans lequel les informations de la foggara sont inscrites.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction général

Introduction

L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière, qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique, ou animale, n'existerait.

La Wilaya d'Adrar 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).

L'accélération de développement et l'augmentation de taux d'exploitation de cette réserve à l'échelle local et régional ont rapidement entraîné des problèmes relatifs principalement à la qualité des eaux, et le rabattement de niveau de la nappe qui a causé par la suite le tarissement de certains nombre de forage au cours de ces dernières années, ce qui a influencé sur la stabilité des écosystèmes dans la région.

La qualité chimique de ces eaux de foggara ou forage joue un rôle important dans la détermination de choix de son utilisation (AEP, irrigation, industrie...etc.). Donc, il est nécessaire de disposer d'une information rigoureuse et lisible concernant cette qualité dans le but de la préserver contre toute sorte de pollution ainsi qu'une meilleure gestion de cette ressource, ainsi, la prise de décision en ce qui concerne tout aménagement.

Le présent travail est une contribution qui a pour objectif de répondre en partie aux questions généralement relatives au comportement hydrogéologique, la nature de l'aquifère et hydro chimique (qualité des eaux des foggaras souterraines, utilisation), et leur aspect environnemental dans la région Touat dans l'optique d'une gestion rationnelle des ressources en eaux et un développement durable de cette région.

Pour cela, on se basera d'abord sur les données existantes : de l'ANRH (Agence nationale des ressources hydrauliques) d'Adrar, qui contrôle le bassin du Sahara, ainsi que les différentes directions de la wilaya : DHW (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya). Nous ferons également appel à plusieurs disciplines Scientifiques : la géologie,

Introduction général

l'hydrodynamisme, l'hydrochimie, quelques logiciels informatiques spécialisés afin d'interpréter les données.

Afin de répondre à ces préoccupations et d'atteindre nos objectifs, cette étude est orientée sur les axes suivants :

Une introduction générale présente la problématique et les objectifs du travail ;

- Le chapitre cadre générale concerne la situation géographique et les caractéristiques physiques de la région d'étude (relief et hydrographie, et le contexte socioéconomique) et la caractéristiques géologiques ;
- Le chapitre climatologie regroupe une étude des différents paramètres climatiques, tels que le type de climat,
- Le chapitre hydrogéologie a été consacré aux caractéristiques hydrogéologiques
- le chapitre de foggara est représenté le système traditionnelle d'irrigation utiliser dans les oasis de la région d'étude ; (l'historique, fonctionnement, système de mesure, positionnement, l'unité de mesure, les type...ect)
- Le chapitre hydrochimie présente l'évolution et à la répartition des éléments chimiques, ainsi qu'à la détermination des différents polluants qui peuvent existent dans les eaux souterraines,

Et finalement une conclusion générale qui résume les résultats attirés de cette étude.

Chapitre I : Cadre physique et géologique

I : Cadre physique et géologique.

I.1 Situation géographique général

En plein cœur du Sahara algérien, la wilaya d'Adrar est située au sud-ouest du pays à plus de 1200 km d'Alger. Elle est située entre les méridiens : 2°E et 6° W, et les parallèles 20° et 32° Nord. Sa superficie totale est de 427 368 Km², soit environ 18 % de la superficie globale de l'Algérie, près d'un cinquième du territoire national. Issue du dernier découpage administratif de 1974, la wilaya d'Adrar est composée de 11 daïras et 28 communes, et 294 ksars. (Zaghtou. A, 2011). La wilaya est découpée en quatre régions du Nord au Sud : (**figure.1.1**)

- le Gourara ;
- le Touat ;
- le Tidikelt ;
- la Tanezrouft.

Elle est limitée :

- au Nord, par les wilayas d'El Bayedh et Ghardaïa ;
- à l'Ouest, par la wilaya de Bechar et Tindouf
- à l'Est, par la wilaya de Tamanrasset
- au Sud, par la Mauritanie et le Mali.

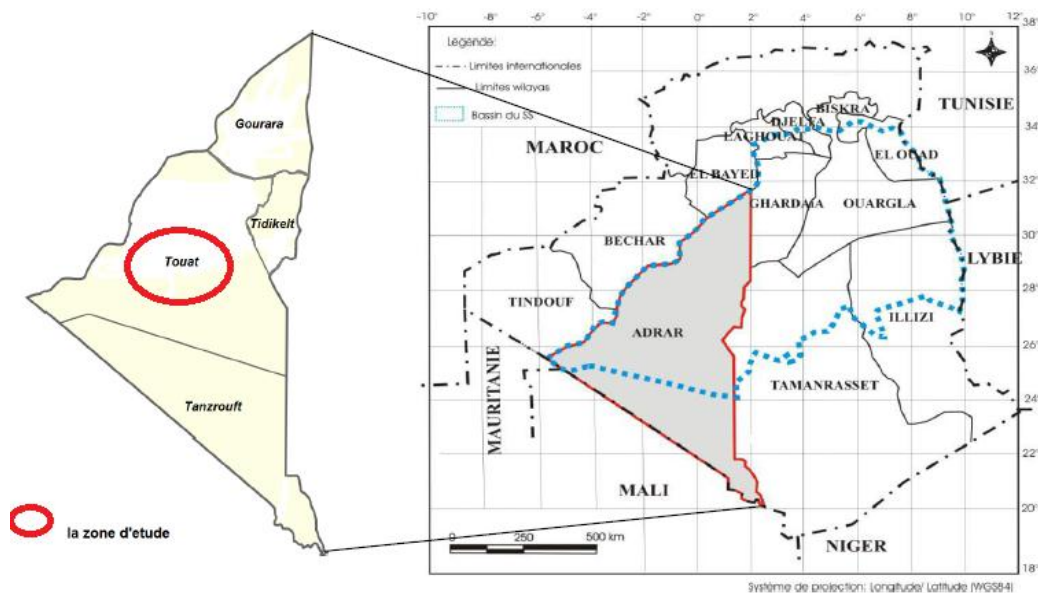


Figure I.1 : Situation géographique de la zone étude

I.2. Cadre physique de la zone d'étude.

La zone d'étude fait partie de la wilaya d'Adrar, elle est située entre les latitudes 26°30'N et 28°30'N et les longitudes 0°30'W et 0°30'E, elle s'étend de la ville d'Adrar jusqu'à la ville de Reggane sur presque une distance de 270 km Cette zone est limitée :

- Au Nord par le Grand Erg Occidental.
- A l'Ouest par Erg Echech.
- Au Sud par la Tanezrouft.
- A l'Est par le plateau de Tademaït

I.3. Aspect géomorphologique et topographique.

La région d'étude partie d'une grande zone allongée sensiblement orientée Est-Ouest Elle renferme quelques traits morphologiques, on trouve (figure I.2) :

I.3.1 Le Plateau.

Il limite la zone d'étude à l'Est (plateau de Tademaït) d'une forme tabulaire rocheuse

I.3.2 L'Erg.

L'Erg est représenté par de massives dunes de sable à l'Ouest de la région d'étude (Erg Echache) et au Nord par le Grand Erg Occidental,

I.3.3 Le Reg.

C'est une surface plane couverte de gravier, sable et des débris de roche

I.3.4 La Dépression

Elle se localise en aval de la palmeraie, elle est représentée par une sebkha où les efflorescences salines interdisent toute végétation et qui évolue dans le cadre du système endoréique. Elle s'étale tout le long de la rive gauche de la zone d'étude. L'altitude par rapport au niveau de la mer de la zone d'étude est de l'ordre de 150 à 200 m au niveau de la dépression, de 200 à 300 m au niveau du Reg et de 350 à 800 m au niveau du plateau de Tademaït (Benhamza.M, 2013)

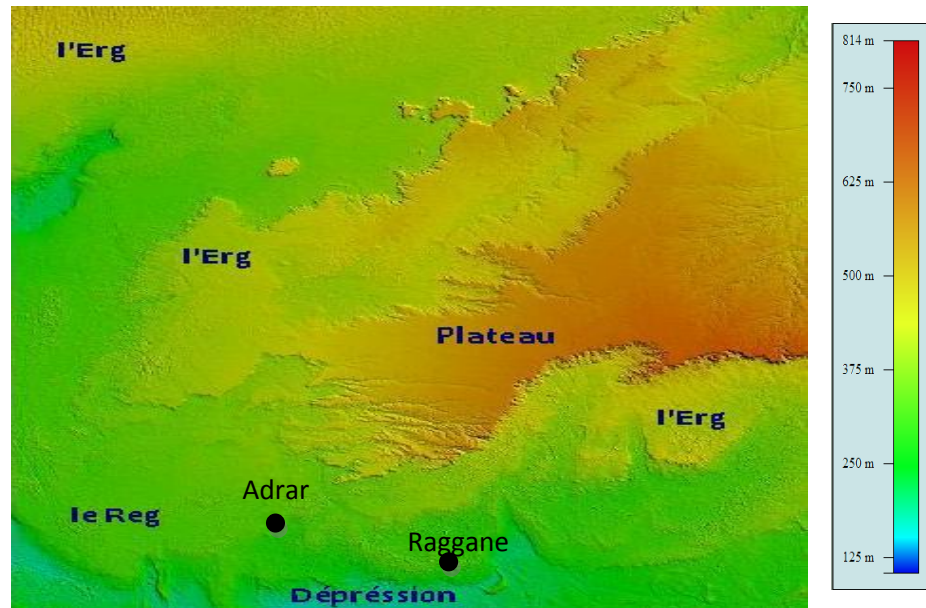


Figure I.2 : Traits morphologiques de la zone d'étude.

L.3.5 Réseau Hydrographique.

C'est au Villafranchien supérieur que s'organise dans son ensemble le grand réseau hydrographique du Sahara algérien, dont les vestiges plus ou moins dégradés ont été conservés jusqu'à l'époque actuelle, (Conrad, 1969).

Dans la région d'étude le réseau hydrographie sont rare par rapport la région du Béchar, elle est représenté oued Messaoud qui est la continuité d'oued Saoura vers le Nord ; ce dernier drainé a partir de l'Atlas Saharien et l'oued Tillia et ses affluents qui drainent (traversé) le plateau de Tademaït vers le Sud Est au niveau de ZaouietKounta. A partir de Baamer vers Reggane, à l'extrémité orientale de la dépression de Touat, on remarque un réseau hydrographique intense, constitué par des petits ravins distincts qui drainent le plateau de Tademaït. il est temporaire et sec depuis quelques années

I.4 : Aspect socio-économique.

I.4.1. Agriculture

La agriculture du Touat est caractère par La production de dattes qui bien que de médiocre qualité est la seul denrée exportable Un récolte insuffisante de céréales blé et orge

Des cultures diverses dont le rendement est faible a cause du manque de eau et de engrais et des méthodes traditionnelle de culture, généralement ces cultures sont utilisées pour une autoconsommation.

I.4.2. L'Élevage.

Le manque de pâturage surtout la période sèche de l'année et la rareté des précipitations et l'aridité de la région.na pu permettre que se développe un véritable élevage

1.4.3. Industrie.

Les cultures industrielles ont toutes réalisées depuis de nombreuses année par les oasiens .mais elles n'ont jamais fait l'objet d'une exploitation méthodique et pourtant ce sont elles qu'il faudrait développer car elles peuvent rapporter des revenus considérable sur de petites surface tout en favorisant l'installation d'un artisanat local (préparation des produite)

La région d'Adrar a connu ces dernières années une dynamique industrielle accélérée avec la découverte des gisements de gaz et pétrole, elle est devenue un pôle industriel avec la réalisation de la raffinerie de Sbaâ,

I.5 Géologie de la région.

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).

L'étude géologie a pour but détermination de la lithologie d'aquifère de continental intercalaire(CI) dans la région d'étude.

I.5.1. Cadre géologique de la zone d'étude.

Les formations géologiques rencontrées dans l'ensemble des trois bassins sont similaires, on trouve de haut en bas :

I.5.1.1. Le Quaternaire. (figure.1.3)

Le Quaternaire est constitué de sable éolien et sable argileux, représenté à l'Ouest et au Sud de la région par les dunes de l'Erg Chech et de la Tanezrouft, et au Nord par les dunes du Grand Erg Occidental.

I.5.1.2. Le Continental Intercalaire (CI). (figure.1.4)

Les formations du Continental Intercalaire C.I affleurent en une auréole continue encerclant le massif du Tademaït, d'El Goléa jusqu'à l'Est d'In Salah, directement surmontées par les argiles du Cénomanién. Au Nord-ouest, le CI affleure tout le long de l'Atlas Saharien, au Sud et à l'Ouest, le

CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, qui forme en affleurent une ceinture continue de la vallée de la Saoura jusqu'à In Salah.

Les coupes stratigraphiques des forages profonds ont permis de construire un diagramme géologique de la région d'Adrar (**figure 1.3**), L'observation de ce diagramme permet de voir le Continental Intercalaire comme l'ensemble compris entre le jurassique et le cénomanién, c'est à dire entre les plissements hercyniens qui ont chassés la mer de la plateforme saharienne et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement des formations continentales grés-argileuses du Crétacé inférieur. On trouve de haut en bas :

I.5.1.2.1. L'Albien. (figure.1.4)

L'Albien est constitué à la base par des grès et des sables dans lesquels s'intercalent des argiles et des argiles dolomitiques et au sommet par une dalle quartzitique.

I.5.1.2.2. L'Aptien. (figure.1.3)

L'Aptien est un bon repère géologique, généralement formé par un faciès calcarodolomitique appelé «barre aptienne» l'épaisseur de cet horizon est comprise entre 10 et 30 m.

I.5.1.2.3. Le Barrémien.

Le Barrémien est constitué par des grès grossier à gravier, d'argile et des sables admettant des passées d'argiles.

I.5.1.2.4.. Le Néocomien.

Le Néocomien comprenant des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base, elles sont surmontées par une alternance de dolomie et d'argile. Dans notre région d'étude les horizons ci-dessus sont assemblés pour former une seule nappe homogène, le Continental Intercalaire au sens large, appelé aussi localement « la nappe Albienne ».

I.5.1.3. Le Jurassique. (figure.1.3)

Cet étage est représenté par des argiles tendres légèrement sableuses parfois micacées admettant des passées de dolomie, grès et calcaire d'une épaisseur totale comprise entre 200 et 300 m. Le Jurassique inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement du sel et d'anhydrite. Les formations du jurassique

supérieur sont formées par des intercalations d'argile, d'argile sableuse et de calcaire dolomitique

I.5.1.4. Le Trias. (figure.1.3)

Il est généralement représenté par une sédimentation de type lagunaire constituée d'argile, d'argile plastique, d'argile bariolée gypseuse, d'anhydrite parfois massive et de dolomie.

I.5.1.5. Le Paléozoïque

Les formations d'âges paléozoïques affleurent au Sud-ouest de la ville d'Adrar vers la ville de «Koussane et Bouzzane», elles plongent sous le recouvrement mésozoïque et cénozoïque jusqu'à son apparitions à l'Est de la ville de Reggane, on trouve de haut en bas :

I.5.1.2. Carbonifère.

Le Carbonifère affleure au centre de la zone d'étude près du village de Tiouririne par des couches de calcaire, argile et gypse qui appartient au Namurien et par des grès, calcaire et argiles du Vasséen inférieur et supérieur, alors que le Tournaisien représenté par des grès argileux.

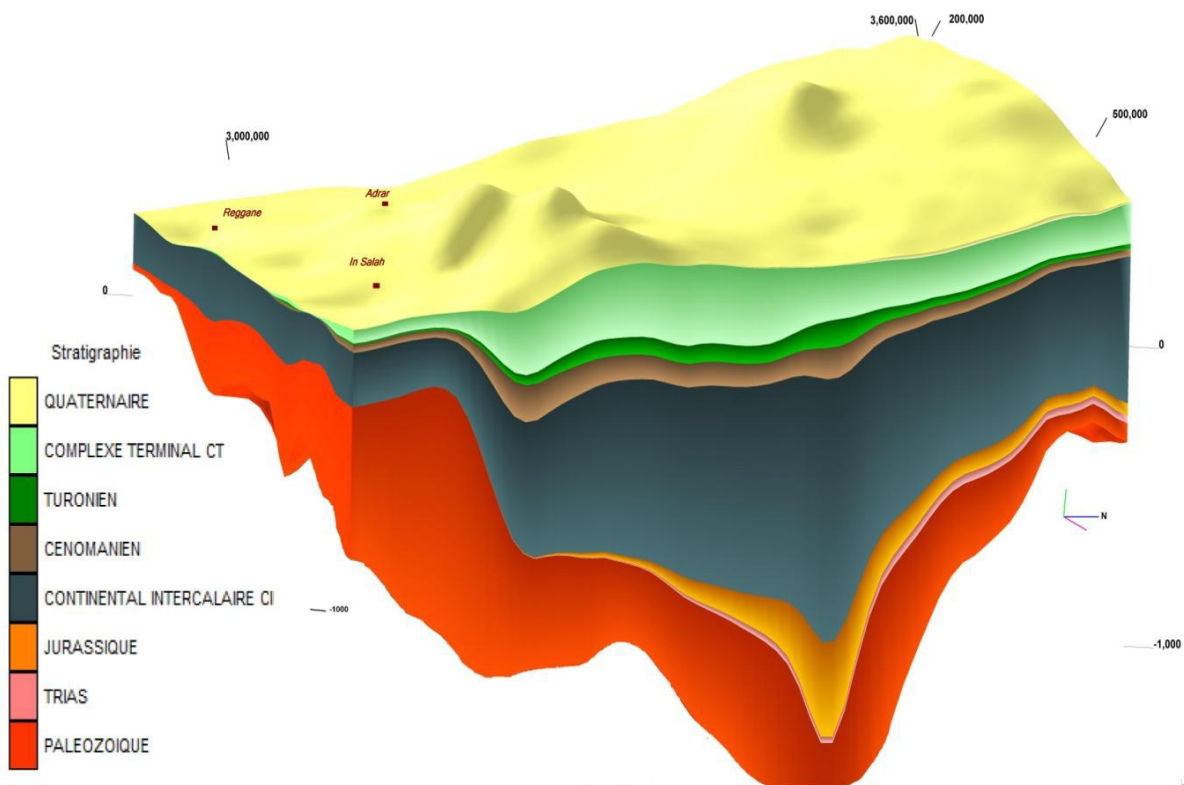


Figure I.3 : Diagramme géologique de la région d'étude (Benhamza.M, 2013)

a. Carbonifère inférieur :

Il est subdivisée en un ensemble argilo-gréseux tournaisien surmonté d'une formation argileuse puis argilo-carbonatée datée du Viséen se dépôt est marin avec la présence des évaporites.

b. Carbonifère moyen :

D'après Conrad(1984) Correspond à la "formation de AzzelMatti" qui est caractérisée par des dépôts lacustre renferment exclusivement des ostracodes ; au(Bashkierien). "Formation rouge de Ain echbib" Constitue par des grés fluviatiles grossiers à laminassions obliques avec quelques passés marins au (Moscovien).

I.5.1.3. Le Dévonien. (figure.1.4)

Il affleure essentiellement dans la région de Zaouiet Kounta sous forme de grès et de calcaire et argile.

a. Dévonien inférieur :

Il est caractérisé généralement par des facies très varié, ensemble argilo-gréseux, grés-argileuse, grés quartzitique, grés, avec série des argiles noirs avec des passées de grés et de calcaires.

b. Dévonien moyen :

Il est marqué par des facies suivent : des argiles noir ou limite de dévonien inf, des grés, silico-argileux et de calcaires bioclastiques.

c. Dévonien supérieur :

Commencé avec série argileux silteux, des calcaires argileuse, des argiles gris et complexe argilo-gréseux.

I.5.1.4. Le Silurien.

Le Silurien est présent au Sud du village El Ahmeur par des argiles à graptolites.

1.5.1.5. L'Ordovicien. (figure.1.4)

Les formations d'âges ordoviciennes affleurent près du village de Tasfaout par des formations de grés rouge ou vert, silts et argile.

1.5.1.5. Précambrien. (figure.1.4)

Il est représenté par un matériel volcano-détritique dit « série verte » composé d'une alternance de grauwackes à débris de roches et conglomérat à galets de socle (quartzite, gneiss, granite).



Légende :



Dunes
 Quaternaire
 Crétacé supérieur
 Continental Intercalaire
 Carbonifère supérieur

Echelle : 0 25 Km



Carbonifère inférieur
 Dévonien
 Cambro-Ordovicien
 Infracambrien

○ Région d'étude

Figure. I.4 : Carte géologique de la région d'étude (Conrad. 1969, modifiée).

I.5.2. la coupe lithologique de terrain :

Le continental intercalaire affluer au niveau des palmeraies d'Adrar et de Tiouririne à Zaouiet kounta, il y a quelques buttes-témoins de Hamada néogène, ces témoins reposent sur les argiles du Continental Intercalaires.

I.5.2.1 : La coupe d'Ain-Ech-Cheikh :(figure.1.5)

Dans cette région le Continental intercalaire est épais (plusieurs mètres) , essentiellement Gréseux, repose sur les schistes siluriens, alunifères, altérés et décolorés sur plusieurs mètres, par l'intermédiaire d'un conglomérat de base, formé de gros galets roulés de Grès à Tigillites et de quartzites ordoviciens. Directement audessus des schistes, la base du conglomérat est cuirassée puis le sédiment devient Gréseux et granulasse, avec stratifications entrecroisées. (G.Conrad, 1969).

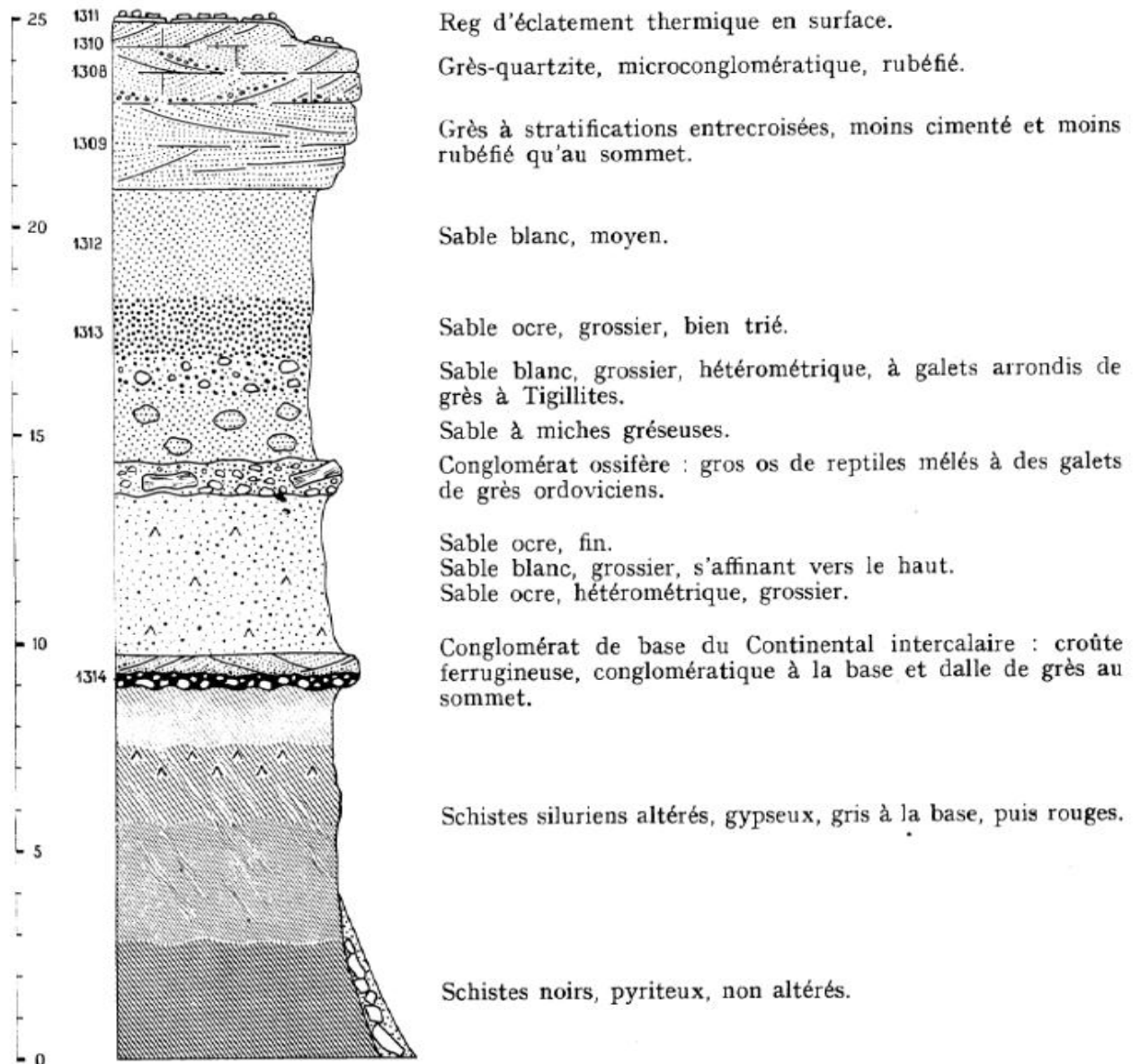


Figure I.5 : coupe de CI d'Ain-Ech-Cheikh (G.Conrad, 1969)

1.5.6.2 La coupe de Reggane-plateau :(figeur .1.6)

Il s'agit d'une sédimentation à caractère fluvial, qui a une grande analogie avec le faciès fluvial du Plio-Villafranchien de la Saoura. Ces faciès a différent nature lithologique, les plus fréquente des argiles a la base, sableuse, conglomérats et gréseuse a stratifications entrecroisées (grès vert au sommet). (G.Conrad, 1969).

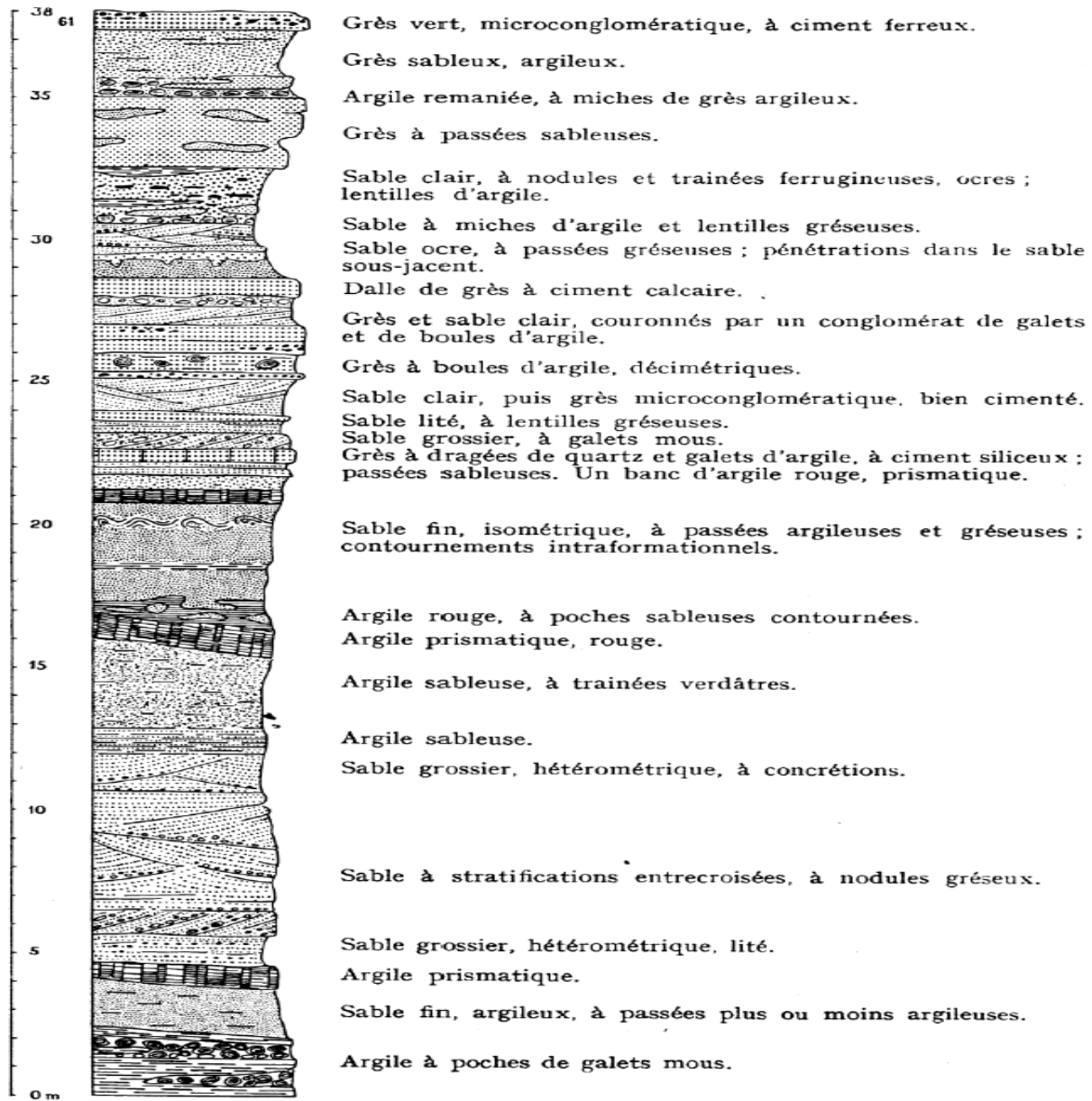


Figure I.6 : coupe de CI de Reggane-plateau (G.Conrad, 1969)

I.5.3 : Sondages de recherches hydrauliques :

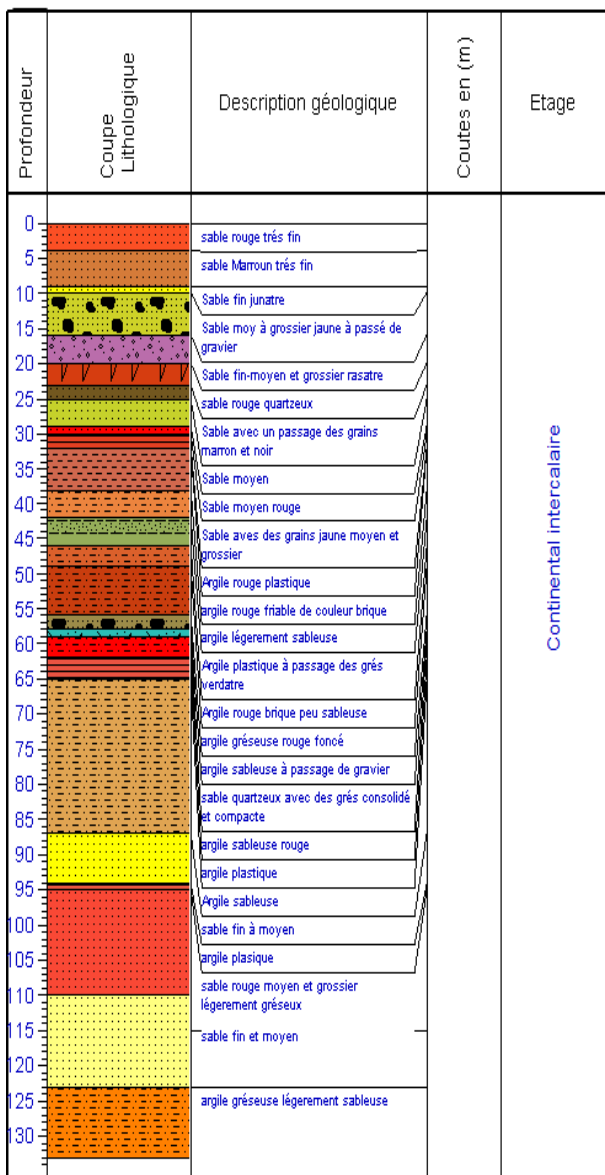
La plupart des forages dans la zone étudiée, si ce n'est les forages agricoles et les forages d'alimentation en eau potable, ont été d'un grand apport à la connaissance de la lithologie du Continental intercalaire parce que la majorité des sondages n'est dépassée pas ce l'âge. Ces forages sont réalisés par ANRH d'Adrar. La profondeur de ces forages est comprise entre (80 à 170 m), avec une lithologie généralement elle est de type : Grès, argile, gravier, Grès quartzitique, calcaire, argile sableuse, on voit ça dans les forages suivants.

a). Le forage de reggane: (figeur.1.9)

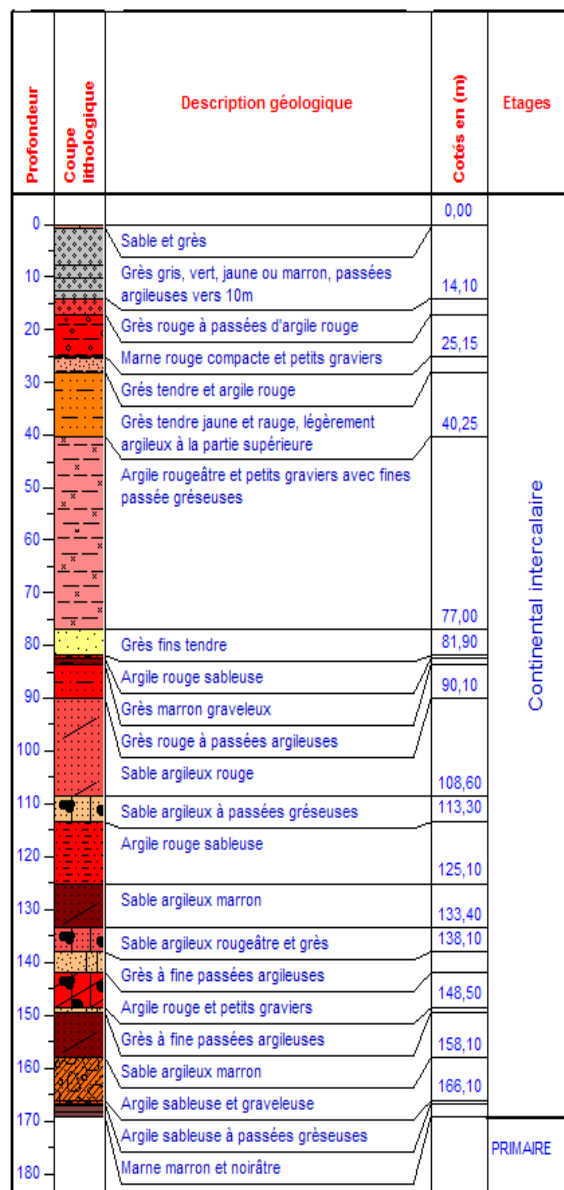
Il est situé dans le sud de la région Touat de bassin de Reggane, avec 170 m de profondeur. Ces facies variable mais on peut regroupe Dans : marne marron et argile sableuse a la base (15m), marne rouge compact, grés rouge, grés gris vert jaune et sable et grés à la sommet

b). Le forage de barbaa (figeur 1.8)

Ce forage fait dans la limite Nord de la région d'étude, il est caractérisé généralement par des facies continentaux détritique, ça profondeur est 133m. sable fine et moyenne et argile gréseuse a la base, surmontée par l'alternance sable rouge et grés rouge, sable rouge et jaunâtre et sable rouge très fin à la sommet.



Figeur I.7 : coupe lithologique du forage barbaa (ANRH) Adrar



figeur I.8 : coupe lithologique du forage Reggan (ANRH) Adrar

I.5.4. Paléorecharge.

Les réserves dites «fossiles» sont situées, en général, à des grandes profondeurs et connues pour être pratiquement non renouvelables. Dans les régions arides du monde, comme le Nord de l'Afrique, la péninsule arabique, l'Australie et le sud-ouest des États-Unis d'Amérique, ces nappes sont d'autant plus importantes qu'elles peuvent être un facteur déterminant du développement socioéconomique (Ould Baba Sy, 2005).

L'utilisation du terme « eau fossile » est peu utilisée dans le lexique des hydrogéologues, l'eau qui s'infiltre dans la nappe est en mouvement, jusqu'à sa sortie soit par pompage ou perdue aux exutoires naturels. (La figure 1.5) montre les teneurs en carbone 14 « C14 » dans les eaux de la nappe du Continental Intercalaire, d'après cette carte les eaux de la région d'Adrar ont un âge entre 1000 et 10000 ans.

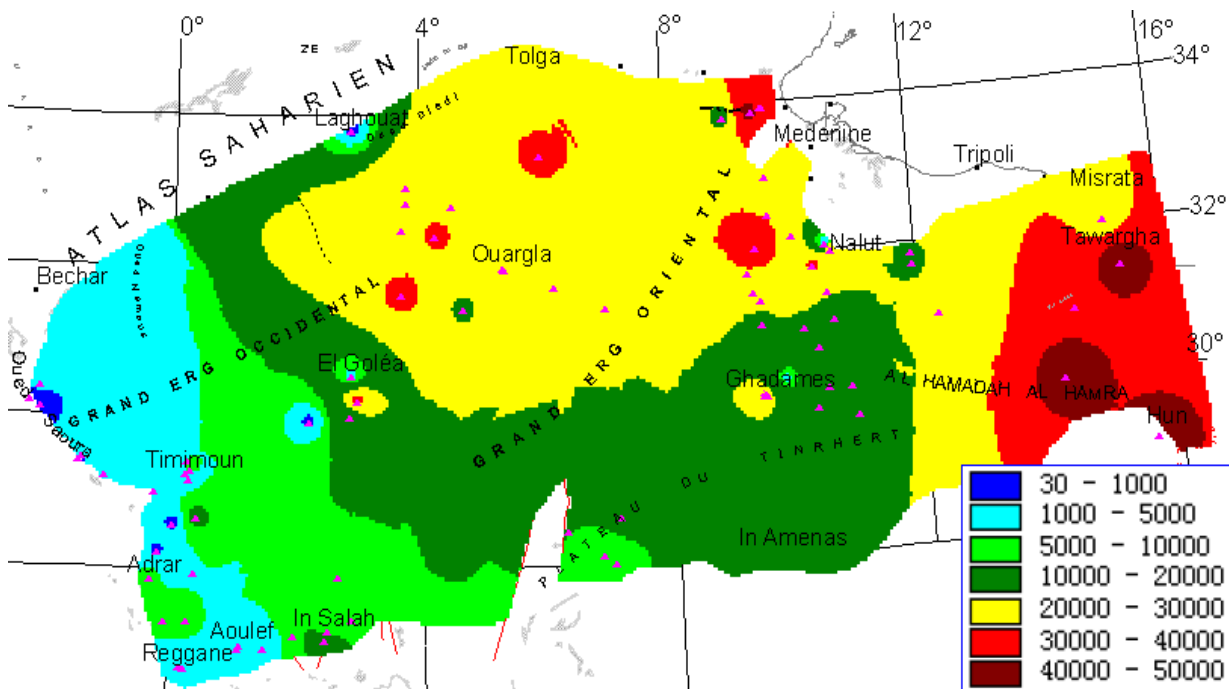


Figure 1.5 Age des eaux du CI d'après la teneur en carbone 14 (OSS, 2004).

I.5.4. TECTONIQUE :

Dans le Sahara occidental, les mouvements de l'orogénèse hercynienne sont les principaux responsables de la déformation et de la structuration. Le bassin de Reggane est une vaste dépression du domaine cratonique (stable) la plate-forme saharienne est fortement dissymétrique, orientée sensiblement Nord-Ouest, Sud-Est. Ce bassin est caractérisé par des événements tectoniques qui se sont produits au Cambrien-Viséen et au Carbonifère terminal.

Sur le socle Précambrien repose en discordance une puissante couverture sédimentaire de l'ordre de 6500m. les formations du Carbonifère affleurent au Nord de Reggane et Ain-Chebbi

I.5.6. Conclusion

La Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz) et la présence des calcaires compacts siliceux par fois. Le caractère particulier de ces grès est leur grande porosité qui est nettement plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Elle est évaluée au minimum La consultation des cartes, l'analyse des coupes et profils géologiques réalisés dans le cadre de cette étude montrent que l'épaisseur de la nappe du Continental Intercalaire est de l'ordre 180 à 200 m dans la région d'étude et que cette zone représente la limite Sud-Ouest de la nappe du Continental Intercalaire, par la ligne allant d'Adrar à Reggane.

Chapitre II : Etude hydro climatologique

II hydro climatologique

II.1 Introduction

Le climat de la région d'Adrar est un climat particulièrement contrasté; il est caractérisé par un climat sec et aride. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par de faibles précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Ces paramètres hydro-climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique;

. Les buts des analyses climatologiques (vitesse du vent, précipitation, température, Évapotranspiration, Humidité, vitesse de vent, la durée d'insolation) sont :

- Donne une idée sur le climat qui caractérise la région étudiée
- Donne un schéma global sur le mode de fonctionnement hydrologique du système aquifère.

Pour traiter le volet climatique, nous avons utilisé seulement les données de la station D'Adrar. Les données utilisées se rapportent à la période de 20 ans (septembre 1994 jusqu'à septembre 2014) les données existantes enregistrées dans la station météorologique d'Adrar. Cette station météorologique est localisée à 15 km à l'Est de la ville d'Adrar (tableau II.1).

Tableau.II.1 : Caractéristiques de la station pluviométrique d'Adrar.

Station	Code	X	Y	Z(m)	Année d'observation
Adrar	13-01-16	0°10'W	27°50'N	279	1994-2014

II.2 : Les paramètres climatiques.

II 2.1. La Température.

La température est un élément fondamental du climat, sa variation influence sur la transformation de l'eau en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol, elle influence sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle influence sur le volume d'infiltration et de ruissellement et même sur le taux de salinité des eaux. Toutefois la température joue un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique, c'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région

II 2.1.1. Variations des températures moyennes annuelles.

L'analyse des données de la température moyenne annuelle montre que l'année la plus chaude est l'année 2010 avec une température moyenne annuelle de 27.37°C et que l'année la

moins chaude est l'année 1994 avec une température moyenne annuelle de 25.43°C, la température moyenne interannuelle est de 26.01°C. le (Annexe II.1)

II.2.1.2. Variations des températures moyennes mensuelles.

L'analyse la courbe des températures moyennes mensuelles (figure.II.2) montre que le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne de l'ordre de 37°C, alors que le mois le plus froid c'est le mois de Janvier avec une température moyenne de l'ordre de 12°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 24.4°C.

Tableau.II.2 : Températures moyennes mensuelles durant la période (1994-2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Jul.	Out.	Moy
Tp(c°)	32	25	17	13	12	15	20	24	28	34	37	36	24.4

Source : station météorologique d'Adrar

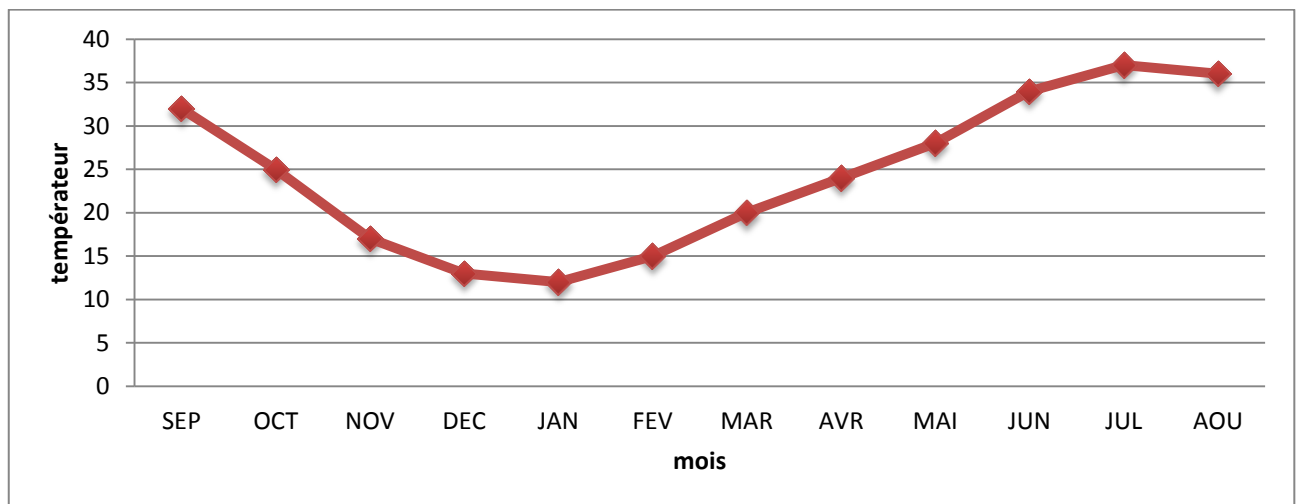


Figure.II.1 : Variations moyennes mensuelle des températures (1994-2014).

II.2.2. La Précipitation

Dans la zone étude la précipitation sont très rares et irrégulières aussi bien dans le temps que dans l'espace

II.2.2.1 Variations interannuelles des précipitations

L'analyse de l'histogramme des variations interannuelles des précipitations, sur une période de 20 ans (1994-2014), montre que l'année 2004 est la moins sec avec une précipitation moyenne à l'ordre de 31.09 mm/an et que l'année 1998 est la plus sec avec une précipitation moyenne à l'ordre de 1.02 mm/an, la précipitation moyenne interannuelle est de 13.25 mm/an (figure.II.2).

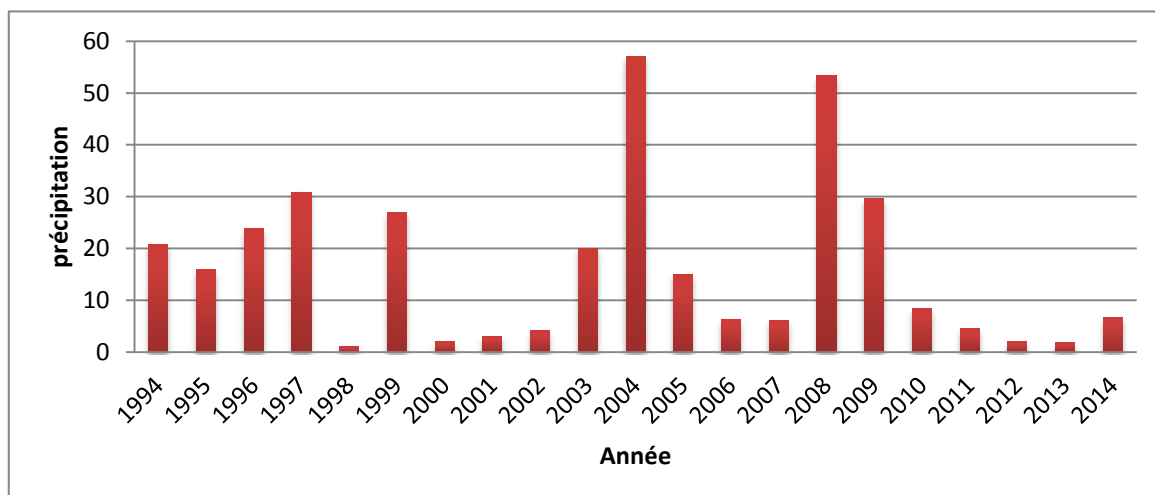


Figure.II.2 : Variations interannuelle des précipitations (1994-2014)

II.2.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations.

La courbe des moyennes de précipitations mensuelles (figure.II.3) nous a montré que ; pour la période de 20 ans, le mois de janvier est le mois le moins sec avec 5.4 mm, tan disque les mois de Juvillier et Octobre avec 0.0 mm sont les mois les plus sec, La moyenne mensuelle des précipitations est de l’ordre de 0.99 mm/mois.

Tableau.II.3 : précipitations moyennes mensuelles durant la période (1994-2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nev.	Dec.	Jen.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Jul.	Out.	Moy.
P(mm)	0.1	0.0	0.7	0.9	5.4	0.4	2.3	1.7	0.1	0.1	0.0	0.2	12

Source : station météorologique d’Adrar

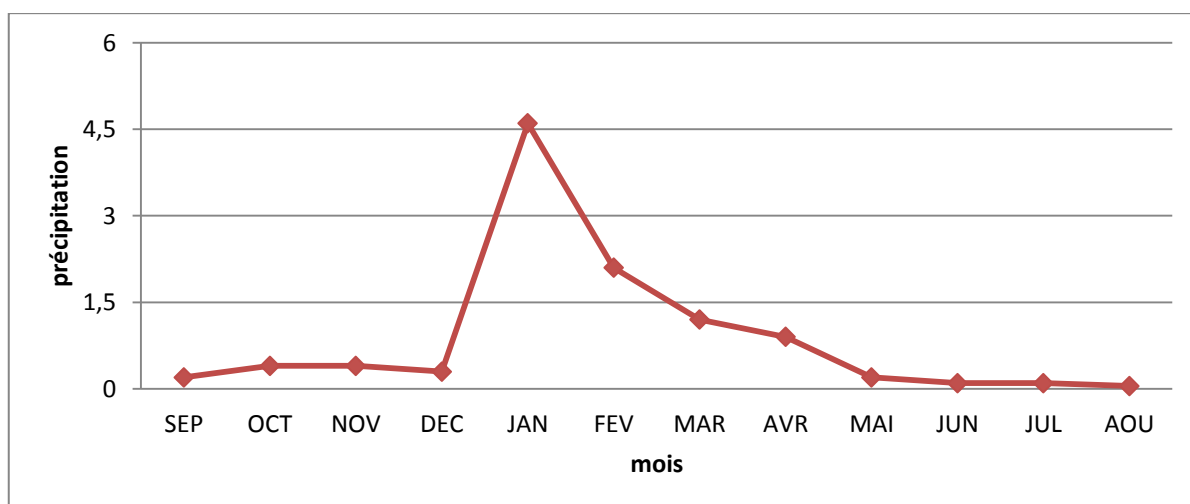


Figure.II.3 : Variation des moyennes mensuelles interannuelles des précipitations.

II 2.3 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN.

La définition de Gausсен, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois.

Tableau II.4. Présente la moyenne mensuelle des précipitations et températures (1994-2014)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Précipitation (mm)	0.2	0.4	0.4	0.3	4.6	2.1	1.2	0.9	0.2	0.1	0.1	0.05
Température (c°)	32	25	17	13	12	15	20	24	28	34	37	36

Source : station météorologique d'Adrar

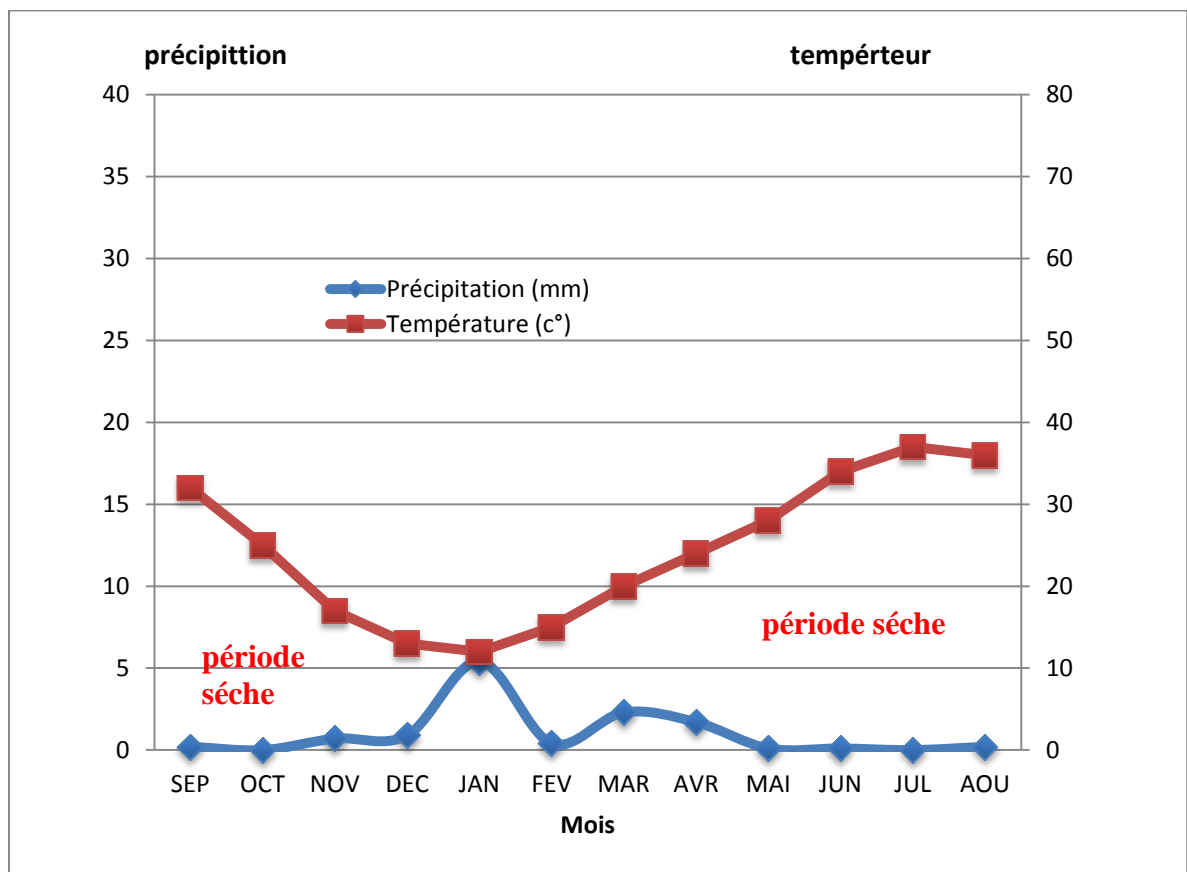


Figure .II.4: Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN de la région d'Adrar

Cette diagramme montre que pour un climat de notre région est caractérisé par une période Sèche pendant tout l'année. (figure.II.4)

II. 2.4. Vitesses des vents

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques de la région d'Adrar, on note que les vents sont très fréquents durant toute l'année, c'est durant la saison du printemps (Mars - Avril) que se manifestent violemment les tempêtes de sable, des vitesses moyenne supérieures

(6 m/s) sont observées dans le (tableau .II.5), en été, les vents sont chauds et secs (sirocco) avec une direction dominantes des vents NE,

Tableau .II.5 : les moyennes mensuelles de la vitesse des vents (1994-2014) dans la station d'Adrar.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	MOY
Vitesse en m/s	5.6	5.5	5.3	4.8	5.7	5.6	6.6	6.3	6	5.5	5.3	4.8	5.58

Source : station météorologique d'Adrar

II .3. Le Régime Hydrique

II .3.1. : L'humidité atmosphérique (l'air).

Par définition, c'est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation, elle est exprimée en pourcentage. Elle croit à partir du sol pour atteindre son maximum (hr = 100 %) au niveau des couches nuageuses. Elle nous renseigne sur l'état de saturation de l'atmosphère.

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région d'Adrar ne dépasse guère 27.25 %. Les moyennes mensuelles de l'humidité sont au-dessous de la médiane (50 %). Les fortes valeurs de l'humidité sont enregistrées durant la saison d'hiver et la valeur maximale moyenne enregistrée est celle du mois de Janvier qui est de l'ordre de 47 %. Les faibles valeurs caractérisant la saison la plus chaude ou on trouve que l'humidité relative de l'air ne dépasse pas les 30 % et la valeur minimale moyenne est celle du mois de juillet qui est de l'ordre de 13 %.

Tableau. (II.6): Représente les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en pourcentage (Hr %) pendant la période (1994-2014)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
H en %	48	38	28	23	19	15	13	15	24	33	43	47

Source : station météorologique d'Adrar

II .3.2. L'évapotranspiration.

C'est le paramètre le plus important car elle conditionne l'abondance ou disette en l'eau pour la végétation. Des dizaines des formules (THORNTHAITE, TURC,) ont été élaborés par des auteurs qui permettent de calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP), mais chaqu'une d'elles interviennent dans un climat bien défini.

II 3.3. Calcule L'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de TURC :

Cette formule est applicable dans tous les climats, elle est fonction de précipitation moyenne annuelle et de la température moyenne annuelle.

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

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

- ETR : Évapotranspiration Réelle (mm).
- P : précipitation moyenne annuelle (mm).
- L : paramètre arbitraire lié à la température.
- T : température moyenne annuelle (°C).

$$\mathbf{ETP} = 11.12 \text{ mm}$$

L'évapotranspiration réelle (ETR) est supérieure à la précipitation moyenne annuelle (11.12 > 10.55), donc ce méthode est inapplicable.

II.3.4.L'évapotranspirationréelle (ETR) par la formule de C.W.THORNTHAITE

On appelle évapotranspiration réelle (ETR) ,la quantité d'eau ,généralement exprimée en millimètres ,évaporée ou transpirée par le sol ,les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant

Pour l'évaluation de l'ETR, nous utiliserons la formule de C.W.THORNTHAITE.

$$\mathbf{ETP} = 16[10t/I]^a k$$

$$i = (t/5) 1.514$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$a = 1.6 \times I / 100 + 0.5$$

- ETP: Évapotranspiration Potentielle moyenne mensuelle (mm).
- i: Indice thermique mensuel.
- a: paramètre arbitraire lié à la température.
- I: Somme des indices thermiques mensuels.
- t: Température moyenne mensuelle (c°).
- k: coefficient d'ajustement mensuel.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU). Le bilan d'eau de C.W.THORNTHAITE. Fait intervenir d'une part l'évapotranspiration potentielle et d'autre part la pluviométrie (P).

Tableau (II.7) : les résultats des calculs de bilan hydrique de la région de Touat d'après C.W.THORNTHAITE de période (1994-2014).

mois	Sep.	Oct.	Nev.	Dec.	Jen.	Fev.	Mars.	Avri.	Mai.	Jun.	Jul.	Aout.	Annul.
T°C	32	25	17	13	12	15	20	24	28	34	37	36	
P(mm)	0.1	0	0.7	0.9	5.4	0.4	2.3	1.7	0.1	0.1	0	0.2	11.9
ETP	159.36	77.47	24.36	11.61	9.55	16.94	44.37	76.4	128.04	217.12	277.9	245.12	1288.2
ETPc	164.141	75.72	21.43	10.1	8.49	14.56	45.7	82.51	152.36	258.37	336.2	281.88	1451.5
ETR	0.1	0	0.7	0.9	5.4	0.4	2.3	1.7	0.1	0.1	0	0.2	11.9
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EX(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Da(mm)	159.26	77.47	23.66	10.71	3.09	14.16	42.07	74.7	127.94	217.02	277.9	244.92	1272.9

Avec :

- T : température moyenne mensuelle en(C°) (1995-2014).
- P : précipitation moyenne mensuelle (mm) (1995-2014).
- ETP : évapotranspiration potentiel mensuelle non Corrigé (mm) (1995-2014).
- ETP : évapotranspiration potentiel mensuelle Corrigé (mm) (1995-2014).
- ETR : évapotranspiration réelle (mm) (1995-2014)
- RFU : Réserve facilement utilisable
- EX : excédant en (mm)
- DA : déficit

L'évapotranspiration potentielle calculé par la formule de Thornthwaite est largement supérieure de la précipitation (1451.5 >> 12) ce qui provoque reprise totale des précipitations par l'évapotranspiration et par la suit : la recharger, l'infiltration et le ruissellement seront nulles.

II.4. conclusion

Le climat dans la région d'Adrar est connu par sa température élevée, sa précipitation rare et irrégulière, ces tempêtes de sable violentes, ces conditions rendent la région très austère

D'après les données, la précipitation moyenne annuelle ne dépasse pas les 11 mm/an, avec une température moyenne de l'ordre de 24.4 °C qui ne constitue et une évapotranspiration largement supérieur à la précipitation ce qui provoque une reprise presque totale de cette lame d'eau par l'évapotranspiration où le ruissellement et là l'infiltration seront presque nul

On s'aperçoit que l'ensemble des formules utilisées (TURC, C.W.THORNTHAITE,) ne permettent pas de dégager un excédent d'eau en raison du pas de temps utilisé. Nous pensons que seul un pas de temps journalier permettrait un approche réelle aux vrais valeurs du ruissellement et pour l'infiltration. Notons à défaut de manque de donner des mesures journaliers (P, ETP, T°C, Hr,.....etc), la détermination des paramètres (Infiltration et ruissellement) est impossible.

Chapitre III : Etude Hydrogéologique

III. Hydrogéologie de la Région.

III.1. Introduction.

Gouvernements et économistes du monde entier s'accordent aujourd'hui à dire que l'exploitation et la qualité des ressources en eau sont deux des plus grands problèmes, auxquels l'humanité devra faire face dans les décennies à venir. L'exploitation des eaux souterraines en particulier, est un enjeu capital pour de nombreux pays.

Ainsi dans les zones sahariennes, où les précipitations faisant rares (moins de 12mm/ans dans la région d'Adrar) et devant la quasi inexistence de ressources hydriques superficielles, l'exploitation des eaux souterraines reste le seul moyen pour parvenir à la satisfaction des divers besoins.

Afin la pérennité de cette ressource, qui devient de plus en plus rare devant L'augmentation des sollicitations, il est impératif d'asseoir une gestion adéquate. Dans cette optique, la connaissance de ses ressources hydrauliques dans la wilaya d'Adrar est indispensable afin d'élaborer un programme d'action pour une gestion rationnelle.

A la lumière des informations fournies par l'étude géologique et les forages réalisés dans cette région on a pu déterminer que cet aquifère appartient au continentale intercalaire qui renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines.

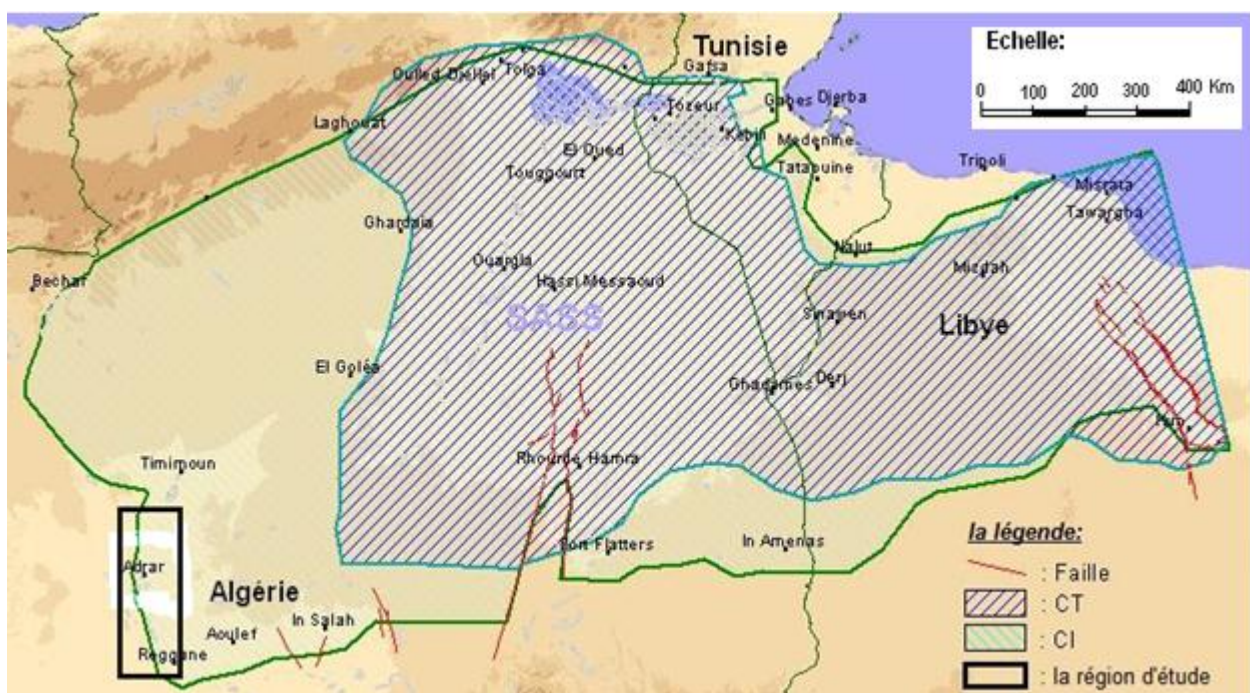
Certains auteurs pensent que ces eaux sont fossiles, c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire, par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur, depuis l'Holocène. Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes, cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies et d'autre sont allés à modéliser ces nappes, afin d'identifier leurs caractéristiques et comportements hydrodynamiques, vis- à- vis leur exploitation, afin d'assurer une meilleure gestion des eaux.

III.2. Le Continental Intercalaire (CI).

Cette nappe 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 (figure.III.1). Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m³ environ (Hadj Fateh et Djmoui, 2011).

III.2.1 Géologie du (CI).

En géologie la nappe du Continental Intercalaire, plus souvent dite nappe albiennne correspond à un niveau plus réduit. Elle est définie par les formations continentales du Crétacé inférieur comprises entre le Neocomien et le Cenomanien qui sont constituées de sables, de grès avec des intercalations d'argiles. La base est constituée de terrains primaires du Paléozoïque, très accidentée par l'orogénèse hercynienne. Le toit est formé le plus souvent par les dépôts du Crétacé supérieur à savoir le Cénomanienn argileux et le Turonien et parfois par les terrains tertiaires ou quaternaires. (Ouali.S, 2005)



Figure(III.1): Situation du CI dans le Sahara septentrional (OSS, 2003).

Notons que notre zone d'étude est située sur la partie aval (affleurements des formations du CI) de l'aquifère ou la nappe est libre, et qui appartient à la formation albiennne, alors que la partie amont est confinée, ce qui induit des comportements hydrodynamiques et géochimiques différents.

III.2.3. L'alimentation du (CI).

La recharge actuelle de la nappe du CI s'effectue par infiltration ;

Des ruissellements à la périphérie du domaine, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'atlas saharienn aussi parfois du plateau Tademaït. des pluies d'années exceptionnelles sur le grand Erg occidentale,

III.2.4 Direction d'écoulement du (CI). (Figure.III.2)

La continuité des formations perméables du Crétacé inférieur a permis le transport et la régularisation des eaux infiltrées des régions hautes vers les régions basses. L'écoulement des eaux provenant de l'Atlas saharien se divise selon deux principales directions d'écoulements :

- Une partie s'écoule vers le Sud et le Sud-Ouest vers les exutoires qui jalonnent les régions du Touat-Gourara et du Tidikelt et vers les zones évaporatoires du grand Erg occidental.
- Une autre partie s'écoule vers le Nord-Est (Zone côtière tunisienne) par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine (fig benhamza). (Ouali.S, 2005)

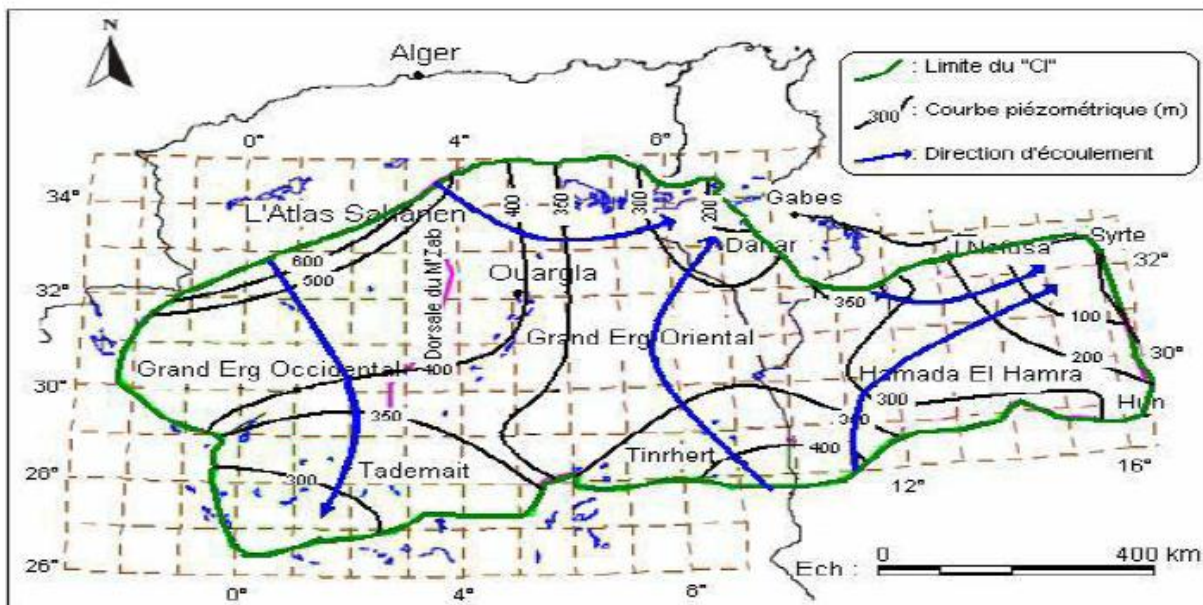


Figure.III.2 : Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).

III.2.5. Les exutoires du Continental Intercalaire (CI)

Par contre le débit des exutoires connus de (foggaras et puits) du bas-Sahara ne peut être évalué plus de 5m³/S même en tenant compte des puits et source assez mal connus. Utilisés un peu partout par les nomades on doit donc supposer des écoulements souterrains importants par des exutoires naturelle qui restent mal déterminés.

III.3. Hydrogéologie de la zone d'étude.

La région d'étude située à Sud-Ouest de l'unité hydrogéologique du Sahara septentrional (figure III.1). La plaine d'Adrar fait partie de ce sous bassin et se situe dans son rebord sud occidental. Les formations détritiques du continental intercalaires reposent en discordance angulaire sur un substratum d'âge primaire qui affleure dans la dépression de la vallée du Saoura (Oued Messaoud) à l'Ouest. Par contre à l'Est, elles sont recouvertes par des formations

argilo gypseuses de la transgression du céno-manien eux même sont surmontées par une dalle de calcaire du turonien et sénonien.

Le rôle joué par le Continental Intercalaire est important dans la partie médiane de la région étudiée ou il affleure largement. Il recèle en outre la plus importante nappe aquifère du Sahara, dont l'émergence conditionne l'existence des palmeraies du Touat, ce qui accroît encore l'intérêt de son étude.

III.3.1 Lithologie de la nappe du Continental Intercalaire.

L'analyse des coupes lithologiques des forages réalisés dans la région d'étude montre qu'il n'y a pas un grand changement latéral de faciès dans les forages, la majorité des forages ont presque la même lithologie, on trouve de haut en bas :

- Une dalle très dure de calcaire ou de calcaire dolomitique, ou de grès quartzitique.
- Une couche gréseuse et argileuse et argile multicolore.
- Une couche de sable et de gravier.
- Une couche d'argile sableuse avec gypse ou anhydrite.
- Une couche d'argile rouge ou marron plastique.

Cette lithologie est typique pour la majorité des forages de la région d'étude. (Voir l'annexe.2, 3)

III.3.2. Carte piézométrique. (figure.III.3)

La carte piézométrique est la synthèse essentielle de l'étude hydrogéologique. Nous Sommes basés sur les données de la campagne piézométrique des 41 forages qui a été réalisée Par l'ANRH en 2015 dans Adrar et qui capte uniquement la formation albienne. Elle schématise la morphologie de la surface piézométrique de la nappe et permet d'obtenir des informations importantes sur le sens d'écoulement des eaux souterraines et le Comportement hydrodynamique de l'aquifère. L'établissement de cette carte repose sur des mesures piézométriques à une période donnée.

Dans la Touat les eaux de la nappe albienne sont destinées essentiellement à l'AEP et l'irrigation, les profondeurs de ces forages varient entre (80 et 150m). La carte piézométrique a été établie et réalisées à partir des données des puits fournies par l'A.N.R.H d'Adrar dans le but de :

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

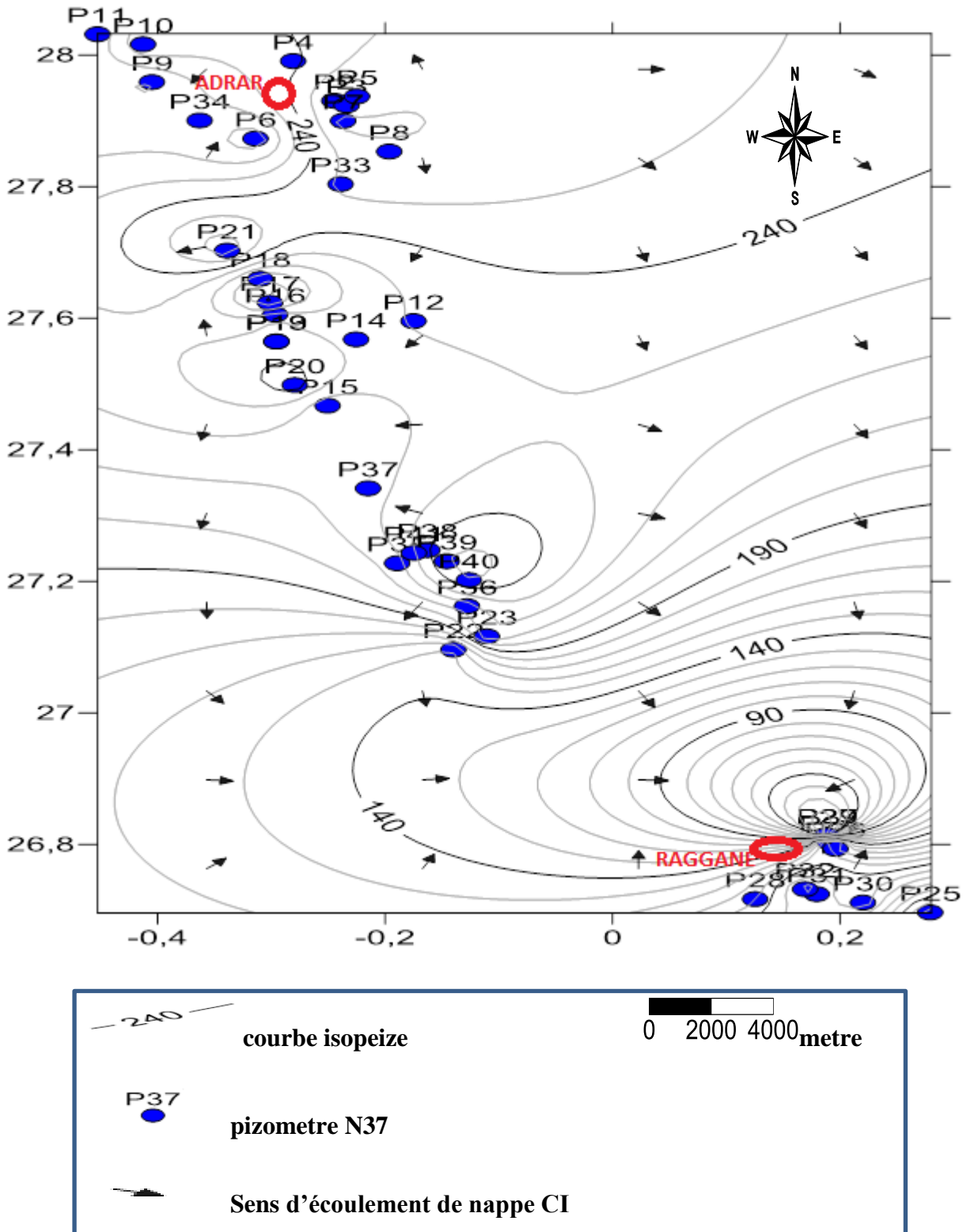


Figure.III.3.carte piézométrique de la région Touat en 2015

III.3.2.1 Interprétation de la carte

Les courbes isopièzes sont étroites et serrée au niveau des zones de pente topographique (terrasse d'érosion) et plus espacé au niveau des zones plates et dépressionnaires (plateau,

sebkhas) ce qui confirme peut être que l'allure de la surface piézométrique suit le relief de la région, et qui a favorisé l'implantation de foggaras dans cette région.

Nous avons utilisé les données de 41 points d'eau employés pour l'établissement de la carte piézométrique de la Touât.

Après l'habillage de la carte piézométrique de la tout on a remarqué que : le sens d'écoulement principalement de l'Est vers l'Ouest, et de le NE vers le SO, qui se dirige de la ville d'Adrar à l'Est vers la dépression du village (Timmi Tamentite Raggane) à l'ouest (ou les formations du CI se terminent en biseau sur le substratum). La surface piézométrique présente des anomalies et des perturbations qui sont liées aux zones à forte exploitation (périmètre agricole).

III.4. Conclusion.

Sur le plan hydrogéologique on dispose de peu d'information sur les potentialités des formations susceptibles d'être aquifères.

Tous les forages recensés captent les formations du Continental Intercalaire. La profondeur des forages varie entre (80 à 150).

En générale, les forages réalisés dans cette région ont mis en évidence des terrains constitués dans l'ensemble, de grès quartzeux, d'argile, d'argile sableuse, de grès parfois roses de sable, de marnes parfois rouges et de grès sableux.

L'alimentation de la nappe du continental intercalaire est très faible dans la région d'étude par contre l'exploitation qui est très important soit par des forages d'eau ou la foggara. Le continental intercalaire de cette région est caractérisé par :

- Epaisseur outille > 100 m.
- Epaisseur efficace > 50 m.
- Un niveau piézométrique varie (200m à 270m).

Un sens d'écoulements, prenant tous leur départ à la cote du plateau de Tademaït :

- Le premier s'écoule dans le sens NE-SO à partir du plateau de Tademaït vert la région Raggane. et la dépression de Touat et erg Chèche
- Le deuxième s'écoule dans le sens NE-NO à partir de plateau de Tademaït vert la région de la ville d'Adrar.

La nappe du continental intercalaire est une source plus importante de la vie saharienne surtout dans la région d'Adrar

*Chapitre IV : Système de captage traditionnel
(Foggara)*

IV. Système de captage traditionnel (Foggara)

IV.1 Introduction.

Par son système de distribution d'eau creusée dans des formations hydrogéologiques Dans la nappe de l'Albien (Foggaras), les oasis de cette zone d'étude se distinguent des autres oasis du pays. Cette immense réserve d'eau qui occupe presque la totalité du Sahara septentrional et c'est grâce à la création de cet ingénieux système, la « foggara », qu'un chapelet d'oasis a permis, pendant des siècles, le développement d'une agriculture de subsistance et le maintien des populations dans des espaces désertiques rudes et assez hostiles. Il ne pleut pour ainsi dire jamais au pays des « fgaguir », et cependant depuis plus de dix siècles, à chaque heure, la moindre foggara soutire plusieurs mètres cubes d'eau souterraine dont le remplacement pluviométrique est manifestement impossible ». (J.Savorin) d'où l'importance de ce système ingénieux qui mérite une grande considération, quant à sa préservation, vu le plan de foggara

IV.2. Historique et origine de la Foggara

Le terme « foggara » désigne une canalisation d'eau souterraine. Le mode de captation vraie suivant l'origine des eaux. Simple aqueduc dans certains pays elle représente au Sahara algérienne toute un system de drainage souterrain des nappes aquifères étymologiquement il semblerait que le mot provienne du verbe arabe « fequer » qui a deux sons : creuser, être pauvre certains auteurs y verraient l'étymologie de l'adjectif « mafgour » qui veut dire éventrée quoi qu'il en soit « foggara » apparaîtrait comme une forme d'intensité populaire de « fogra ».

D'une façon générale, l'adoption de ce procédé parait déterminée par des considération de niveau et de climat .La foggara suppose le terrain a irriguer situé en contrebas de la surface d'alimentation de la galerie souterraine, ce qui explique pourquoi la plupart des oasis sont adossées a la falaise terminale d'un plateau. D'autre part, l'un des avantages qui peuvent faire préférer la foggara a tout autre mode de captage ou d'adduction est qu'elle assure les deux fonctions de drainage et d'adduction premièrement, et la protection contre l'évaporation deuxièmement.

D'après plusieurs auteurs cette technique aurait pris naissance en Iran, Hérodote mentionne l'existence de ce système en Mésopotamie au Ve siècle av.J.C, Polybe signale aussi ce système en Perse au IIIe et au IIe siècle avant J.C, ce qui atteste l'origine lointaine de Cette technique, puis a suivi l'axe de diffusion de l'Islam qui s'est ensuite propagé vers l'Est et l'Ouest. Les rares documents trouvés justifient que les Foggaras sont introduites au Sahara Algérien entre le XIème

et XIIème siècle par El Malik El Mansour, qui aurait creusé la première Foggara appelée Hennou (actuellement elle débite 3.2 l/s) à Tamentit localité située à 15 km au sud de la ville d'Adrar, donc ce système est très répondu, il représente un patrimoine hydraulique mondial. En Algérie La majorité des foggaras se trouve dans la wilaya d'Adrar, mais on la trouve aussi au Nord de la wilaya de Tamanrasset dans la région d'In Salah, dans la wilaya de Bechar dans la partie Sud-Est à Beni Abbès et Igli, et aussi quelques traces de « l'existence de la foggara dans la wilaya de Laghouat et à Boussaâda (Saadi, 1984).

En conclusion l'utilisation du kanat ou de foggara est tirée ancienne et son origine assyriens et perses l'ont connue. En Syrie , les romains en appliquaient le principe . la foggara du Sahara algériens est –elle venue directement de l'est avec les migration arabes ou bien a-t-elle pénétré par la voie marocaine ? Les chroniqueurs arabes du touât et Tidikelt prétendent que la foggara est une « invention » qui est venue de Marrakech.

IV.3. Situation géographique des foggaras Touat.

L'analyse de la carte de positionnement des foggaras (figure.IV.1) montre l'alignement des foggaras à partir de la ville d'Adrar jusqu'à la ville de Reggane, avec une direction nord-ouest, sud-est, de point de vu hydrogéologique, cette position représente la limite sud-ouest des affleurements de la nappe de l'Albien. Les foggaras sont orientées, en majorité Sud-Ouest Nord-Est, en allant de l'aval à l'amont.

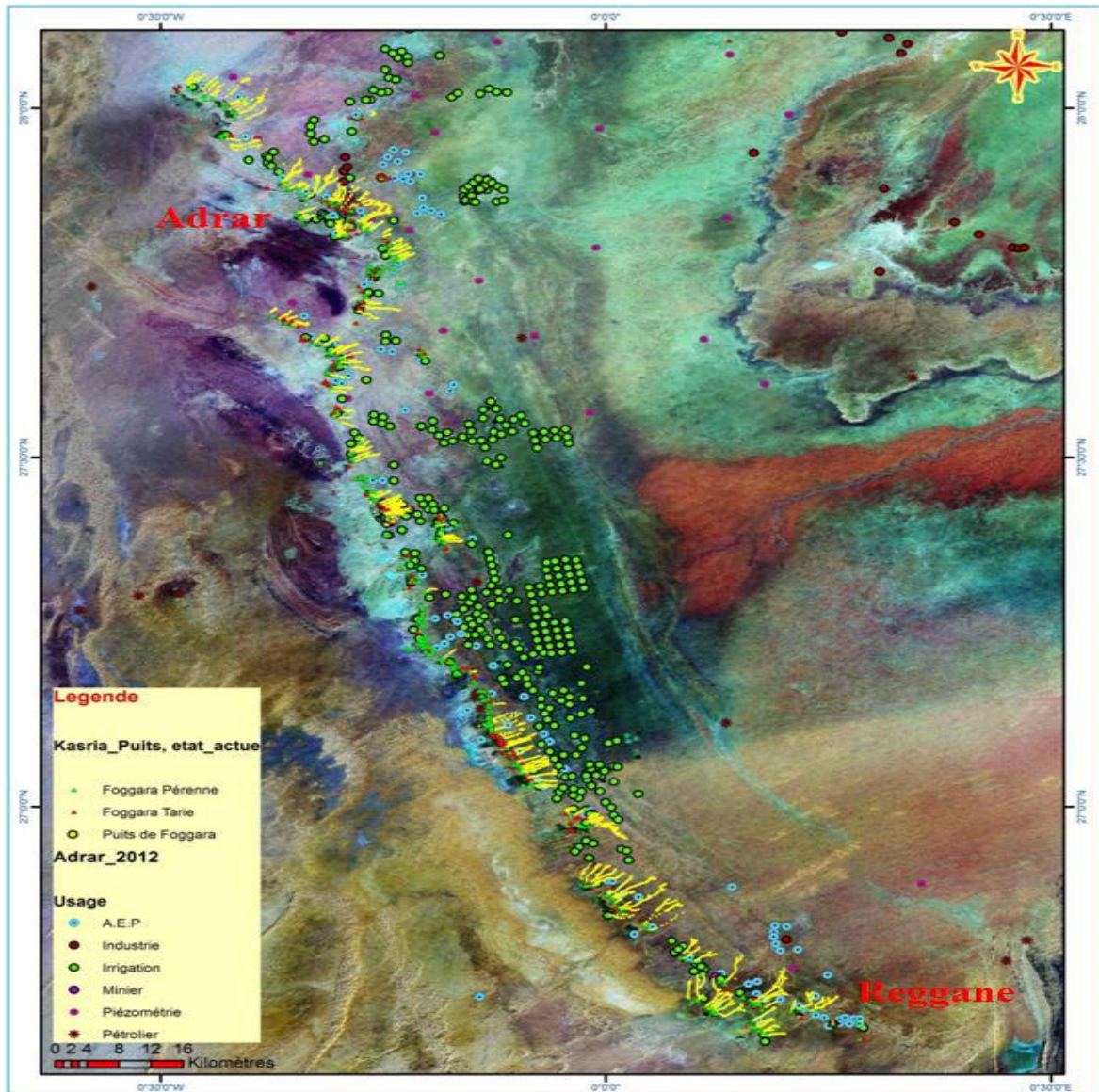


Figure IV.1: positionnement des foggaras et forages de la zone d'étude, sur Image satellite (benhamza 2013)

IV.4 description d'une Foggara (figure IV.2)

Une foggara se compose, dans l'ensemble de puits en nombre plus ou moins important de profondeur variable, réunis à leur base par une galerie dont est extrêmement sinueuse la galerie souterraine a une longueur rarement inférieure à un centaine de mètres et très souvent supérieure à 7 ou 8km. la moyenne de ce ouvrage est de l'ordre de 2.5km, ce qui donne des des foggaras dans l'ensemble assez importantes.

la distance qui sépare les puits entre eux n'est pas constante elle varie entre 10 et 60m ces puits aucun rôle jouant dans la production de la foggara, et ils creuses que pour permettre l'évacuation des déblais lors de son creusement et le nettoyage de l'ouvrage, l'intervalle qui sépare deux puits s'appelle « N'fad » ou galerie drainante.

Le drainage est d'autant plus important que la foggara étire sa longueur vers le plateau, ce système de drainage souterrain permet un écoulement d'eau continu ; les puits profonds de trois à quatre mètres, au départ du village atteignent trente à trente-cinq mètres sur les hauteurs de certaines foggaras

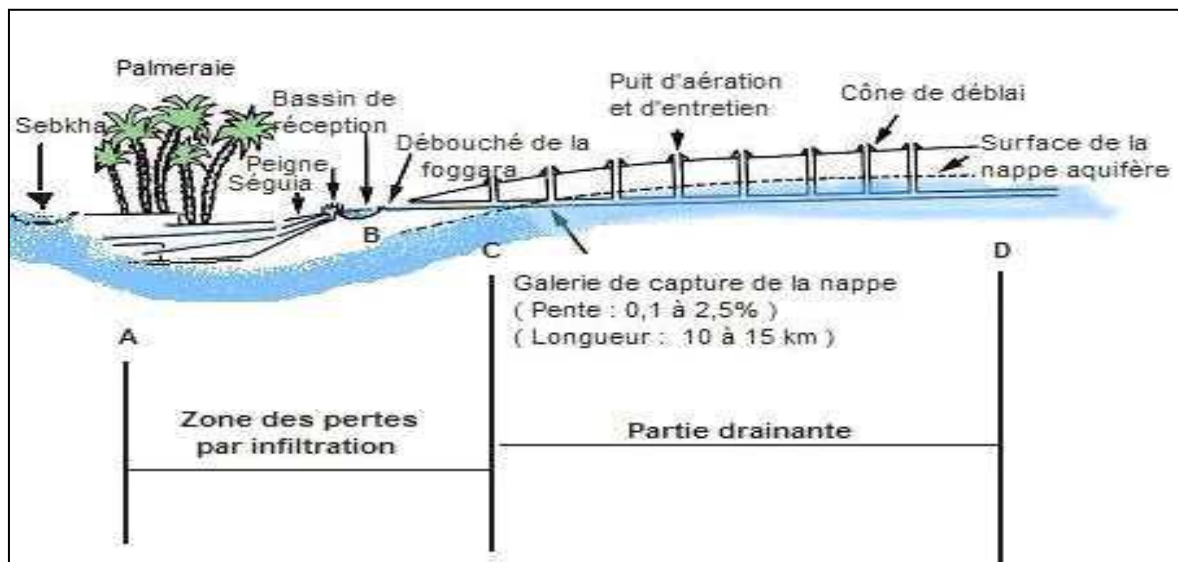


Figure.IV.2 Schéma descriptif d'une foggara. (INSID, 2003)

IV.5 Fonctionnement de la foggara

La fonction générale de la foggara répond au schéma suivant (figure IV.3)

Dans la partie amont entre les points D et F, la galerie pénètre sous la surface de la nappe et draine de la partie aval entre les points D et B, ce qui permet, grâce à une légère pente, l'écoulement des eaux vers la surface du sol.

Pour que la création d'une foggara soit possible, il est nécessaire donc que la nappe phréatique soit à une cote supérieure à celle des jardins à irriguer. Cette condition est généralement remplie quand une région plate est drainée par un système de dépression

(Oueds ou sebkhas) qui provoque un rabattement important de la nappe. C'est bien le cas du Touat, du Gourara et du Tidikelt où la dépression ; forment gouttières, s'étend sur près de 400 km

La direction des foggaras est donc indépendante du pendage des couches ; elle dépend de la topographie locale, elle est toujours parallèle à la direction d'écoulement de la nappe au contraire d'une galerie drainante logiquement tracée.

Le drainage, effectué par les premières longueurs de tranches puis de galeries, a provoqué un rabattement de la nappe et une migration du point D vers le point F. Il finit par y avoir une stabilisation du point D à partir du moment où le débit drainé est égal au flux de débit affluent

La réputation d'ancienneté des foggaras n'est donc justifiée que pour la partie aval .les travaux d'allongement ont été exécutés au fil des siècles. Mais par suite de la pente du terrain la profondeur des puits de travail est devenue de plus en plus grande au fur et à mesure de l'allongement des foggaras et évidemment le rendement des travaux de moins en moins intéressant.

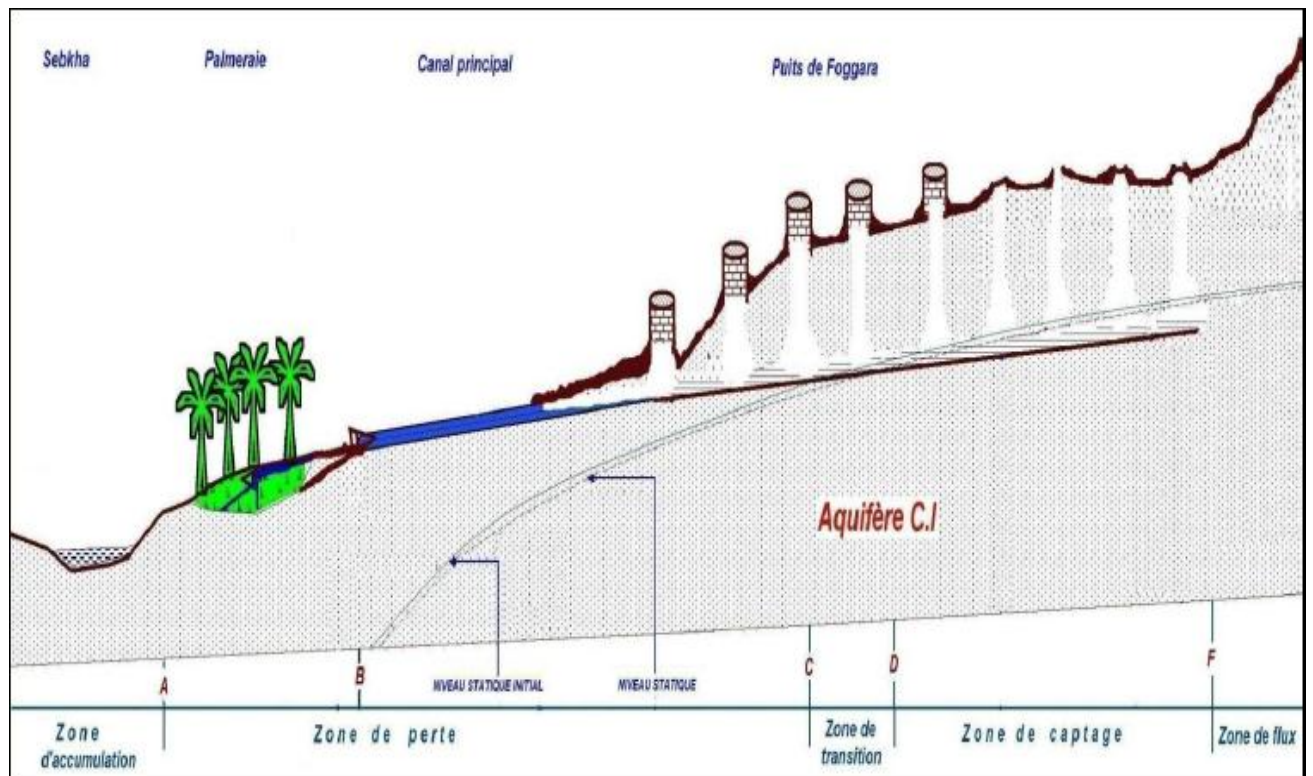


Figure.IV.3 : Schéma de fonctionnement d'une foggara. (Benhamza 2013)

IV.6 caractéristique des oasis du foggara (figure.IV.4)

Les foggaras ont donné une physionomie bien particulière aux palmeraies. elle révèlent leur présence par séries de tas de déblais présentent l'aspect De vaste taupinières qui entourent l'orifice des puits et qui jalonnent la galerie souterraine .chaque puits est dénommé « hassi », la galerie souterraine relie les puits entre eux , « enfad » dès qu'elle abandonne la couche des grés à l'approche de la dépression ,la galerie devient une canalisation creusée à ciel ouvert, puis recouvert , elle prend le nom « aghissrou », quand elle débouche à l'air , c'est la « medjra »

Un peigne répartiteur barre alors la canalisation à sa sortie ; ce peigne est une plate percée de trous pour la répartition de l'eau « kasria ». Une série de séguias partent de la « kasria » et vont amener l'eau dans les maajens. Du maajen , après passée par un orifice appelé « enfif » , l'eau se

rendra dans un canale d'irrigation dénommé « guentra » des ramifications « abaddou » aboutissent dans les carrés du jardin « guemoun » d'une superficie d'environ 6m²

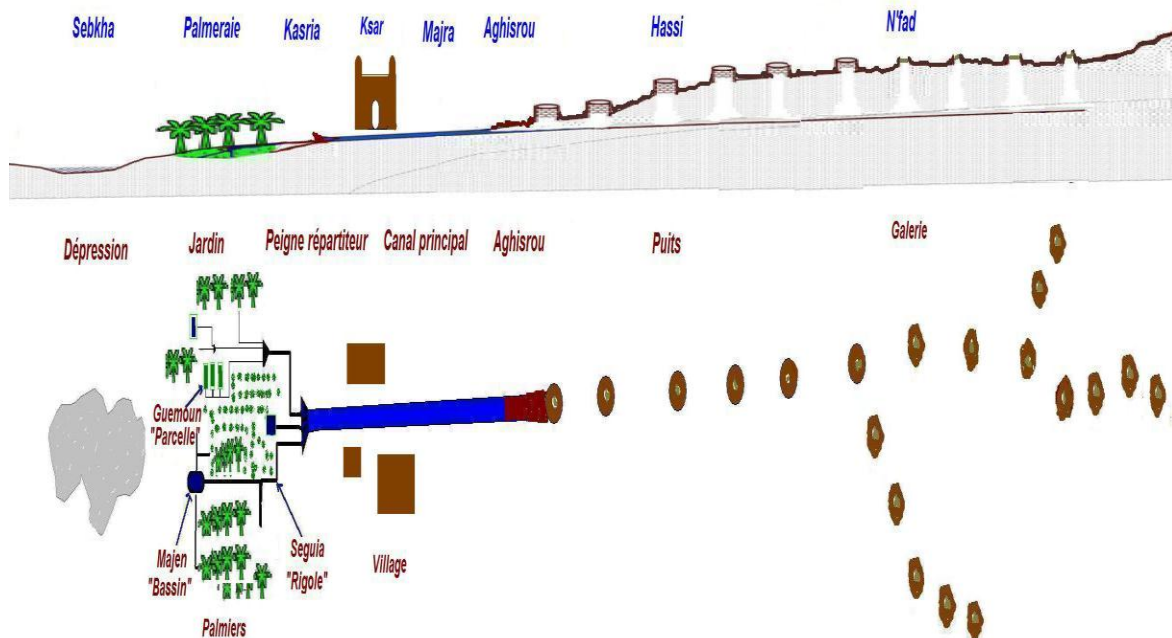


Figure.IV.4 Schéma en perspective d'une foggara (Benhamza 2013)

IV.7. Mesure et partage du débit de la foggara.

Après chaque opération de nettoyage et d'entretien, une opération de remesure et de répartition du débit de la foggara s'effectue.

Chaque foggara possède un registre « Zemam » dont le quel sont inscrits les noms, les parts des copropriétaires ainsi que toute modification, achat, vente ou location d'une ou des parts d'eau de la foggara.

Le Chahed « Témoin » qui détient le registre « Zemam » annonce la mesure du débit d'une Kasria principale ou secondaire à la demande d'un ou des copropriétaires, ou bien après chaque opération de nettoyage et d'entretien d'une foggara.

IV.8. Outil de mesure.

La mesure du débit de la foggara se fait par un outil de fabrication traditionnelle appelé « Louh » dans la région de Gourara, « Chegfa ou Halafa » dans la région de Tidikelt et

« Kiel Asfar ou Chegfa ». dans le Touat, c'est une plaque de cuivre de différentes formes et diamètres, plane au Touat de 57 x 18 cm) et de forme cylindrique au Tidikelt de 15 cm de haut et de 25 à 30 cm de diamètre, l'outil est percé d'une rangée de trous de différents diamètres qui correspondent aux multiples et sous multiples de l'unité de mesure

IV.9. Distribution des eaux des foggaras.

Il existe deux méthodes soit :

Le partage horaire: basé sur l'unité de temps. Le partage de l'eau s'effectue par le procédé horaire appelé nouba (figure.IV.5), c'est-à-dire tour à tour.

Le partage par débit : effectuée par débit qui est La mesure et la distribution des eaux par débit est effectuée à l'aide d'un instrument originel et ingénieux, cet outil est connu communément par : « Chegfa » (figure.IV.6).

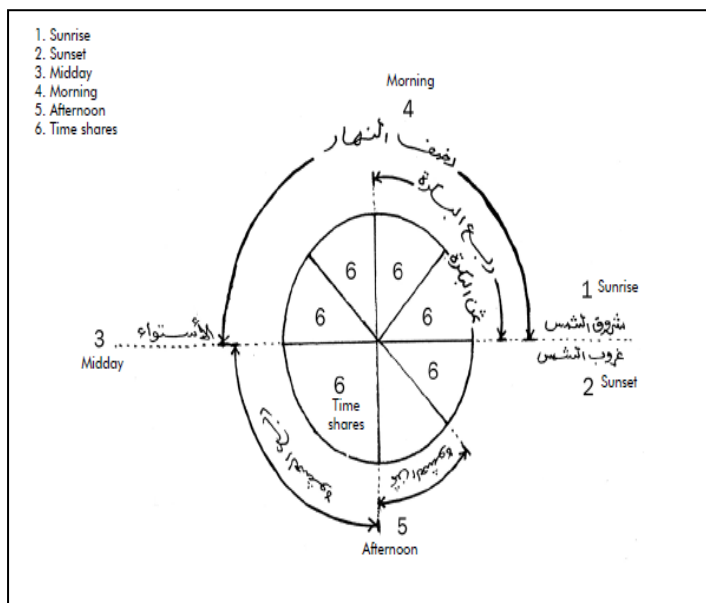


figure.IV.6 :Nouba

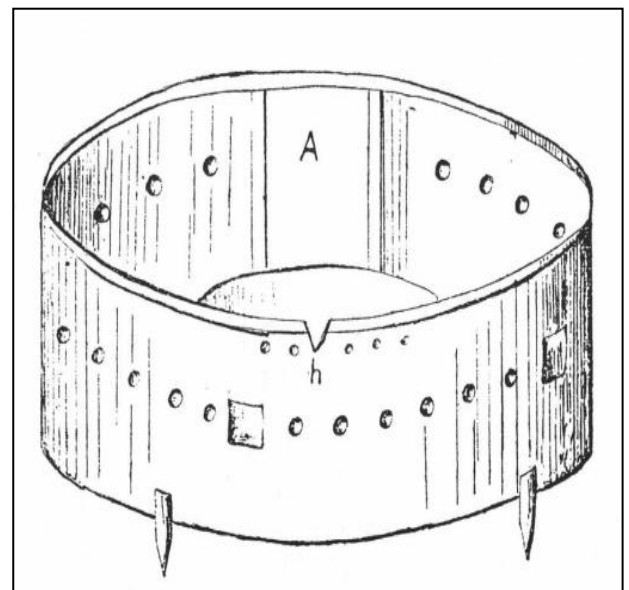


figure.IV.5 : Chegfa

IV.10. Unité de mesure.

L'unité de mesure du débit « Habba » « Habba zrig » « Habba maaboud » change de nom dans chaque région, elle s'appelle kherga dans le Tidikelt, Tmen, Majen, Sba, Aud, Kherga dans la Gourara et Sbaa, Majen, Habba dans le Touat. L'unité de mesure n'est pas la même dans toute la région, elle diffère d'une région à l'autre et même d'une foggara à l'autre dans le même ksar, d'où les différents outils utilisés pour la mesure du débit pour chaque foggara, dans le Touat elle est de l'ordre de 0.058 l/s (A.Mehdaoui, 2011), alors qu'elle est de 0.133 l/s dans le Tidikelt (H.A.Hamadi, 1982), le tableau 4.1 ci-dessous donne les différents débits dans la région d'Adrar.

Tableau.IV.1 Tableau des sous multiples de Habba.

Valeur	Quantité	Equivalent	Symbole
Habba	1	24 Kirat	•
Habba Zerig	1	24 Kirat	•
Habba Maaboud	1	24 Kirat	•
Un Kirat de Habba	1/24	1/24 de Habba	
Deux Kirat de Habba	1/12	2/24 de Habba	:
Tois Kirat de Habba	1/8	3/24 de Habba	
Quatre Kirat de Habba	1/6	4/24 de Habba	
Six Kirat de Habba	1/4	6/24 de Habba	∴
Huit Kirat de Habba	1/3	8/24 de Habba	∥
Douze Kirat de Habba	1/2	12/24 de Habba	∥∥
Vingt-quatre Kirat de Habba	1	24/24 de Habba	∥∥ ∥∥

Tableau.IV.2 : des sous multiples de Kirat.

Valeur	Quantité	Equivalent	Symbole
Kirat	1	24 Kirat de Kirat	•
Un Kirat de Kirat	1/24	1/24 de Kirat	•
Deux Kirat de Kirat	1/12	2/24 de Kirat	••
Tois Kirat de Kirat	1/8	3/24 de Kirat	•••
Quatre Kirat de Kirat	1/6	4/24 de Kirat	—
Six Kirat de Kirat	1/4	6/24 de Kirat	— ••
Huit Kirat de Kirat	1/3	8/24 de Kirat	≡
Douze Kirat de Kirat	1/2	12/24 de Kirat	≡≡
Vingt quatre Kirat de Kirat	1	24/24 de Kirat	≡≡ ≡≡

IV.11. Inventaires des foggaras.

Plusieurs campagnes d'inventaires et de jaugeages de débits des foggaras ont été effectuées durant les années 1906, 1932, 1960, 1998 par l'ABHS et INRH et ANRH d'Adrar et le dernier inventaire, en 2011 pour la totalité de la wilaya d'Adrar. Le tableau 4.4 ci-dessous récapitule l'inventaire des foggaras de la zone d'étude, qui englobe 10 communes de la wilaya d'Adrar, pour les années 1960, 1983, 1998 et 2011.

Tableau. IV.3. Débit des foggaras par commune (année 1960, 1983, 1998 et 2011).

Commune/Année de mesure	Débit en l/s 1960	Débit en l/s 1983	Débit en l/s 1998	Débit en l/s 2011
Adrar	107.85	188.06	75.78	36.9
Bouda	190.9	144.44	83.65	70.4
Fenoughil	175.82	144.44	159.3	102.19
In Zeghmir	268.17	159.26	199.61	178.34
Reggane	148.45	126.18	158.38	88.05
Sali	183.92	108.5	123.45	88.64
Tamentit	180.84	103.6	106.6	27.8
Tamest	155	114.17	88.21	86
Timmi	212.97	93.73	178.63	75.4
Zaouiet Kounta	285.16	207	249.67	164.54
TOTAUX	1909.08	1380.59	1423.28	918.26

IV.12. Evolution de la foggara.

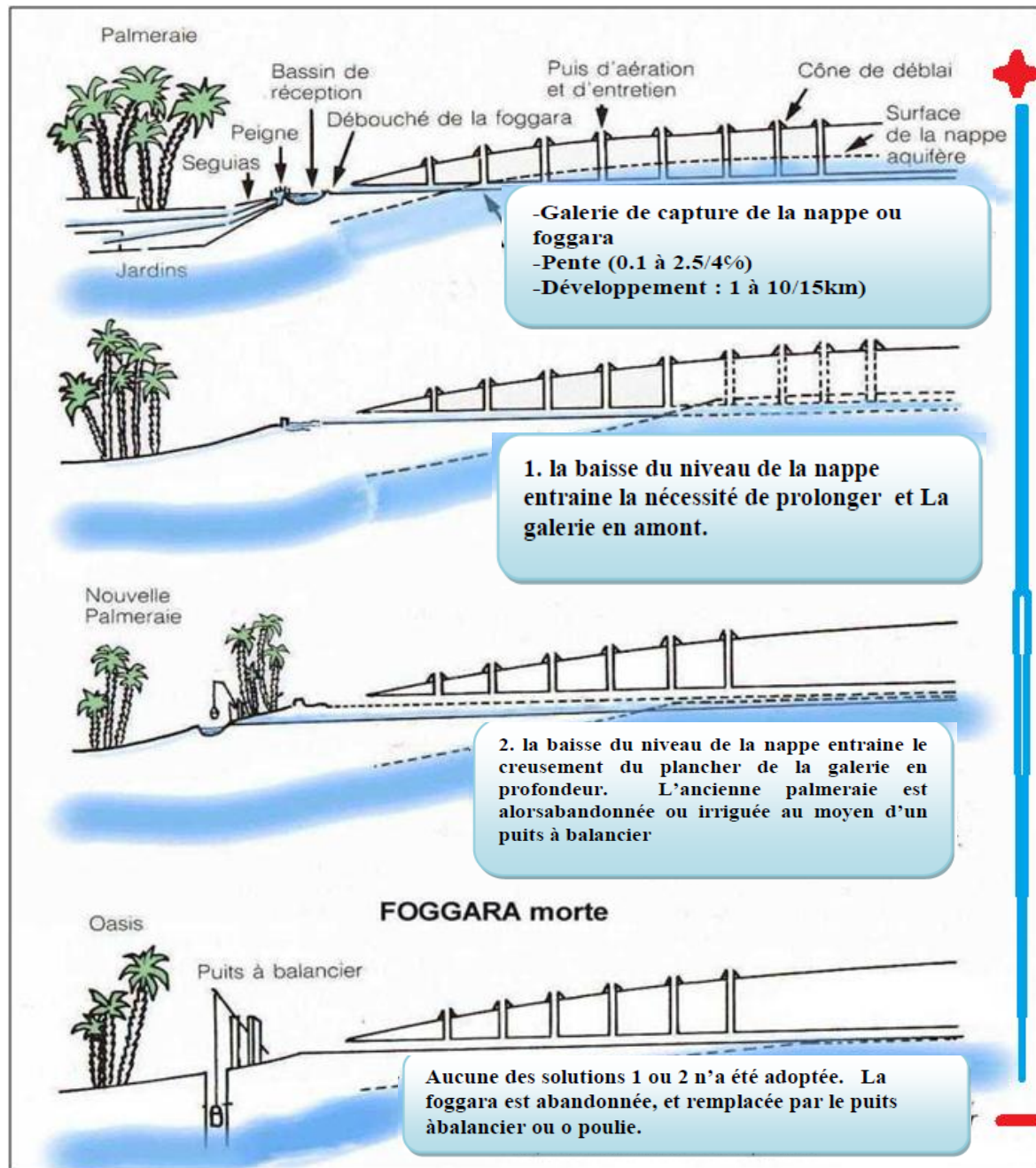
Elle évolue dans le temps, parallèlement aux besoins en eau qui augmentent avec l'extension des cultures. On tend alors à multiplier les puits; mais la progression est limitée par la falaise terminale du plateau dans certains cas. Par ailleurs, les difficultés augmentent avec la profondeur croissante des puits. Le puisatier essaiera alors d'approfondir le drain dans les grès. Là aussi, la difficulté est de maintenir une pente suffisante afin d'obtenir un bon écoulement de l'eau.

En outre, l'appauvrissement en eau de la nappe vient compliquer considérablement la situation. On se trouve alors placé dans l'alternative suivante :

Soit approfondir la foggara et déplacer en conséquence, s'il est possible, les jardins vers le bas de la dépression ou bien abandonner la foggara et elle trépassse.

Dans la région, certaines foggaras présentent (quand on suit leur parcours souterrain) plusieurs galeries superposées. En surface, on observe des vestiges de jardins abandonnés qui correspondent au niveau d'irrigation des différentes galeries. La palmeraie se déplace et suit les mouvements de l'eau.

Mais il y a des cas où les jardins ne peuvent plus émigrer dans la dépression. Les bassins collecteurs finissent alors par se trouver au-dessous du niveau des jardins et l'irrigation se fait par puisage.



- : le débit de foggara est nul

+ : le débit de foggara est maximum

Figure.IV.7 : schéma explicative d'évolution de la foggara (d'après (Michel JANVOIS)) modifiée.

IV.13. Nettoyage et entretien de la foggara.

La foggara nécessite un nettoyage et entretien périodique de la galerie, cette opération se fait chaque année ou lorsqu'un événement se produit (crue, éboulement), elle fait appel à tous les copropriétaires pour la participation dans cette opération, le montant de la participation se fait selon le débit reçu, par un travail au jour ou paiement de la main d'œuvre salariée. Elle consiste

au curage de la galerie par l'enlèvement de sables et déblais, ainsi que l'approfondissement de la galerie en cas de chute du débit, cette dernière opération s'appelle « Amazer ».

Pour augmenter le débit d'une foggara en ajoute une extension, elle s'appelle « Tarha ou Ratba » des ramifications sont ajoutées alors à la foggara par l'ajout d'une « kraâ » jambe, cette branche « kraâ » part de la foggara principale vers la gauche ou la droite avec un angle jusqu'à 45° et qu'elle ne doit pas dépasser la distance limite entre deux foggaras qui est égale à 100 Khamas, un (01) khamas égal à 02 m,(Hadj Hamadi et Kobori 1982). Donc 200 m entre deux foggaras, on peut trouver plusieurs ramifications dans la même foggara.

Actuellement il est rare qu'une foggara subisse une extension, vue la quantité des travaux à réalisés, c'est à dire que, pour augmenter la longueur d'une foggara de 10 m, il faut forer un puits de 20 à 30 m verticalement et de creuser un tunnel horizontalement de 10 m de longueur et de 02 m de diamètre. Ceci montre la réalisation pharaonique des foggaras.

IV.4. Les contraintes qui agissent sur la foggara.

Depuis des siècles la foggara marche comme une horloge suisse, Le rendement des foggaras a subi ces dernières années une baisse fatale, la foggara ne parvient pas à suivre les mutations de mode de vie de la société ksourienne, à ce sujet plusieurs facteurs entre en cause dans la dégradation de la foggara et qui agissent négativement sur la palmeraie

Manque d'entretien : la foggara nécessite un entretien périodique et continu, pour qu'elle puisse garder sa pérennité, l'évolution sociale et ou la main d'oeuvre esclave n'existe plus, ainsi que les prix onéreux de l'entretien malgré les différents programmes de l'état pour la réhabilitation et la sauvegarde des foggaras.

Abandon de la foggara : le rôle de la foggara dans la société n'est plus le même, le souci pour cette mère « foggara » qui allaite 24/24 pour subvenir aux besoins de la population ksourienne et l'irrigation de la palmeraie n'existe plus en réalité dans l'esprit de la nouvelle génération, actuellement toute foggara de faible débit endommagée gravement généralement par un éboulement est condamnée à mort sauf dans le cas où l'état intervient.

le vieillissement de la main d'œuvre chargée de l'entretien de la foggara et le refus de a génération actuelle de travailler la foggara.

La modernisation de système de pompage par l'utilisation des pompes à gros débit, à favoriser l'exode des agriculteurs vers les grands périmètres de superficie plus vaste qui a négligé le rôle de l'agriculture sous palmiers dans l'oasis.

Limite géologique naturelle : les foggaras d'Adrar sont situées juste à la limite de la nappe du Continental Intercalaire, la fluctuation du niveau d'eau perturbe le fonctionnement de ce système.

IV.14. Relation (Forage-Foggara).

-L'implantation des forages dans la périphérie des foggaras a engendré une interférence entre les deux systèmes par l'influence de la plus puissante méthode de captage « forage » sur la traditionnelle méthode de captage la « foggara ». La foggara capte seulement les premiers mètres saturés de la nappe du Continental Intercalaire, toute fluctuation du niveau de la nappe influe directement sur la productivité de la foggara.

-La consultation de la carte de positionnement des foggaras et forages (figure.IV.1) montre que la totalité des forages sont implantés en amont des foggaras, ce positionnement va aggraver le rendement des foggaras lors de l'exploitation simultanément des forages destinés à l'irrigation ou à l'A.E.P, La carte de simulation des rabattements montre que les forages influent sur les foggaras, une étude hydrodynamique pour déterminer le rayon d'influence des forages sur les foggaras est nécessaire

IV.15. Conclusion.

La technique traditionnelle de foggaras constitue un patrimoine historique et culturel national, elle très adaptée aux conditions climatiques et sociales de la région. Elle permet une exploitation rationnelle des eaux de la nappe du CI. Elle est la source de vie des générations passée et elle doit l'être pour les générations futures. Parmi les avantages on a :

- un débit annuel important sans énergie;
- La qualité chimique des eaux de la foggara est meilleure que celle des forages (moins minéralisée : la foggara capte la lame d'eau supérieure de la nappe, tandis que le forage capte l'eau la plus profonde) ;
- faible coût d'exhaure par rapport aux nouvelles techniques de forages (foggara : écoulement gravitaire, forage : énergie électrique).

Cette technique est menacée par plusieurs problèmes qui aggrave son état et la rende incapable à faire face aux défis de la demande croissante en eau tel que :

- le tarissement des foggaras : (manque d'entretien, l'influence directe de l'exploitation intensive de la nappe par les forages,..., etc.) ;
- la vulnérabilité à toutes sortes de pollutions, en particulier d'origine anthropique (les déchets d'ordures divers, l'absence ou l'inexistence de réseaux d'assainissement, fosses perdues.....etc.).

Pour faire face aux problèmes menaçant la foggara, plusieurs recommandations peuvent être proposées :

- Considérer la foggara comme une vraie entreprise ayant son propre capital et ses gestionnaires hautement qualifiés et compétents ;
- Le soutien financier des foggaras par l'état ;
- La sensibilisation contre les risques qui menacent la foggara ;
- La formation et le perfectionnement des gestionnaires et les copropriétaires des foggaras ;
- La réhabilitation des foggaras ;
- Un contrôle périodique des débits des foggaras ; et l'installation d'un réseau des piézomètres pour mieux Contrôler la nappe ;
- Etablissement des périmètres de protection (immédiat, rapproché et éloigné) ;
- Fermeture des puits pour limiter les apports éoliens et l'ensablement ;
- Le prolongement des galeries (multiplication des puits) vers l'amont en utilisant les

nouvelles techniques du forage et de captage pour augmenter le débit ;

- Utiliser l'énergie hydraulique des eaux des foggaras pour la production de l'électricité qui peut être utilisée dans des travaux d'entretien ou autre, donc assurer une autonomie de la foggara
- Introduire un système d'aération adapté qui permet l'aération de la galerie et minimiser la détérioration des parois des puits par l'effet de taux élevé d'évaporation dans la galerie.
- Le cuvelage de certaines parties qui ont tendance à s'effondrer ;
- Assurer l'étanchéité de la partie non active de la galerie pour éviter l'infiltration en utilisant par exemple l'argile, donc l'augmentation du débit ;
- Assurer le coffrage des canaux de distribution ou les remplacer par des tubes (ciment ou pvc) pour réduire les pertes par évaporation ;
- Respecter une distance de sécurité (> rayon d'influence) lors de l'implantation des nouveaux captages (forage) pour éviter l'influence directe par le cône de rabattement et éviter les phénomènes d'interférence ;
- Renforcement des foggaras à faible débit par des forages pour augmenter leur débit.

Chapitre V : Etude hydrochimie

V : hydrochimies

V.1 : Introduction.

L'analyse chimique 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 répartition quantitative des différents éléments chimiques dans l'eau, les zones d'alimentation et De circulation, la potabilité des eaux,..., etc.).

Dans la zone étude, la chimie des eaux peut être influencée par l'effet de la dissolution Des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole. En raison de L'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la Chimie des eaux de CI, et de rechercher l'origine naturelle ou anthropique de la variabilité des paramètres physico-chimiques de cette ressource.

Le travail consiste a étudié le chimisme actuel des eaux CI l'aide des données de 17 foggaras implantées dans la Touat.

Analyse des paramètres physico-chimiques a été faite, au niveau du laboratoire de L'ANRH d'Adrar (février et mars 2016) pour déterminer l'origine et l'évolution de chaque élément. Pour cela, le choix du lieu de prélèvement est basé sur la répartition spatiale des différents points d'eau de façon à couvrir tout le secteur étudié.

Les résultats des analyses chimiques de l'eau sont reportés sur le (tableau.V.6) et représentés sur les différents diagrammes dans le but de :

- Apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution du chimisme des eaux.
- Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux.

V.2 : Méthodes et stratégie de travail.

Prélèvements.

Ils sont effectués selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre, selon le type de point d'eau (foggara) et la facilité d'accès et de la disponibilité des ouvrages.

Mesures in situ.

Les paramètres physiques : Température (T), potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité Électrique (CE).

Analyse des éléments chimiques.

Une analyse des éléments chimiques a été effectuée au laboratoire elle portera sur les éléments majeurs (Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et Anions : Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et les éléments d'origine biologique (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^-).

V.3 : Études des paramètres physico-chimiques.

V.3.1 : Paramètre physique.

V.3.1.1 : La température (C°) :

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des Saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Selon les valeurs observées.

La mesure de la température se fait sur le terrain, elle se fait à l'aide d'un thermomètre, la lecture de celle-ci se fait après immersion de quelques minutes. Dans notre région la température des eaux varie entre 20°C en hiver et 26°C en été.

V.3.1.2 : Potentiels d'hydrogène (PH):

La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions (H+) dans l'eau, il indique le degré d'acidité au la basicité du milieu. Il dépend de l'origine des eaux souterraines et de la nature géologique des terrains dont elles circulent les valeurs du pH dans la région d'étude varie de 5,72 au foggara de barbaa et zaouite kounta à 7,55 au foggara debriche . C'est une eau qui est légèrement acide à neutre

V.3.1.3 : La conductivité électrique (EC):

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m). Elle s'exprime généralement en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S} / \text{cm}$).

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide et sa variation est liée à la nature des sels dissous et leur concentration.

Pour la nappe du Continental Intercalaire de la région d'étude, les valeurs de la conductivité varie entre 1,1 mS/cm et 1,85mS/cm. Ceci indique que ces eaux sont très minéralisées.

Dans le but de suivre l'évolution spatiale de la minéralisation des eaux de l'aquifère, on a établis une carte de la conductivité électrique (figure.V.1).Celle-ci montre que les valeurs de la conductivité électrique augmentent en allant vers le sud-est (la foggara des communes raggane et salli) pour atteindre un maximum de l'ordre de 4,90mS/cm.

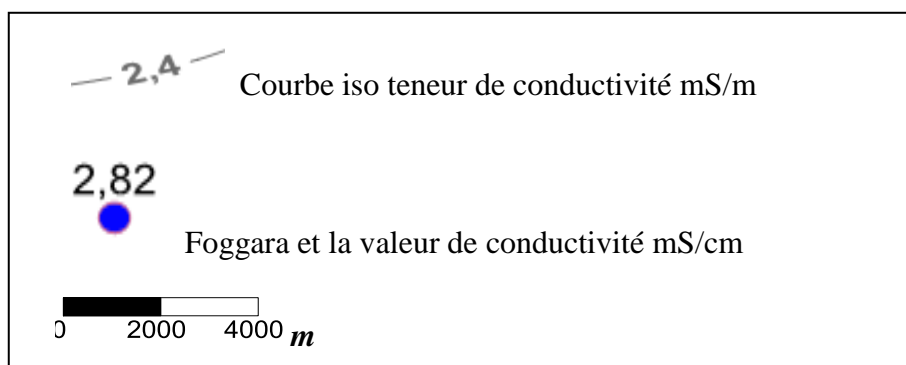
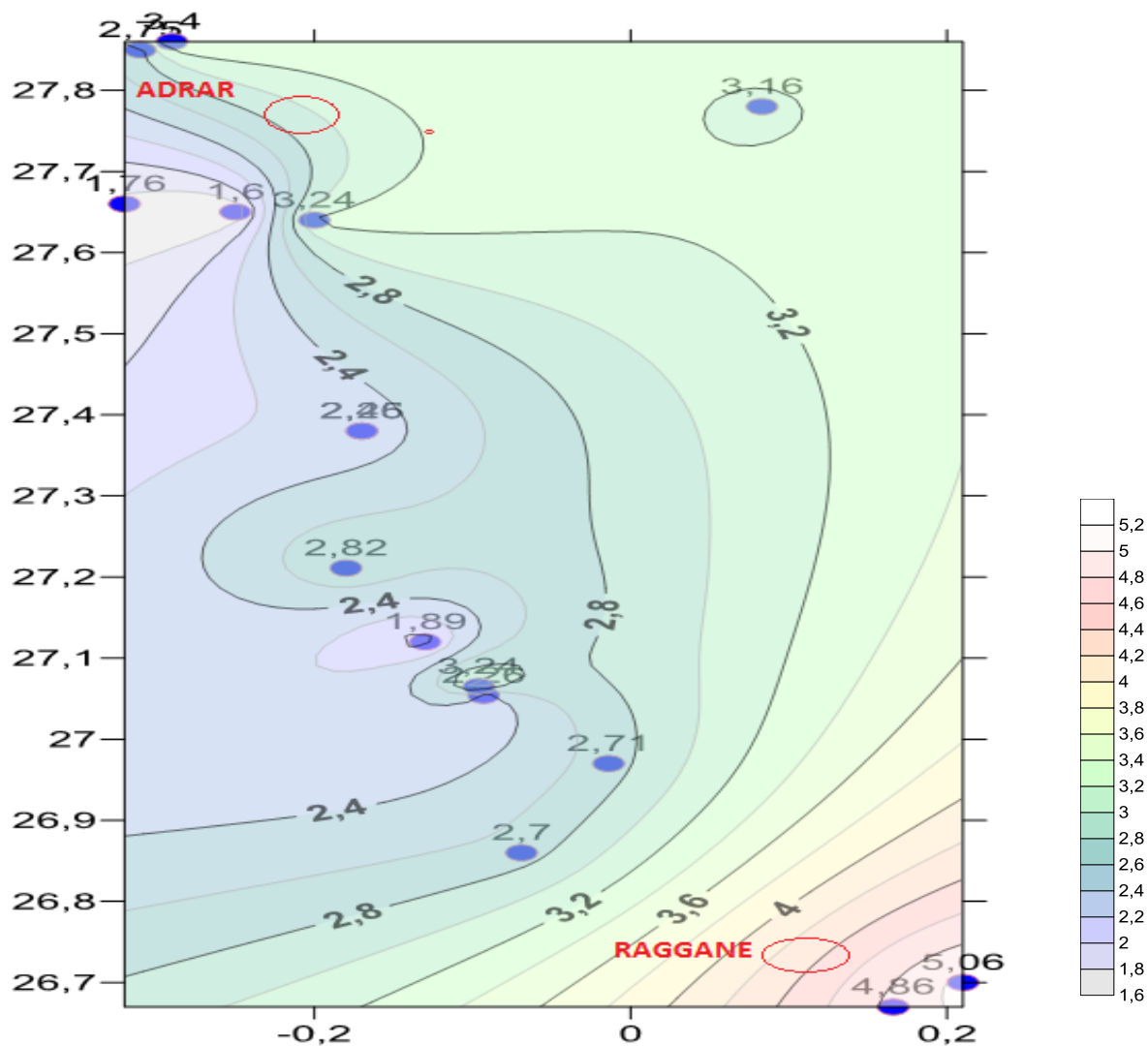


Figure.V.1 : Carte iso teneur de conductivité

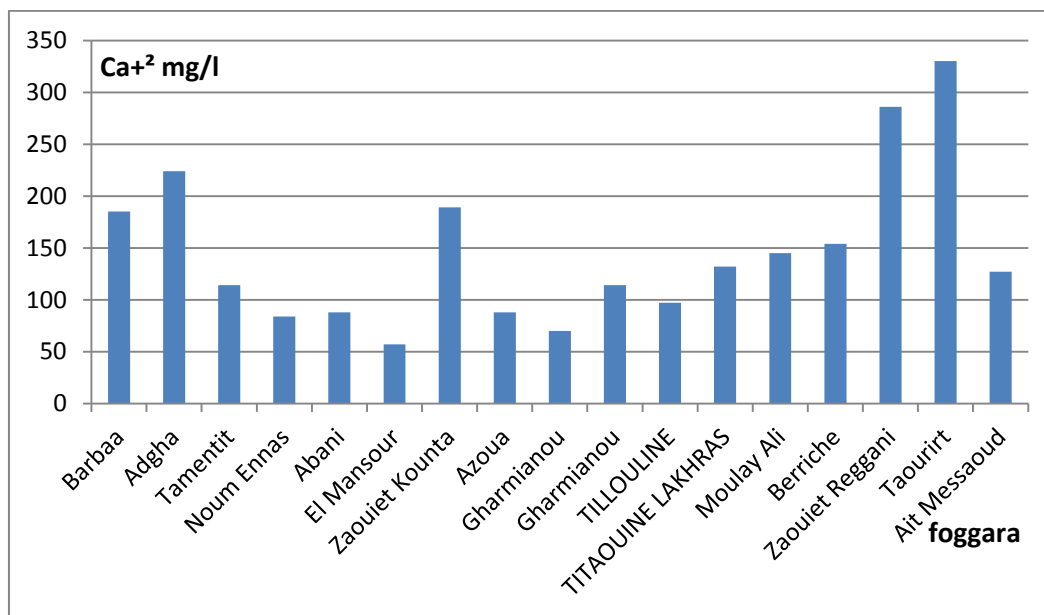
V.4 : Les paramètres chimiques

V.4.1 : Les ions majeurs

V.4.1.1 : Le Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO_3), dolomie [$(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [$\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$] et anhydrite (CaSO_4).

Les résultats des analyses montrent que les concentrations en Ca^{2+} varient de 50mg/l au Foggara Elmsour à 330mg/l au foggara deTaourirt (figureV.2).



FigureV.2: Variation des concentrations en Ca^{2+} dans la foggara Touat

Dans la nappe du CI ces concentrations auraient pour origine de dissolution de la formations géologiques carbonatées cette dissolution est due principalement à la présence du gaz carbonique

V. 4.1.2 : Le Magnésium (Mg^{2+})

Ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques. Les teneurs en magnésium dans la région varient de 38mg/l à la foggara Tamentit à 165 mg/l à la foggara Zaouiet Reggani (figure 3.4).

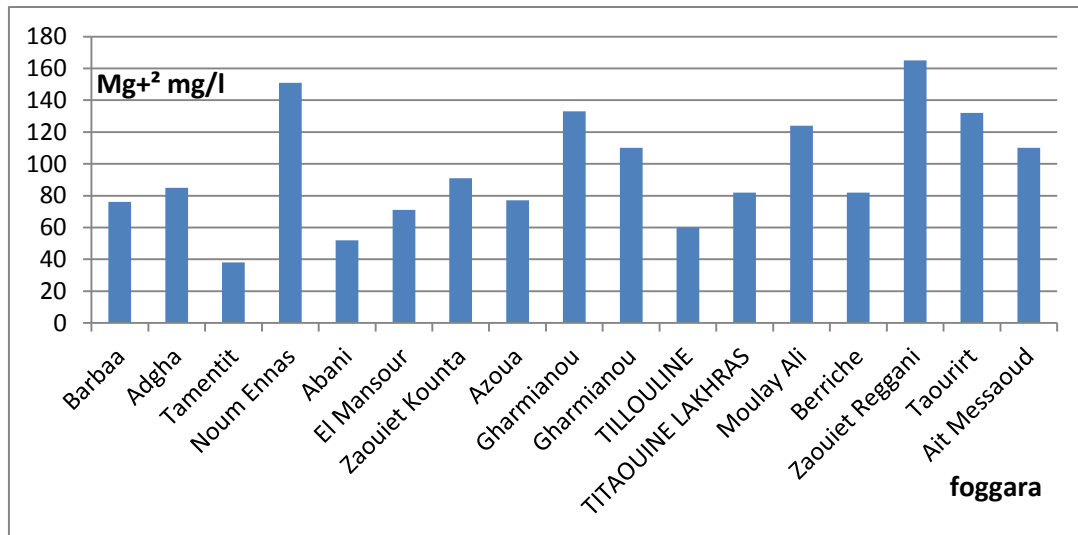
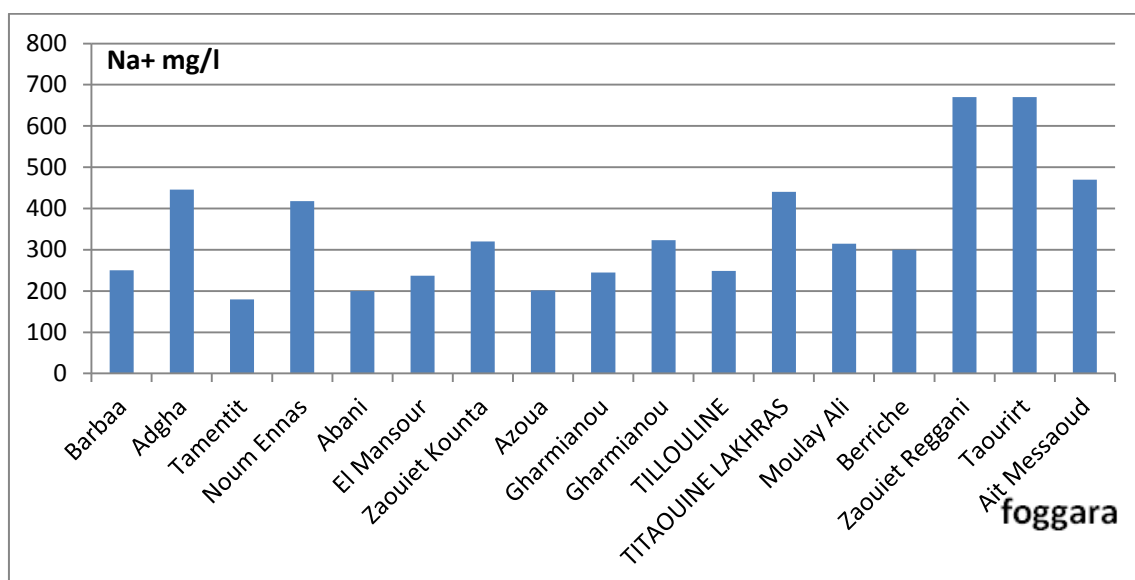


Figure V.3: Variation de la concentration en Mg²⁺ dans la foggara Touat

Remarque : la teneur de Ca²⁺ et Mg²⁺ est augmenté dans le partie sud (Raggan) pace que cette région est constitué des roches carbonaté et évaporitique.

V.4.1.3 : Le Sodium (Na⁺) :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles tel que l'halite (NaCl), les teneurs dans la Variet de 180 mg /l au foggara de Tamentit à 670 mg/l au foggara de ZaouietReggani et Taourirt (figure 3.5).



FigureV. 4:Variation de la concentration en Na⁺ dans la foggara Touat

Dans la nappe du CI ces concentrations auraient pour origine les formations argileuses

V.4.1.4 : Le Potassium (K⁺) :

Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), et carnallite, les concentrations obtenues en cet élément varient de 4 mg /l aux Foggara du Adgha à 32 mg/l au foggaradu Ait messaud (figure V.5).

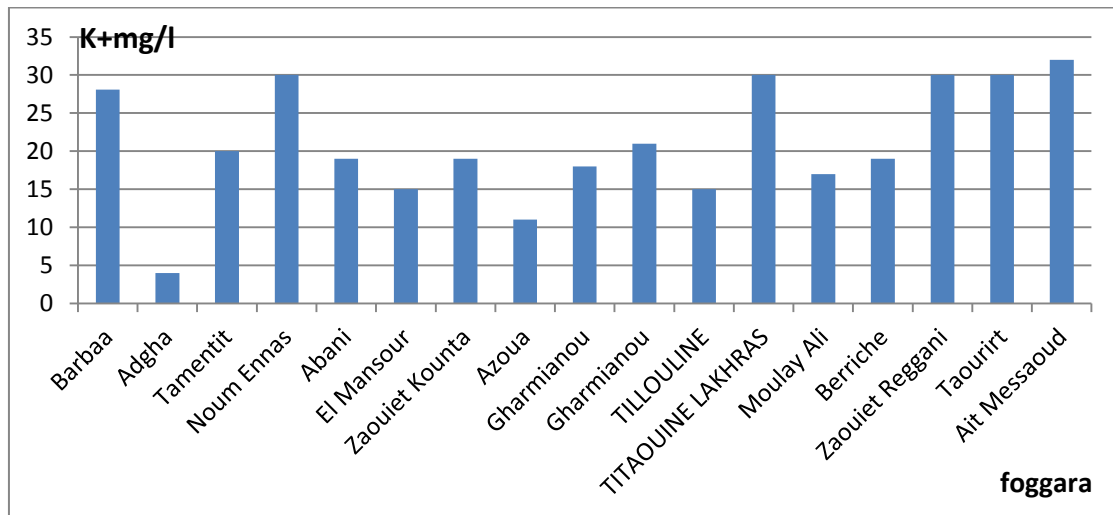


Figure V.5 : Variation des concentrations en K⁺ dans la foggara Touat

La teneur de Potassium est élevée dans la partie sud de la région d'étude parce que le dernier est constitué des roches argileuses et évaporitiques.

V.4.1.5 : Les Chlorures (Cl⁻) :

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la Sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl).

Les teneurs en chlorures varient de 225 mg/l à la foggara du Elmansour à 775 mg/l au Foggara de Taourirt (figure 3.7)

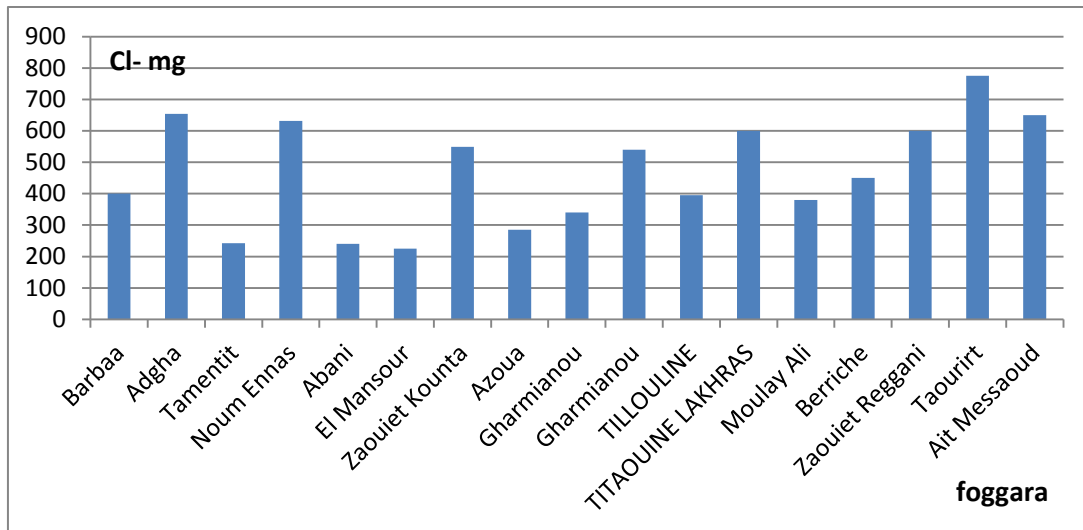


Figure V.6 : Variation des concentrations en CL dans la foggara Touat

V.2.1.6 : Les Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés. Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varient de 107 mg /l au foggara de la Zaouite reggani à 467 mg/l au foggara de Zaouite kounta.

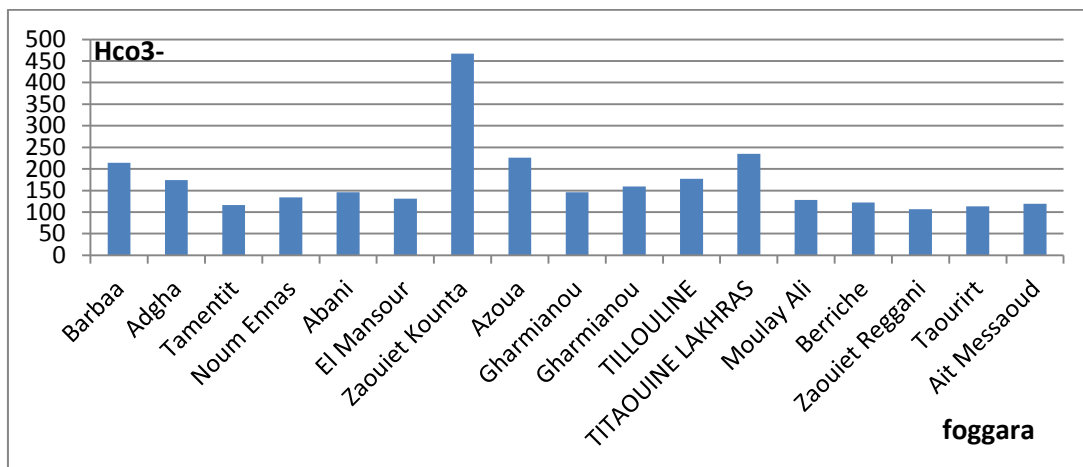


Figure V.7 : Variation des concentrations en HCO₃⁻ dans la foggara Touat

Cette teneur de bicarbonate est liée à l'existence des roches carbonatées de la région d'étude.

V.2.1.7 : Les Sulfates (SO₄⁻²) :

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse (CaSO₄ · 2(H₂O)) et l'anhydrite (CaSO₄), ils peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite (FeS₂).

Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région sont très élevées et varient de 330 mg /l au foggara Abani à 1950 mg/l au foggara de la zaouiet reggani.

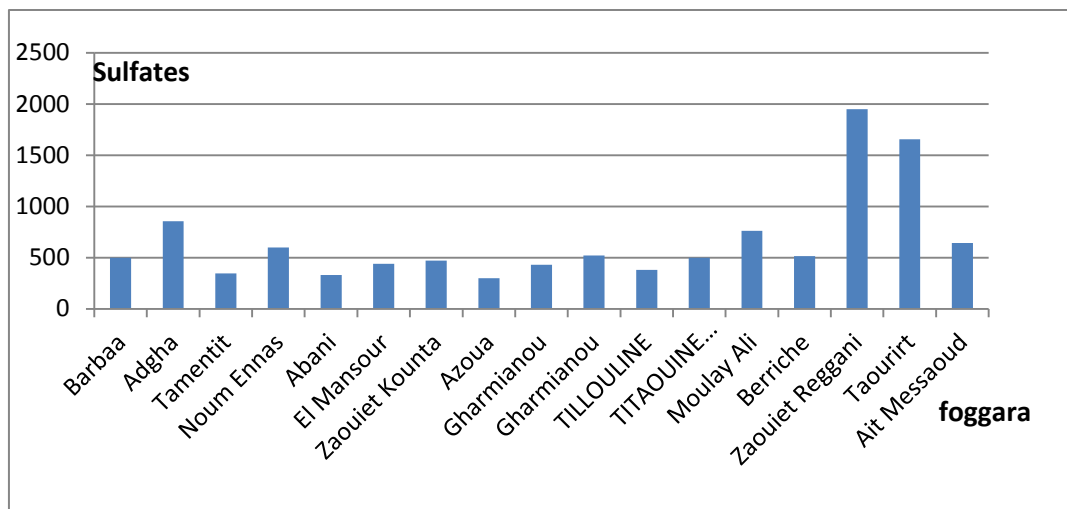


Figure V.8: Variation des concentrations en SO₄ dans la foggara Touat

V4.2 : Les paramètres de pollution

V.4.2.1 : Les Nitrates (NO₃-) :

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation (Jacques.B, 2008), L'origine artificielle des nitrates sont les contaminations par des engrais et les rejets domestiques. La concentration des nitrates dans les eaux de la foggara de Touat sont faibles, elle varie de 4 mg /l à la foggara de Zaouiet kountaet plus grend dan la foggara de Taourirt130 mg/l

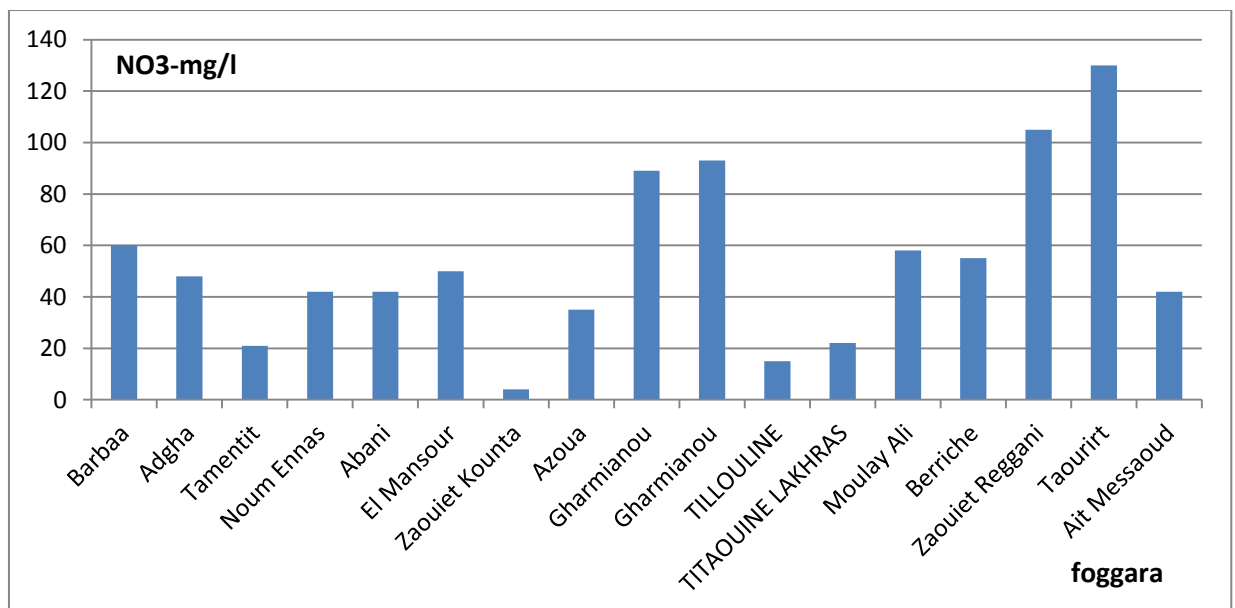


Figure V.9: Variation des concentrations en (NO₃-) dans la foggara Touat

L'évolution des concentrations en nitrate montre que les fortes teneur sen cet ion s'observent au Sud de la région Touat. Ces concentrations deviennent faibles en allant vers le Nord la région.

Etant donné que la région d'étude est principalement à vocation agricole et que le secteur étudié sont des périmètres agricoles, la présence des nitrates dans cette eau serait naturelle et éventuellement anthropique

V.4.2.2 : Les Nitrites (NO₂-) :

Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit D'une forme toxique, dans l'ensemble, les teneurs en nitrites et plus grand dans la foggara Zaouitreggani 39mg/l et sont inférieures à 0.1mg/l. par tous les foggaras

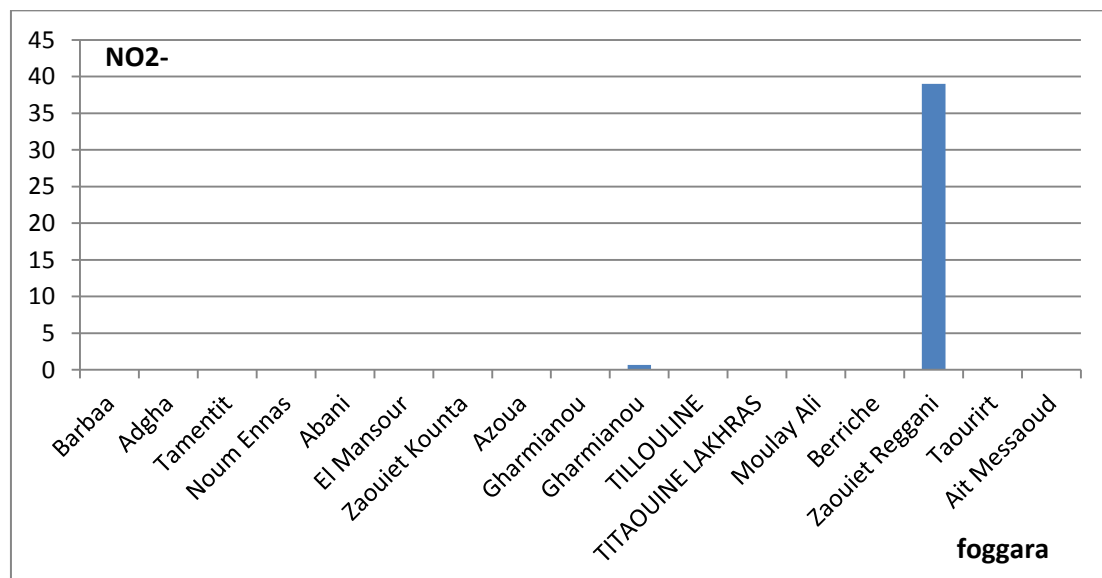


Figure V.10: Variation des concentrations en (NO₂-) dans la foggara Touat

V.4.2.3 : L'Ammonium (NH₄)

L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle, les teneurs en ammonium dans les eaux du Foggara de la zone d'étude sont dans l'ensemble elle est très forts dens la foggara de Zaouitekounta 0.35mg/l et faibles la teneur est de à 0.095 mg/l

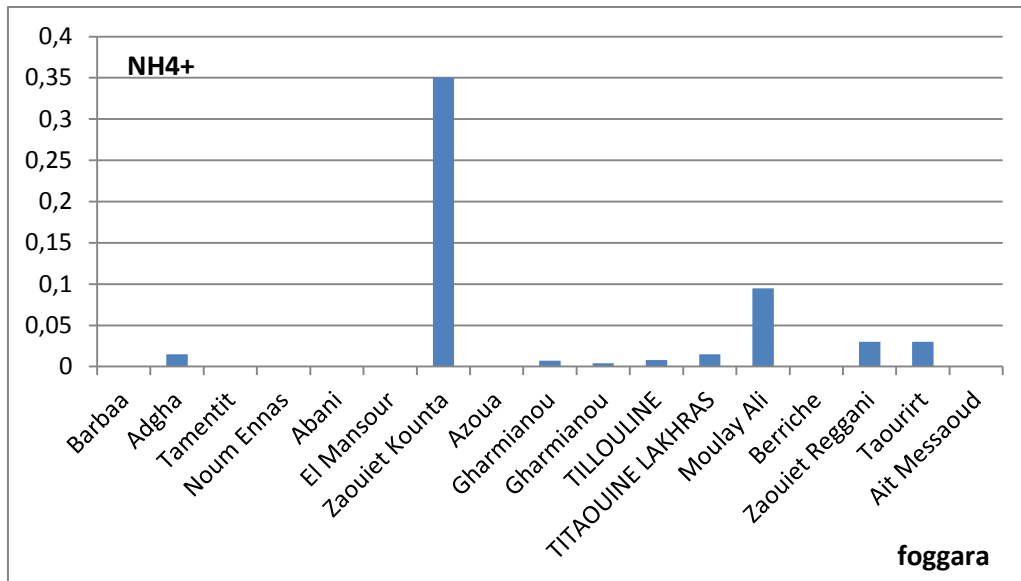


Figure V.11: Variation des concentrations en (NH4+) dans la foggara Touat

V.4.2.4 : Les Phosphates (PO4) :

L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques, les teneurs en phosphates des eaux de la foggara si la 2.5mg/l dans Tiloulin et 2.3mg/l dans Zaouitkounta cett dernier reconnue par les activités agricole et sont inférieures à 0.3mg/l par tous les foggaras

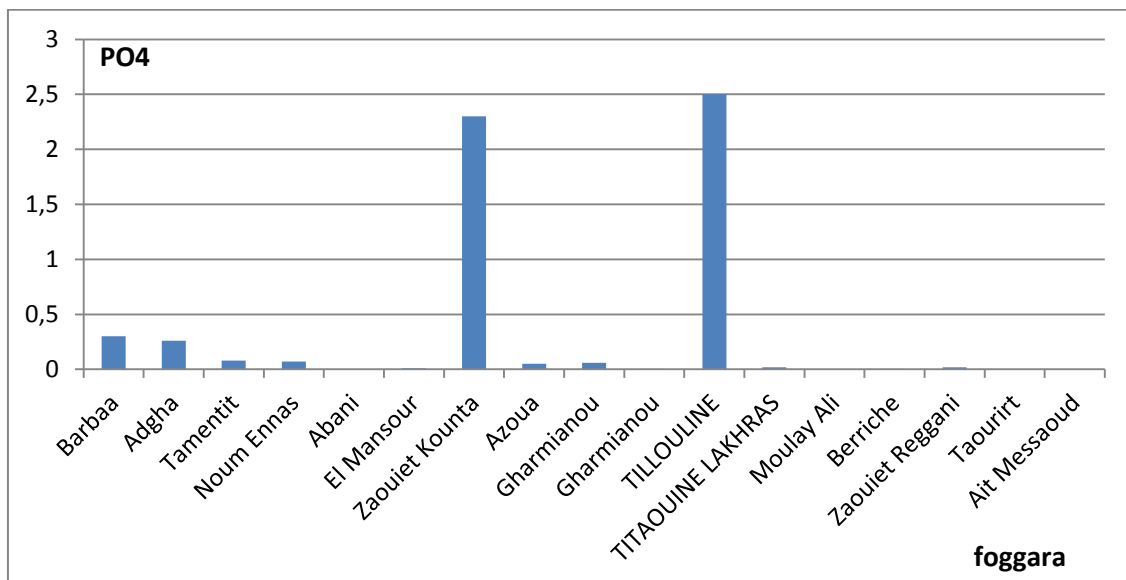


Figure V.12: Variation des concentrations en (PO4) dans la foggara Touat

V.5 : Les faciès chimiques des eaux :

Il existe plusieurs classifications des faciès des eaux naturelles ; on distingue deux critères fondamentaux de classification :

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

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles sont celles de STABLER-SAULINE, SITIF, SCHLLER, et PIPER mais les plus utilisées sont celles de STABLER, PIPER et SCHLLER.

V.5.1 Diagramme de Piper :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier les familles d'eaux, l'examen du diagramme obtenu (Figure V.13) permet de déduire les observations suivantes :

- Domination du calcium et sodium sur le magnésium dans le triangle des cations.
- Domination des chlorures et sulfates sur les bicarbonates dans le triangle des anions.

Ainsi, les résultats d'analyses des eaux du foggara la région de Touat permettent de distinguer deux familles d'eau:

- faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésienne
- faciès Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique

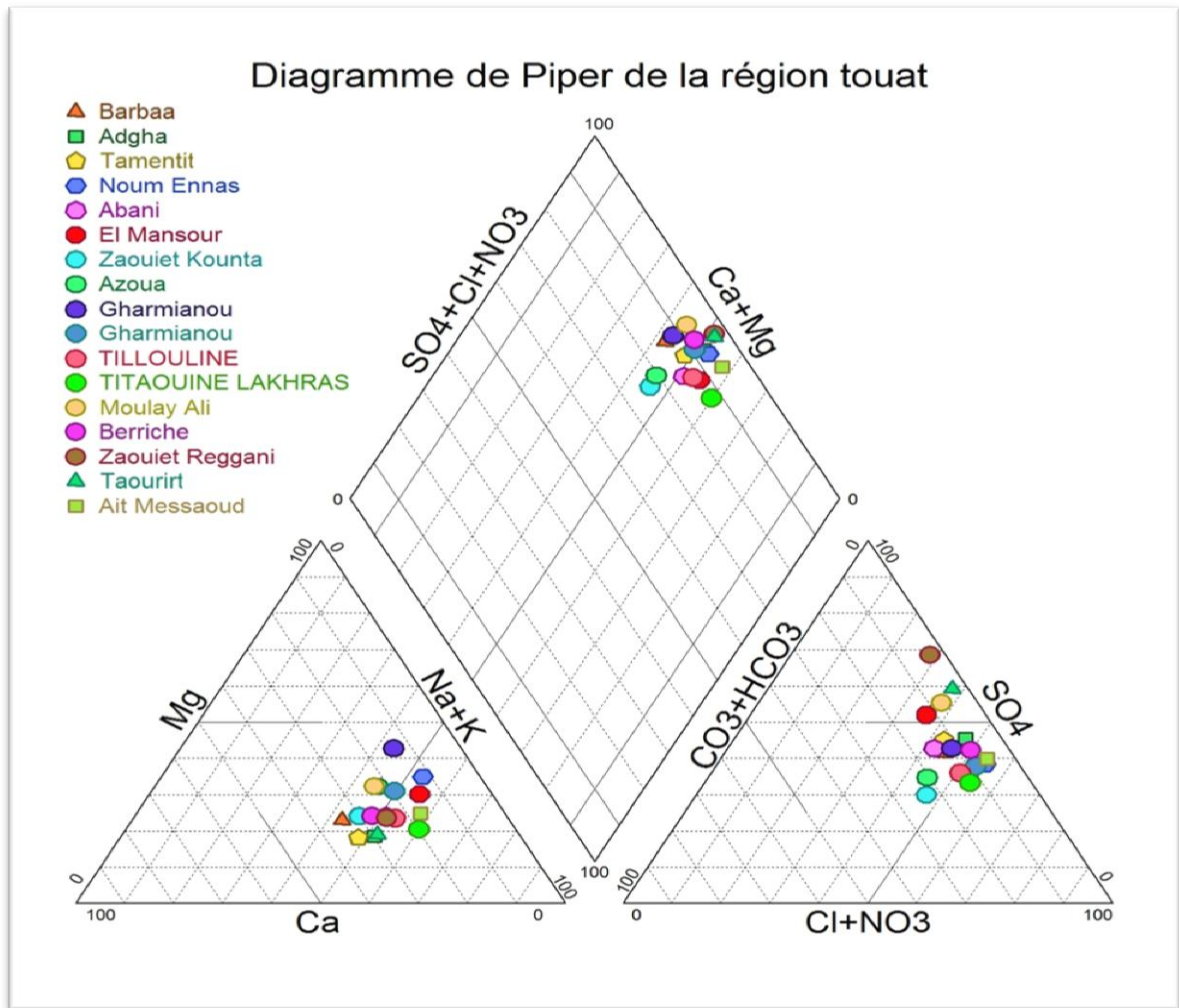
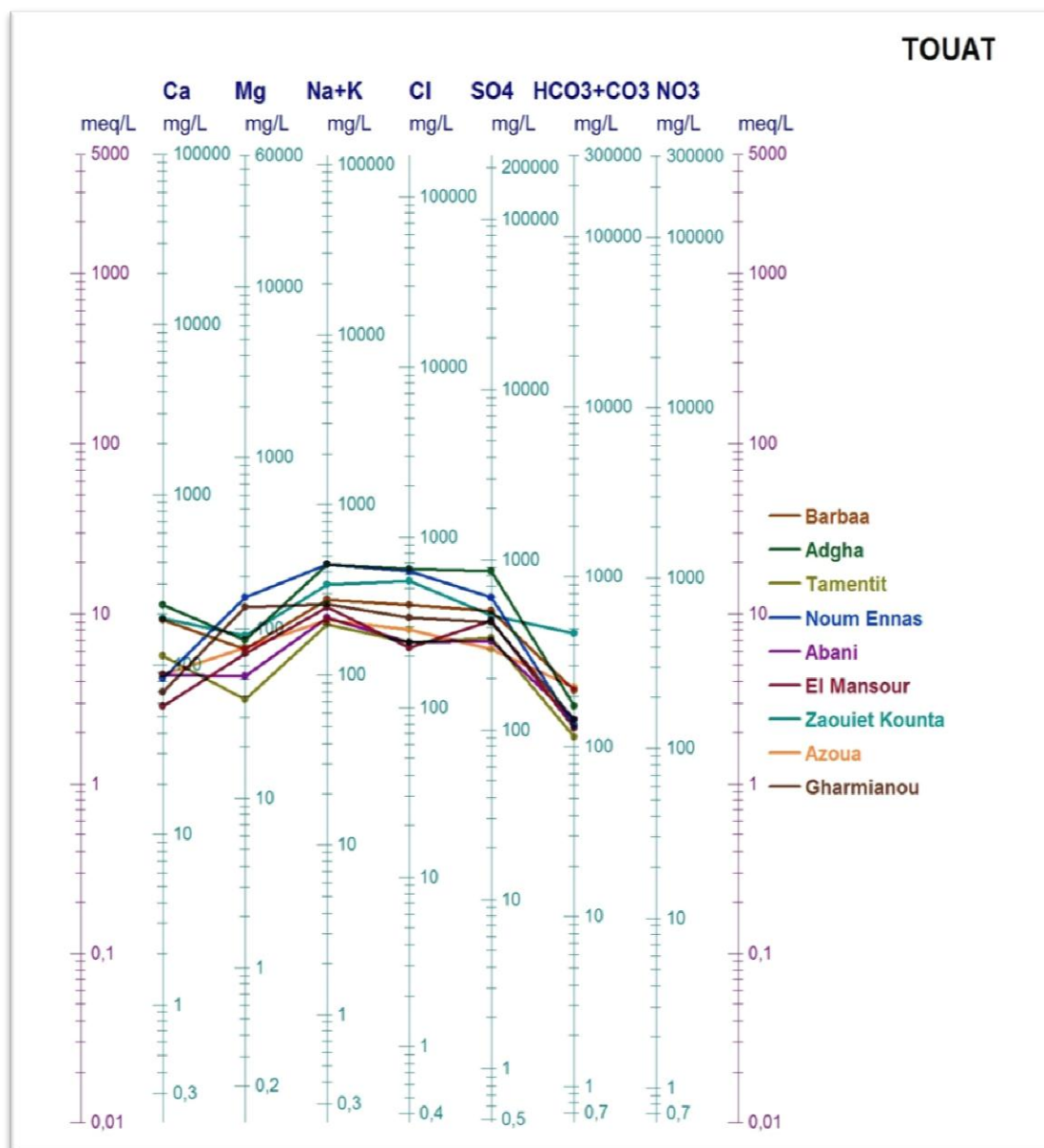


Figure V.13: Diagramme de Piper des eaux de la foggara de la région Touat

V.5.2 : Diagramme de SchoellerBerkaloff :

Le diagramme de SchöellerBerkaloff permet de représenter les faciès chimiques de Plusieurs échantillons d'eaux dans un seul graphe. La figure (V.14) de la différente foggara évidence les faciès chimiques suivants:

- Faciès sulfaté sodique
- Faciès chloruré sodique



FigureV.14a: Digramme de Schöeller des eaux de la foggara de la région de Touat

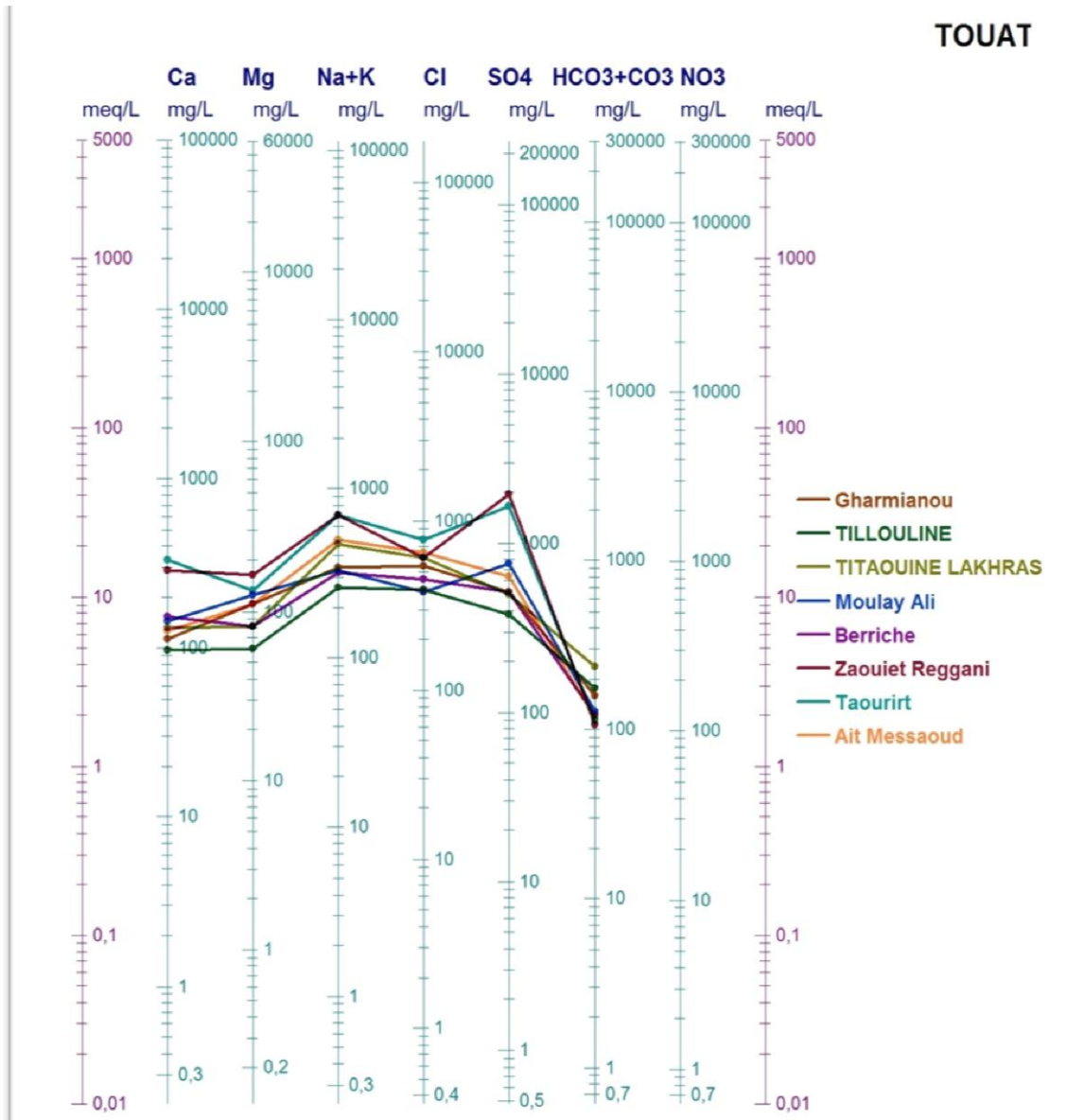


Figure V.14.b: Digramme de Schöeller des eaux de la foggara de la région de Touat

V.5.3. Classification de STABLER :

Cette classification est exprimée par une formule caractéristique (formule ionique), elle consiste à calculer les quantités en réaction en pourcent par rapport à la concentration totale (50% anions, 50% cations).

$$r\% = \frac{r \times 100}{C}$$

Dont :

- r% : quantité en réaction en pourcent de l'élément.
- r : quantité en réaction de l'élément chimique (mg/l).
- C : concentration de l'élément chimique dans l'eau.

Puis on classe de gauche à droite par ordre décroissant, les quantités en réaction en pourcent des anions et des cations pour obtenir des formules caractéristiques. Cette dernière permet d'une part de définir la relation entre le chimiste des eaux et la lithologie de l'aquifère et d'autre part de regrouper les eaux de même origine.

Le tableau suivant porte les faciès chimiques et les formules caractéristiques des analyses d'eau des foggaras de la nappe de continental intercalaire :

Tableau.V.1 : Classification de STABLER des eaux de la nappe CI dans la région Touat

<i>Faciès chimique</i>	<i>Formule caractéristique</i>	<i>Point de prélèvement</i>
Chloruré sodique	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{2-} > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^{++} \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{2+} > r \% \text{Ca}^{2+}$	Noumenasse–zauitkounta– azoua – ghrmianou01 ghrmianou02 - tiloline - titaouinebriche – aitemessoude -
Sulfaté sodique	$r \% \text{SO}_4^{2-} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^{2+} \text{K}^+ > r \% \text{Ca}^{2+} > r \% \text{Mg}^{2-}$	baraa – adgha – tementit – abani–elmansour – molayali – zauitreggani – touriret

Le tableau montre que les eaux de la nappe de continental intercalaire ont les faciès chimiques suivants :

- Chlorurés Sodique dans la partie sud de la région d'étude (les foggara du commune : zauitkounta et raggane).
- Sulfaté Sodique dans la partie nord de la région d'étude (les foggaras du commune d'Adrar et fonougil).

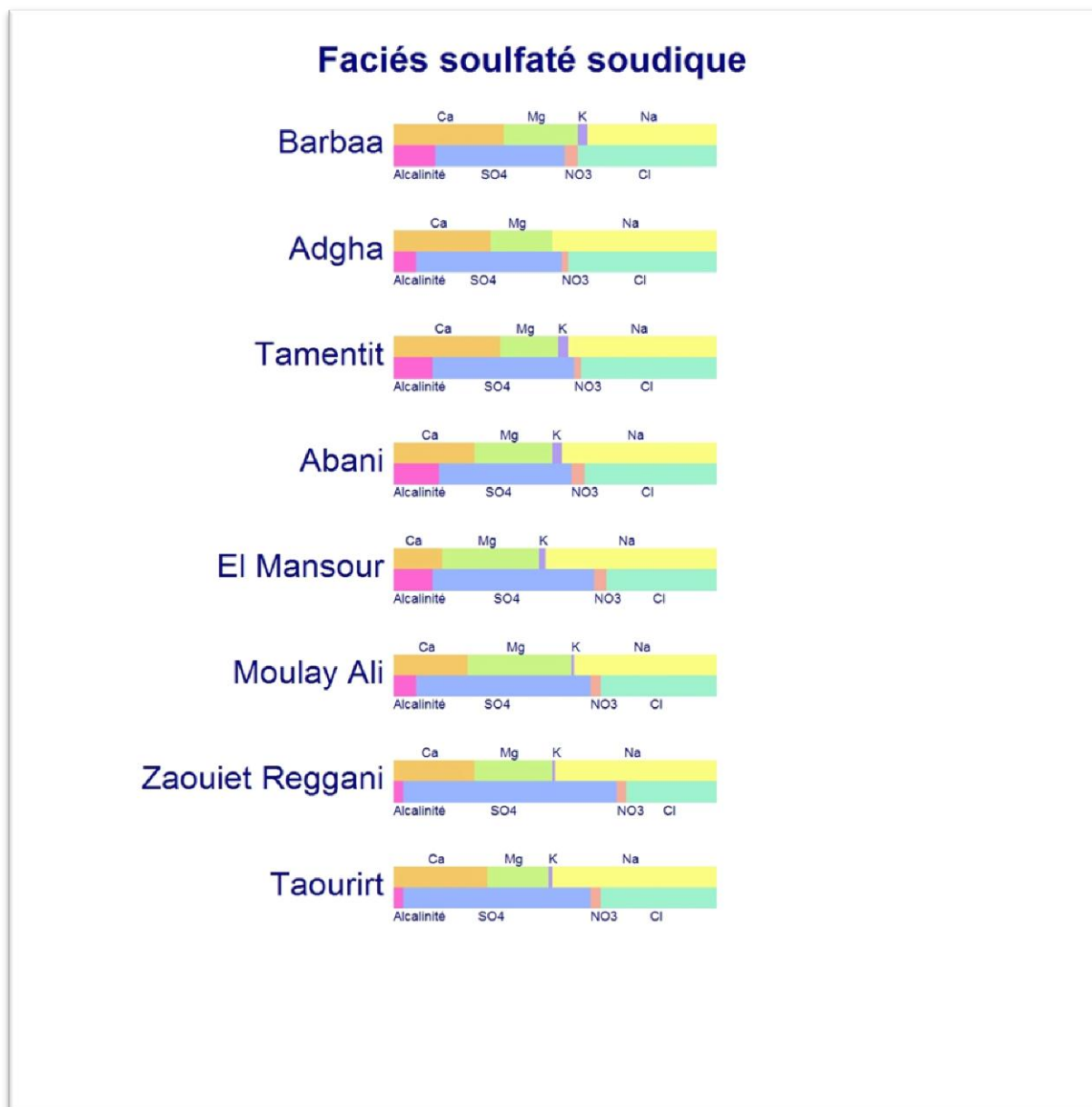


Figure V.15a : diagramme de stabilité des eaux de la foggara de la région Touat

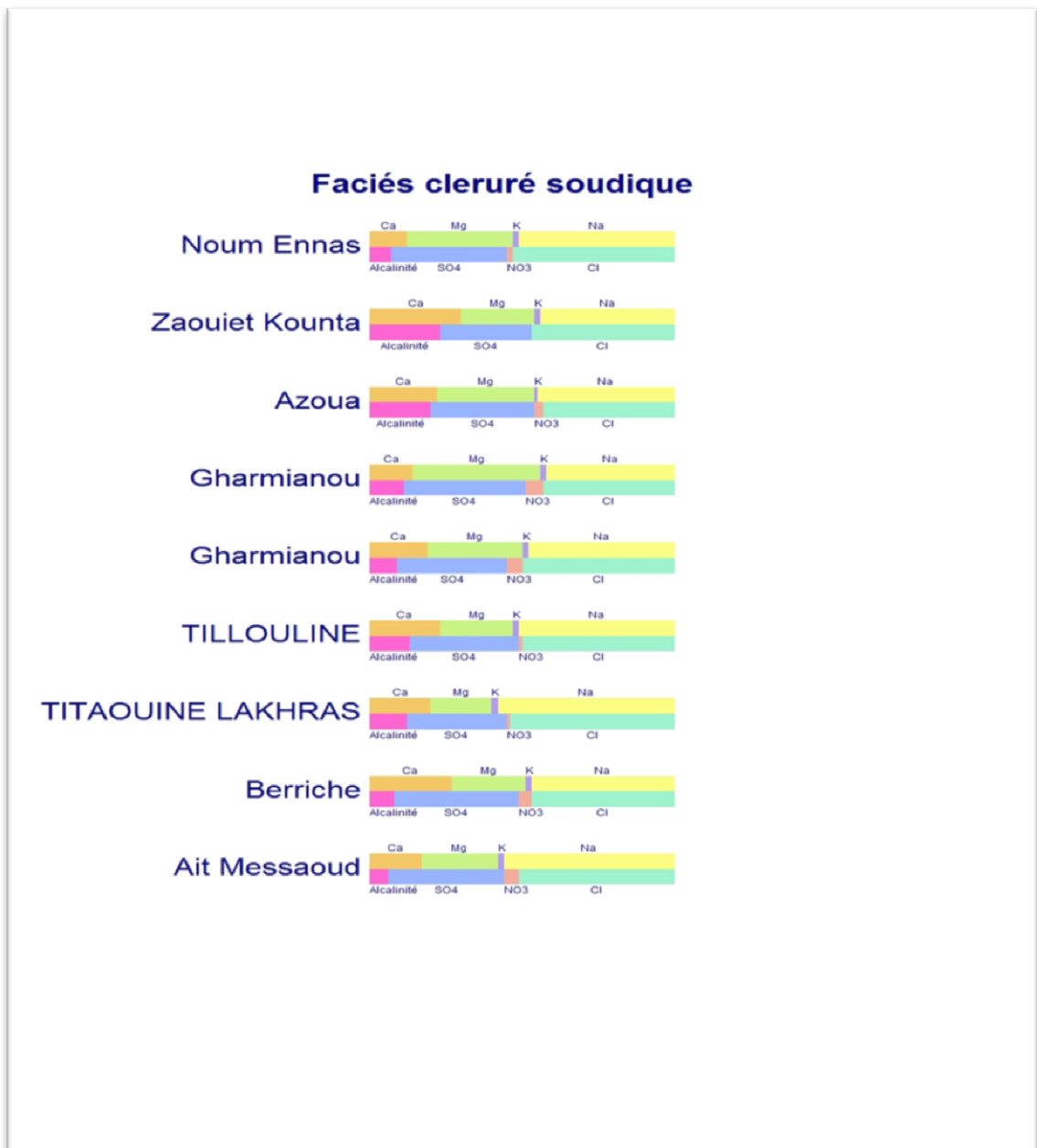


Figure V.15b diagramme de stabilité des eaux de la foggara de la région Touat

V.6. : Qualité des eaux de l'irrigation :

Les eaux de la foggara utilisée pour l'irrigation c'est t-dire le paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement.

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

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

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire

V.6.1. Diagramme de REVERSIDE :

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

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

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

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

D'après la classification de RIVERSID (Figure.V.16) de la majorité des pions d'eaux de la région d'étude sont des eaux présentant un danger d'alcalinisation moyenne et les autre faible, exemple la foggara de commune de Raggane présente dans fort alcalinisation.

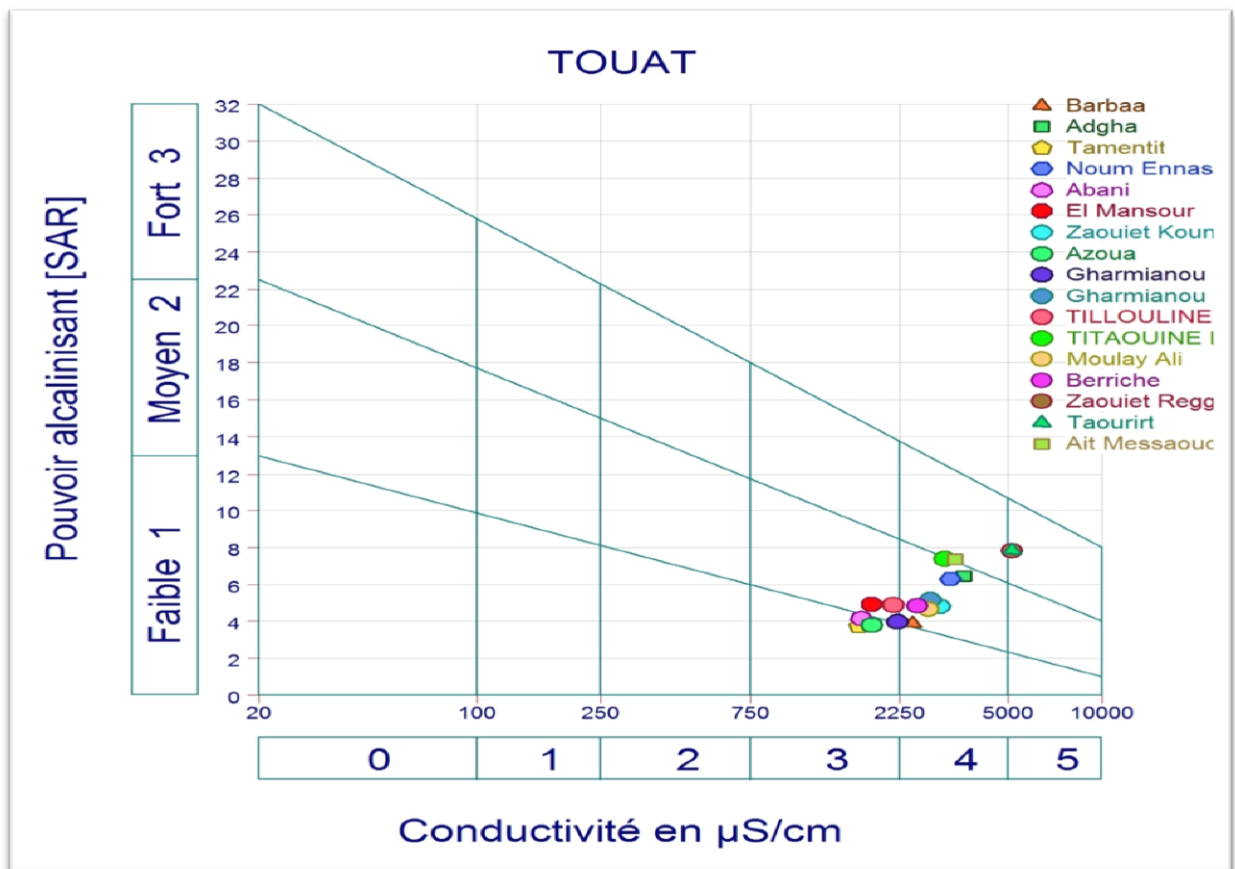


Figure.V.16 : Diagramme de Riverside des eaux de foggara de la région Touat

V.6.2 : Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) :

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti au diagramme de la (figure.V.16).

Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de « Wilcox », fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau (Louvrier 1976), pour examiner ce problème.

Le pourcentage de sodium peut être défini comme suit :

$$\%Na^{+} = \frac{Na^{+}}{Ca^{2+} + Na^{+} + Mg^{2+} + K^{+}} \times 100$$

Les éléments sont exprimés en meq/l.

Tableau V.2 : les cinq classes des eaux d'après Wilcox

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

ANRH Adrar

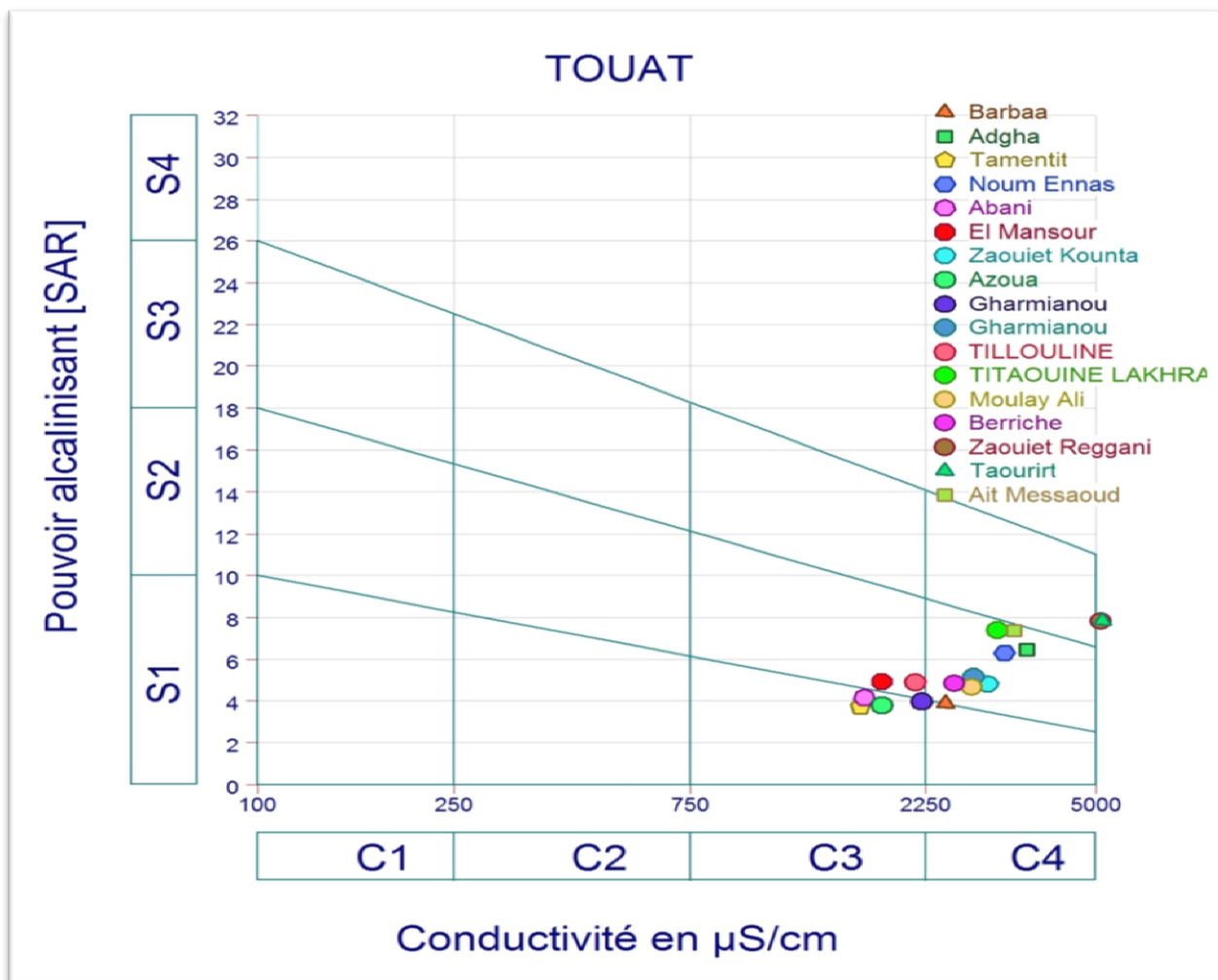


Figure.V.16. Diagramme wilcox-log de la région Touat

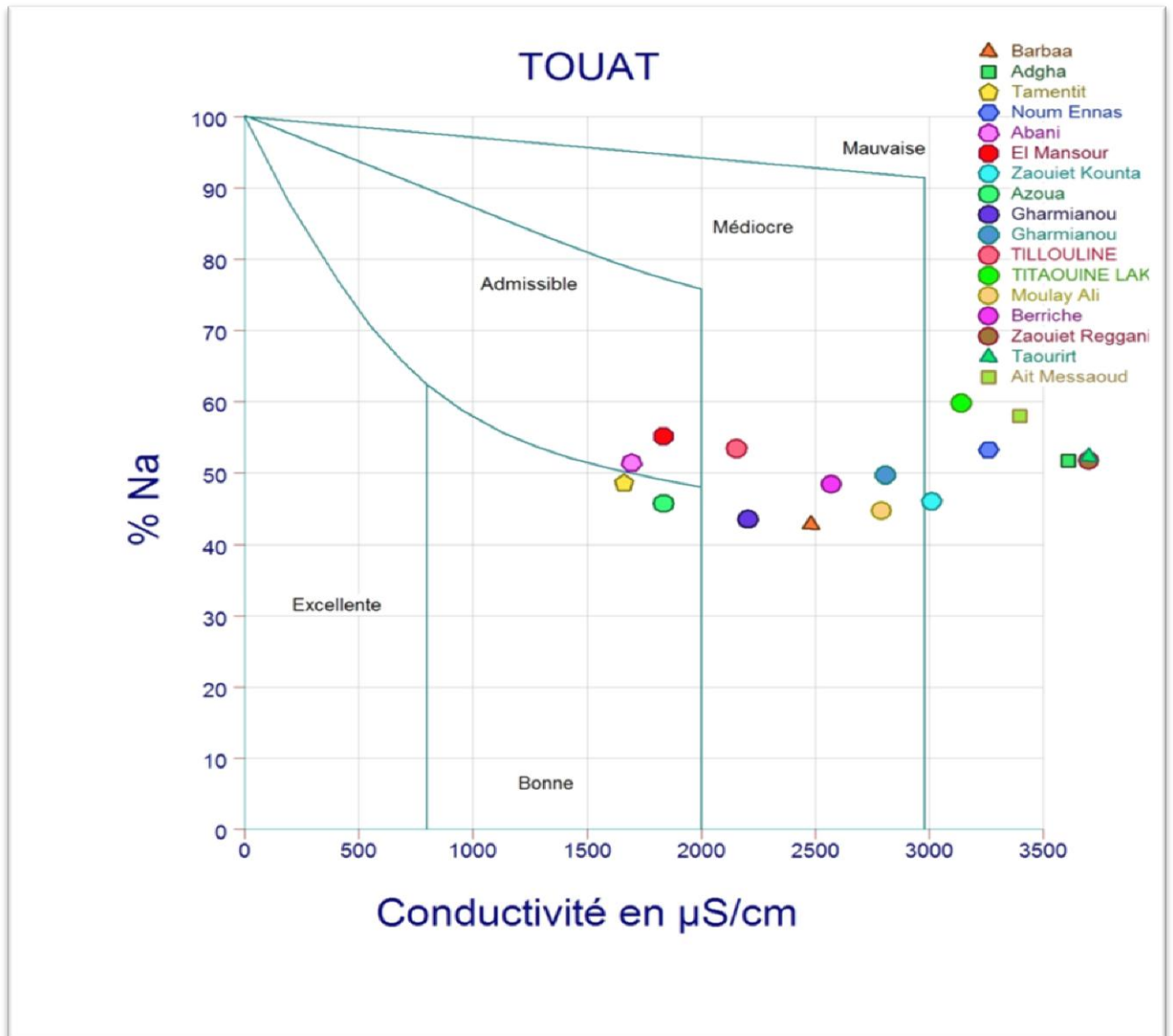


Figure.V.17. Diagramme wilcox de la région Touat

On a deux classes majorité :

- C4-S2** : 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, c'est-à-dire eaux médiocre qualité pour l'irrigation.
- C3-S1**: En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée (la majorité des échantillons) c'est-à-dire eaux Admissible qualité pour l'irrigation. (Figure.V.16).

V.7. Potabilité chimique des eaux de foggara :

V.7.1. Les normes de potabilité :

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

À partir de (Tableau.V.5) on a remarquant :

- la majorité des eaux de la région d'étude est potable (les eaux de ville d'Adrar) comme les foggara : barbaa, adgha,tamentit,.
- les autre eaux de la région d'étude est non potable (les eaux des commun Bouda et raggan et tammst et fonoghile)parce que les concentration des plus par éléments chimique sont dépassé la norme (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-).
- Il faut traitait avant l'utilisation humaine.

Tableau V.3 : Classification la potabilité des eaux de foggara la région Touat d'après la norme algérienne.

Nom	PH	Conduc tivité ($\mu\text{C}/\text{Cm}$)	Résidu Sec	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ²⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ⁻ (mg/l)	Remarque
Normes	6.5-8.5	2500	2000	200	150	205	15	600	400	50	0.5	0.1	0.5	Potable
Barbaa	5,72	2750	1720	185	76	250	28,1	400	500	60	0	0,03	0,3	Non Potable
Adgha	7,84	3400	2299	224	85	446	4	654	855	48	0,015	0,018	0,26	Non Potable
Tamentit	7,3	1600	1033	114	38	180	20	242	345	21	0	0,013	0,08	Potable
Noum Ennas	7,51	3240	2050	84	151	418	30	632	600	42	0	0,055	0,07	Non Potable
Abani	7,31	1760	1105	88	52	200	15	240	330	42	0	0,022	0	Potable
El Mansour	7,34	1660	1127	57	71	237	15	225	440	50	0	0,028	0,01	Non Potable
Zaouiet Kounta	6,9	2820	1925	189	91	320	19	549	470	4	0,35	0,075	2,3	Non Potable
Azoua	7,25	1890	1197	88	77	201	11	285	300	35	0	0,05	0,05	Potable
Gharmianou	7,23	2260	1426	70	133	245	18	340	430	89	0,007	0,007	0,06	Non Potable
Gharmianou	7,24	2450	1699	114	110	323	21	540	520	93	0,004	0,69	0,001	Non Potable
T ILLOULINE	6,85	2260	1394	97	60	249	15	395	380	15	0,008	0,015	2,5	Non Potable
ITAOUINE LAKHRAS	6,95	3240	2025	132	82	440	30	600	500	22	0,015	0	0,02	Non Potable
Moulay Ali	7,46	2710	1803	145	124	315	17	380	760	58	0,095	0	0	Non Potable
Berriche	7,55	2700	1684	154	82	300	19	450	513	55	0	0,004	0,001	Non Potable
Zaouiet Reggani	6,95	4860	3462	286	165	670	30	600	1950	105	0,03	39	0,02	Non Potable
Taourirt	7,09	5060	3485	330	132	670	30	775	1655	130	0,03	0,002	0	Non Potable
Ait Messaoud	7,22	3160	2076	127	110	470	32	650	643	42	0	0,017	0	Non Potable

V.7.2. Dureté totale (ΔTH) :

C'est le degré hydrotimétrique ou titre hydrotimétrique, elle exprime la quantité des sels de Calcium et de Magnésium dissous dans l'eau.

- $\Delta TH = (r \text{ Ca} + r \text{ Mg}) \text{ méq/l}$
- $\Delta TH = (r \text{ Ca} + r \text{ Mg}) \times 5 \text{ }^\circ\text{F}$

On utilise le degré français qui correspond à 0.2 meq.l^{-1}

La dureté faible pour une eau très bonne qualité selon l'OMS est comprise entre 9.25°F et 12.5°F .

Tableau.V.4 : présente la potabilité en fonction de la dureté.

TH ($^\circ\text{F}$)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualité d'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

ANRH Adrar

D'après le tableau ci-dessus, nous pouvons dire que la qualité des eaux Dure à Très dure Nous peu dire que les eaux de qualité modérément douce.

Le tableau classifiée la qualité d'eau dans la région de Touat.

Tableau.V.5 : Classification de qualité d'eau dans la région à partir de la dureté totale

Qualité des eux	Les foggaras
Dure	Tementit - Abani-Elmmensour – Azoua-Tilolin - Tillilen
Très dure	adgha –barbaa –Molayeali-- Zaouetraggani –Tourirt –Noumenasse –Zaouetkounta – Gharmianous–Briche – Aiteelmessaude

V.8. Conclusion.

L'étude hydro chimique des eaux de la nappe de l'Albien dans la région Touat , montre que ces eaux sont caractérisées par PH neutre (7.18 et 7.94) et une conductivité moyenne a élevée où elle varie entre 1100 unité et 3470 unité, on remarque aussi une augmentation de la concentration de quelque éléments chimique tell que : (Na+, K+, Cl-, SO4- et NO3-), tandis que d'autre ont des concentrations presque nul tell que (NH4-,NO2-etPO4-).

L'observation du contexte géologique de la région et la répartition spatiale des éléments chimiques montre que l'origine de cette composition chimique est liée principalement à la dissolution des formations essentiellement gréso-argileuses, gypso-salines des terrains traversés par ces eaux.

Les variations de la concentration des éléments chimiques sont liées à l'évaporation, le Pompage et l'irrigation des parcelles agricoles.

L'étude de variation des concentrations des éléments chimiques nous a permis de préciser la répartition quantitative des divers éléments dissous et de suivre leur évolution dans l'espace. Donc généralement leur évolution se fait suivant la direction principale (sud-est) de la région Les faibles concentrations trouvent dans la commune d'Adrar et Fonogille les fortes concentrations se trouvent dans les commune Raggane et salli et Zaouitkounta.Deux faciès chimiques caractérisent les eaux de la région d'étude :

- faciès Chlorurées sodiques
- faciès sulfatés sodiques

Le faciès sulfaté sodique est dominant (8foggara) par rapport au faciès Chloruré sodique (9 foggara). La dureté totale est varié entre (32 > TH > 54), Ces eaux se classent donc parmi les eaux dure et très dures.

De point de vue de la potabilité montre que la majorité des eaux de commun Temantit et Abani et Azoua est potable contre les autres eaux, donc il faut faire un traitement avant la consommation.

De point de vue de l'irrigation les eaux de la foggara sont Admissibles et médiocre. Donc, on conclure que cette nappe peut être exploitée du point de vue hydrochimie,

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Conclusion

L'intérêt de cette étude hydrogéologique et hydro chimique est bien la reconnaissance des ressources en eaux souterraines et ça qualité dans la Touat. Et donne au moins une la reconnaissance simple sur le système de foggara. Au cours de cette étude nous avons mis en évidence les points suivants :

La région d'Adrar est située dans la partie sud de l'Algérie, elle représente la limite Sud-ouest du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

Les travaux géologie réalisé sur la région mis en évidence l'existence de un structure d'importance hydrogéologique, la nappe composée par (gravier, sable, grés, gré sableuse, gravier sableuse et peu de calcaire) et de substratum a nature (argile, sable argileux, gré argileux et gravier argileux). Cette nappe est captive dans la partie centrale et orientale du bassin, et libre sur la partie occidentale du bassin qui forme l'exutoire naturelle de la nappe.

Cette région est caractérisée par un régime climatique Saharien hyper-aride, ou la sécheresse est permanente et l'aridité est nettement exprimée. Ce type de climat est caractérisé par deux saisons une saison froide relativement courte et une saison chaude où la température est nettement supérieure à 20°C :

Le taux d'humidité est très faible, il indique un signe de sécheresse accentuée et Les températures sont très élevées, elle dépasse les 46°C en période estivale avec une moyenne annuelle de l'ordre de 24-25 °C ;

Les précipitations sont quasi nulle et irrégulières dans le temps de dans l'espace, elles ne dépassent pas les 11 mm /an, et Le taux d'évaporation est très élevé, il dépasse les 630 mm en été ;

Le vent qui souffle avec quelque fois des tempêtes de sable violentes, elle est de l'ordre de 148 à 170 Km/h durant toute l'année avec une accentuation en mois de Mars, Avril et Mai.

il faut rechercher a des méthodes spécifique et valable dans les climats aride pour calculé évapotranspiration potentielle et donné des valeurs correcte de l'évapotranspiration réelle défèrent a des méthodes utilisé actuellement.

Conclusion générale

La carte piézométrique régionale de la nappe du CI, montre deux directions principales d'écoulement: généralement de l'Est vers l'Ouest et de Nord-Est vers Sud-Ouest. D'autres paramètres (pompages et irrigation) peuvent également intervenir dans les modifications locales de la piézométrie de la nappe,

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

- Une eau moins minéralisée au l'Est de la zone d'étude.
- Une eau plus ou moins chargée dans les périphériques des sebkhas sud de la région.

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

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

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

Selon les prescriptions de l'O.M.S et les normes algériennes, les eaux de foggara de la nappe du continental intercalaire sont d'une potabilité faible à moyenne dans la partie sud (Raggan et Tiloulin) et bonne dans la partie Est donc favorables à la consommation humaine par exemple : Tamentit.

En fin, on a étudié simplement le système traditionnel de captage –foggara- nous donne une idée sur l'historique, définition et évolution de ce système. Malheureusement, l'état du système en vigueur dans la détérioration continue de l'avant de la négligence et la baisse du niveau d'eau de nappe du continental intercalaire (la source de système). Mais la génération montante doit préserver ce système traditionnel en plus d'accroître la contribution de l'Etat dans le soutien au rétablissement de ce système. Cela la foggara reste le symbole d'un témoin dans la région d'étude

Référence bibliographie

Référence bibliographie :

AKKOUCHE, M. (2007) : Application De La Datation Par Traces De Fission a L'analyse De La Thermicité De Bassins A Potentialités Pétrolières. Exemple De La Cuvette De Sbaa Et Du Bassin De L'ahnet-Nord (Plate-forme Saharienne Occidentale, Algérie) Ecole Doctorale Des Sciences Du Vivant, Thèse Doc.

ANRH D'ADRAR (2004) : exploitation des eaux dans les zones arides L'évolution De L'exploitation Des Eaux Souterraines Dans La Daïra D'Adrar, Fenoughil Et ZaouiteKounta
Benhamza, M. (2013)-Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « foggara » dans la région d'Adrar- Mém, Magister, univ : U.B.M. Annaba.

BESBES M, LARBES A, BABASY M, MERZOUGUI B. (2005)-Modélisation Du Système Aquifère Du Bassin Occidental Du Sahara Septentrional, Première Phase :Hydrogéologie Et Modèle Conceptuel .rapport final d'OSS.

BOUTADARA, Y. (2009)-Etude Hydrogéologique Des Systèmes De Captage Traditionnels Dans Les Oasis Sahariennes Cas Des Foggaras De La Région Du Touat (Adrar) univ : Mém, Magister, USTO ORAN.

British Geological Survey BGS. (2010)-The Continental Intercalaire of Krechba and the Algerian Sahara: application of a 2D/3D GIS and 3D seismic for geological characterization Groundwater Science Programme, Internal Report CR/11/015 Keyworth, Nottingham, UK.

Dahali, S. (2013) -Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de Touat (wilaya d'adrar)- Mém, Master, univ : Ouargla.

DRAOUI, A. (2009)-Etude Géologique De La Région D'el Ahmer D'âge Dévonien Inferieur Et Moyen : Implication Litho stratigraphique Et Sédimentologique (Bassin De Reggane, Sahara Occidental, Algérie) -Univ : Es-Sénia d'Oran.

FABRE, J. (2005)-Géologie Du Sahara Occidental Et central, vol 8 édition Terouren Africain Géosciences collection Belgique.

Gilbert G.(1973), Régime économique et structure du pouvoir : le système des foggara du Touat.Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°13-14.pp. 437-457

H. Askri, A. Belmecheri, B. Benrabah, A. Boudjema, K. Boumendjel, M. Daoudi, M. Drid, T. Ghalem, A. M. Docca, H. Ghandriche, A. Ghomari, N. Guellati, M. Khennous, R. Lounici, H. Naili, D. Takherist, M. Terkmani.- Géologie De L'Algérie vol 1 édition(2001) S C H L U M B E R G E R W E C S O N A T R A C H.

Hadj Fateh et Rouas. (2011)-Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du Continental Intercalaire de la région de Touat (wilaya d'Adrar)- Mém, Master, univ : Ouargla.

INRH (1982) : inventaire des foggaras du Touat et Gourara

Référence bibliographie

OSS. (2003)-Système Aquifère du Sahara Septentrional «SASS», Gestion commune d'un bassin transfrontière, Principaux résultats.

OULD BABA SY, M. (2005)-Recharge et Paleorecharge Du Système Aquifère Du Sahara Septentrional univ; Thèse Doc, univ : de Tunis EL MAN.

Robert M.W. et al. (1973)-Hydrogeology of the Albian formation, Submitted to the graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor in Philosophy.

UNESCO. (1972)-Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Plaquette 7 Captage et utilisation des eaux souterraines, les forages et le refroidissement des eaux.

ZAGHTOU, A. (2011)-Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans la région d'Adrar (toutat) - Mém, Magister, univ : l'USTHB d'Alger

Annexe

Annexe 1: Température moyenne annuelle de la station d'Adrar (1994-2014).

Anne	T°C (min)	T°C (moy)	T°C (max)	Anne	T°C (min)	T°C (moy)	T°C (max)
1994	16.38	25.43	33.16	2005	17.93	26.48	34.53
1995	17.2	25.55	33.33	2006	17.72	26.2	34.06
1996	17.48	25.69	33.41	2007	17.18	26.05	34.21
1997	17.37	25.49	33.16	2008	17.59	25.91	33.7
1998	17.38	25.65	33.6	2009	17.53	25.88	33.63
1999	18.13	25.93	33.72	2010	18.81	27.37	35.28
2000	16.84	25.61	33.58	2011	17.6	26.00	33.6
2001	17.61	26.84	34.89	2012	17.2	25.8	33.5
2002	17.73	26.38	34.28	2013	17.3	25.9	33.9
2003	17.6	26.07	33.88	2014	18.3	26.6	34.5
2004	16.97	25.52	33.41				

Annexe 2 : Normes Algériennes de potabilité

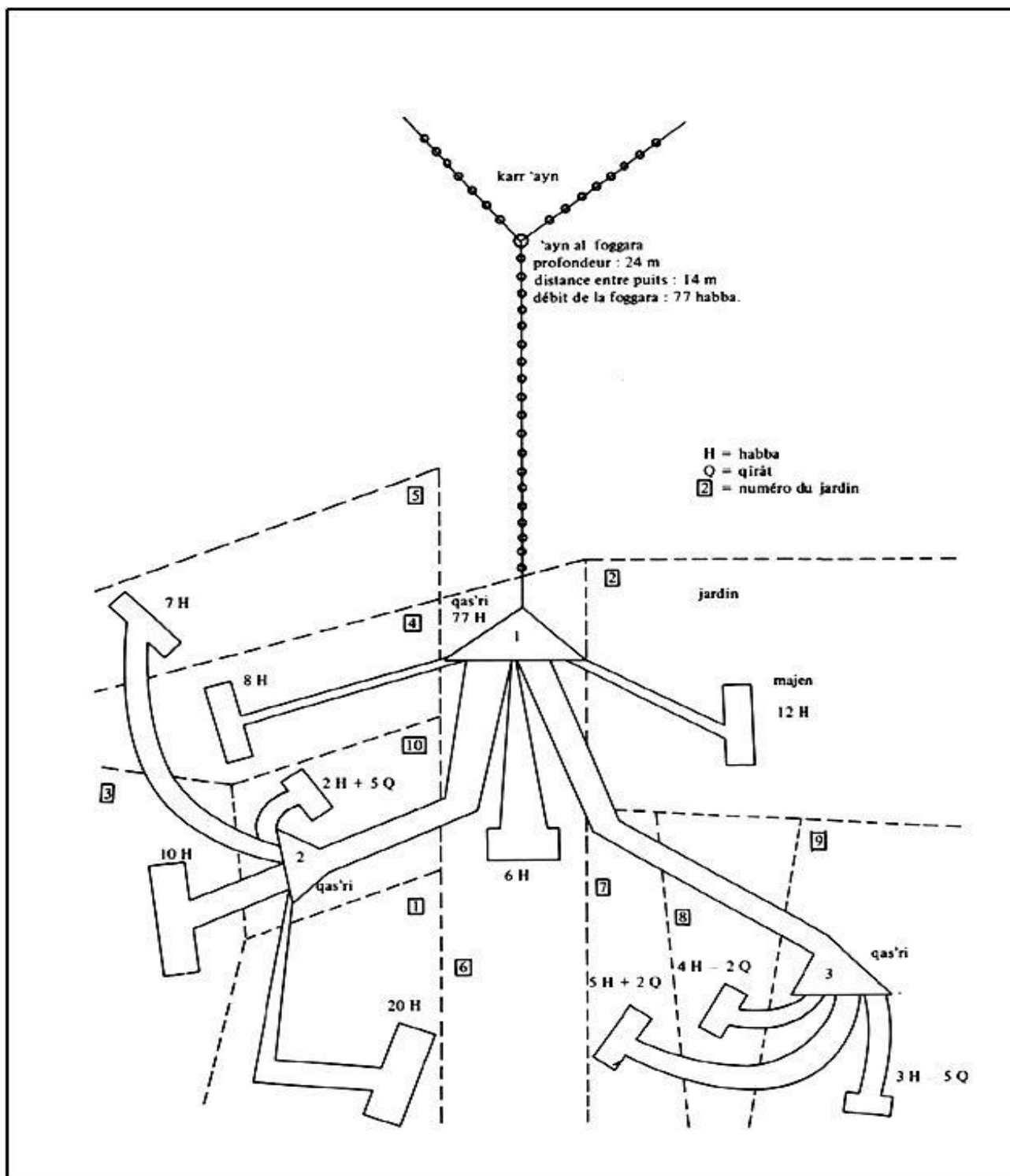
paramètre	valeur	unité
Paramètres physico-chimiques		
température	25	°C
PH	6.5-8.5	-
Conductivité	2500	µS/cm
Résidu sec (180°C)	2000	mg/l
Calcium	200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Sodium	250	mg/l
Potassium	15	mg/l
Chlorure	600	mg/l
Sulfates	400	mg/l
Substances indésirables		
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l
Ammonium	0.5	mg/l
Phosphates	0.5	mg/l
Ox.KMON ₄ (Acide) (MO)	3.5	mg/l(O ₂)

Annexe

(Annexe.5) : Les cordonne des forages et leur état

N	Lieu	x	y	Z	Niveau_Sta	Profondeur	Niveau_Pié
p1	Tillilane	-0,244722	27,9303	261,58	3,42	150	0
p2	Tillilane	-0,233889	27,9233	249,47	15,53	83	332,34
p3	MERAGUENE	-0,280833	27,9906	237,43	20,57	150	344,55
p4	Tillilane	-0,224722	27,9369	257,75	5,25	140	342,17
p5	BARBAA	-0,313889	27,8728	201,3	63,7	200,15	200,88
p6	Tillilane	-0,236944	27,8997	265	0	20	0
p7	Tillilane	-0,196389	27,8531	258,22	17,78	155	279,45
p8	EL MANSOUR	-0,405	27,9586	208,7	35,3	125	279
p9	BEN DRAOU	-0,412778	28,0161	240	0	808,2	284,25
p10	BOUDA leghmara	-0,452778	28,0314	212,35	66,65	170	0
p11	CHAMP CAPTAGE	-0,175	27,5953	230,95	30,05	150	253
p12	SIDI YOUCEF	-0,295556	27,5644	234,23	6,77	7,68	255,55
p13	CHAMP CAPTAGE	-0,225556	27,5675	226,6	29,4	150	253,8
p14	BOUYAHIA	-0,250556	27,4667	211	33	150	153
p15	FENOUGHIL	-0,296667	27,6053	229,75	2,25	105	258
p16	FENOUGHIL	-0,301111	27,6233	187,04	36,96	150	253,74
p17	FENOUGHIL	-0,309722	27,6597	201	26	140	255,75
p18	SIDI YOUCEF	-0,295556	27,5642	235,2	9,8	82	252,18
p19	BAAMOR	-0,279444	27,4981	246	0	0	257,22
p20	TASFAOUT	-0,338889	27,7025	268,55	1,45	100	261,3
p21	IN ZEGHMIR	-0,14	27,0958	147,32	20,68	140	263,46
p22	IN ZEGHMIR	-0,110556	27,1161	218,1	21,9	150	254,15
p23	REGGANE	0,190833	26,8031	260,75	6,25	150	251,5
p24	REGGANE	0,279167	26,6964	268,2	13,8	150	261,85
p25	REGGANE	0,195833	26,7931	169	86	170	259
p26	REGGANE	0,188333	26,8136	-10,75	10,75	143	264,22
p27	TIMADANINE	0,125278	26,7167	178,1	6,9	150	266,57
p28	REGGANE	0,188333	26,8136	0	0	0	266,78
p29	TAOURIRT	0,22	26,7114	191,935	21,065	83	261,54
p30	REGGANE	0,179444	26,7242	204,2	19,8	100	0
p31	TINOULEF GUEDIMA	0,169167	26,7317	217	4	14,5	0
p32	ZAOUJET SIDI ELBEKRI	-0,239167	27,8036	252	0	540,2	257,26
p33	OUAINA	-0,363056	27,9003	219,62	27,38	150	274,35
p34	ZAOUJET KOUNTA	-0,189444	27,2272	216,1	28,9	100	260,49
p35	ZAOUJET CHEIKH	-0,128056	27,1619	214	29	130	276
p36	MEKKID	-0,215	27,3411	215,3	20,7	150	278,85
p37	ZAOUJET KOUNTA	-0,162778	27,2472	240,34	25,66	92	249,83
p38	MENACIR	-0,145833	27,2303	249,57	22,43	152	0
p39	ADMEUR-TAZOULT	-0,126389	27,2017	251	19	100	269,2
p40	ZAOUJET KOUNTA	-0,174722	27,2428	226,36	24,64	86	254,25

Source ANRAH adrar



Annexe.6 : plan d'une foggara dans la région d'étude (Zaouiet Sid-ELBAKRI) (d'après caïd EL NACER en 1708).

ملخص:

تعتبر الفقارة المصدر الأساسي للماء في حياة سكان الواحات في منطقة ادرار , فالنمو الديمغرافي المتزايد والتطور في شتى الميادين الاقتصادية (فلاحية .صناعة سياحة) لهم علاقة بكثرة المصادر المائية فتطلب هذا إلى اللجوء إلى استخراج المياه باستعمال الطرق الحديثة للبحث والاستخراج . هذا الأخيرة أدت إلى وانخفاض مستوى منسوب الطبقة المائية للقاري المتناوب مما اثر سلبا على مردودية الفقارة .

هذه الحالة أثرت سلبا على نوعية وكمية مياه الفقارة , هذه الأخيرة انخفض منسوب مياهها وترددت نوعيته , فالعديد من الفقارات تركت فجفت .

هذه الدراسة سمحت بالاعتماد على المعطيات السابقة والحالة بإعطاء نظرة عامة على حالة الفقارة في منطقة توات , مع إعطاء بعض الاقتراحات للمحافظة على هذا النظام كموروث إنساني .

الكلمات المفتاحية : فقارة ادرار, القاري المتناوب, الواحات, هيدروكيميا.

Résumé

La foggara c'est La source principale de l'eau dans la vie de la population les oasis dans la région d'Adrar, les accroissement démographique et la développement dans la divers crique économique (agriculteur, industrielle, tourisme) elle est en relation avec diversités source hydrique ils demande une nouvelles techniques d'explorations et d'exhaures. Ce dernier effet dans le décroissant niveau piézométrique de la nappe continentale intercalaire duquel influencer négativement à la foggara.

Cette situation a engendré des effets néfastes sur la quantité et sur la qualité physicochimique de l'eau de la foggara. Cette dernière diminué la niveau des eau et la qualité dégradé. beaucoup de foggara elle arille

Cette étude a permet en s'articulent sur les anciennes et actuelles informations de donner un aperçu sur l'état actuelle des foggaras de la région de Touat et de suggérer quelques recommandations pour la sauvegarde et le maintien de ce système comme un bien commun de L'humanité.

Mots Clés : foggara, Adrar continentale intercalaire oasis, hydrochimique.

Abstract

The foggaras is the main source of water in the life of the population in the oasis region of Adrar, the population growth and development in the various economic cove (farmer, industrial, tourism) it is related diversités water source they request a new technical etd'exhaures explorations. This dernier effet in the decreasing groundwater level of the intermediate continental table which negatively affect the foggaras.

This has led to adverse effects on the quantity and quality of water physicochimique de foggaras. The latter reduced the level of water quality and degraded. many foggaras it aril

This study makes it revolve on former and current information to provide an overview on the current state of the Tuat foggaras region and suggest quelquesrecommandations for safeguarding and maintaining this system as a good commune Humanity.

Key words: foggars; Intercalary Continental, Adrar; oasis, hydrochemical.