

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Centre universitaire ALI KAFI Tindouf

Institut des sciences et de la technologie
Département des sciences de la terre et de
l'univers



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

المركز الجامعي علي كافي تندوف

معهد العلوم و التكنولوجيا

قسم علوم الأرض و الكون

DEPARTEMENTS DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention de diplôme de Master

Option : Hydrogéologie

Présenté par : GSASSI ABDELKADER & LILI YASSINE

**Etude Hydrogéologique et Hydrochimique du la
Nappe Continentale Intercalaire de La Région de
Reggane (WILAYA D'ADRAR)**

Soutenu devant le jury le: 30/05/2021

✚ HAMI Khelifa	MCA. C.U.Tindouf	Président
✚ Mme.DJELLOULI Della.K	MAA. C.U.Tindouf	Examinatrice
✚ TALHI ABDELKRIME	MCA. C.U.Tindouf .	Examineur
✚ ZEROUAL Ibrahim	MCA. C.U.Tindouf	Encadreur
✚ LAIDI ABDELKADER	MCA. C.U.Tindouf	Invité

Année universitaire : 2020/2021

DEDICACE

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux
Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné
le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce
travail que je dédie:

A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi

A mon très cher père, pour ses encouragements

A mes chers frères: YOUNES ,ABDERRAHIM ,ISMAIL

A mes chers sœurs : FATIMA ZOHRA ,HAFSSA

A toute ma grande famille : GSASSI et HADDADJI

A mes meilleurs amis :LILI YASSINE,DJAAFRI,ELFODDA,

TAYEBI,DJOUDI,ABDOULLAHI,KINA,

BOUALLALI,KORICHI,AZIZI,REGGANI

BAKHOYA,LAKHDIMI...

A mon ami HINOUNI HOSAYN allah yrahmo

A mes oncles et tantes

A tout les amis à l'université de Ali kafi tindouf

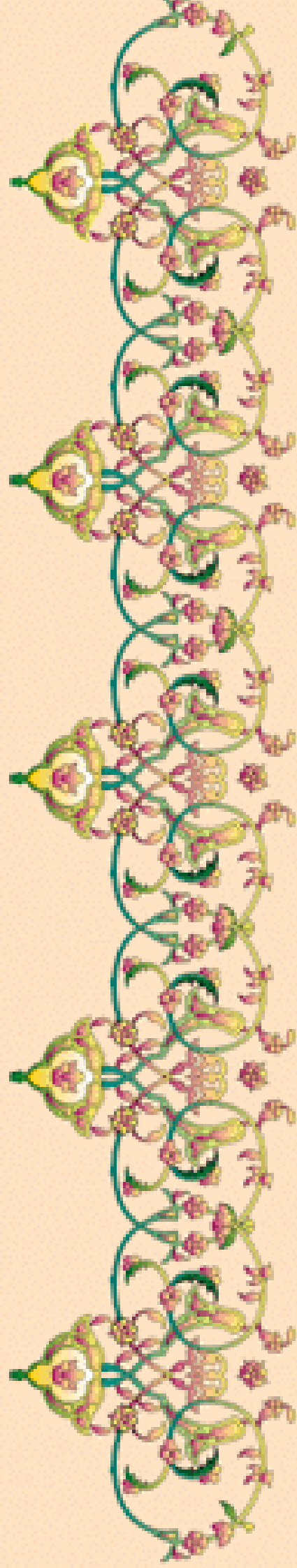
A mes camarades de 2eme master Hydrogéologie Années
promotion 2021.

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon prof

Dr,ZEROUAL IBRAHIM.

et tous enseignants de l'Université de ALI KAFI TLEMCEN

GSASSI ABDELKADER



Dédicace

Merci, mon Dieu, de m'avoir donné la capacité d'écrire et
Penser, le pouvoir de la foi, la patience jusqu'au bout
À propos du rêve que vous avez toujours souhaité. Je dédie cet humble travail
Aux lumières qui illuminent ma vie: ma mère est honorable
Et mon père Abdul Karim
Âmes sœurs, chers frères
À mes oncles de mon père
Mes tantes
Et mes tantes
A toutes les familles Lili, Hashemi et Akrami
Gsassi, Allawi, Hassani, kaimi
À mes collègues et collègues, l'université et surtout notre poussée hydrologique 2021
Surtout mon ami et frère, "Gsassi Abdelkadre"
Pour tous les habitants d'Adrar, en particulier ses habitants
Reggan
A tous ceux qui me connaissent



Lili Yassine

REMERCIEMENTS

Avant tout propos, nous remercions Dieu ALLAH le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma connaissance à toutes les personnes qui ont permis de mener à bien ce travail.

Monsieur HAMI Khelifa. qui a bien voulu Présider le jury de soutenance. Nous lui exprimons toute notre gratitude.

Madame DJELLOULI Della.Khira qui a bien voulu accepter d'examiner se travail, je l'assure de ma profonde gratitude.

Monsieur TALHI ABDELKARIME. qui a bien voulu accepter d'examiner se travail, je l'assure de ma profonde gratitude.

M. Zeroual Ibrahim. Nos promoteurs qui nous ont guidés et soutenus lors de la réalisation de ce brief en nous conseillant et en nous faisant bénéficier de ses connaissances et de son expérience. Son aide efficace, sa disponibilité envers nous, ses conseils réguliers et ses fans Notre gratitude va aussi à toutes les personnes qui nous ont:

Apporté leurs soutiens, nous citerons en particulier les responsables et ingénieurs des organismes suivants:

Ministère des ressources hydriques.

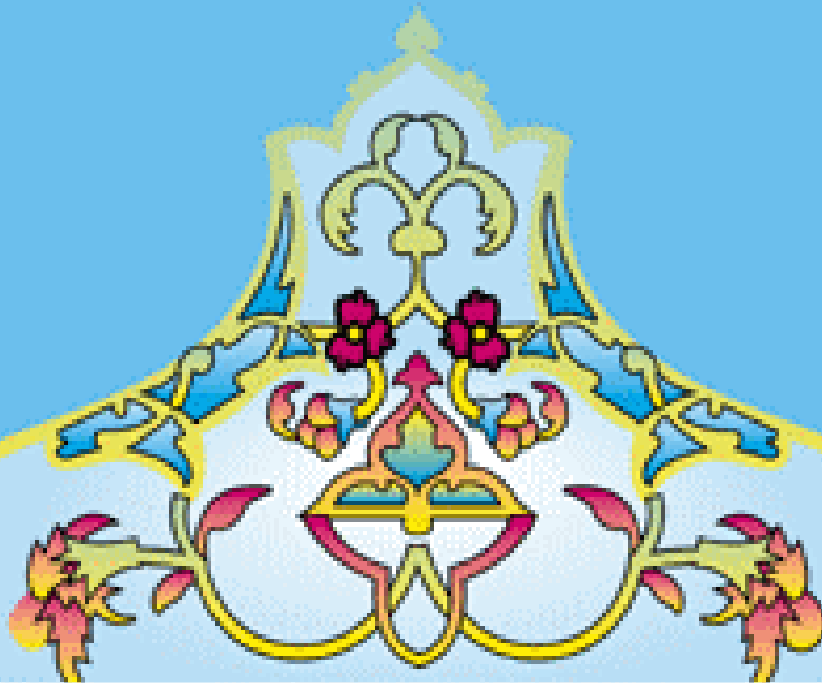
Mr. TAYBI ALI ingénieur hydraulique de reggane

ANRH d'Alger et d'Adrar.

Nous remercions vivement Mr. BENHAMZA M.et

Mr. MIMONI Y. et l'équipe du Laboratoire de l'ANRH

.De nous avoir laissé consulter leur bibliothèque personnelle



Résumé

La région de Reggane fait partie du Touat se trouve au Sahara Septentrional. Elle est caractérisée par un climat sec et chaud (hyperaride). La cuvette de Reggane est constituée de sédiments d'âge Crétacé inférieur, qui affleurent largement dans la région, ces formations renferment une importante nappe de continental intercalaire, qui constitue la principale ressource en eau de la région. La profondeur de la nappe varie entre 2 et 50 m, l'interprétation de la carte piézométrique montre que l'écoulement se fait, en général du Nord-Est vers le Sud-ouest, les centres urbains apparaissant sur la carte comme des zones de convergences, indiquent que l'écoulement au niveau de cette partie est fort à cause de l'effet de forage de captage qui est localisé principalement dans les zones de concentrations de captage par forages et foggaras. L'étude hydrochimique effectuée sur la nappe du Continental Intercalaire de la région de Reggane montre qu'elles sont non potables et présentent une minéralisation élevée, ceci est dû à la nature géologique des formations, avec une prédominance de terrains argileux et des passages gypseux, d'une part, et aux phénomènes d'évaporation intense d'autre part, notamment au niveau des Sebkhass. Le calcul du S.A. R a confirmé que les eaux du secteur étudié sont excellentes pour l'irrigation.

Mots-clés: Reggane, Continental Intercalaire, piézométrique, potabilité, irrigation.

ملخص

منطقة رقان هي جزء من توات في الصحراء الشمالية، وتتميز بمناخ حار وجاف، حوض رقان يتكون من الرواسب الطباشيري السفلي، وهي على نطاق واسع في المنطقة، التي هي المصدر الرئيسي للمياه في المنطق عمق المياه للمياه يتراوح بين 2 و 50 متر، تفسير الخريطة البيزومتر يدل على ان التدفق عموما من الشمال الشرقي الى الجنوب الغربي ويبدو ان المراكز الحضرية على الخريطة كمناطق التقارب، تشير الى ان التدفق في هذا الجزء هو قوي بسبب الحفر الذي يقع في المقام الاول في مناطق مستجمعات المياه وتركيزات من الحفر و الفقارة.

الدراسة الكيمايانية على حوض التداخل القاري لمنطقة رقان تبين أنها ليست صالحة لشرب ولها تمعدن عالي ويرجع ذلك إلى الطبيعة الجيولوجيا وتشكيلاتها، وفي الغالب من الطين والجبس من جهة، وظواهر تبخر مكثفة من ناحية أخرى، وحسب الدراسة فإن هذه المياه ممتازة للري .

الكلمات الدالة: رقان، التداخل القاري، بيزومتر، صالح للشرب، الري

Abstract

The region of Reggane is part of the Touat and is located in the Northern Sahara. It is characterized by dry and hot climate (hyperarid). The Reggane basin is made up of Cretaceous sediments lower, which outcrop widely in the region, these formations contain an important sheet of intercalary continental, which constitutes the main water resource of the region. The depth of the water table varies between 2 and 50 m, the interpretation of the piezometric map shows that the flow is generally from the North-East to the South-West, the urban centers appearing on the map as areas of convergence, indicate that the flow at the level of this part is strong at cause of the effect of capture drilling which is located mainly in areas of concentrations of catchment by boreholes and foggaras. The hydrochemical study carried out on the Continental Intercalaire aquifer in the Reggane region shows that they are non-drinkable and have high mineralization, this is due to the geological nature of the formations, with a predominance of clayey soils and gypsum passages, on the one hand, and intense evaporation phenomena on the other hand, especially at the level of the Sebkhass. The calculation of S.A. R confirmed that the waters of the studied area are excellent for irrigation.

Keywords: Reggane, Continental Intercalaire, piezometric, potability, irrigation.

Liste des unités

cm : Centimètre.

°C : Degré Celsius.

°F : Degré français.

g : Gramme.

g/l : Gramme par litre.

h : Heure.

m : Mètre.

km²: Kilomètres carrés

m³ : Mètre cube.

m³/h : Mètre cube par heure.

m³/s : Mètre cube par seconde.

m²/s: Mètre carrés par seconde.

l/s : Litre par seconde

meq/l : Milliéquivalent par litre.

mg : Milligramme.

mg/l : Milligramme par litre.

μs/cm : microsiemens par centimètre

mS/cm : Milli siemens par centimètre.

ml : Millilitre.

°K : Degré Kelvin

ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en eau potable.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

BI : Balance Ionique

CE: conductivité électrique

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe terminal.

ETP : Evapotranspiration Potentiel

ETR : Evapotranspiration Réelle

OMS : Organisation Mondiale de La Santé

ONM : Office National De Météorologie.

OSS : Observatoire du Sahara du Sahel.

Tab : Tableau

Fig: Figure

PH : potentiel Hydrogène

r : quantité en réaction

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

SASS : Système Aquifère Du Sahara Septentrional.

SONATRACH : Société Nationale Pour La Recherche, La Production, Le Transport, La Transformation, Et La Commercialisation Des Hydrocarbures.

TH : la dureté Totale

UNESCO: United Nation Education Science Culture and Organization.

Glossaire

Erg : Dune de sable.

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

Chegfa : Outil de mesure du débit de la foggara

Hassi : Puits de foggara

Kasria : Peigne partiteur de forme triangulaire ou rectangulaire

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

Guemoun : Petite parcelle de culture dans le jardin.

Gourara : Région de Timimoun entre Aougrou et Zaouiet Debagh.

Hamada : Plateau rocheux.

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

Oued : Cours d'eau.

Sbaâ : Doigt.

Sebkha : Dépression salée ou gypseuse.

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

Hamma : quartier situé à l'est d'Alger

Reg : Surface plane couverte de sable et gravier.

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des unités, Liste des abréviations et Liste des Glossaire	
Introduction générale.....	01
chapitre I: Généralités sur la zone d'étude	
I.1. présentation de la zone d'étude.....	03
I.1.1. Situation géographique.....	03
I.1.2. Géomorphologie.....	04
I.1.2.1. Les plateaux.....	04
I.1.2.2. Les Regs.....	04
I.1.2.3. Les Ergs.....	05
I.1.2.4. Les Terrasses d'érosion.....	05
I.1.2.5. Les terrasses d'apport éolien.....	05
I.1.2.6. Les Sebkhas.....	05
I.1.2.7. La Dépression.....	06
I.1.3. Réseau hydrographique.....	06
I.2. contexte climatologique.....	07
I.2.1. les paramètres climatiques.....	07
I.2.1.1. les températures.....	07
I.2.1.2. précipitation.....	08
I.2.1.3. Evaporation.....	09
I.2.1.4. Le vent.....	10
I.2.2. L'évapotranspiration.....	10
* Formule de L. TURC (1954).....	10
* Calcul de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE.....	11
I.2.3. Indices d'aridité annuelle.....	12
I.2.4. Bilan hydrologique de Thornthwaite.....	13
I.3. contexte géologique.....	14
I.3.1. Cadre géologique régional.....	14
I.3.2. Cadre géologique local.....	14
I.3.3. Géologie de la région d'étude.....	15
I.3.3.1. Précambrien.....	15
I.3.3.2. Le paléozoïque.....	16
I.3.3.3. Secondaire.....	16
a. Le Crétacé inférieur « Continental intercalaire ».....	16
I.3.3.4. Tertiaire.....	17
I.3.3.5. Le Quaternaire.....	18
I.3.3.6. Le Turonien.....	18
I.3.3.7. Le Cénomanién.....	18
* Données des sondages.....	19
I.3.4. Tectonique.....	20

I.4. conclusion.....	20
----------------------	----

chapitre II: Etude Hydrogéologique

II.1 introduction	22
II.2. les systemes aquiferes du sahara septentrional.....	22
II.2.1. Le Complexe Terminal (CT).....	23
II.2.2. Le Continental Intercalaire (CI).....	24
II.2.2.1. Caractéristiques principales de la nappe du Continental Intercalaire.....	24
II.2.2.2. Alimentations et exutoires du Continental Intercalaire.....	26
II.2.2.3. Piézométrie du "CI".....	26
II.2.2.4. Ecoulement.....	26
II.2.2.5. Exutoires.....	27
II.3. Nappe du Continental Intercalaire dans la région d'étude.....	28
II.3.1. Caractéristiques hydrodynamiques.....	28
II.3.1.1. Conditions aux limites.....	28
II.3.2. Piézométrie.....	28
II.3.2.1. Niveau statique.....	28
II.3.2.2. Carte piézométrique dans la région de Reggane.....	29
II.3.3. Essais de puits et pompages d'essai.....	31
II.3.3.1. Essais de puits.....	31
II.3.3.2. Essais de pompages.....	32
a. Les courbes de descente.....	32
b. Les courbes de remontées.....	33
II.4. Foggara.....	33
II.4.1. Caractéristique des oasis de la foggara.....	34
II.4.2. Relation (Forage-Foggara).....	35
II.4.3. technique traditionnelle de foggaras.....	35
II.5. analyse et commentaire sur la nappe CI de la région de Reggane.....	37
II.5.1. Analyse hydrogéologique.....	37
II.5.2. Analyse spatiale altimétrique.....	39
II.6. conclusion.....	40

chapitre III: Etude Hydrochimie

III.1. Généralités.....	42
III.2. Paramètres organoleptiques.....	43
III.2.1. Couleur.....	43
III.2.2. Odeur.....	43
III.2.3. Goût.....	43
III.2.4. Turbidité.....	43
III.3. Etude des paramètres physiques.....	43

III.3.1. Température de l'eau.....	43
III.3.2. Ph.....	43
III.3.3. Conductivité.....	43
III.3.4. La minéralisation.....	44
III.3.5. Résidu sec.....	45
a. Relation Résidu sec-Minéralisation.....	45
b. Relation Conductivité- Résidu sec.....	45
III.3.6. Alcalinité.....	46
III.3.7. Dureté totale ou TH (Titre Hydrotimétrique).....	46
III.3.8. Balance ionique.....	47
III.4. Etude des paramètres chimiques majeurs.....	48
III.4.1. Principaux Cations et Anions.....	48
III.4.1.1. Ion Calcium (Ca ²⁺).....	48
III.4.1.2. Ion Magnésium (Mg ²⁺).....	48
III.4.1.3. Ion Sodium et ion Potassium (Na ⁺ , K ⁺).....	48
III.4.1.4. Chlorures (Cl ⁻).....	49
III.4.1.5. Sulfates (SO ₄ ⁻²).....	49
III.4.1.6. Hydrogénocarbonates (HCO ₃ ⁻).....	50
III.4.1.7. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	50
III.5. Relation chimiques.....	51
III.5.1. Sodium-Chlorure (Na-Cl).....	51
III.5.2. Sulfate-Calcium (SO ₄ -Ca).....	51
III.5.3. Sodium-Calcium (Na-Ca).....	51
III.5.4. Sulfate- Magnésium (SO ₄ -Mg).....	52
III.6. Classification des eaux.....	52
III.6.1. Classification de STABLER.....	52
III.6.2. Diagramme de Piper.....	54
III.6.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	55
III.7. Etude des rapports caractéristiques.....	58
III.7.1. Rapport SO ₄ /Cl.....	58
III.7.2. Rapport Mg/Ca.....	58
III.7.3. Rapport Na/Cl.....	59
III.8. Indice d'échange de base (i e b)	59
III.9. Qualité des eaux d'irrigation.....	59

III.10. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire.....	60
III.10.1. Les normes algériennes pour l'eau potable.....	60
III.10.2. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire.....	61
III.11. La distribution spatiale des éléments (TH;NO3 et RS).....	63
III.12. Conclusion.....	64
Conclusion générale	66

Références bibliographiques

Annexes

LISTE DES TABLEAU

N°	Titer des tableaux	Page
Tableau I.1.	Temperatures moyennes mensuelles (2015-2020).....	08
Tableau I.2.	Precipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2015 - 2020).....	08
Tableau I.3.	Evaporation moyenne mensuelle (2015-2020).....	09
Tableau I.4.	Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (2015-2020).....	10
Tableau I.5.	Valeur de l'ETP calculée (en mm) selon la méthode de Thornthwaite.....	11
Tableau I.6.	Bilan hydrologique de Thornthwaite de la station d'Adrar (2015- 2020).....	13
Tableau II.1.	Les données de niveaustatique et niveaupiezométrique (A. N. R. H. 2018)...	31
Tableau II.2.	Quelques paramètres hydrodynamiques de forage dans la région.....	33
Tableau II.3.	quelque Information sur la bombe nucléairedans la région de reggane.....	37
Tableau III.1.	Résultatsd'analysephysico-chimique des eaux (en mg/L, la CE μ s /cm et TH, en °F).....	42
Tableau III.2.	Relation existant entre la minéralisation et la conductivité.....	45
Tableau III.3.	Qualité de l'eau en fonction du TH.....	47
Tableau III.4.	Qualité de l'eau des forages.....	47
Tableau III.5.	Calculd'erreursur les analyses chimiques.....	47
Tableau III.6.	Formule et facièschimique des eaux de la nappe du Continental Intercalaire...	53
Tableau III.7.	Calcul des rapports caractéristiques.....	58
Tableau III.8.	Calcul de l'indiced'échange de base	59
Tableau III.9.	Résultats du S.A.R.....	60
Tableau III.10.	Normes Algériennes de potabilité.....	61
Tableau III.11.	potabilité des eaux de la nappe de CI de Reggane.....	62

LISTE DES FIGURES

N°	Titer des tableaux	Page
Figure I.1	Carte de situation de la zone d'étude.....	04
Figure I.2	Carte morphologique de la région d'étude.....	05
Figure I.3	Traits morphologiques en 3D de adrar.....	06
Figure I.4	Réseau hydrographique du bassin occidental du Sahara Septentrional.....	07
Figure I.5	Histogramme des températures moyennes mensuelles (2015-2020).....	08
Figure I.6	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2015-2020)..	09
Figure I.7	Histogramme d'évaporation moyenne mensuelle d'Adrar (2015-2020).....	09
Figure I.8	Moyennes mensuelles de la vitesse du vent.....	10
Figure I.9	Indice d'aridité de « De Martonne ».....	12
Figure I.10	Situation du Bassin de Reggane.....	14
Figure I.11	Carte géologique du secteur d'étude.....	15
Figure I.12	Colonne lithostratigraphique Synthétique du bassin de Reggane	18
Figure I.13	Coupe de forage I Reggane	19
Figure II.1	Extension des formations du SASS	22
Figure II.2	Coupe hydrogéologique transversale du CT	23
Figure II.3	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	24
Figure II.4	Carte hydrogéologique du Sahara Septentrional.....	25
Figure II.5	Carte piézométrique du Continental Intercalaire, projet du SASS.....	27
Figure II.6	Carte piézométrique de la région d'étude.....	29
Figure II.7	Forage de Taarabet, courbe de descente.....	32
Figure II.8	Forage de Taarabet, courbe de remontée.....	33
Figure II.9	Schéma en perspective d'une foggara (Benhamza 2013).....	34
Figure II.10	relation entre la vitesse d'écoulement et la localisation de point explosion.....	38
Figure II.11	Distribution spatiale altimétrique.....	39
Figure II.12	Décalage 3D entre surface topographique et piézométrique.....	39
Figure III.1	Carte de Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	44
Figure III.2	Carte de Minéralisation en $\mu\text{s}/\text{cm}$	44
Figure III.3	Relation Résidu sec/Minéralisation.....	45
Figure III.4	Relation conductivité-Résidu sec.....	45
Figure III.5	Carte d'isoteneur en dureté totale.....	46
Figure III.6	Carte isoteneur en ion Calcium.....	48
Figure III.7	Carte isoteneur en ion Magnésium.....	48
Figure III.8	Carte isoteneur en ion Sodium.....	49
Figure III.9	Carte isoteneur en ion Potassium.....	49
Figure III.10	Carte isoteneur en Chlorures.....	49
Figure III.11	Carte isoteneur en Sulfates.....	49
Figure III.12	Carte isoteneur en Hydrogénocarbonates.....	50
Figure III.13	Carte isoteneur en Nitrates.....	50
Figure III.14	Relation Na-Cl.....	51
Figure III.15	Relation SO_4 -Ca.....	51
Figure III.16	Relation Na-Ca.....	52
Figure III.17	Relation SO_4 -Mg.....	52
Figure III.18	Représentation des éléments chimiques en pourcentage selon STABLE Des eaux de forage.....	54
Figure III.19	Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.....	55
Figure III.20	Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.	56
Figure III.21	Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.	57
Figure III.22	carte distribution spatiale du TH (influence surfacique)	63
Figure III.23	carte distribution spatiale du NO_3 (influence surfacique).....	63
Figure III.24	carte distribution spatiale du RS (influence surfacique).....	63

Introduction

Générale

Introduction générale

La région de Reggane ont connu ces dernières années une croissance démographique rapide Suivi d'une activité humaine importante qui couvre presque tous les domaines (Agriculture, Industrie et Urbanisation) 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), des centaines de milliers de mètres cubes sont extraits chaque année de la nappe du Continental Intercalaire. D'un point de vue hydrogéologique, la réserve des eaux souterraines du système aquifère du Sahara septentrional est non renouvelable (fossile) donc l'exploitation de ces eaux doit être rationnelle. [21]

Le but de ce mémoire est de présenté les résultats d'une étude hydrogéologique et hydrochimique afin de mieux connaître les potentialités hydriques de notre secteur d'étude.

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 : DRE (Direction des Ressources en Eau),...etc. Nous ferons également appel à plusieurs disciplines scientifiques : la géologie, l'hydrogéologique, l'hydrochimie, la statistique, quelques logiciels informatiques spécialisés afin d'interpréter les données et les résultats.

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

- ❖ Une introduction générale présente la problématique et les objectifs du travail ;
- ❖ Partie 01 de généralité expose la situation géographique, les caractéristiques physiques et géomorphologie, des différents paramètres climatiques de la région d'étude et les caractéristiques géologiques de la région.
- ❖ Partie 02 est consacré à l'étude hydrogéologique de la région basée surtout sur l'analyse litho stratigraphique, structurale et les données fournies par les forages qui ont été exécuté dans la région d'étude. Il's fait parle sur La technique traditionnelle de foggaras et donner analyse et commentaire sur la nappe CI de la région de Reggane.
- ❖ Partie 03 est consacré à l'hydrochimie basé sur l'étude des caractéristiques hydro chimiques de l'aquifère.
- ❖ Et finalement une conclusion générale qui résume les résultats attirés de cette étude.

chapitre I:

Généralités sur la zone d'étude

I.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

I.1.1. Situation géographique.

Issue du découpage Administratif de 2020, la Wilaya d'ADRAR s'étend sur la partie du Sud Ouest Algérien et couvre une superficie globale de 234.435 km² soit 9,84 % du territoire National, Composée de 07 Daïra regroupant 16 communes, La population est estimée à 343.270 habitants au 2020 et La densité est de 1,46 habitant /km².

Elle se situe entre les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude 0° 30' Ouest et 0° 30' Est et latitude 26° 30' à 28° 30' Nord.

Elle est limitée par (Fig. I.1) :

- * Au Nord : La Wilaya de TIMIMOUNE et Wilaya de BNI ABBES
- * A l'Est : La Wilaya d'IN-SALAH
- * A l'Ouest : La Wilaya de TINDOUF
- * Au Sud : La Wilaya de BORJ-BAJI-MOKH

D'un point de vue géographique la Wilaya d'ADRAR comprend deux grandes zones à savoir :

- le TOUAT : région d'Adrar, composé de 12 Communes situées tout au long de Oued Messaoud -TSABIT, SBAA, BOUDA, ADRAR, TIMMI, TAMENTIT, FENOUGHIL, TAMEST, ZAOUIET KOUNTA, IN-ZEGHMIR, SALI et REGGANE

- Superficie (km²) = 205.623

- le TIDIKELT : région d'Aoulef, composé de 04 Communes ; AOULEF, TIMOKTEN, AKABLI et TIT

- Superficie (km²) = 24.536

Notre zone d'étude est la région de Reggane, fait partie de Touat, elle se situe à 140 km au Sud d'Adrar et occupe une superficie d'ordre de 125.39 km². S'étend du Sali au Nord jusqu'à Azrafil au Sud, du Timadanine à l'Ouest jusqu'au Plateau de Tademaït à l'Est, La population est estimée à 29.618 habitants au 2020 et La densité est de 0,21 habitant /km².

Elle se situe entre les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude 0° 30' Ouest et 0° 30' Est et latitude 26° 30' à 27° 30' Nord.

Elle est limitée :

- Au Nord-Est, par le plateau de Tademaït.
- A l'Ouest, par le L'Erg Chech.

- A l'Est, par la région de Tidikelt.
- Au Sud, par le Tanezrouft (Wilaya de BORJ-BAJI-MOKHT)

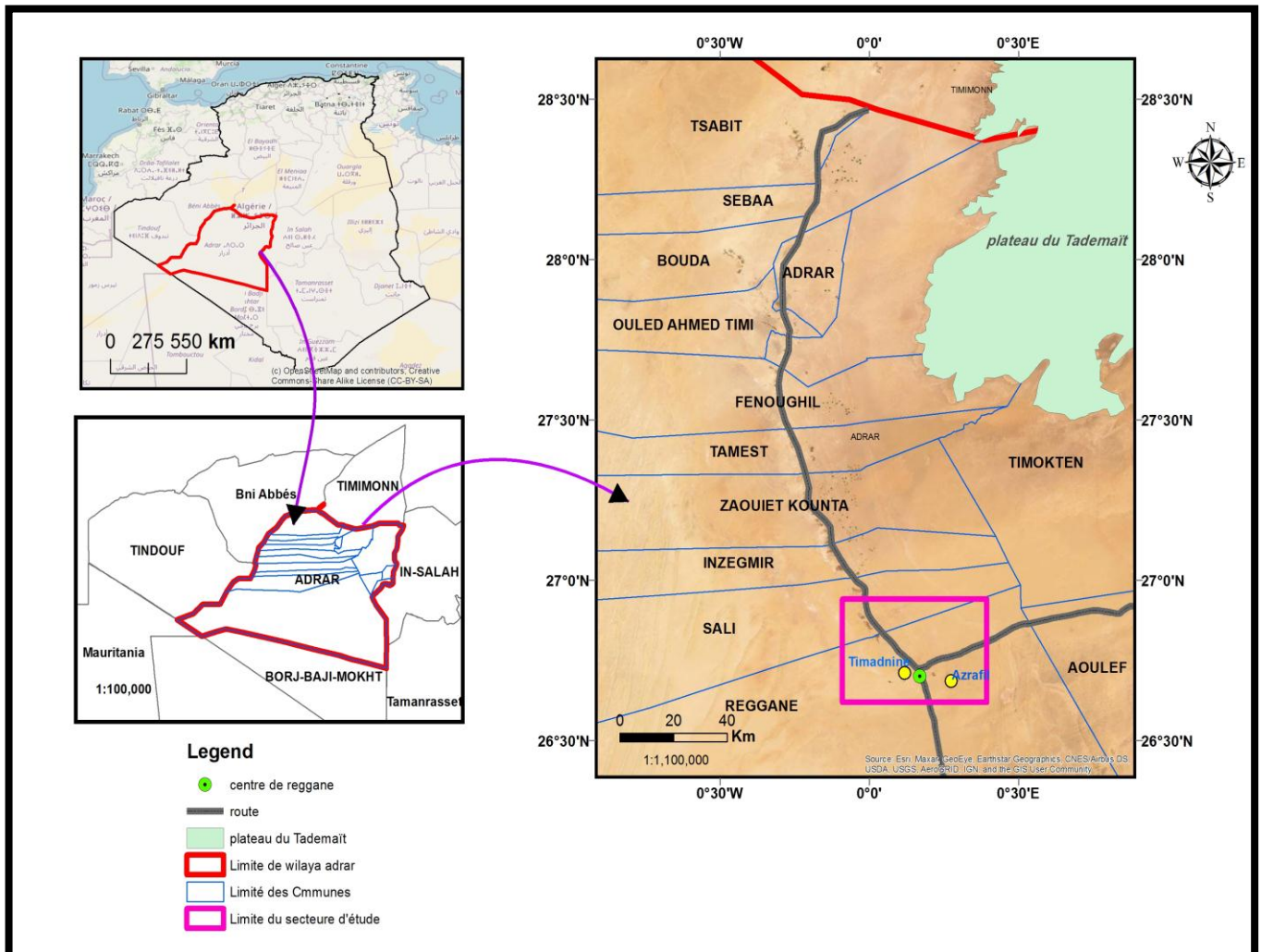


Fig. I.1: Carte de situation de la zone d'étude.

I.1.2. Géomorphologie et topographie [1]

La géomorphologie de la région est constituée des éléments suivants (Fig. I.2) :

I.1.2.1. Les plateaux : Ils occupent les plus grandes surfaces exposées à la forte érosion éolienne du fait de la circulation aisée des vents sans qu'ils ne soient brisés par aucun obstacle. Ils sont constitués par des formations gréseuses suffisamment tendres du Crétacé inférieur. Signalons que la bordure de ces plateaux est abrupte à cause de la dalle calcaire qui les recouvre (Plateau du Tademaït).

I.1.2.2. Les Regs : On peut considérer le reg comme le type morphologique le plus fréquent dans la région, représenté par une surface sensiblement horizontale, recouverte de débris généralement, graveleux ou caillouteux, plus abondants, d'âge Quaternaire, qui protègent un substrat

en général sableux ou alluvial, de texture plus fine, d'âge Crétacé Inférieur. Exemple Reg de Tanezrouft.

I.1.2.3. Les Ergs : Toutes les nuances existent entre le simple voile sableux et les dunes massives constituées en ergs. L'Erg Chech est la forme d'accumulation sableuse la plus massive à l'Ouest de la région. Les autres ergs abritent une végétation éphémère ou sont formés artificiellement par des obstacles (affrègue) contre la progression du sable. Ils sont dispersés de part et d'autre de la région étudiée, comme les Ergs Tillouline.

I.1.2.4. Les Terrasses d'érosion : Leur importance varie selon la nature des roches et l'intensité des agents érosifs, elles se sont formées dans la dépression naturelle du Touat au cours du Quaternaire.

I.1.2.5. Les terrasses d'apport éolien : Elles sont dues à la rupture de pente entre la terrasse d'érosion et la Sebkha, formées durant le Quaternaire. La plupart du temps, elles correspondent à l'implantation des palmeraies.

I.1.2.6. Les Sebkhas : Elles constituent l'émergence naturelle de la nappe du Continental Intercalaire qui correspond aux points les plus bas de la région d'étude, représentés par de grandes Sebkhas fonctionnelles, situées en contrebas du groupe de palmeraies de Bouda (220 m d'altitude), les palmeraies de Tamentit au Nord du Touât, près d'Inzegmir, et dans la région de Reggane (174 m d'altitude). Ces dernières sont généralement formées par des dépôts éo-fluviatiles gypso-salins.

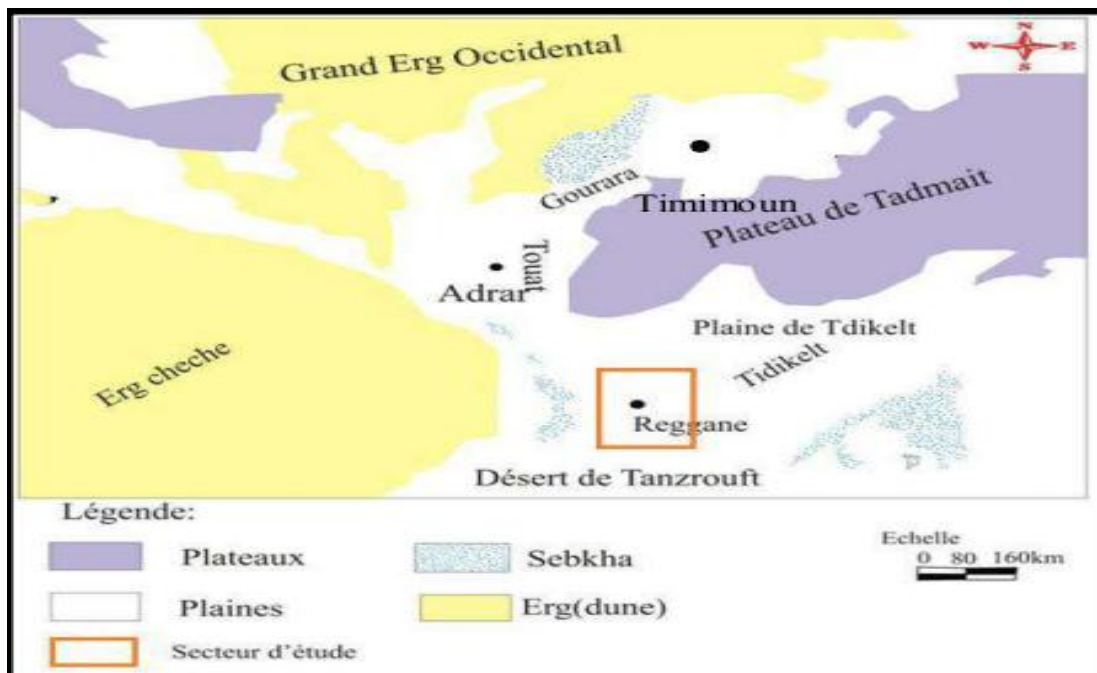


Fig. I.2: Carte morphologique de la région d'étude [2]

I.1.2.7. 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 d u système endoréique. Elle s'étale tout le long de la rive gauche de la zone d'étude.L'analyse des M.N.T (Model Numérique de Terrain) et les D.E.M (Digital Élévation Model) permettent de voir clairement les formes morphologiques du relief 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 (Fig.I.3). [3]

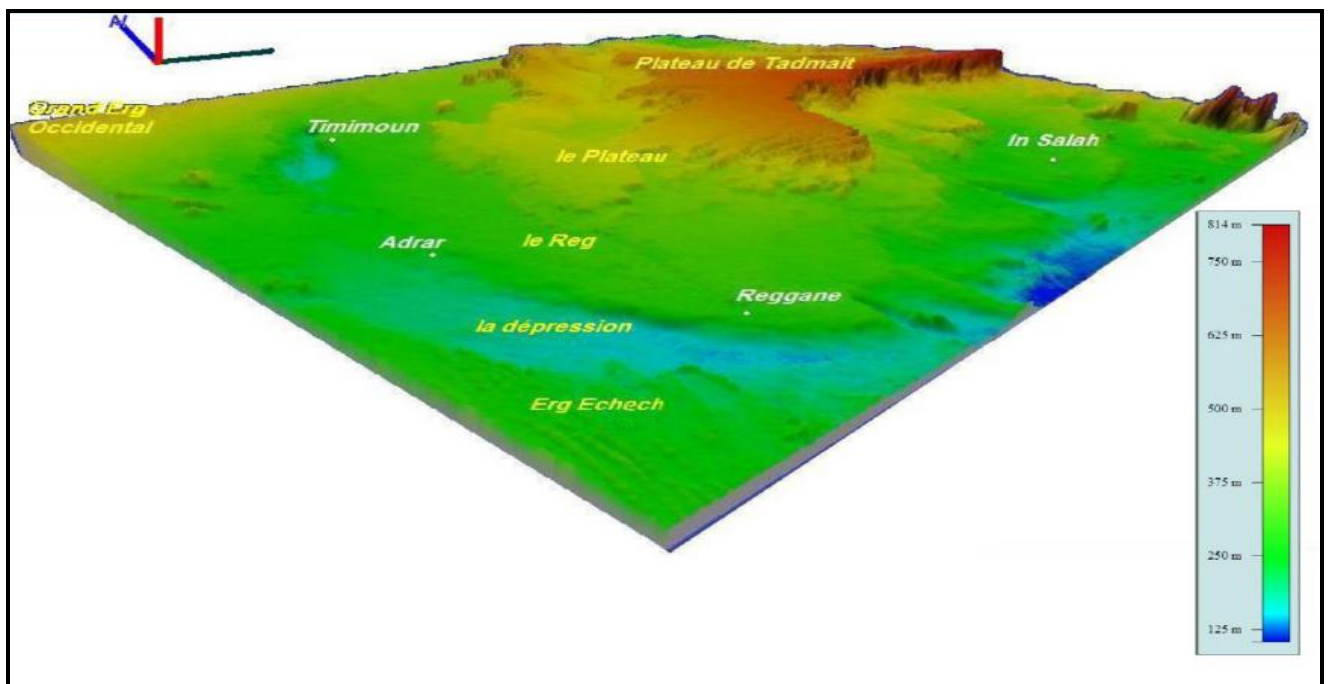


Fig. I.3: Traits morphologiques en 3D de adrar [3]

I.1.3. Réseau hydrographique

C'est au Villafranchien supérieur que s'organise dans son ensemble le grand réseau hydrographique du Sahara algérien [4]. Dans la région d'étude le réseau hydrographique est faible, il est représenté oued Messaoud qui est la continuité d'oued Saoura vers le Nord ; ce dernier drainé à 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 Zaouiet Kounta. 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.

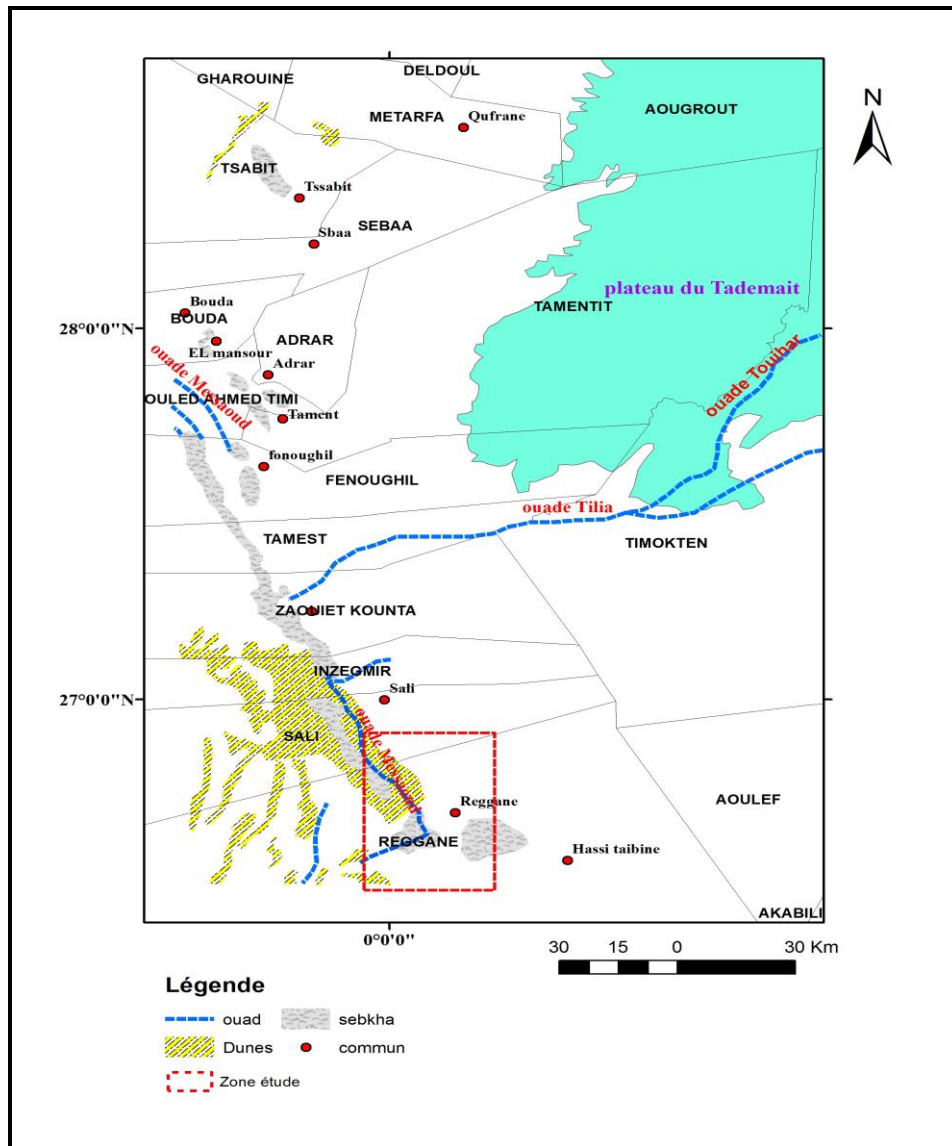


Fig. I.4: Réseau hydrographique du bassin occidental du Sahara Septentrional

I.2. CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE

I.2.1. Les paramètres climatiques

Le climat de la région d'Adrar(Touat) est un climat sec et chaud. Pour notre étude nous avons pu disposer des données moyennes mensuelles et annuelles de la station d'Adrar pendant la période de 2015 à 2020. Notre étude climatologique a été basée sur les principaux paramètres climatiques suivants: température, précipitation, évaporation, vitesse du vent.

I.2.1.1. Les températures : Les températures moyennes journalières oscillent entre 29°C et 42°C à l'ombre pendant l'été. Durant la période allant de 2015 à 2020, la moyenne annuelle des températures est 26,13°C. Les variations moyennes mensuelles des températures (Fig. I.5 et Tab I.1) montrent

qu'elle est maximale au mois de juillet avec une valeur d'ordre de 38,73 °C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 12,88 °C.

Tableau I.1 : Températures moyennes mensuelles (2015-2020). [5]

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
T°C	12.88	16.7	20.58	26.88	31.47	35.67	38.72	37.7	32.83	26.8	19.07	14.27	26.13

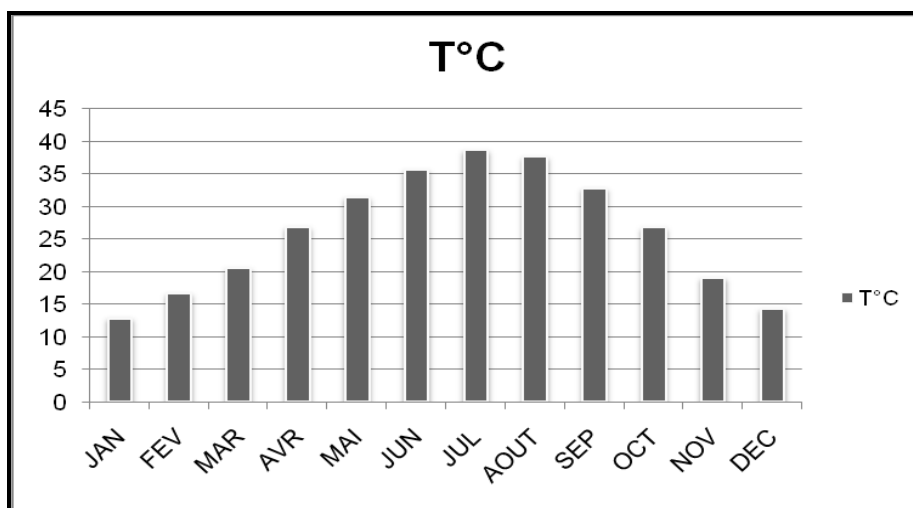


Fig. I.5: Histogramme des températures moyennes mensuelles (2015-2020).

I.2.1.2. Précipitation : La précipitation est très rare dans la région d'Adrar. Selon les données de tableau (Tab I.2), nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (Fig. I.6). L'histogramme, donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. On constate que le mois de septembre est le plus arrosé avec 5,33 mm, et les mois de juin et juillet présentent nulles. La moyenne annuelle de précipitation est d'ordre de 0.78 mm.

Tableau I.2: Précipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2015 – 2020). [5]

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC	Année
P(mm)	0.73	0.58	0.17	0.62	0.33	0	0	0.02	5.33	0.22	0.33	1.02	9.35

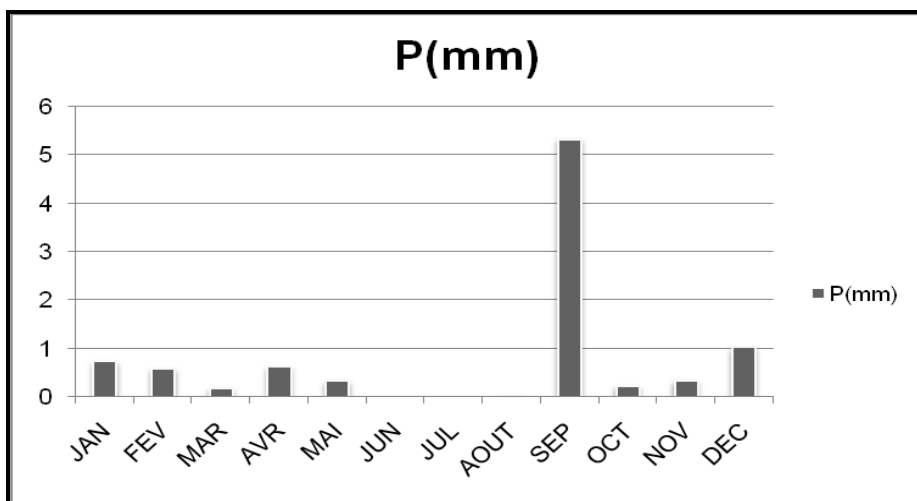


Fig. I.6: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2015-2020).

I.2.1.3. Evaporation : L'évaporation permet le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur, elle dépend d'autres facteurs climatiques. Dans la zone d'étude, l'évaporation est liée à la forte température ; elle est minimale au mois janvier (171,22 mm) et maximale au mois de Juillet (523,95 mm). L'évaporation annuelle moyenne est de l'ordre de 3846,2mm.

Tableau I.3 : Evaporation moyenne mensuelle (2015-2020). [5]

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Année
Evp(mm)	171.22	207.3	283.1	351.2	428.2	444.08	523.95	512.6	402.1	305.75	216.8	172.63	3846.2

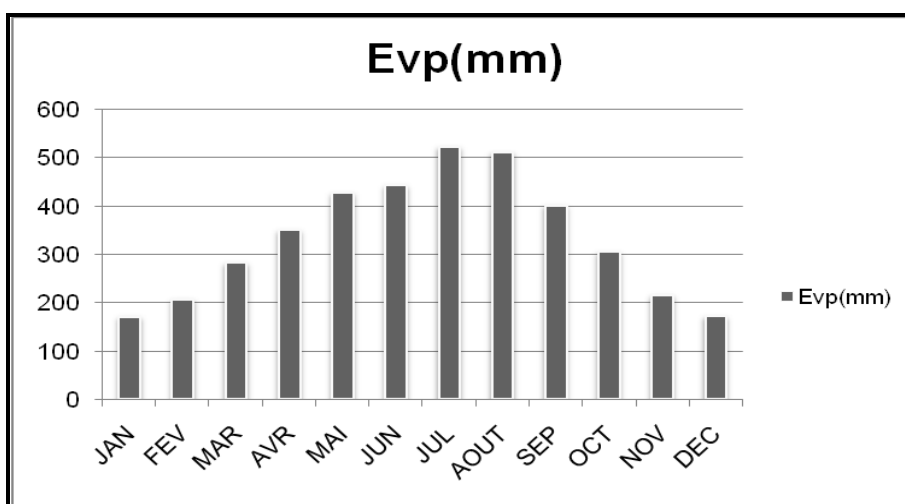


Fig. I.7: Histogramme d'évaporation moyenne mensuelle d'Adrar (2015-2020).

I.2.1.5. Le vent

-Vitesse du vent

La région d'Adrar est très venteuse, avec des vents particulièrement violents. Le (tab. I.4 et Fig I.8). représente les moyennes mensuelles de la vitesse du vent durant la période 2015 - 2020.

Tab. I.4 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent. [5]

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Année
Vitesse (m/s)	11.83	5.33	5.33	5.5	5.5	5.33	5.33	5.5	5.17	4.83	5	5.17	69.83

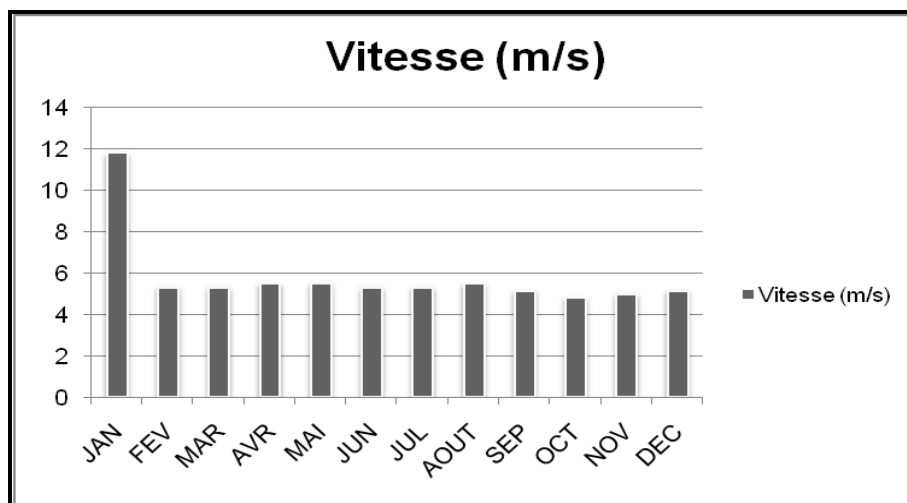


Fig. I.8: Moyennes mensuelles de la vitesse du vent.

I.2.2. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un terme qui correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

C'est le phénomène combiné de perte en eau par transpiration et évaporation directe de l'eau du sol et des surfaces d'eau libres, On distingue deux types d'évapotranspiration :

- L'évapotranspiration réelle(ETR).
- L'évapotranspiration potentielle (ETP).

❖ L'évapotranspiration réelle(ETR):

On peut la calculer à l'aide de plusieurs formules telle que:

- la méthode de TURC, La méthode de COUTAGNE, La méthode de THORNTHWAITE.

On utilise ici la formule de TURC car elle s'applique à tous les climats.

Qui s'écrit de la manière suivante : $ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$

Où : $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$. $L = 1845.29$

T : température moyenne annuelle de l'air en (°C), (T=26.13°C).

P : précipitation annuelle en (mm) (P= 9.35 mm).

Soit ETR = 9.84 mm.

On remarque que l'évapotranspiration réelle est supérieure à la précipitation annuelle, pour cela on peut conclure que notre région est caractérisée par un climat **hyperaride**.

❖ L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

On utilise la formule de THORNTHWAITE. Pour le calcul de l'ETP nous avons utilisé les températures moyennes mensuelles.

$$ETP_c = ETP \text{ (mm)} = 16[10T/I]^a * K.$$

$$\text{Avec: } I = \sum i, \text{ ou } i = (T/5)^{1.514}.$$

ETP : évapotranspiration non corrigée.

ETP_c: évapotranspiration corrigée.

I : indice thermique annuel. i : indice thermique mensuel.

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

K : facteur de correction mensuel (fonction de la durée de la journée).

a : exposant climatique (a= 0,016.I + 0,5) (a=2,96 ; I=153,61).

Tab. 1.5. Valeur de l'ETP calculée (en mm) selon la méthode de Thornthwaite

MOIS	T° (C)	I	K	ETP(mm)
JAN	12.88	4.19	0.9	8.55
FEV	16.7	6.21	0.87	17.83
MAR	20.58	8.52	1.03	39.17
AVR	26.88	12.76	1.08	90.54
MAI	31.74	16.41	1.18	161.79
JUN	35.67	19.59	1.18	228.57
JUL	38.72	22.18	1.2	296.34
AOUT	37.7	21.30	1.14	260.13
SEP	32.83	17.27	1.03	156.07
OCT	26.8	12.70	0.98	81.44
NOV	19.07	7.59	0.89	27.01
DEC	14.27	4.89	0.88	11.32
Année	26.13	153.61	/	1378.76

I.2.3. Indices d'aridité annuelle

On peut le calculer à l'aide de plusieurs formules telles que:

Méthode de Stewart.

Indice de « De Martonne ».

La formule d'Emberger.

On utilise la formule de l'Indice de « **De Martonne** ».

En se basant sur la distribution des températures et des précipitations, De Martonne (1925) a défini un indice d'aridité (I) donné par la relation suivante : $I = P/(T+10)$

avec :

P : précipitations annuelles en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

Dans le cas de la station d'Adrar, on a : $I = 9.35/(26.13+10) = 0.258$

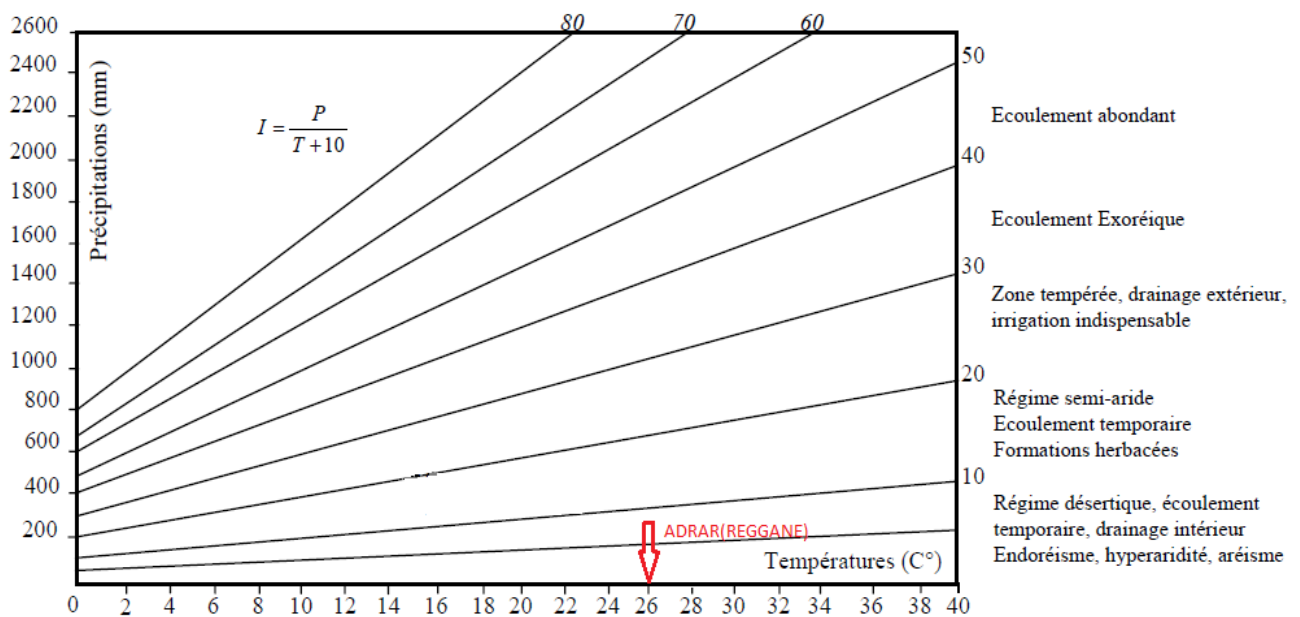


Fig. I.9 : Indice d'aridité de « De Martonne ».

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$: climat hyperaride.

$5 < I < 7,5$: climat désertique.

$7,5 < I < 10$: climat steppique.

$10 < I < 20$: climat semi-aride.

$20 < I < 30$: climat tempéré.

D'après la figure I.8. La station d'Adrar bénéficie d'un climat hyperaride.

I.2.4. Bilan hydrologique de Thornthwaite:

Le bilan hydrique d'Adrar (Tab I.6), dans la période (2015-2020) suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, pendant toute l'année, le réserve facilement utilisable est nulle pendant toute l'année. Le déficit agricole est présent pendant douze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de septembre 296.34mm.

Tableau I.6 : Bilan hydrologique de Thornthwaite de la station d'Adrar (2015- 2020).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Année
P(mm)	0.73	0.58	0.17	0.62	0.33	0	0	0.02	5.33	0.22	0.33	1.02	9.35
T°C	12.88	16.7	20.58	26.88	31.47	35.67	38.72	37.7	32.83	26.8	19.07	14.27	26.13
ETP(mm)	8.55	17.83	39.17	90.54	161.79	228.57	296.34	260.13	156.07	81.44	27.01	11.32	1378.76
P - ETP	-7.82	-17.25	-39.00	-89.92	-161.46	-228.57	-296.34	-260.11	-150.74	-81.22	-26.68	-10.30	/
ETR	0.73	0.58	0.17	0.62	0.33	0	0	0.02	5.33	0.22	0.33	1.02	9.35
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Da	7.82	17.25	39.00	89.92	161.46	228.57	296.34	260.11	150.74	81.22	26.68	10.30	1369.41
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Avec :

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

I.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

I.3.1. Cadre géologique régional

La plate-forme saharienne, située au Sud de la flexure Sud -atlasique s'étend sur une superficie de 8.000.000 km², concernant plusieurs pays du Nord du continent africain. Elle constitue un domaine cratonique stable depuis le paléozoïque. On y rencontre des terrains très anciens, du protérozoïque mis en place à l'archéen et lors de l'orogénèse éburnéenne. Ces formations constituent de vieux boucliers stables, comme le bouclier Réguibat et le bouclier du Hoggar. [1]

I.3.2. Cadre géologique local :

Le Bassin de Reggane est situé dans la partie Nord-Ouest de la plate-forme saharienne qui est séparée du domaine alpin par la flexure sud-atlasique. Il se présente sous forme d'une dépression dissymétrique orientée Nord-Ouest/Sud-Est. Il se situe entre les longitudes 00°35' E et 4°25' W et les latitudes 24°30' S et 28° N.

Il est limité au Nord par la chaîne de l'Ougarta, à l'Est par le Haut Fond de Bled el Mass Azzel-Matti, au Sud-Ouest il s'appuie sur le bouclier Reguibat et à l'Ouest il est séparé du bassin de Tindouf par le seuil de Bou Bernous (Fig. I.10).

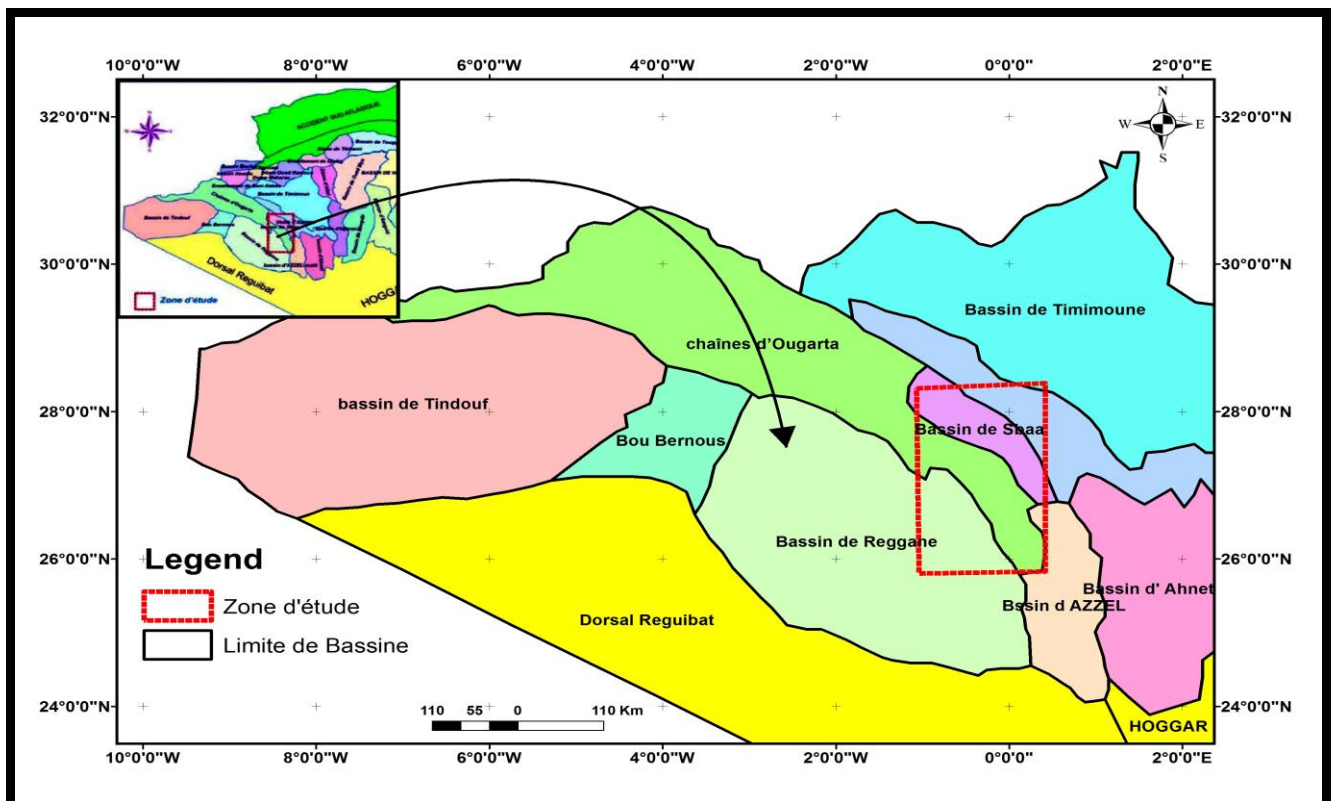


Fig I.10: Situation du Bassin de Reggane.

Le Bassin de Reggane présente un flanc Nord-Est fortement redressé et un flanc Sud-Ouest sous forme d'un monoclin adossé sur le massif cristallin des Eglabs (Fig. I.10).

I.3.3. Géologie de la région d'étude:

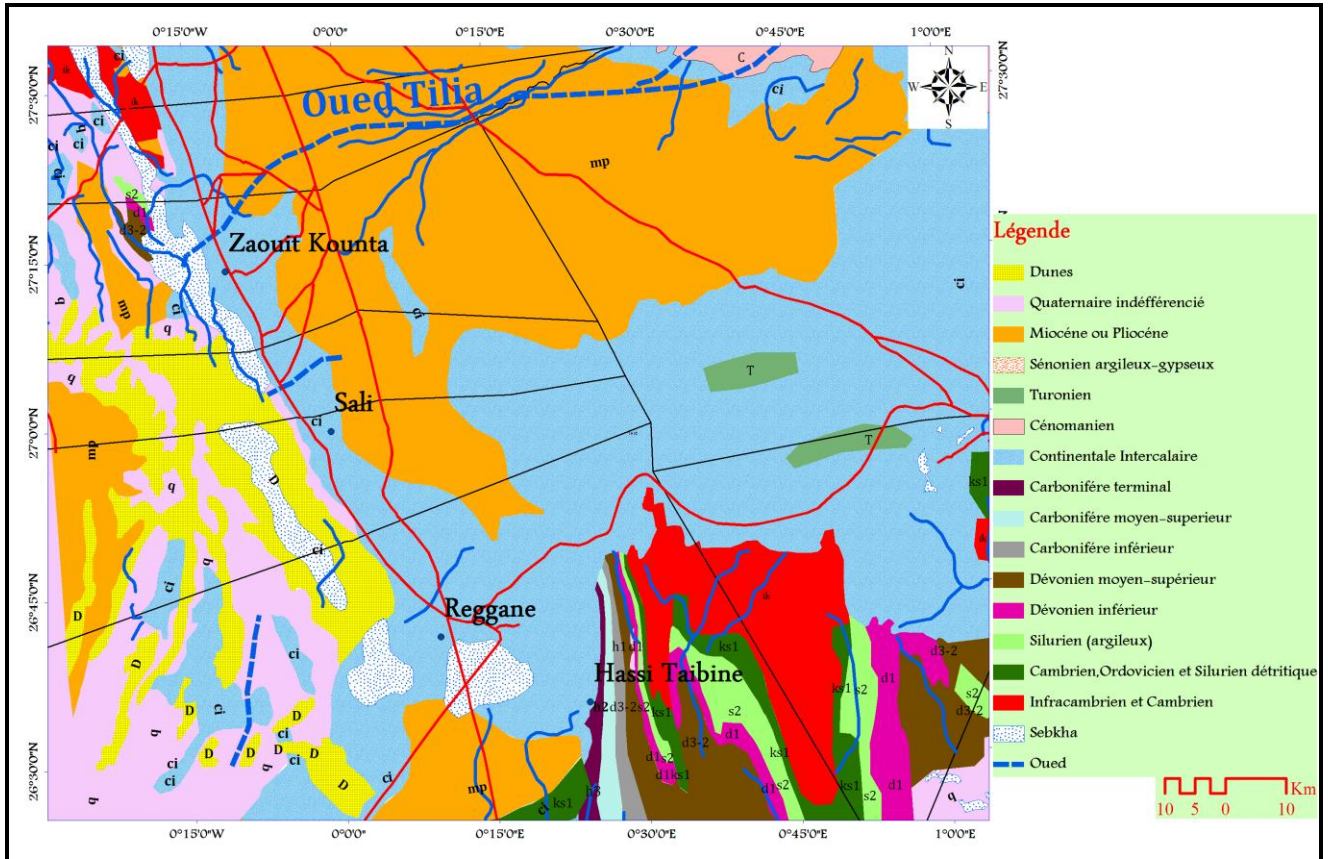


Fig I.11: Carte géologique du secteur d'étude (avec de l'aide Lakhdimi).

I.3.3.1. Précambrien : Les plus anciennes roches de la région constituent des Eglabs affleurant à l'Ouest et même au territoire de la Wilaya formant le socle cristallin. D'une façon générale, les roches constituant le socle cristallin sont des enderbites, chermolites, granulites calciphiles, schistes, gneiss. Dans les autres socles aux Eglabs, les dépôts de l'Infracambrien sont représentés par les formations de la série du Hank, dont la puissance probable varie de 700 à 800m [6]. Cette série est représentée par les trois formations suivantes [1]:

- Complexe détritique inférieur gréseux et quartzitique.
- Complexe calcaréo-dolomitique dans lequel dominent les calcaires à stromatolites et les dolomies.
- Complexe détritique supérieur grés-argileux avec des intercalations des roches carbonatées.

I.3.3.2. Le paléozoïque [1]

Constituant les terrains de la rive gauche de la dépression du Touat, il affleure généralement à la faveur des fenêtres d'érosion ouvertes dans les Sebkhass et les vallées de l'Oued Messaoud sous forme de terrains sédimentaires (grès, schistes, calcaires,...) d'une part, et de terrains cristallins qui sont beaucoup plus rares. La succession du Primaire est constituée par :

a. Cambrien : Le Cambrien est mal défini paléontologiquement au Sahara algérien [7]. Un certain ensemble gréseux est attribué classiquement à ce système du fait de la position entre un Ordovicien (Trémadocien) et un Infracambrien probable dans le Touat. La formation des grès du Djebel Heirane, d'épaisseur très variable qui est couronnée par le niveau à lingules, représenterait localement le Cambrien moyen ou supérieur.

b. Ordovicien : L'Ordovicien saharien se caractériserait au moins en partie comme un dépôt de transgression marine sur une limite supérieure parfois très nette parce que située à la base d'une série argilo-gréseuse à niveau argileux du Djebel Hache et de la vallée de l'Oued Saoura à Ksabi.

c. Silurien : Dans le Gourara, le faciès est principalement argileux (formation des argiles de fegaguira). Dans le Touat, la coupe et la faune de Hassi Taibine est intéressante car particulièrement complète et d'une épaisseur notable, elle est constituée par :

- 100m d'argile fossilifère attribuée au Liandovrien moyen et supérieur.
- 200m d'argile pélitiques fossilifère d'âge Tarannonien.
- 25m d'argile Wenlockien.
- 125 m d'argile du Ludlowien Inférieur, surmonté par 200 m de grès d'âge anté-Dévonien

d. Dévonien : Le Dévonien inférieur se présente dans le Touat et le Gourara par des formations de calcaires et de grès affleurant essentiellement dans la région du Zaouiet Kounta. Dans le Tademaït, le Dévonien moyen est représenté par des couches argilo-calcaire (format ion d'Ech-Chebbi) qui reposent directement sur les argiles Siluriennes dans la région d'In-Belbel.

e. Carbonifère : Le Carbonifère est présenté par une formation de calcaire Namurien (calcaire de Baamar), d'épaisseur variant de 200 à 300 m. Dans le bassin de Reggane, cet étage est représenté par des argiles à anhydrite, à intercalation de calcaires, dont l'épaisseur atteint 100 mètres.

I.3.3.3. Secondaire [8]

a. Le Crétacé inférieur « Continental intercalaire » :

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

Cénomaniens. 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 affleurement une ceinture continue de la vallée de la Saoura jusqu'à In Salah (Fig. I.11)

On trouve de haut en bas :

❖ L'Albien

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.

❖ L'Aptien

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

❖ Le Barrémien

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

❖ 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.3.3.4. Tertiaire

a. Néogène : Le Néogène existe en bordure des Eglabs et dans le Gourara. Entre ces régions, dans l'Erg Chech et le Touat, on n'en trouve que quelques témoins dispersés. A l'Est, le Néogène du Gourara et du Touat recouvre la série de base (argilo-gréseuse) du Continental Intercalaire (Fig. I.11). A l'Ouest, le Néogène visible depuis la route des palmeraies reliant Sabaa à Tamest, repose en discordance de ravinement sur les argiles sableuses du Continental Intercalaire. Les conglomérats à galets gréseux et argileux marquent sans doute la base du Néogène.

b. Holocène : A l'Est de la palmeraie de Bou - Ali, on voit la présence de dépôts de tufs et de sols marécageux d'âge Holocène; ces dépôts sont des indicateurs de l'émersion naturelle de la nappe du Continental Intercalaire. Cette série holocène repose sur les argilites et les grès du Continental Intercalaire.

Au-delà de la palmeraie de Bou-Ali, on distingue la dépression du Touat où passe le cours fossile (ancien cours) de l'Oued Messoud; cette dépression forme l'horizon des premières dunes de l'Erg Chech

I.3.3.5. Le Quaternaire

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.3.3.6. Le Turonien

Il s'individualise en deux faciès :

- Le Turonien supérieur : formé par des calcaires jaunes dolomitiques et d'argiles.
- Le Turonien inférieur : formé par des calcaires blancs dolomitiques et marneux.

I.3.3.7. Le Cénomanién

Le Cénomanién est formé par une alternance de bancs de calcaire et dolomie, d'argile et d'évaporites (anhydrite ou sel). Son épaisseur est de 50 m, d'après la carte géologique de Timimoun, il forme la base du plateau de Tademaït, on constate aussi que le Cénomanién inférieur est argileux alors que le Cénomanién supérieur est calcaire. [3]

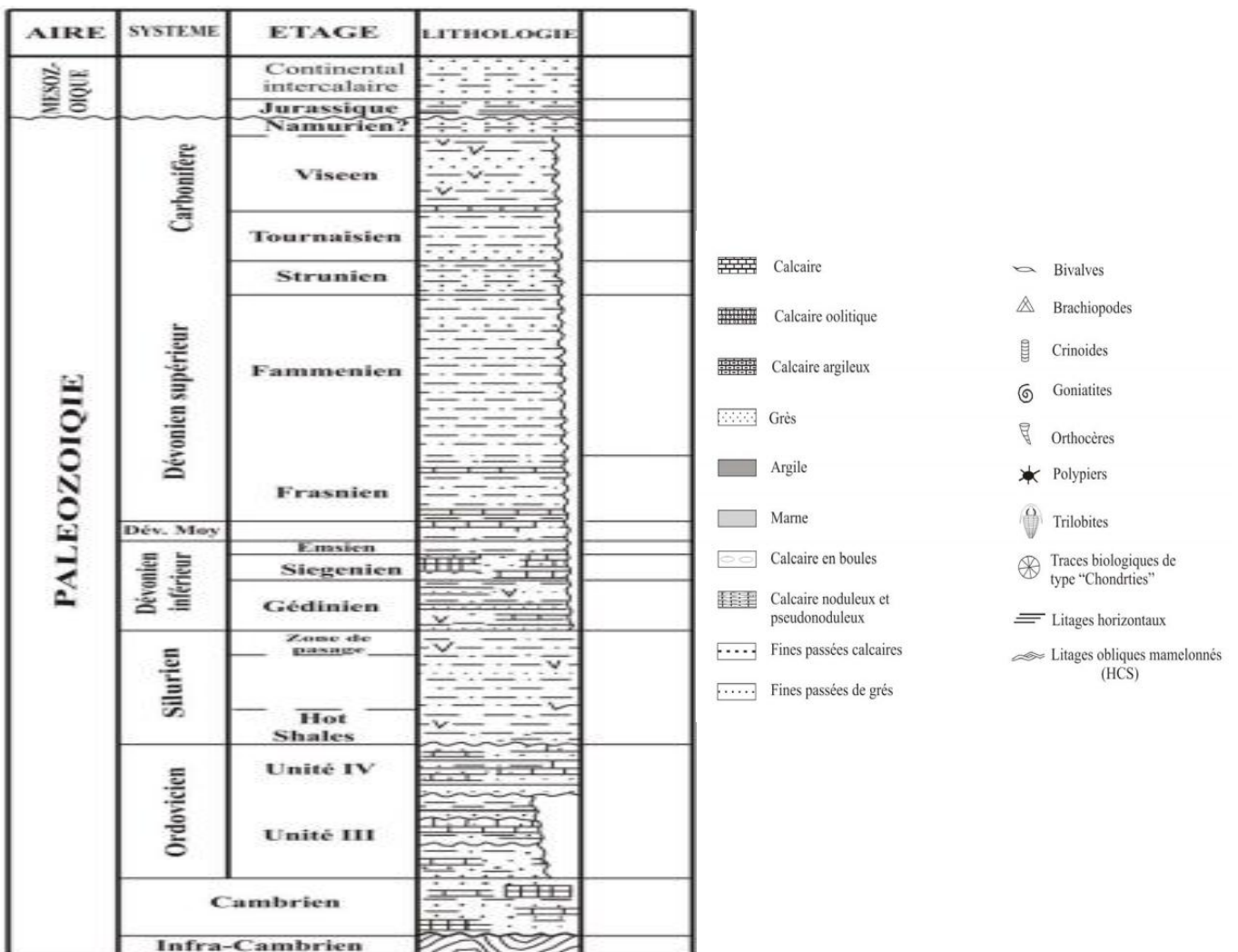


Fig. I.12 : Colonne lithostratigraphique Synthétique du bassin de Reggane . [9]

* **Données des sondages :**

• **Sondages de recherches hydrauliques:** L'installation de la base atomique de Reggane a conduit le Génie militaire colonial à faire des travaux de forage pour l'alimentation en eau des diverses bases et c'est grâce à ces sondages, réalisés à Reggane, Reggane-plateau et Hammoudiaque nous avons une idée assez précise de la lithologie du Continental Intercalaire, dans cette région proche du gisement de reptiles d'Ain -Ech-Chebbi.

• **Sondage de Reggane-ville:** A Reggane-ville, plusieurs forages et puits ont été faits. Les puits exploitent le même niveau aquifère que les foggaras, tandis que les forages atteignent un niveau aquifère situé à une centaine de mètres de la surface, c'est à dire à une altitude absolue de 120 mètres environ. Le forage I de Reggane (Fig I.12), après avoir traversé un encroûtement calcareo-gréseux quaternaire, a atteint le Continental Intercalaire et l'a traversé sur 110 mètres avant d'être interrompu.

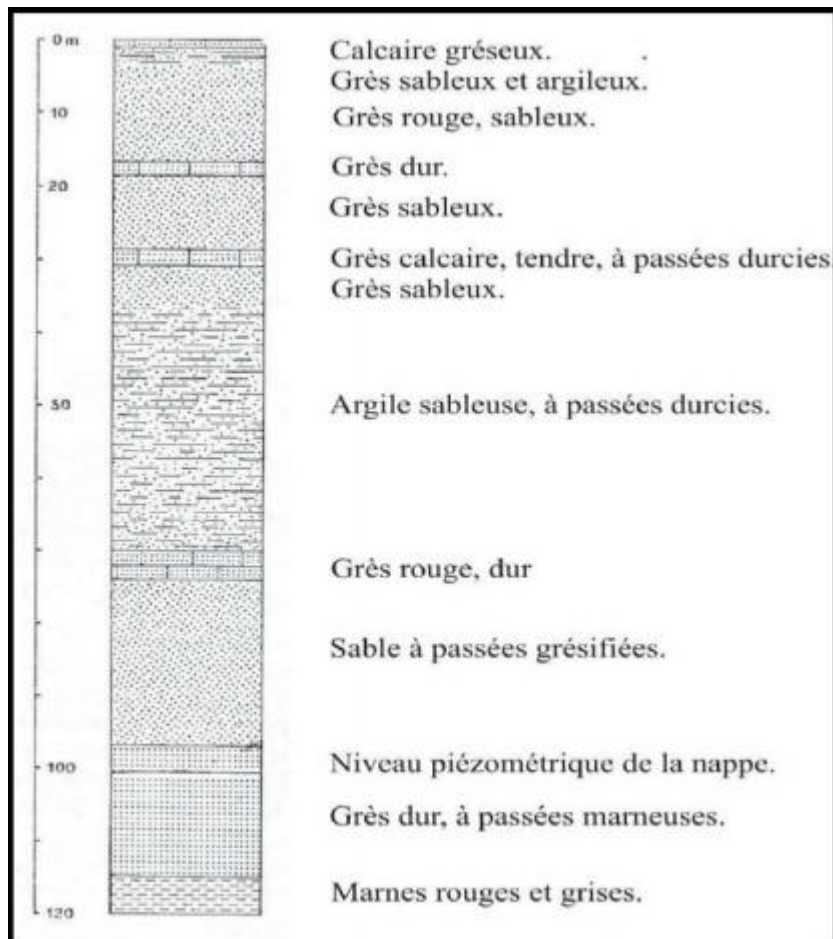


Figure. I.13: Coupe de forage I Reggane [4]

I.3.4. Tectonique

Le bassin de Reggane est caractérisé par des événements tectoniques qui se sont produits au Cambrien-Viséen et au Carbonifère terminal. Sur le socle Précambrien repose sur en discordance une puissante couverture sédimentaire de l'ordre de 6500 m. Les formations du Carbonifère affleurent au Nord de Reggane et Ain-Chebbi.

Il a été noté qu'entre Sali et Reggane et dans le Tidikelt le pendage des grès de Crétacé est de 1 à 2°. Au Tidikelt, des anticlinaux d'orientation Nord-Sud constitués de terrains Primaires [10] ont dû jouer légèrement déterminant ainsi des festons qui amorcent de plus petits bassins tel celui Taourirt, entre Reggane et Chebbi.

I.4. CONCLUSION

La région de Reggane, fait partie de Touat, elle se situe à 140 km au Sud d'Adrar. S'étend du Sali au Nord jusqu'à Azrafil au Sud, du Timadanine à l'Ouest jusqu'au Plateau de Tademaït à l'Est. La géomorphologie de la région est constituée des plateaux, des Regs, des Ergs, des Terrasses d'érosion et d'apport éolien, et des Sebkhas.

L'étude climatologique effectuée les données de la station météorologique d'Adrar de la période allant de 2015 à 2020 montre que le climat de la région est hyperaride. Le bilan hydrique suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que l'évapotranspiration potentielle (ETP) est plus importante que les précipitations, pendant toute l'année.

Le Bassin de Reggane est situé dans la partie Nord-Ouest de la plate-forme saharienne. Il est constitué par des séries sédimentaires allant du Paléozoïque qui repose sur un socle Protérozoïque au Quaternaire.

Le Crétacé inférieur ou Continental Intercalaire est en grande partie gréseux qui s'intercale entre la série paléozoïque et la série marine du Crétacé supérieur formé d'argiles, de calcaires et de grès, il repose sur les séries argilo-carbonatées plissées du Primaire, et est daté grâce à des découvertes assez nombreuses. [11]

chapitre II :

Etude Hydrogéologique

II.1. INTRODUCTION

L'étude hydrogéologique d'une région est nécessaire pour la détermination des caractéristiques hydrogéologiques des différents aquifères existants, elle permet donc de reconnaître les potentialités en eau souterraine de la région.

L'étude hydrodynamique que présente à pour objectif l'interprétation de la piézométrie et des essais de pompages.

Pour la piézométrie, l'objectif est de définir l'allure générale de l'écoulement de la nappe, de tirer des informations sur l'alimentation et le drainage de la nappe, de calculer le gradient hydraulique et l'identification des zones favorables à l'implantation des ouvrages. Quant aux essais de pompage, leur interprétation portera essentiellement sur ceux réalisés au niveau de la formation aquifère de la région.

II.2. LES SYSTEMES AQUIFERES DU SAHARA SEPTENTRIONAL

Les richesses souterraines de la région étudiée sont très importantes, en effet c'est une des régions hyperaride du monde, des ressources stratégiques en eau souterraine s'étendent sur des milliers de kilomètres carrés. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) couvre une grande extension régionale. Sa superficie totale s'étale sur plus d'un million de km² dont 700 000 km² en Algérie, 80 000 km² en Tunisie et 220 000 km² en Libye (Fig II.1).

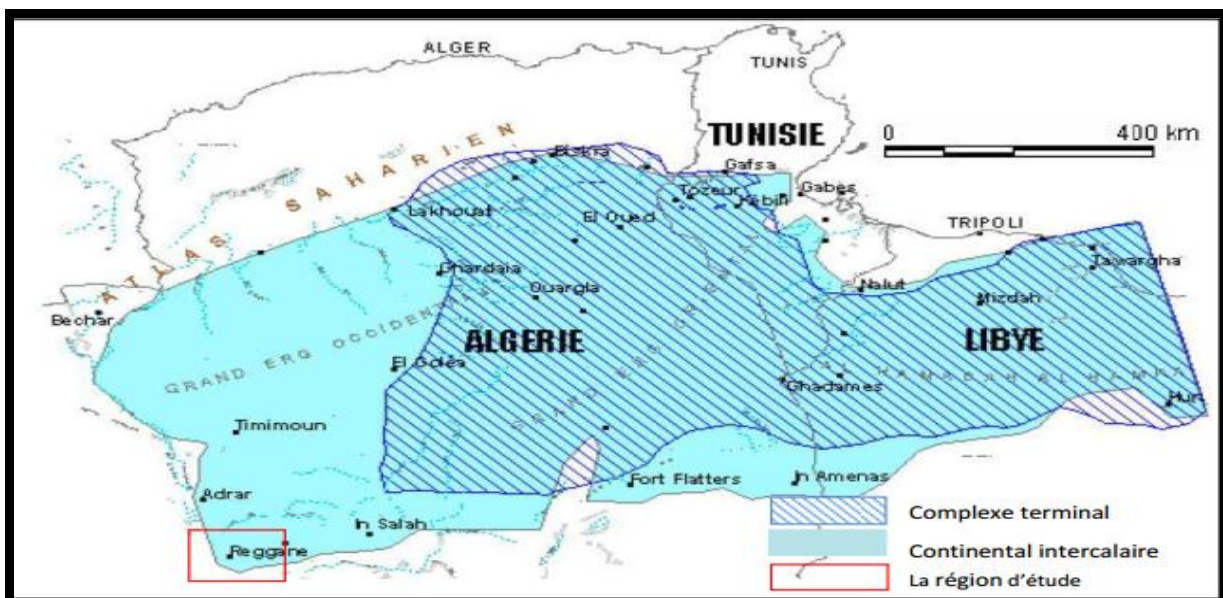


Fig.II.1: Extension des formations du SASS. [12]

II.2.1. Le Complexe Terminal (CT)

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (Fig II.2).

Les prélèvements dans le Complexe Terminal étaient de 16,3 m³/s pour le territoire algérien en 1998. Le niveau piézométrique est en baisse générale. Cette baisse deviendra catastrophique dans une trentaine d'années dans les zones les plus exploitées où elle pourrait dépasser 200 mètres d'après une simulation d'une étude postérieure. [13]

Le Complexe Terminal affleure aux endroits suivants:

- au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- à l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab.

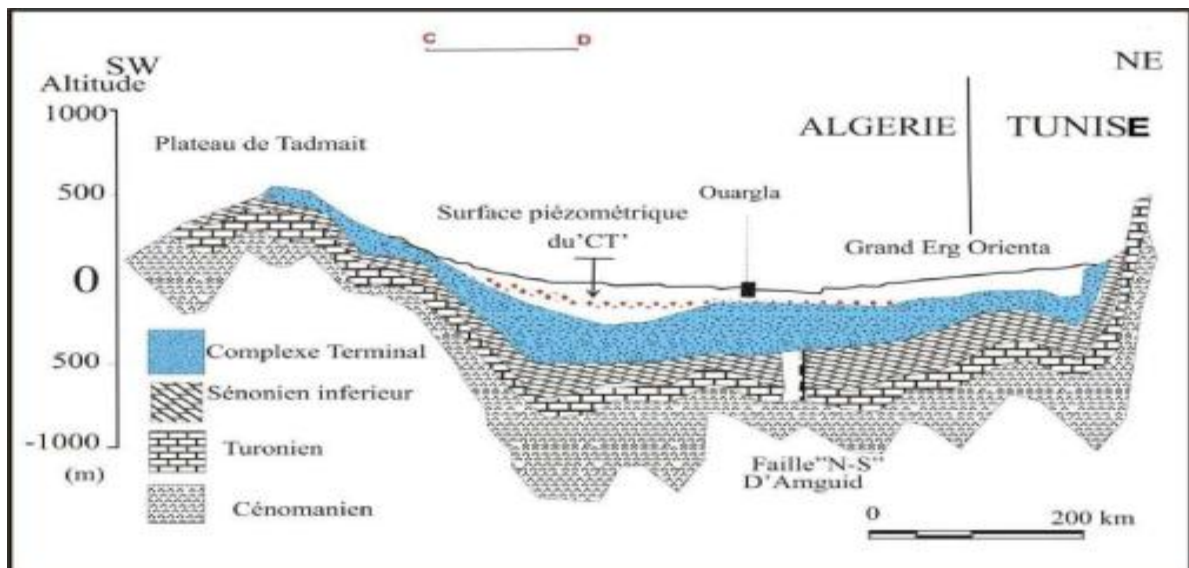


Fig.II.2: Coupe hydrogéologique transversale du CT. [14]

II.2.2. Le Continental Intercalaire (CI)

Le Continental Intercalaire désigne les formations continentales qui se sont déposées entre le cycle marin du Paléozoïque clôt par l'orogénèse hercynienne et la Transgression marine du Cénomanién. Il couvre une large période du Trias à l'Albien.

En hydrogéologie la nappe du Continental Intercalaire, plus souvent dite nappe albiénne correspond à un niveau plus réduit. Elle est définie par les formations continentales du Crétacé inférieur comprises entre le Néocomien et le Cénomanién qui sont représentées par des sables, de grès avec des intercalations d'argiles. La base est constituée de terrains primaires du Paléozoïque, très accidentés par l'orogénèse Hercynienne, tandis que le toit est formé le plus souvent par les dépôts du Crétacé supérieur à savoir le Cénomanién argileux et le Turonien et parfois par les terrains tertiaires ou quaternaires. (Fig II.3 et II.4).

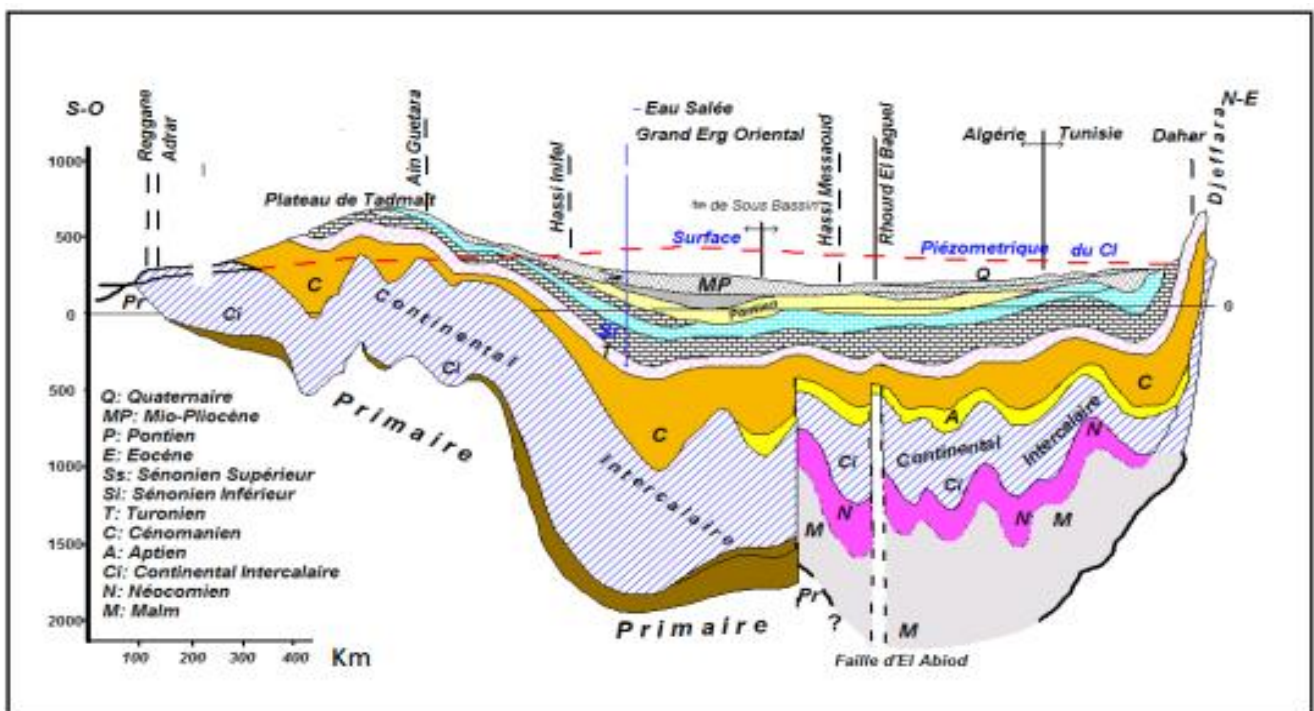


Fig.II.3: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara. [14]

II.2.2.1. Caractéristiques principales de la nappe du Continental Intercalaire

Cette nappe est contenue dans les horizons sablo-gréseux et argilo-gréseux du Continental Intercalaire, qui s'étend sur tout le Sahara Septentrional. Le trait marquant de ce réservoir aquifère est son volume considérable qui est de l'ordre de 60 000 milliards de m^3 dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 km^2 et son épaisseur moyenne de 120 à 1000 m. Les transmissivités s'échelonnent de 6 à $30 \cdot 10^{-3}$ m^2/s et les coefficients d'emmagasinement de 1 à $50 \cdot 10^{-3}$ [14]. Cet aquifère est de type général à nappe

captive, surtout au centre du bassin oriental où la nappe profonde est fortement artésienne, et l'eau jaillit à une température élevée. Sur les bordures (M'Zab, piémonts de l'Atlas saharien, Touat, Gourara et le Tidikelt), elle n'est qu'ascendante ou à surface libre peu profonde, et à des températures normales.

-Substratum

Les formations argilo-sableuses, argileuses, ou carbonatées, d'âge de plus en plus récent du Sud au Nord, au Sud et Sud-Ouest, reposent en discordance sur les terrains du Paléozoïque (Dévonien), puis vers le Nord successivement sur les assises du Trias, du Lias et du Jurassique.

-Couverture

Sur la majeure partie du territoire, la couverture est assurée par une série argileuse avec évaporites du Crétacé supérieur, surmontée de sables éoliens du Grand Erg Oriental et du Grand Erg Occidental. La nappe est ainsi captive, à l'exception des bordures. Au Centre, les grandes fractures de la dorsale d'Amguid-El Abiod, provoquent des fuites importantes vers l'aquifère du Continental Intercalaire. La profondeur du toit est maximale sous les chotts (2000m). Elle diminue du Centre, (1000m), à l'Ouest (580m) et à l'Est (650m).

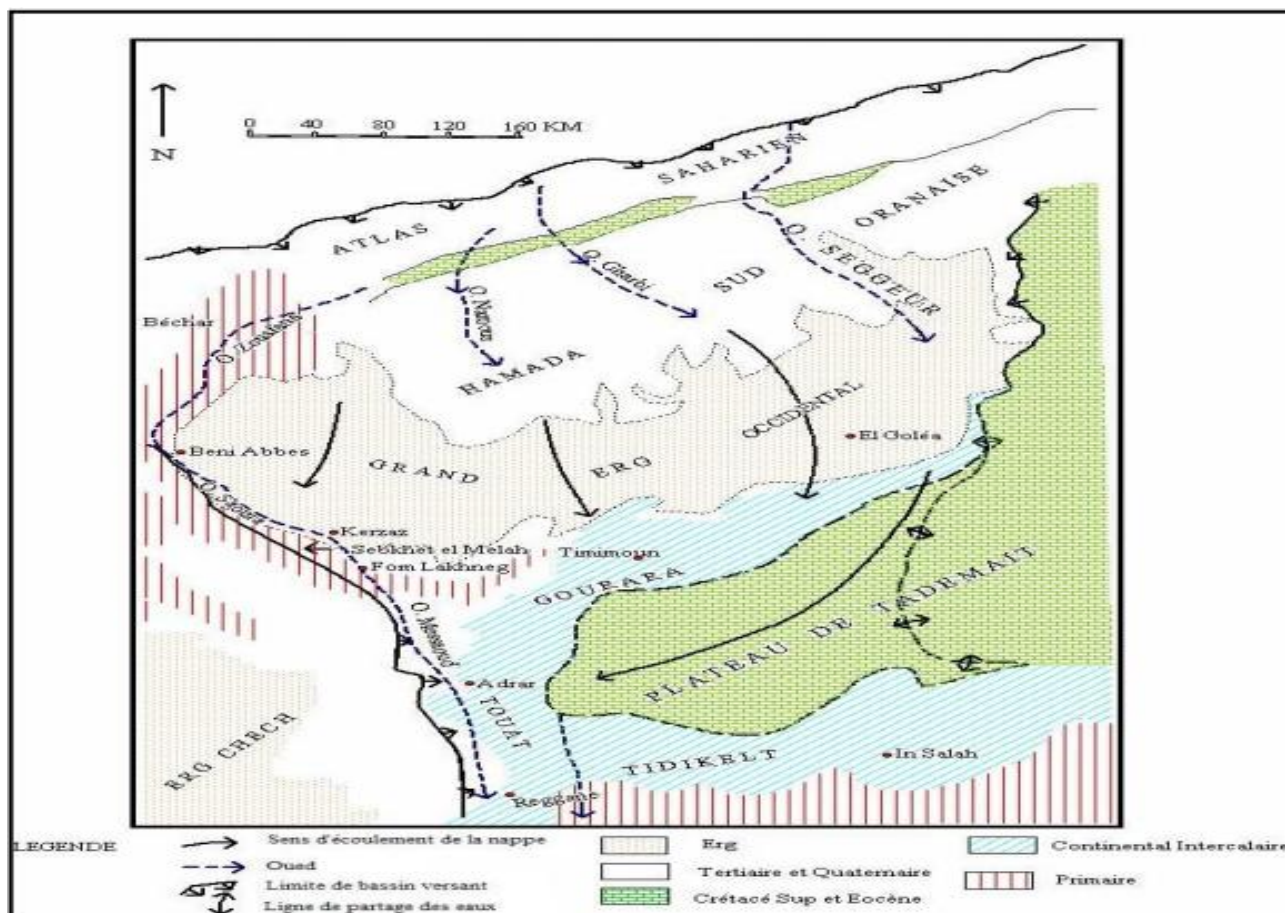


Fig.II.4: Carte hydrogéologique du Sahara Septentrional. [16]

II.2.2.2. Alimentations et exutoires du Continental Intercalaire

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. A partir de son impluvium d'une part et par les grands fleuves qui descendent de l'Atlas tellien jusqu'au bas fond saharien comme le fleuve

Saoura, Ighargharen. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas saharien : la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée à 2,5 milliards m^3/an . Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés. Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à $3.5 \times 9 \times 10^3 m$. Les exutoires du Continental Intercalaire sont constitués par:

- Les foggaras : longues galeries drainantes, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental).
- Les puits artésiens (bassin oriental).
- Les sebkhas : vastes étendues humides et salines, surfaces évaporant dont le débit total n'est pas négligeable. [1]

II.2.2.3. Piézométrie du "CI"

La carte piézométrique de référence élaborée au cours du projet du SASS (2003), (Fig II.5) montre que l'axe d'écoulement des eaux de la nappe du Continental Intercalaire qui comprend les régions de Touat, Gourara et Tidikelt est du Nord-Est au Sud-Ouest, et ces régions constituent l'exutoire naturel de la nappe.

II.2.2.4. Ecoulement

Les directions d'écoulement de cette nappe : (Fig.II.5)

- Dans le sens Nord-Sud (concernant le sous-bassin du Grand Erg Occidental), c'est-à-dire du piedmont de l'Atlas Saharien vers les zones d'affleurement (et d'exutoire) des rebords du plateau de Tademaït à l'Ouest
- Dans le sens Sud-Nord (concernant le sous-bassin du Grand Erg Oriental), c'est-à-dire du rebord sud du plateau du Tihert vers les golfes de Syrte et de Gabès;

- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien (golfe de Gabès)

II.2.2.5. Exutoires

- Exutoires naturels

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

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

- Exutoires artificiels Ce sont ceux qui ont été créés par l'homme : les foggaras du Gourara, du Touat et du Tidikelt, et les différents forages..

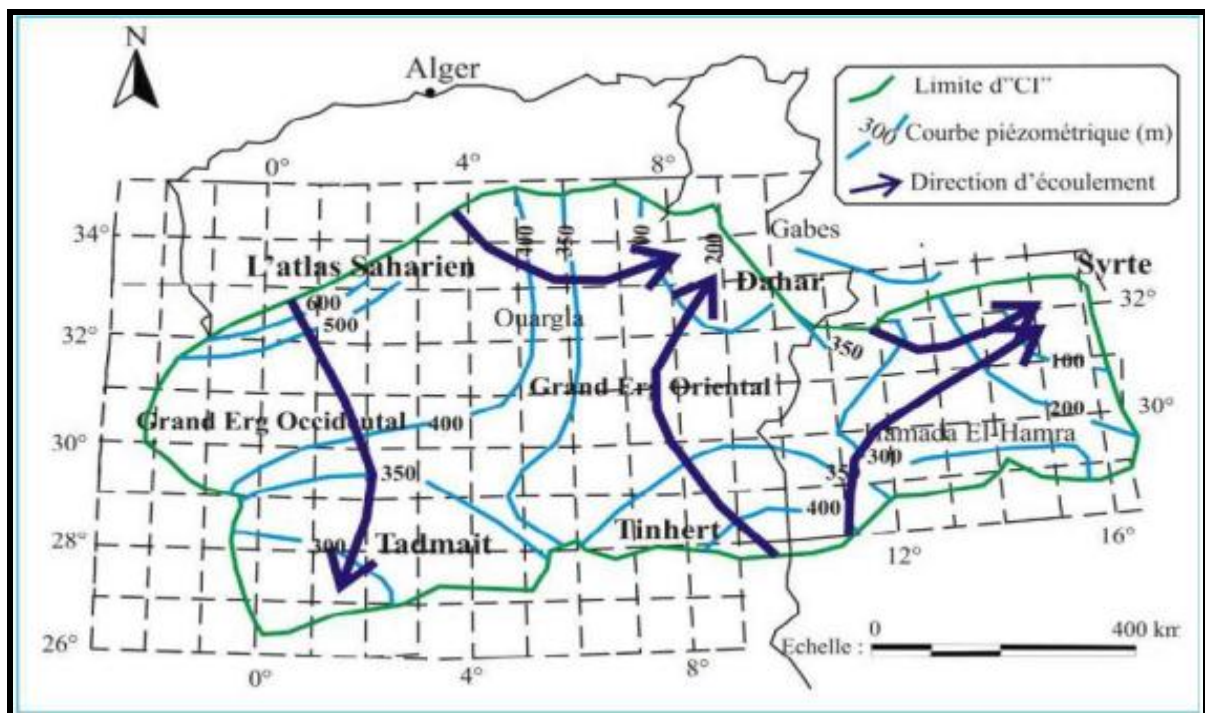


Fig.II.5: Carte piézométrique du Continental Intercalaire. [15]

II.3. Nappe du Continental Intercalaire dans la région d'étude

Dans la région de Reggane on trouve une seule nappe, elle s'agit de la nappe du Continental Intercalaire. C'est la seule ressource exploitable dans la région d'étude. On a étudié brièvement les caractéristiques hydrogéologiques de cette dernière.

II.3.1. Caractéristiques hydrodynamiques

II.3.1.1. Conditions aux limites [1] : L'identification du comportement hydrodynamique de l'aquifère repose sur une identification rigoureuse des conditions aux limites. Leur étude porte sur leur situation et sur leurs conditions. Elles sont déterminées par des points (sources) des lignes (berges des rivières) ou des surfaces (aire d'alimentation).

Dans notre cas, l'étude de la configuration de l'aquifère, a dégagé deux grands types de limites :

- Limites géologiques, closes, à position fixe ou limites étanches (flux nul), imposées par les structures hydrogéologiques. Ces sont : le substratum argileux, les passages latéraux de faciès, les biseaux de la nappe au contact des formations primaires au Sud-Ouest de la région.
- Limites hydrodynamiques, ouvertes, à position variable dans l'espace et dans le temps, imposées par les conditions extérieures (environnement de l'aquifère). Ce sont des limites à flux imposé ou à conditions de débit (les débits peuvent être entrants ou sortants).
 - Les débits entrants représentés par les aires d'alimentation par infiltration des précipitations efficaces (pluies exceptionnelles tombées sur les plateaux du Touat et de Tademaït et celles de Grand Erg Occidental), ou par les rivières infiltrantes comme le cas de l'Oued Messaoud.
 - Les débits sortants représentés par les aires d'évaporation comme les Sebkhass.

II.3.2. Piézométrie

II.3.2.1. Niveau statique (Tab II.1)

Du fait de l'absence d'un réseau adapté à la surveillance de la nappe d'eau dans la région de Reggane, les mesures effectuées ne donnent pas une information suffisante sur la répartition dans l'espace du niveau statique de la nappe aquifère sur toute la zone inventoriée.

Généralement, le niveau statique des forages de la région se situe entre 15 et 68 m de profondeur par rapport au niveau du sol, au Sud-Est entre le forage Ennefis et Azrafil (Tab II.1) jusqu'à la palmeraie de Timadanine 01 où le niveau statique atteint 4.8 m.

En allant vers le N-W, le niveau statique est maximum de l'ordre de 29 m (Forage Sali 02 et Forage Zouiet Lahchef).

II.3.2.2. Carte piézométrique dans la région de Reggane (Tab II.1)

La carte piézométrique est la synthèse essentielle de l'étude hydrogéologique. 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 région de Reggane les eaux du Continental Intercalaire sont destinées essentiellement à l'AEP et l'irrigation

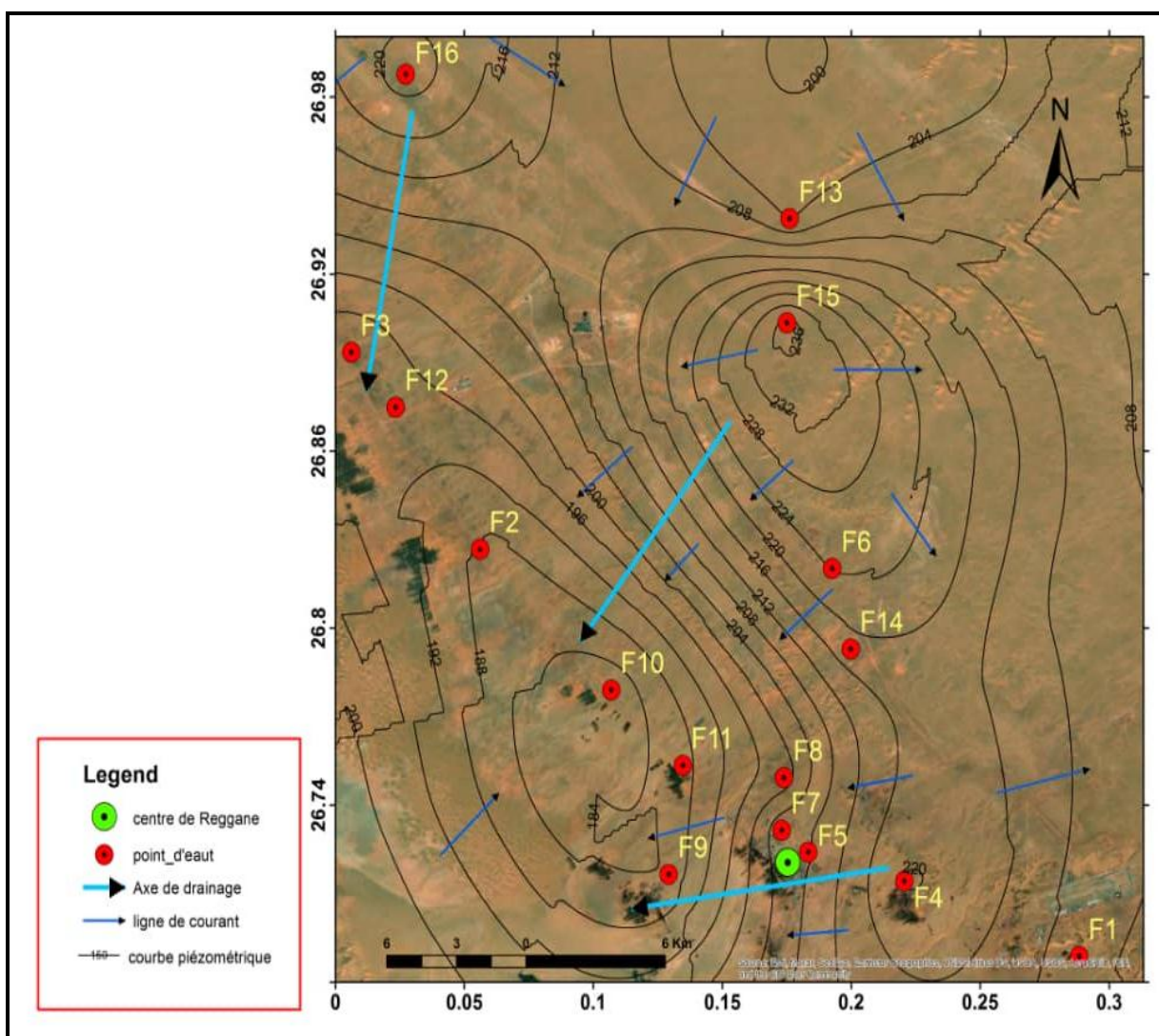


Fig.II.6: Carte piézométrique de la région d'étude.

Tableau II.1: Les données de niveau statique et niveau piézométrique. [17]

Nom	Designations	Longitude	Latitude	altitude	Niveau NS	Niveau Piézo
F1	AZRAFIL02	0,284444005	26,6889	228	19,5	208,5
F2	IN ZEGLOUF01	0,052221999	26,8269	217	33	184
F3	TINOURT01	0,002222	26,8936	212	24,94	187,06
F4	TAOURIRT 03	0,216666667	26,71444444	230	5,7	224,3
F5	REGGANE 01	0,235833003	26,7281	224	19,8	204,2
F6	REGGANE 2	0,188611	26,8203	263	37	226
F7	TINOULEF GUEDIMA	0,169166667	26,73166667	221	4	217
F8	TAARABET	0,17	26,74944444	224	34,15	189,85
F9	TIMADANINE 01	0,125278	26,7167	186	4,8	180,2
F10	AIT MESSAOUD ANR	0,103056	26,7792	213	34,8	178,2
F11	EN NEFIS	0,130833	26,7536	208	21,76	186,24
F12	BAHOU 02	0,0194444	26,875	222	24,15	197,85
F13	SALI 02	0,172222222	26,93888889	212	17,17	194,83
F14	ZOUJET REGGANE	0,177222222	26,67388889	255	34,38	220,62
F15	ZOUJET LAHCHEF	0,17116	26,9036	279	29,1	249,9
F16	SALI01	0,0233333	26,9878	246	19,11	226,8

L'interprétation de la carte piézométrique :

La carte piézométrique a été établie et réalisée en AVRIL 2021 à partir des données des Forages fournies par l'A.N.R.H d'Adrar. L'interprétation de la carte piézométrique de la région d'étude montre que l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Nord-est vers le Sud-ouest (Fig.II.6), les centres urbains apparaissant sur la carte comme des zones de convergences (au Sud-ouest), indiquent que l'écoulement au niveau de cette partie est fort à cause de l'effet de forage de captage qui est localisé principalement dans les zones de concentrations de captage par forages et foggaras (axe de drainage).

L'espacement des courbes isopièzes caractérise la pente (gradient hydraulique) ; elles sont resserrées dans la partie Sud de la carte piézométrique, où le gradient est important et la perméabilité est faible. Par contre, dans les autres parties de la carte piézométrique, les courbes isopiezies deviennent espacées ce qui implique la diminution du gradient et l'augmentation de la perméabilité. Les valeurs du gradient hydraulique sont différentes d'une zone à l'autre. Cette variation est due à l'hétérogénéité des formations donc à la perméabilité. A partir de la forme des courbes isopièzes et leur espacement, on peut dire que cette nappe est radiale.

$$I = (H_2 - H_1) / L$$

Le gradient hydraulique au Nord ouest entre F16 et F03, est de l'ordre de $3.73 \cdot 10^{-3}$.

Le gradient hydraulique au centre entre F6 et F10, est de l'ordre de $4.94 \cdot 10^{-3}$.

Le gradient hydraulique au Sud entre F4 et F9, est de l'ordre de $4.84 \cdot 10^{-3}$.

Les valeurs du gradient hydraulique sont différentes d'une zone à l'autre.

II.3.4. Essais de puits et pompages d'essai

Les expérimentations, par pompage à débit constant sur les puits et sondages sont exécutées par des essais de puits, et des pompages d'essais. Elles consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique, en relation avec le temps de pompage et leur remontée après arrêt de l'opération.

Des expérimentations de ce type ont été effectuées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) de la wilaya d'Adrar au niveau de plusieurs forages à différentes périodes.

II.3.4.1. Essais de puits : L'essai de puits est effectué en réalisant des paliers de débits, à débit constant pendant une courte durée déterminée, 1 à 3 heures. Il mesure deux données : le rabattement en mètre, mesuré en fin de palier et le débit constant en m³/h. Chaque palier de débit est suivi d'un arrêt de pompage d'une durée égale, permettant la remontée du niveau d'eau. Les essais de puits par paliers de débit de courtes durées permettent d'évaluer les caractéristiques du complexe aquifère ouvrage de captage. Ces caractéristiques sont : le débit critique, le débit spécifique, les pertes de charge dans l'ouvrage et son environnement immédiat et le débit maximum d'exploitation ou productivité. Il permet aussi d'établir le programme d'équipement technique de l'ouvrage : tubage, crépine, massif filtrant et puissance de la pompe. Pour notre cas l'analyse des essais de puits, permis de déterminer le débit d'exploitation pour le forage Taarabet qui est d'ordre de 40 l/s.

II.3.4.2. Pompage d'essai: Des pompages d'essai sont exécutés par un seul palier de débit, à débit constant, prolongé durant au moins 42 heures, avec un optimum de 72 heures. La remontée des niveaux doit être observée pendant une durée égale. L'exécution et l'interprétation des données mesurées, rabattements et temps, reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamique en régime transitoire, établies par Theis et Jacob.

Le but de pompage d'essai:

- Mesure des paramètres hydrodynamiques tels que la transmissivité, et le coefficient d'emmagasinement.
- Etude quantitative des caractéristiques particulière de l'aquifère : condition aux limites, structure.
- Observation directe en « vrai grandeur » de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère et prévision de l'évolution du rabattement en fonction des débits pompé.
- Évolution de la ressource en eau souterraine exploitable.

Plusieurs méthodes sont adoptées pour le calcul des paramètres hydrodynamiques tel que Thiès et Jacob, qui donnent des résultats très rapprochés.

J'ai traité les données des essais de pompage grâce au logiciel Aquitest. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Forage Taarabet :

a. Les courbes de descente: On observe au début un fort rabattement due à l'effet de capacité, et après une courbe à pente très faible. Dans ce cas, l'épaisseur de la nappe est importante. Le débit est très fort par rapport aux autres forages ($Q= 40l/s$), le rabattement également (29 m), (voir tableau II.2), (Fig II.7).

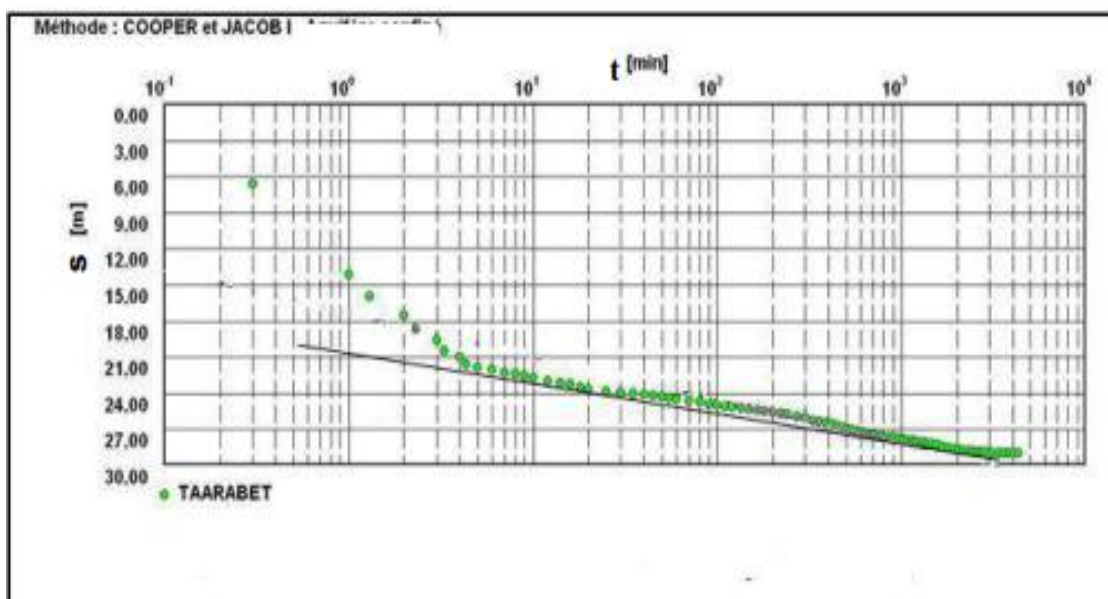


Fig.II.7: Forage de Taarabet, courbe de descente. [1]

b. Les courbes de remontées : On remarque au début un fort rabattement dû à l'effets des capacités. Ce type des courbes montre une pente très faible, qui est dû probablement à l'épaisseur de la nappe qui est très importante.

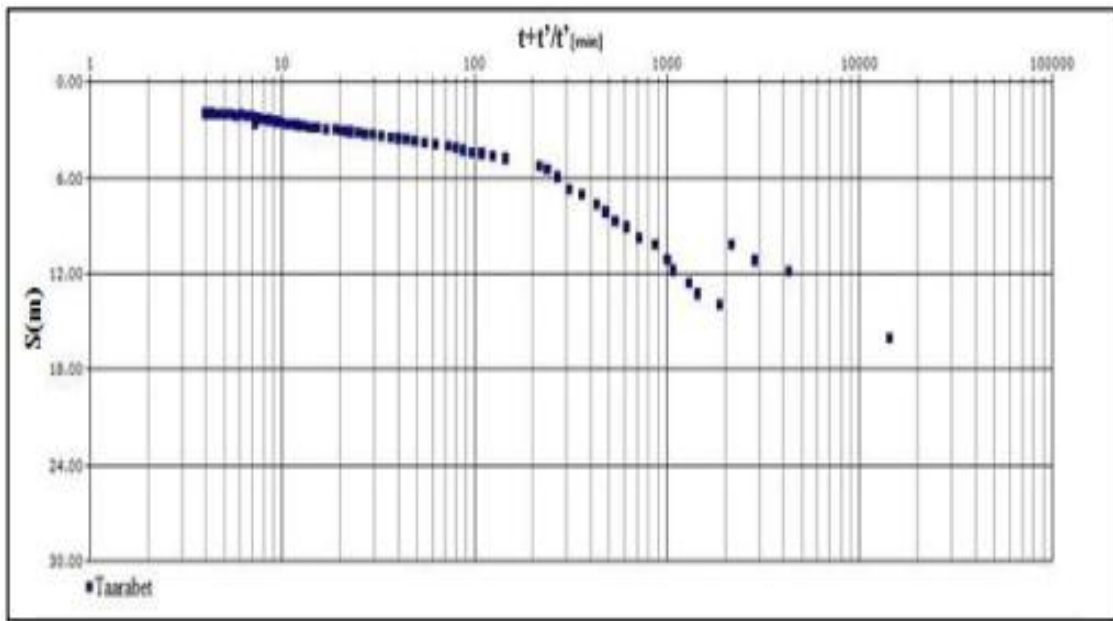


Fig.II.8: Forage de Taarabet, courbe de remontée. [1]

Tableau II.2: Quelques paramètres hydrodynamiques de forage dans la région.

Forage	Débit de pompage Q (l/s)	Rabattement S (m)	Transmissivité T (m^2/s)
Taarabet	40	29	4.67×10^{-2}

II.4. Foggara

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 sinueux la galerie souterraine a une longueur rarement inférieure à un centaine de mètre et très souvent supérieur à 7 ou 8km. la moyenne de ce ouvrage est de l'ordre de 2.5km, ce qui donne 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 sons 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.

II.4.1. Caractéristique des oasis de la foggara

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 grès 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 percé de trous pour la répartition de l'eau « kasria ». Un série de séguis 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

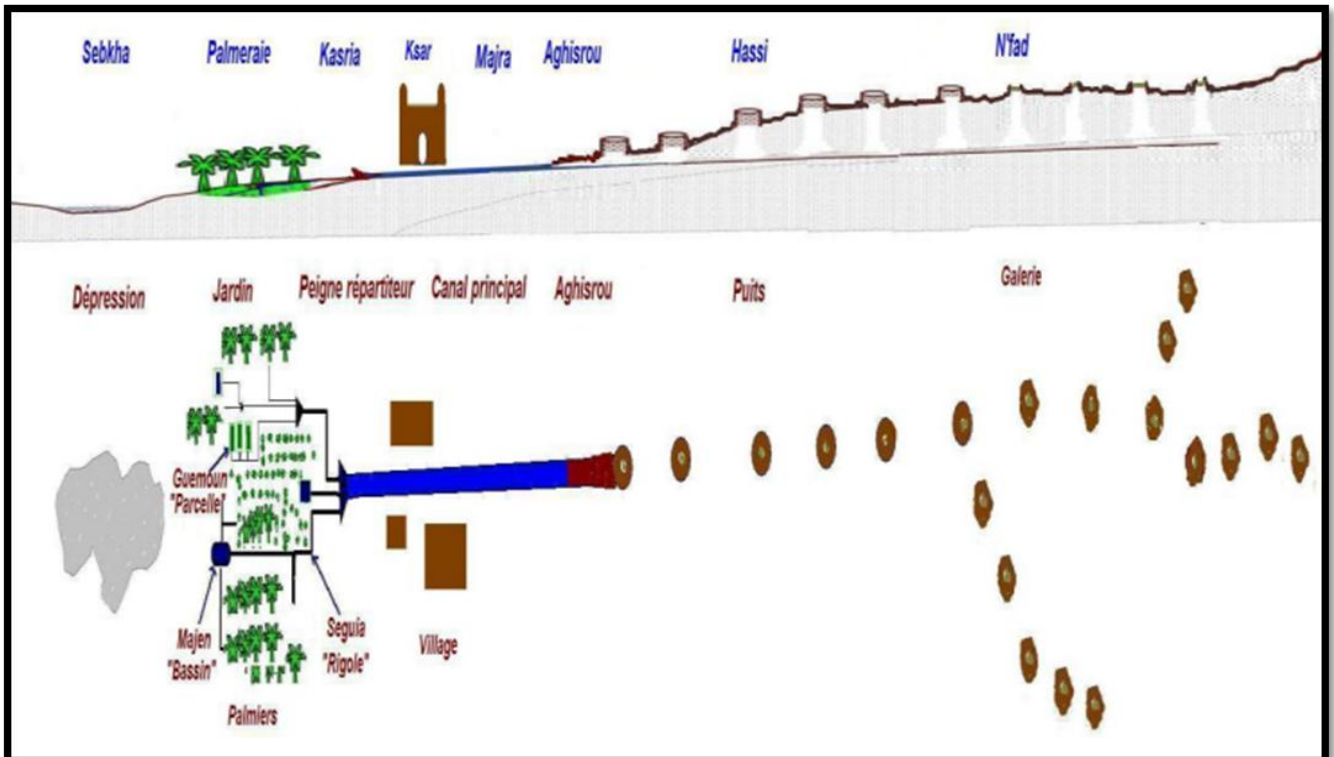


Fig.II.9:Schéma en perspectif d'une foggara. [3]

II.4.2. Relation (Forage-Foggara) [18]

- 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 (Fig.II.9) 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.

II.4.3. technique traditionnelle de foggaras

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:
- 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..
- 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.

II.5. analyse et comentair sur la nappe CI de la région de Reggane

Le premier essai nucléaire français est **Gerboise bleue** de code de l'essai nucléaire français destiné à tester la première arme nucléaire de la France. Il a lieu le 13 février 1960 à 7 h 4 (heure locale) dans la région de Reggane, alors département français du Sahara, durant la guerre d'Algérie . [19]

L'impact de la bombe nucléaire menée par la France en 1960 dans la région d'Hammoudia, à 60 km de la région de Reggan au sud-ouest, a été important pour les organismes vivants, les plantes et la plupart des habitants de la région.

En raison du manque d'informations (analyse chimique) suffisantes sur l'effet de la bombe nucléaire sur les eaux souterraines dans la région de Reggan, nous concluons donc le rapport d'impact dans l'analyse hydrologique.

II.5.1. Analyse hyrogéologique

- * La bombe a explosé à la surface de la terre.
- * l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Nord-Est vers le Sud-ouest.
- * Reggan est situé au nord-est de la zone de l'explosion, les eaux souterraines traversent donc la région de Reggan avant d'atteindre la zone de l'explosion.
- * la profondeur de la nappe plus important dans la zone de l'explosion.
- * Les puits forés étaient peu nombreux au moment de l'explosion, donc l'effet des eaux souterraines sur la poussière de la bombe n'est pas significatif

On peut déduire des analyses hydrogéologiques que la proportion de rayonnement nucléaire dans les eaux souterraines en demande les analyse hydrochimique pour extrait la résultat exact dans la région de Reggan, surtout à cette époque parce que les eaux souterraines sont en mouvement constant.

Tab.II.3: quelque Information sur la bombe nucléaira dans la région de reggane. [19]

Puissance nucléaire	France	Type d'arme nucléaire	Bombe A
Localisation	Région de Reggane	Puissance	70 kt
Coordonnées	26° 18' 42" N, 0° 03' 26" O	Type d'essais	Atmosphérique
Coordonnées	13 février 1960	Altitude du site	Tour 100 m

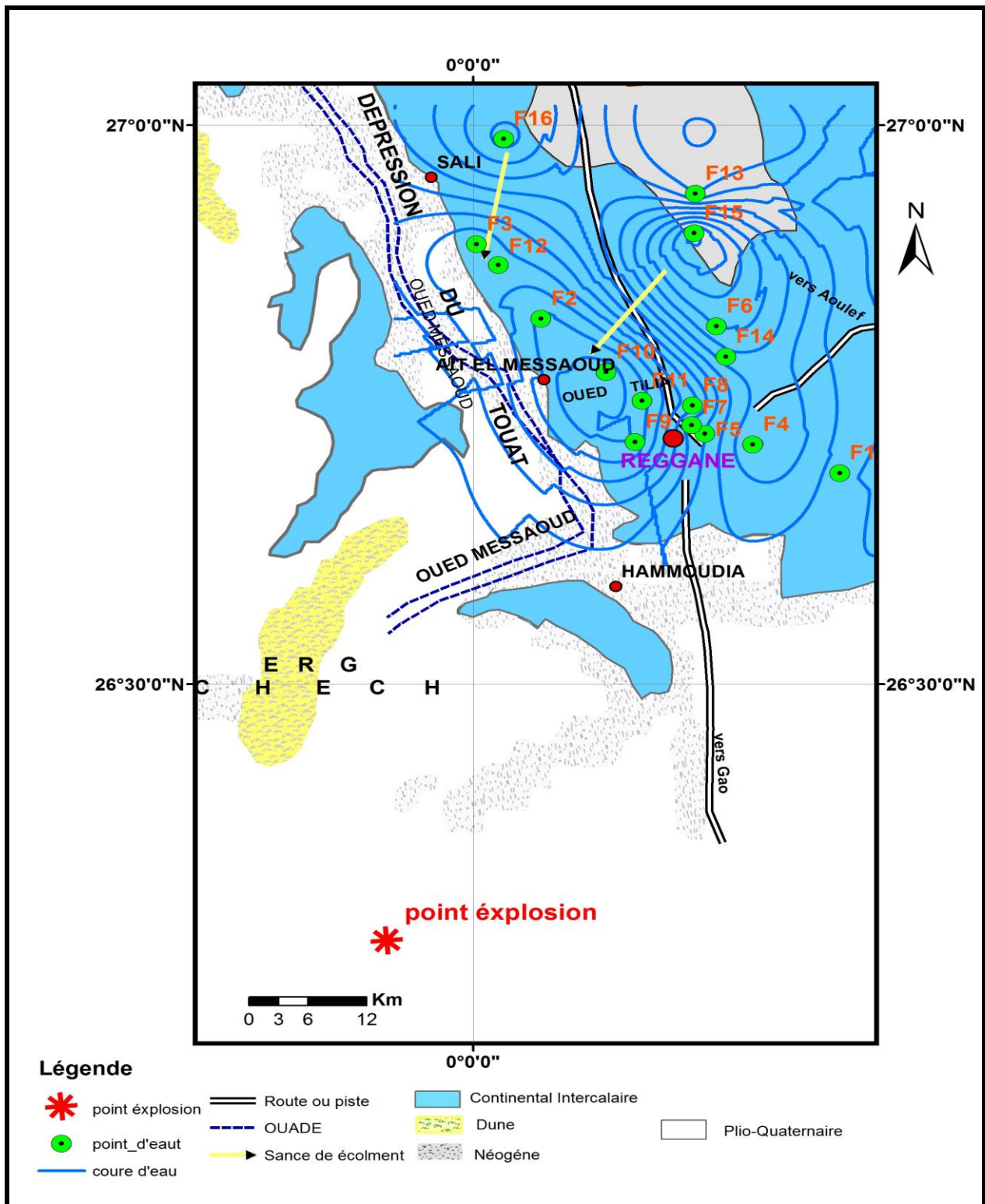


Fig.II.10: relation entre l'sance d'écoulement et localisation de point explosion

II.5.2. Analyse spatiale altimétrique

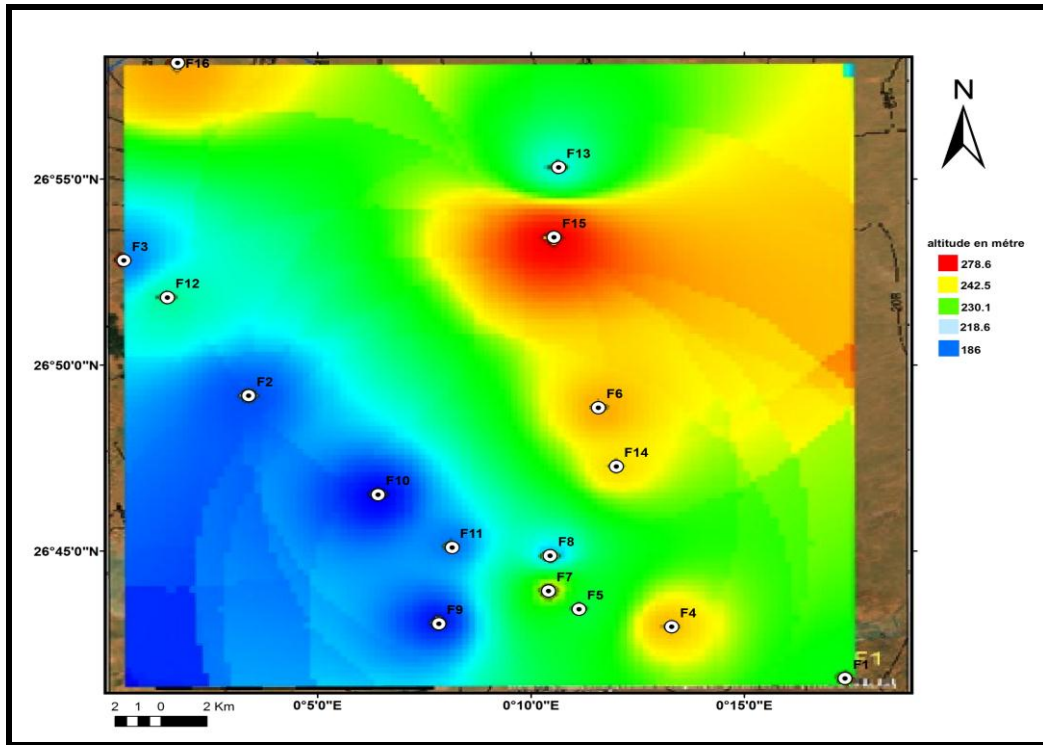


Fig.II.11 : distribution spatiale altimétrique

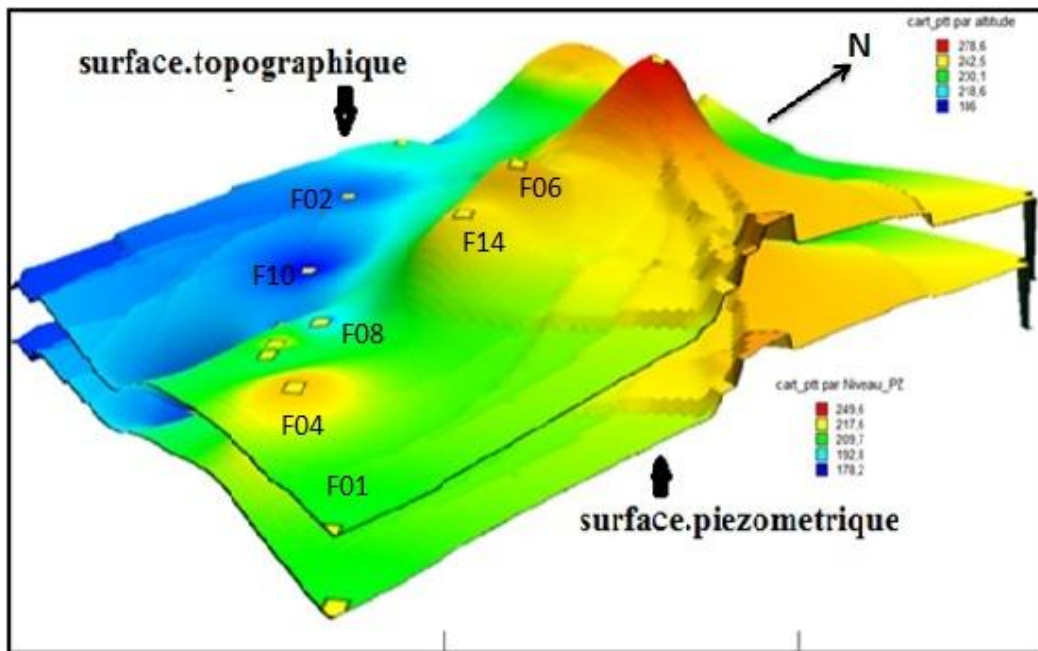


Fig.II.12 :Décalage 3D entre surface topographique et piézométrique

Cette cartes qui indique le décalage entre surface topographique et piézométrique en remarque les zones NE plus altitudes par rapport aux zones SW, donc la piézométrie liée à la topographie.

II.6.CONCLUSION.

Dans la région de Reggane les formations du Crétacé inférieur (continental intercalaire (affleurent largement. Elles sont constituées essentiellement d'un faciès gréseux-argileux)grès, argiles, sables et graviers à divers proportions). Ces formations renferment une importante nappe libre, qui constitue la principale ressource en eau de la région. La profondeur de la nappe se situe entre 2 et 50 m de profondeur par rapport au niveau du sol, l'interprétation de la carte piézométrique de la région d'étude montre que l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Nord-Est vers le Sud-ouest, les centres urbaines apparaissant sur la carte comme des zones de convergences, indiquent que l'écoulement au niveau de cette partie est fort a cause de l'effet de forage de captage qui est localisé principalement dans les zones de concentrations de captage par forages et foggaras. A partir de l'étude des paramètres hydrodynamiques, on peut déduire qu'on est dans un aquifère à nappe libre, de substratum imperméable avec un changement lithologique latéral et vertical très important des sables argileux à des graviers grossiers et de bonnes caractéristiques hydrodynamiques où la transmissivité varie entre 3.61×10^{-3} et $4.67 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

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.

On déduire des analyses hydrogéologiques que la proportion de rayonnement nucléaire dans les eaux souterraines est faible dans la région de Reggan.

chapitre III:

Etude Hydrochimie

III.1. Généralités

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. En effet, la chimie des eaux souterraines est fonction de nombreux paramètres tels que:

- Le type d'alimentation (pluie ou eau superficielle).
- La répartition quantitative des différents éléments chimiques, dans l'eau.
- La nature des terrains traversés.
- Le temps de séjour.
- La profondeur de la nappe, etc.

Dans ce chapitre, notre étude a porté sur vingt et un échantillons d'eau prélevés à partir des forages d'alimentation en eau potable (AEP) existants au niveau de la Commune de Reggane et la Commune de Sali.

Objet de la présente étude est de contrôler l'état actuel des propriétés hydrochimiques de la nappe de continental intercalaire de Reggane et la recherche de l'origine naturelle ou anthropique de la variabilité des paramètres physico-chimiques. Pour cela des analyses des paramètres physico-chimiques ont été faites, par l'ANRH au niveau de laboratoire (2018) et quelle que analyses (2021) . pour expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément chimique.

Tab.III.1. Résultats d'analyse physico-chimique des eaux (en mg/L, la Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ et TH, TAC en $^{\circ}\text{F}$) [17]

Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	PH	CE	RS	Min	TH	TAC
F1	264	154	400	40	618	1000	56.5	85	7.15	4400	3040	2728	127	7
F2	127	91	290	25	448	550	60	140	7.03	2650	1760	1634	68	12
F3	123	88	264	24	440	310	115	140	7.27	2570	1590	1593	66	12
F4	189	118	395	28	476	973	82.5	113	7.16	3490	2280	2375	95	9
F5	220	124	390	29	600	850	100	116	7.09	3760	2490	2429	104	10
F6	140	103	260	24	400	603	54.8	122	7.57	2680	1665	1662	76	10
F7	185	140	410	27.5	652	775	75.5	116	7.2	3620	2360	2381	102	10
F8	171	115	360	26.5	500	700	92	244	7.04	3260	2270	2209	89	20
F9	180	100	171	14.9	300	580	80	137	7.82	2520	1570	1562	85	11
F10	114	82	305	25	445	460	82.5	149	7.65	2570	1560	1593	62	12
F11	123	96	350	27	452	593	68	140	7.07	2990	1960	1849	69	12
F12	104	100	432	27.7	634	558	74	152.5	7.94	3250	2047	2015	66	11
F13	114	107	266	26	400	505	58.4	153	7.28	2640	1690	1637	71	13
F14	104	57.5	300	27.7	450	405	74	122	7.74	2340	1460	1450	49	10
F15	118	76	235	21	355	450	57	156	7.4	2290	1450	1418	60	13
F16	163	124	280	21	450	600	60	153	7.12	2990	1810	1854	90	13

III.2. Paramètres organoleptiques

Les caractères organoleptiques sont des paramètres qui doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du transport et du stockage (apparition d'une coloration, de précipité, etc.).

III.2.1. Couleur: Toutes les eaux prélevées et analysées de la Région Reggane sont incolores.

III.2.2. Odeur: Les tests de la matière organique, ammonium, phosphates, nitrates et les nitrites n'ont donnés aucun résultat remarquable dans les eaux de ces forages.

III.2.3. Goût: D'une façon générale, il est bien difficile de porter un jugement sur la qualité d'une eau par la seule évaluation de la saveur. Les eaux étudiées n'ont pas de goût spécifique. En dehors de la salinité, une saveur désagréable peut révéler la présence de substance indésirable dont il importerait de préciser l'origine. C'est le cas en particulier de certaines saveurs amères, douces et sucrées décelables à la dégustation et du goût imputable à des concentrations très faibles de substances fortement sapides.

III.2.4. Turbidité: Les eaux de la région de Reggane donnent une turbidité inférieure à la norme, ce qui signifie que la matière en suspension est très faible (0.01 NTU) (Néphélobimétrie Turbidité Unit).

III.3. Etude des paramètres physiques

III.3.1. Température de l'eau: 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, les températures moyennes de l'eau varient entre 21 et 26 °C pour les forages (nous disposons des valeurs de certains points seulement).

III.3.2. pH: C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H^+ , les valeurs du pH dans la région d'étude varient de 7 à 8, ils sont dans la norme de potabilité.

III.3.3. Conductivité: Elle traduit globalement le degré de minéralisation d'une eau. Elle est liée à la présence d'ions en solution. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C. La conductivité des eaux analysées oscille entre 2380 $\mu S/cm$ et 6640 $\mu S/cm$. Ces analyses montrent que les eaux de la région de Reggane ont une conductivité supérieure à la Norme Algérienne (2800 $\mu S/cm$). (Fig III.1)

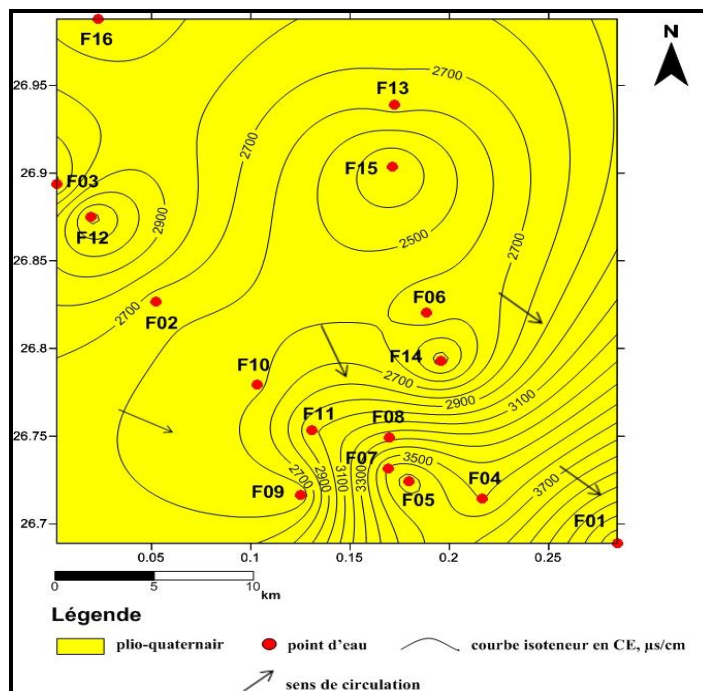


Fig.III.1: Carte de Conductivité en µs/cm.

III.3.4. La minéralisation

Elle représente la totalité des sels dissous dans l'eau, elle est en relation avec la conductivité. Elle varie en fonction de la géologie des terrains traversés. L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO₂ dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physico-chimiques qui caractérisent l'eau de la roche emmagasinant. Les valeurs des minéralisations sont comprises entre 2290 et 4400mg/L

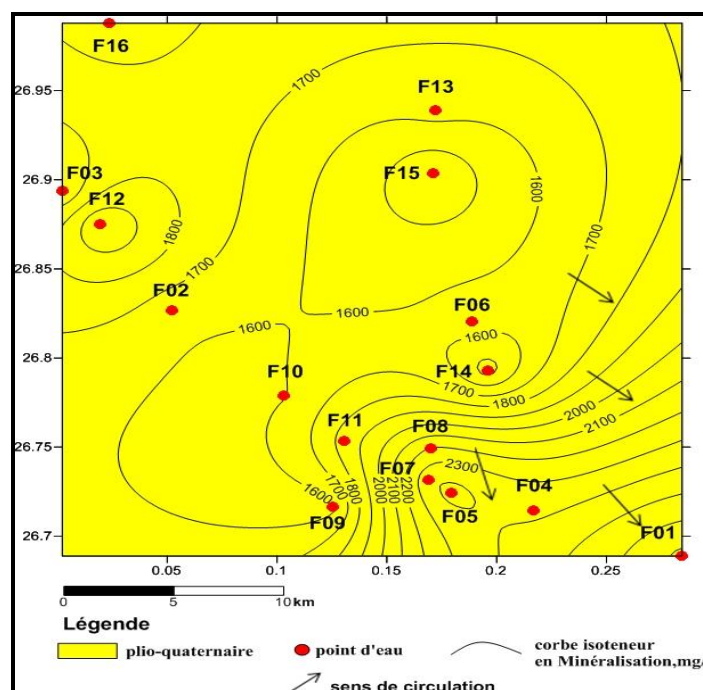


Fig.III.2: Carte de Minéralisation en µs/cm.

Tableau.III.2 : Relation existant entre la minéralisation et la conductivité. [20]

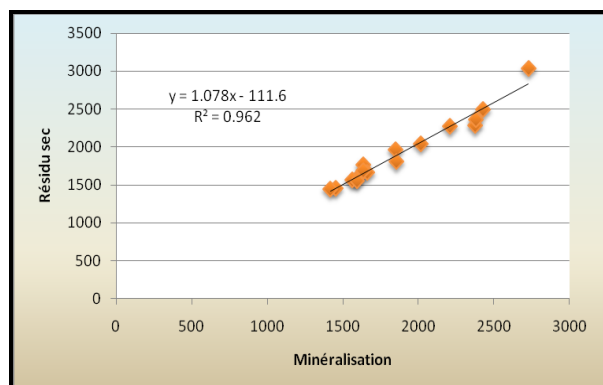
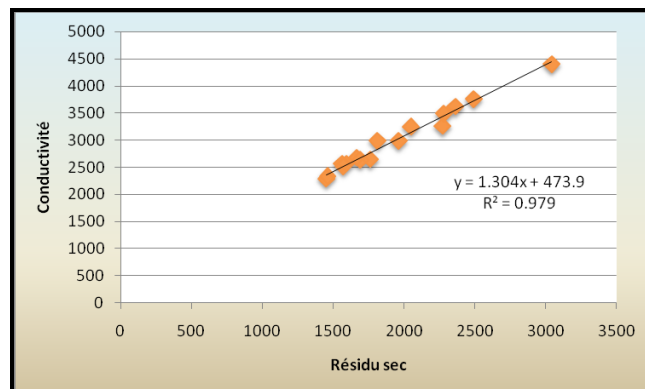
Conductivité (µS/cm)	Minéralisation (mg/l)	Conductivité (µS/cm)	Minéralisation (mg/l)
Conductivité < 0	$M = \text{Conductivité} * 1,365079$	Conductivité < 100	Très faible
$50 < \text{Conductivité} < 166$	$M = \text{Conductivité} * 0,947658$	$100 < \text{Conductivité} < 200$	Faible
$166 < \text{Conductivité} < 333$	$M = \text{Conductivité} * 0,769574$	$200 < \text{Conductivité} < 333$	moyennement accentuée
$333 < \text{Conductivité} < 833$	$M = \text{Conductivité} * 0,715920$	$333 < \text{Conductivité} < 666$	Moyenne
$833 < \text{Conductivité} < 1000$	$M = \text{Conductivité} * 0,758544$	$666 < \text{Conductivité} < 1000$	Importante
Conductivité < 1000	$M = \text{Conductivité} * 0,850432$	Conductivité > 1000	Excessive

III.3.5. Résidu sec: Le résidu sec représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et les matières organiques contenus dans l'eau. Ses valeurs peuvent être mesurées à partir de la mesure de la conductivité. Pour des raisons de saveur, l'O.M.S. recommande une valeur limite de 1000 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine. Dans les pays à climat semi aride et aride cette valeur est souvent largement dépassée.

Les eaux de cette région peuvent avoir des minéralisations relativement élevées qui atteignent parfois 3040 mg/l (Azrafil01). Et le minimum est enregistré au forage n° 15 (1450 mg/l). Cela s'explique par la solubilité des éléments des terrains traversés, et avec les températures les plus élevés en été, elle favorise l'évapotranspiration des eaux et la formation des Sebkhass.

a. Relation Résidu sec-Minéralisation: D'après les valeurs de Résidu sec et de la minéralisation, le tracé correspondant à la relation (Résidu sec-Minéralisation) montre que cette Résidu sec est influencé par la minéralisation. On constate qu'il y a une bonne corrélation (fig.III.3).

b. Relation Conductivité- Résidu sec: On observe qu'il y a une corrélation entre la conductivité et le Résidu sec dans la région, L'augmentation du résidu sec avec l'augmentation du conductivité (fig.III.4).

**Fig.III.3:** Relation Résidu sec-Minéralisation.**Fig.III.4:** Relation conductivité-Résidu sec.

III.3.6. Alcalinité

Elle est en relation avec le pH de l'eau et liée à la présence de bases fortes (Carbonates et alcalin) et de bases faibles (bicarbonates). Nous pouvons distinguer deux types d'alcalinité qui correspondent à deux bornes de pH :

- le titre alcalimétrique (TA) : qui représente la quantité de bases fortes.
- Le titre alcalimétrique complet (TAC): qui correspond aux bases faibles et aux bases fortes.

A partir des valeurs du pH mesurés, on peut déduire que :

- Le TA = 0 pour l'ensemble des forages du fait que le pH ne dépasse pas 8.3 (Rodier, 2009).
- Les valeurs du TAC pour les autres forages varient de 7°F au forage n° 1 à 20°F au forage n° 8. (Voir tab III.1.)

III.3.7 Dureté totale ou TH (Titre Hydrotimétrique) :

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium exprimée en degré français (°F), la dureté des eaux des forage de la région d'étude (Figure III.5) se situe entre 49 et 127°F, ces teneurs traduisent des eaux très dures qui sont supérieures à 30°F.

$$TH = [Ca^{+} + Mg^{+}] \text{ méq/l}$$

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

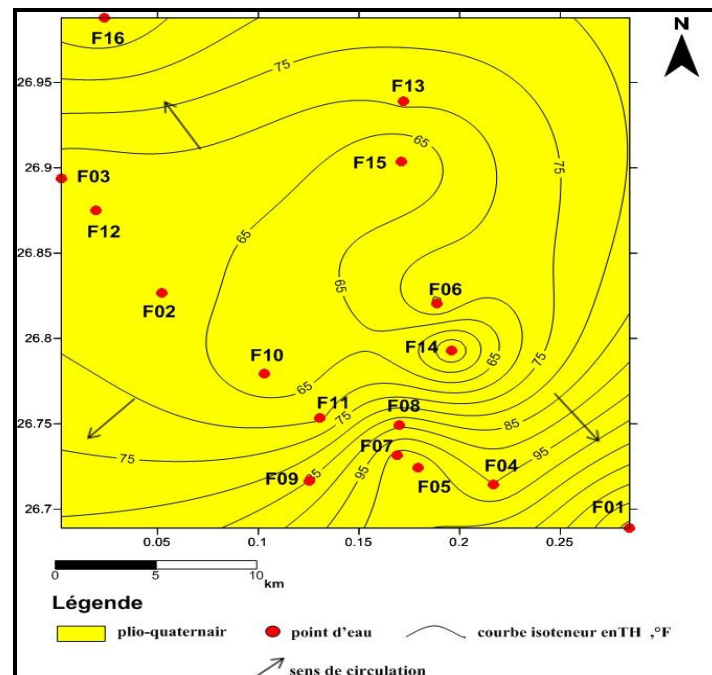


Fig.III.5: Carte d'isoteneur en dureté totale

Tab.III.3: Qualité de l'eau en fonction du TH

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

Tab.III.4: Qualité de l'eau des forages

Forage	TH °F	Résuletant	Forage	TH °F	Résuletant
F1	130.17	Très dure	F9	86.67	Très dure
F2	69.67	Très dure	F10	62.67	Très dure
F3	67.42	Très dure	F11	70.75	Très dure
F4	96.42	Très dure	F12	67.67	Très dure
F5	106.67	Très dure	F13	73.08	Très dure
F6	77.92	Très dure	F14	49.96	Dure
F7	104.58	Très dure	F15	61.17	Très dure
F8	90.67	Très dure	F16	92.42	Très dure

III.3.8. Balance ionique

La qualité des analyses testées par la balance ionique, permet de déterminer le Pourcentage d'erreur à l'aide de la relation suivante :

$$e\% = \left[\frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right] \times 100$$

A partir du calcul du pourcentage d'erreur si:

$$e < 5\% \text{ bonne analyse} \quad 5\% < e < 10\% \text{ analyse acceptable} \quad e > 10\% \text{ mauvaise analyse}$$

Les résultats d'analyse d'eau montrent un pourcentage d'erreur relativement inférieur à 5% pour l'ensemble des échantillons.

Tab.III.5: Calcul d'erreur sur les analyses chimiques.

N°Forage	E%	Analyses	N°Forage	E%	Analyses
F1	5	analyse acceptable	F9	3	analyse acceptable
F2	1	bonne analyse	F10	2	bonne analyse
F3	6	analyse acceptable	F11	4	analyse acceptable
F4	1	bonne analyse	F12	1	bonne analyse
F5	2	bonne analyse	F13	4	analyse acceptable
F6	2	bonne analyse	F14	0	bonne analyse
F7	3	analyse acceptable	F15	1	bonne analyse
F8	1	bonne analyse	F16	5	analyse acceptable

III.4. Etude des paramètres chimiques majeurs

III.4.1. Principaux Cations et Anions

L'analyse chimique a concerné les Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ et les Anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- .

III.4.1.1. Ion 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 [$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$] et anhydrite (CaSO_4). Les résultats d'analyses montrent que 81 % des échantillons ont des teneurs inférieures à 200 mg/L, les 19% qui dépassent cette valeur sont localisés au niveau des forages (F1 et F5).

III.4.1.2. Ion Magnésium (Mg^{2+}): C'est le résultat de la dissolution des formations du Sénonien carbonaté, par dissolution des dolomies dans le terrain anhydrite que (MgSO_4), ou soit par formations dolomitiques libérant le magnésium par l'attaque des eaux en présence de gaz carbonique, la valeur de Mg^{2+} présent dans le CI (dans la région d'étude) varie entre 57 et 154 mg/L.

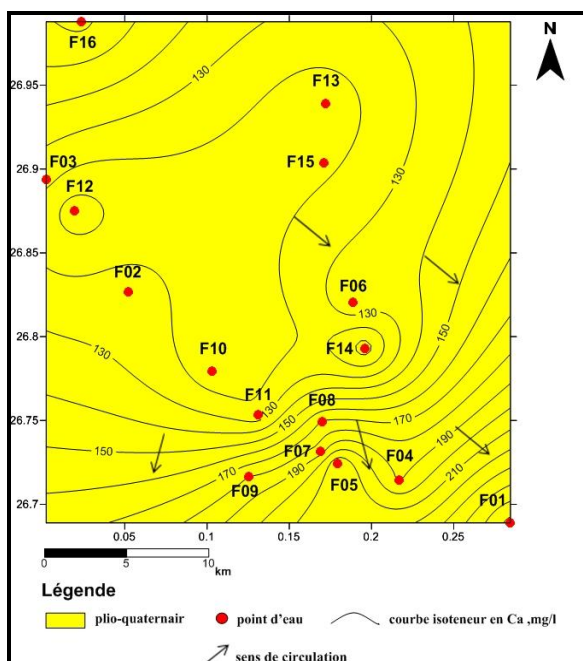


Figure III.6: Carte isoteneur en ion Calcium.

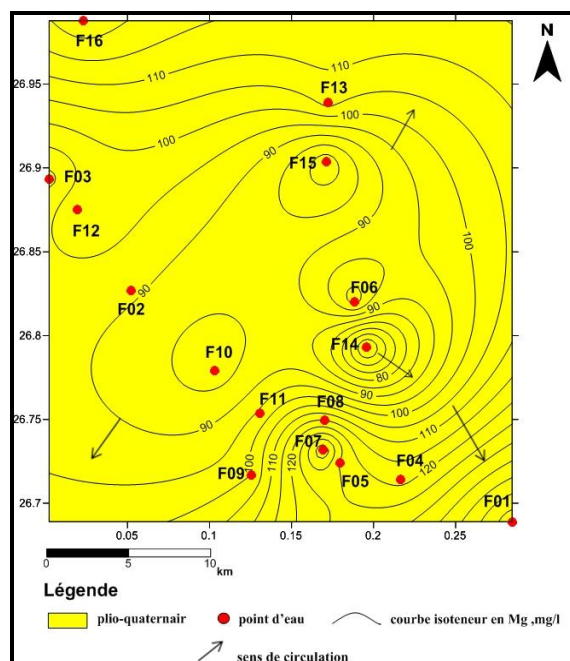


Figure III.7: Carte isoteneur en ion Magnésium.

III.4.1.3. Ion Sodium et ion Potassium (Na^+ , K^+): L'eau contient toujours du Sodium, qui provient du lessivage des formations géologiques riches en NaCl , ou bien de dissolution des formations argileuses et marneuses. Les valeurs de Na^+ présent dans le CI (région d'étude) varie entre 235 et 432 mg/L (Fig.III.8). Contrairement au Potassium qu'on trouve difficilement dans l'eau, sa valeur dans le CI (région d'étude) est entre 14 et 40 mg/L (Fig.III.9).

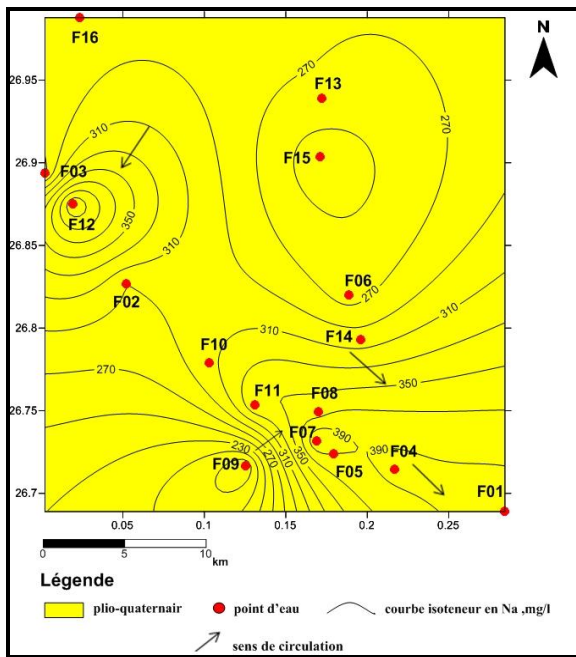


Fig.III.8: Carte isoteneur en ion Sodium.

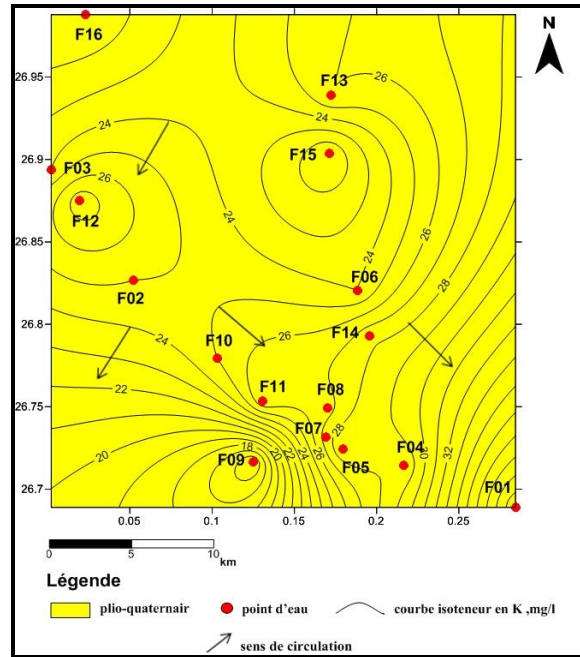


Fig.III.9: Carte isoteneur en ion Potassium.

III.4.1.4. Chlorures (Cl⁻): Dans les eaux souterraines on rencontre les chlorures en grande quantité, qui proviennent de la dissolution et de lessivage des terrains salifères, leurs valeurs dans le CI (région d'étude) varient entre 300 et 652 mg/L (fig.III.10).

III.4.1.5. Sulfates (SO₄²⁻): Ils apparaissent dans les eaux naturelles, résultat d'une légère solubilité des sulfates de Calcium (CaSO₄) des formations gypseuses, ou bien du lessivage des terrains argileux et marneux, la teneur admissible dans l'eau est de 83 mg/L mais dans la région d'étude varient entre 310 et 1000 mg/L (fig.III.11).

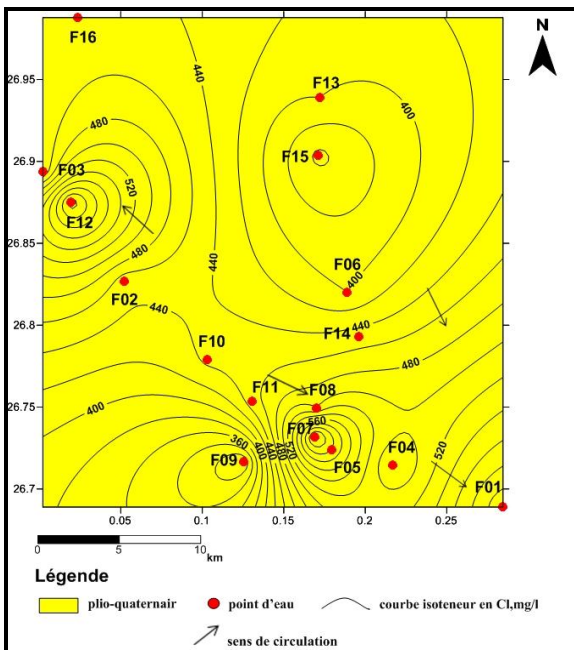


Fig.III.10: Carte isoteneur en Chlorures.

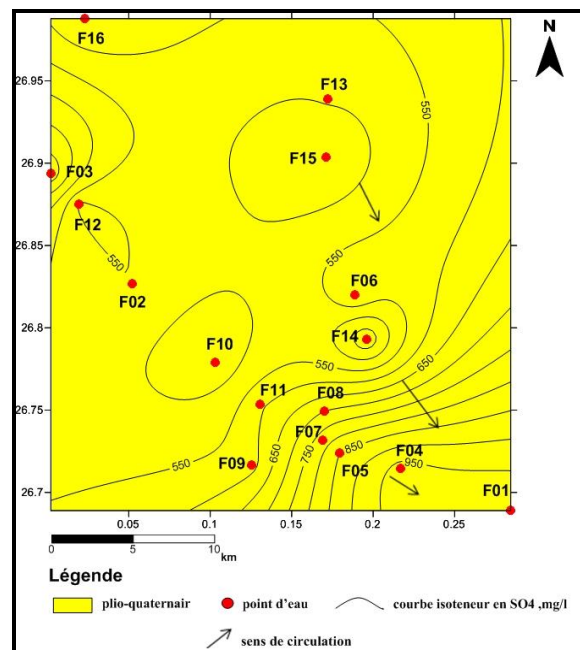
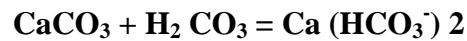


Fig.III.11: Carte isoteneur en Sulfates.

III.4.1.6. Hydrogénocarbonates (HCO₃⁻): A partir de l'altération des roches carbonatées et en présence d'acide carbonique, la calcite peut se dissoudre pour donner du bicarbonate de calcium.



Le tracé des courbes d'isoteneur en Hydrogénocarbonates (Fig.III.12) montre que la concentration en HCO₃ varie entre 85mg/L au forage (F1) et 244mg/L au forage (F9), avec une moyenne de 140 mg/L .

III.4.1.7. Nitrates (NO₃⁻): Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée, en général à l'utilisation des engrais chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées. La carte d'isoteneur en nitrates (fig.III.13) montre la zone de concentration qui présente des fortes valeurs de nitrates, elles sont dues aux activités agricoles dans la région et aux rejets des eaux usées. C'est au niveau des eaux des forages F3, F4, F5, F9, F10, que l'on enregistre la teneur la plus élevée en NO₃⁻, avec une valeur maximale de 100mg/L au F5, situé à proximité des terres irriguées.

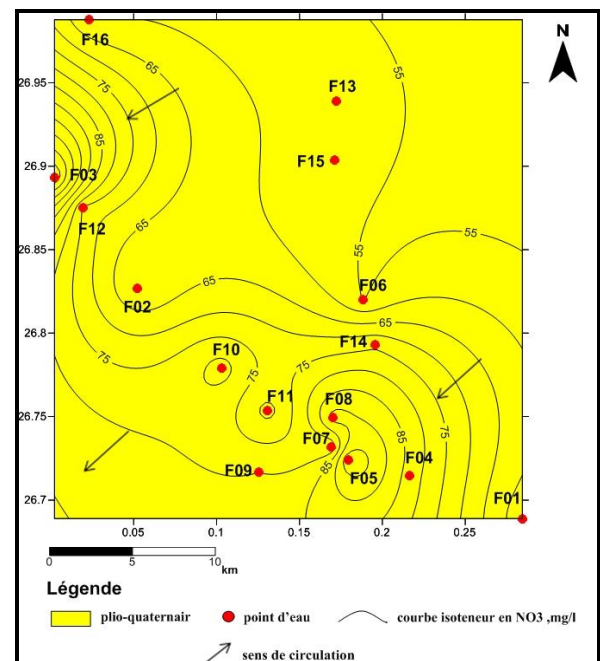
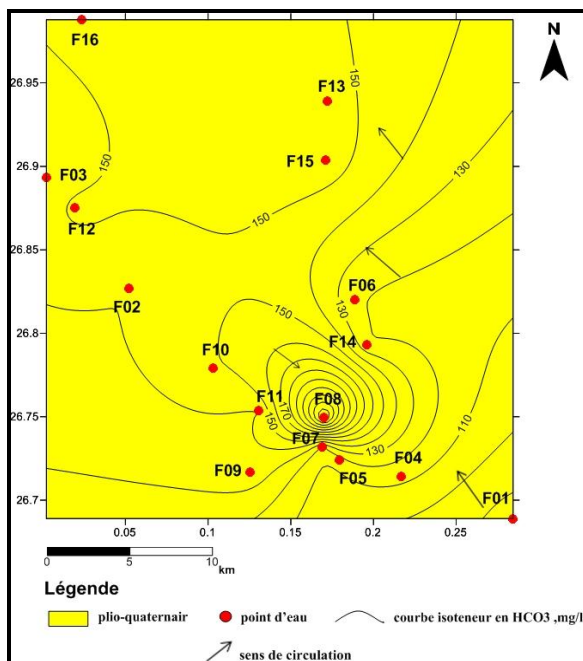


Figure.III.12: Carte isoteneur en Hydrogénocarbonates. **Figure.III.13:** Carte isoteneur en Nitrates.

III.5. Relation chimiques

III.5.1. Sodium-Chlorure (Na-Cl): L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle entre le sodium et les chlorures (Fig.III.14) ce qui indique une origine commune, probablement l'halite (NaCl), et qui confirme la domination du faciès chloruré sodique. Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0.85.

III.5.2. Sulfate-Calcium (SO₄-Ca): Les sulfates ont une relation proportionnelle avec le Calcium, donc ils ont d'origines communes, soit du gypse (CaSO₄, 2H₂O) soit de l'anhydrite (CaSO₄), avec un excès pour les sulfates, d'où l'échange de base du calcium des formations argileuses. Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0.76 (Fig.III.15).

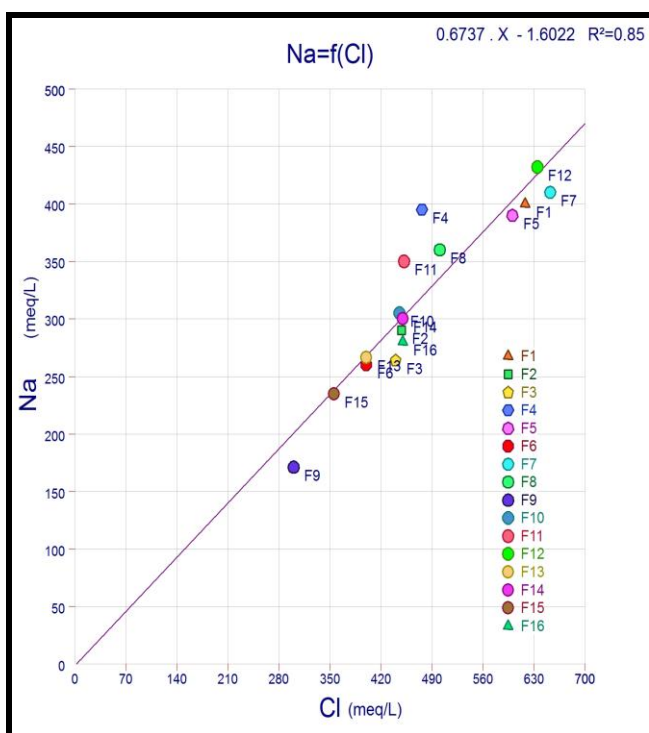


Fig.III.14: Relation Na-Cl

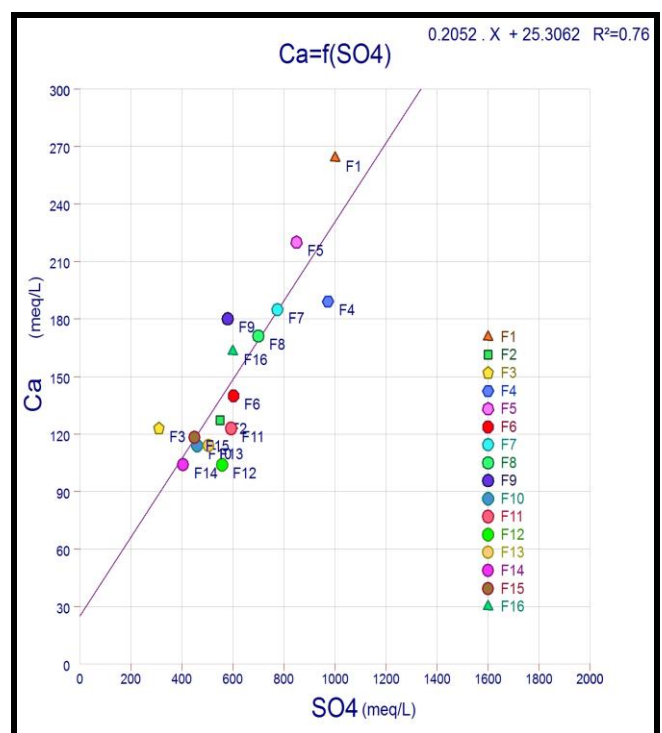


Fig.III.15: Relation SO₄-Ca.

III.5.3. Sodium-Calcium (Na-Ca): La (fig.III.16) montre une relation entre le sodium et le calcium, mais l'existence aussi d'une autre source pour le sodium par un échange de base des formations argileuses de la région d'où l'existence d'un excès de sodium. Le coefficient de corrélation de la régression linéaire du sodium et calcium est de 0.14

III.5.4. Sulfate- Magnésium (SO₄-Mg): La (fig.III.17) indique que la relation sulfate magnésium est bien liée avec une évolution proportionnelle, donc l'origine et probablement du sel de magnésium la kiesérite (MgSO₄). Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0.69.

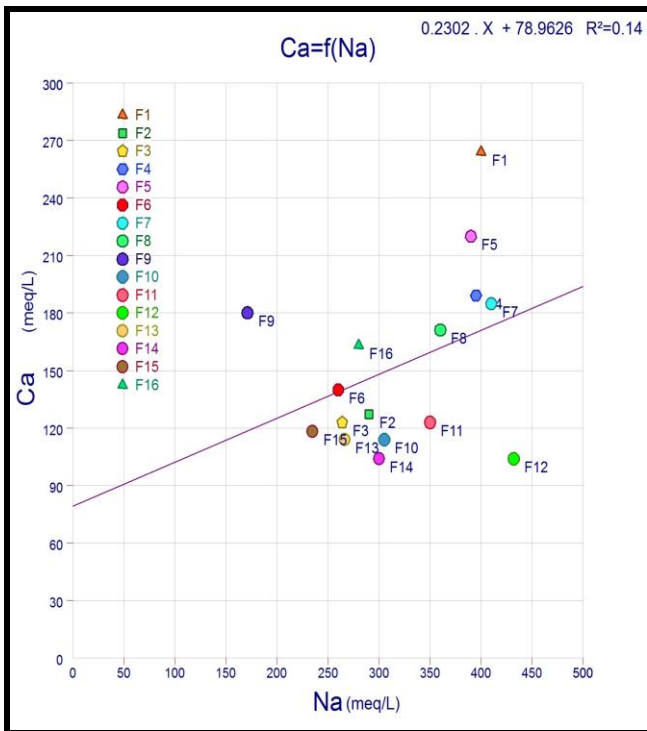


Figure.III.16. Relation Na-Ca.

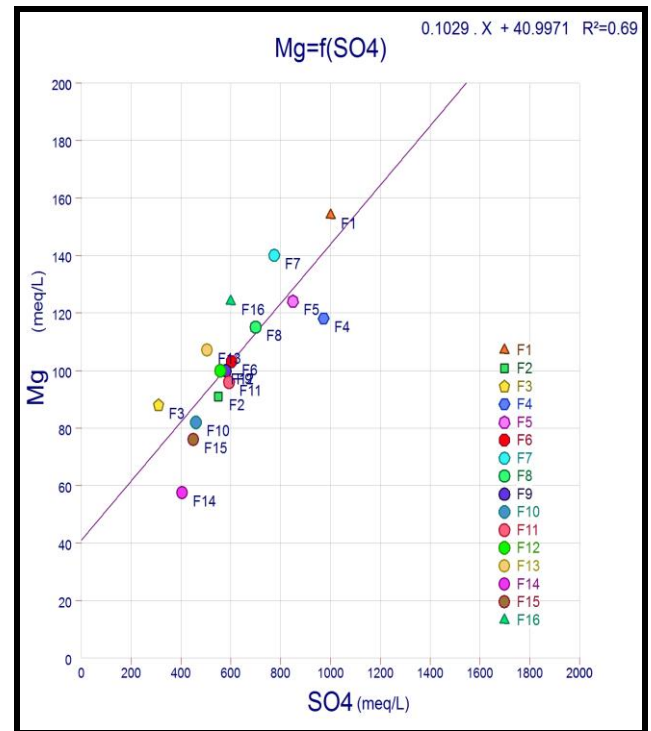


Figure.III.17. Relation SO₄-Mg.

III.6. Classification des eaux

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs.

Dans le cadre de cette étude, seulement la classification de Stabler, la classification de Piper, et la classification de Schoeller-Berkaloff ont été prises en considération.

III.6.1. Classification de STABLER

La formule caractéristique de STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. On obtient la quantité en réaction chimique pour cent r %, puis on classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant de gauche à droite. Les résultats obtenus permettent de distinguer les différents faciès (tab.III.6).

Tab.III.6. Formule et faciès chimique des eaux de la nappe du Continental Intercalaire.

Echantillon	Anions	Cations	Faciès des eaux
1	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
2	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	chlorurée sodique.
3	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
4	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
5	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
6	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
7	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
8	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
9	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée calcique.
10	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
11	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
12	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	chlorurée sodique.
13	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
14	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
15	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.
16	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$	Sulfatée sodique.

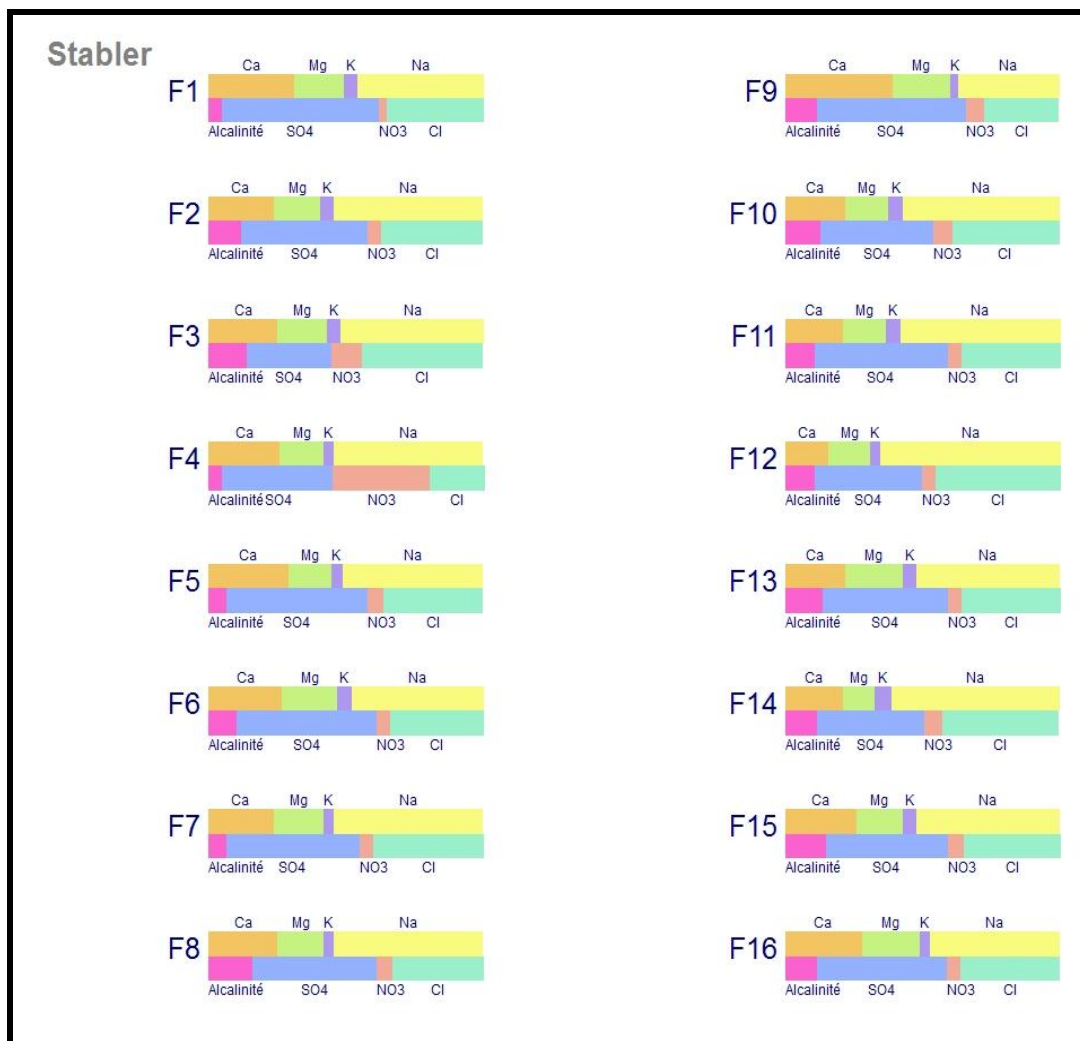


Figure III.18 : Représentation des éléments chimiques en pourcentage selon STABLER Des eaux de forage.

III.6.2. Diagramme de Piper

La méthode consiste à reporter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réaction de chaque cation et anion. Ces eaux sont représentées sur le losange en un seul point qui indique la famille chimique. Ce diagramme permet de regrouper un grand nombre d'analyse sans pour autant faire une subdivision précise. La majorité des eaux de la nappe du Continental Intercalaire sont regroupés en deux principaux faciès selon le diagramme de Piper (Fig.III.19):

- Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.
- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

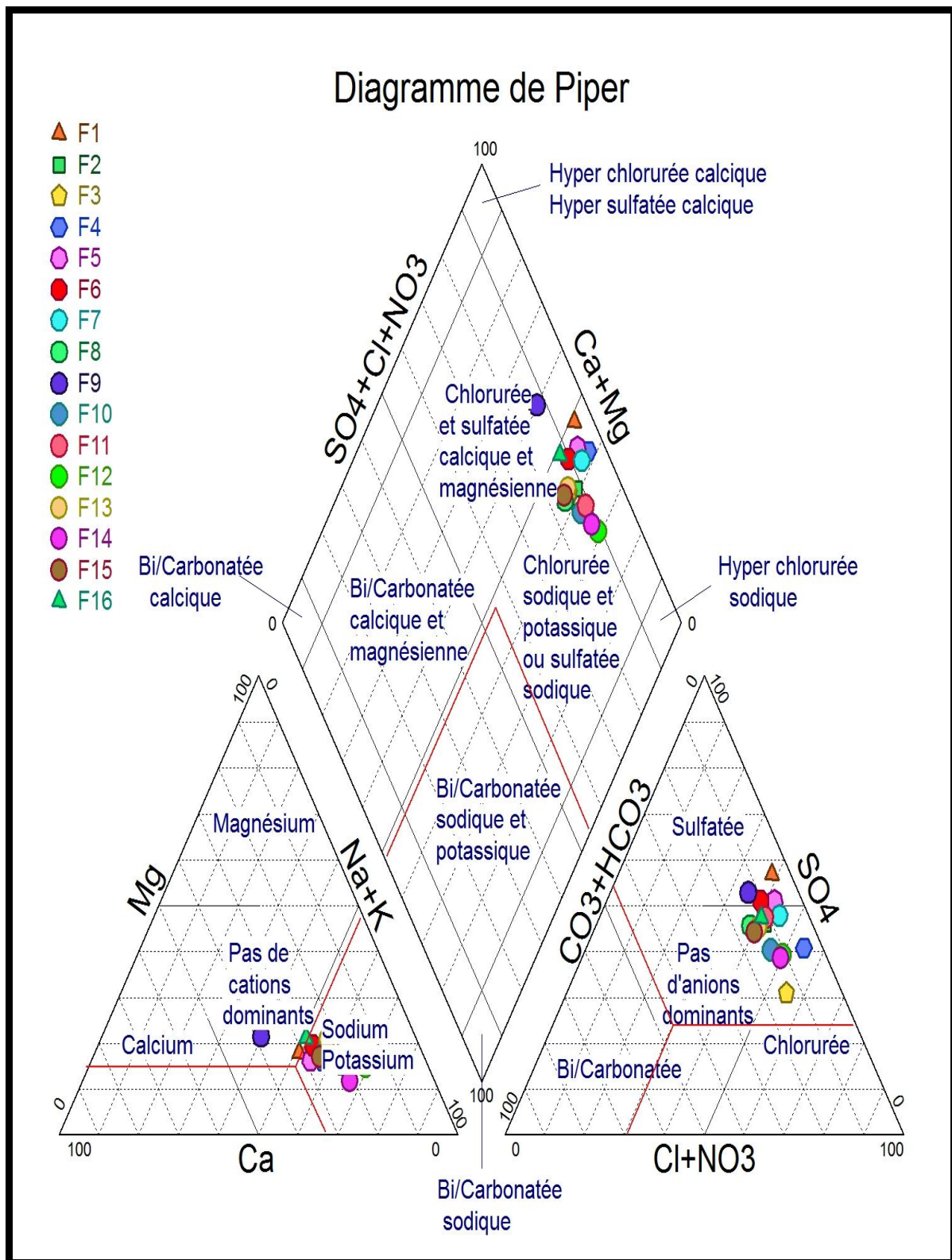


Figure.III.19 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.

III.6.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff : (Fig III.20, Fig III.21) Ce diagramme à échelle logarithmique, permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions dominants et donc de déduire rapidement les différentes familles chimiques. Le report des teneurs sur le diagramme, permet de distinguer deux grandes familles d'eaux :

* Des eaux à faciès Sulfaté sodique représentant 81% de forages, de formule caractéristique :

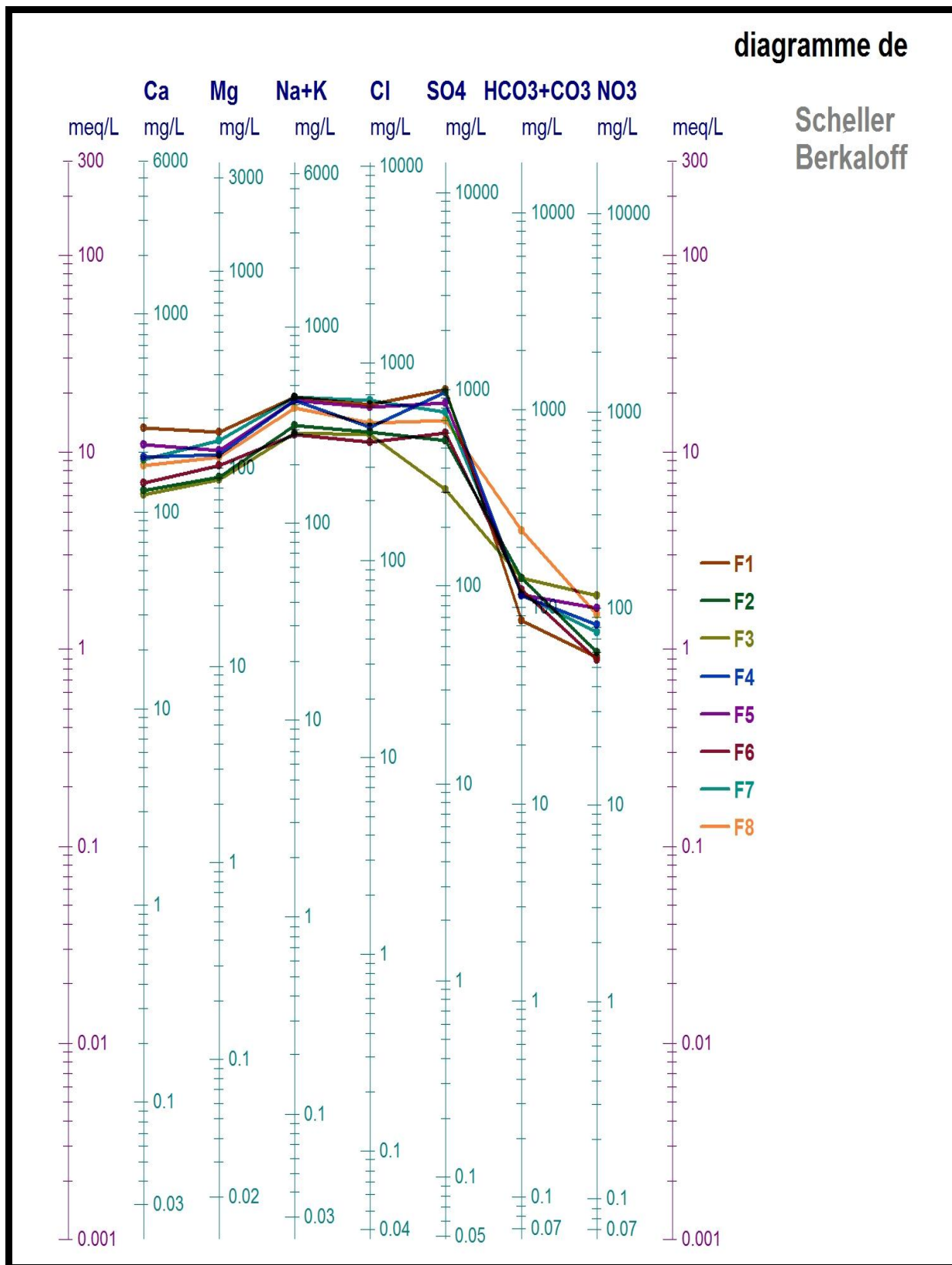
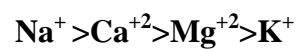
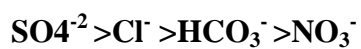


Fig.III.20: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

* Des eaux à faciès Chloruré sodique représentant 19% de forages, de formule caractéristique:

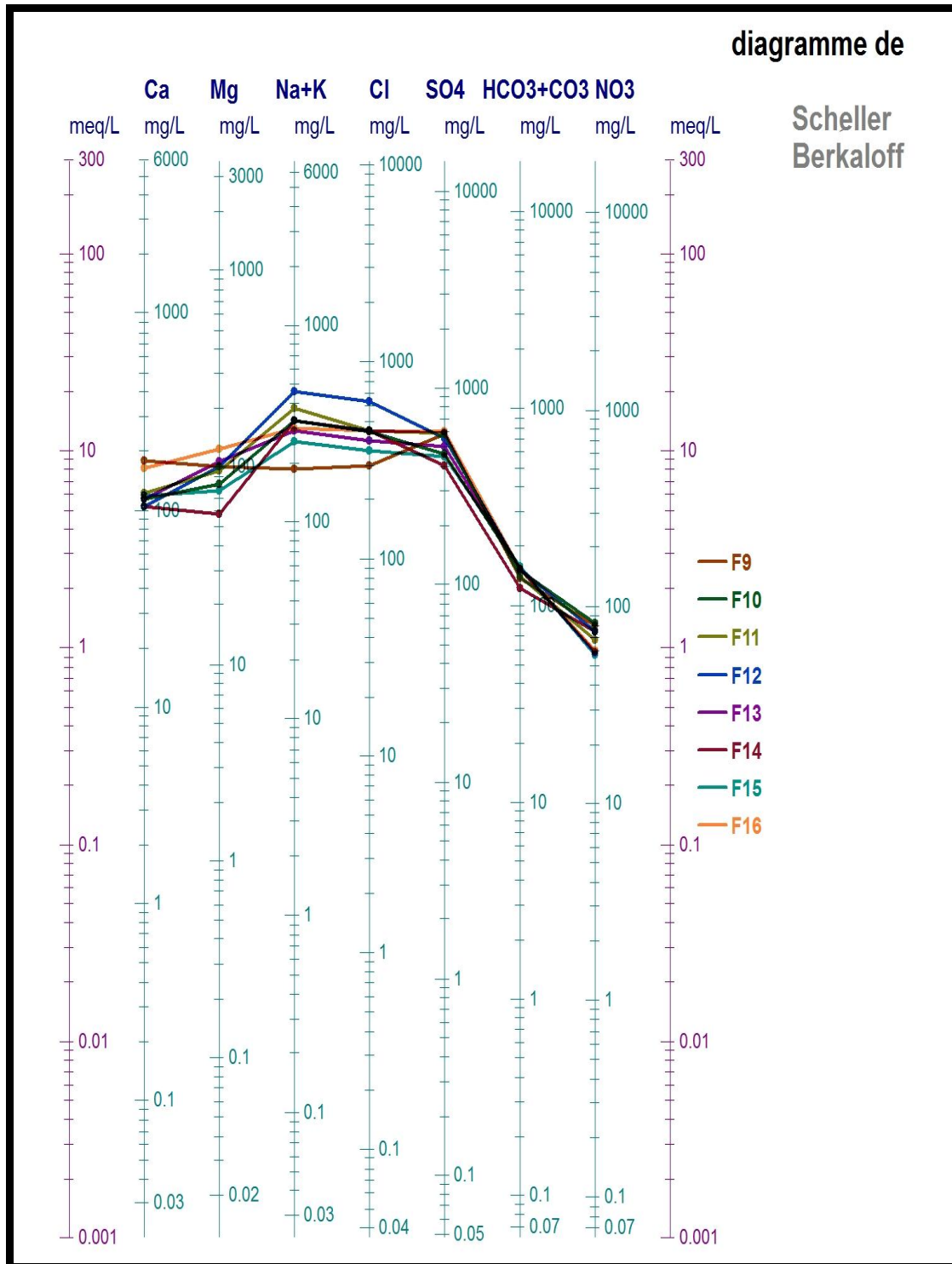
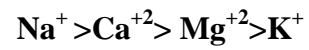
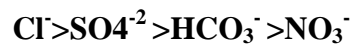


Fig.III.21 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

III.7. Etude des rapports caractéristiques

L'étude des rapports caractéristiques les plus courants en hydrochimie permet de préciser le milieu de provenance des eaux souterraines et de comparer leur concentration en éléments chimiques. L'étude a concerné les rapports suivants : SO_4/Cl , Na/Cl et Mg/Ca .

Les résultats obtenus sont représentés dans le (tab.III.7)

Tab.III.7: Calcul des rapports caractéristiques.

Echantillon	r (SO_4/Cl)	r (Mg/Ca)	r (Na/Cl)
F1	1.18	0.97	1.03
F2	0.90	1.19	1.03
F3	0.51	1.19	0.95
F4	1.49	1.04	1.32
F5	1.03	0.94	1.03
F6	1.10	1.23	1.03
F7	0.87	1.26	1.00
F8	1.02	1.12	1.15
F9	1.41	0.93	0.91
F10	0.75	1.20	1.09
F11	0.96	1.30	1.23
F12	0.64	1.60	1.08
F13	0.92	1.56	1.06
F14	0.66	0.92	1.06
F15	0.92	1.07	1.05
F16	0.97	1.27	0.99

III.7.1. Rapport SO_4/Cl

Ce rapport est inférieur à 1 aux forages 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16. Il montre une concentration élevée des Chlorures. Les autres forages présentent un rapport supérieur à l'unité, montrant la prédominance de SO_4 dans ces eaux, liée plus souvent au lessivage des terrains argileux et à la dissolution du gypse.

III.7.2. Rapport Mg/Ca

Ce rapport est inférieur à 1 aux forages 1, 5, 9, 14. Cela traduit la prédominance du calcium sur le magnésium, dû à la dissolution du massif carbonaté (Carbonifère). Les autres points présentent un rapport supérieur à l'unité, ce qui implique la prédominance du Mg, qui provient du lessivage du faciès gypseux.

III.7.3. Rapport Na/Cl

Ce rapport est généralement supérieur à l'unité pour tous les forages analysés, ce qui détermine la prédominance du sodium sur le Chlorure.

III.8. Indice d'échange de base (i e b) :

L'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'eau au cours de son séjour souterrain entre une relation avec différentes substances ayant la propriété d'échanger les ions contre ceux contenues dans les eaux parmi ces substances nous avons (minéraux, l'hydroxyde ferriqueetc.) D'après SCHELLER (1943), l'indice d'échange de base est exprimé par la formule suivante :

$$I e b = [rCl^- - r(Na^+ + K^+)] / rCl^-$$

Si $i e b > 0$ => les eaux échangent des ions de $Na^+ + K^+$ contre les ions de Ca^{+2} et Mg^{+2} du terrain encaissant.

Si $i e b = 0$ => il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant.

Si $i e b < 0$ => l'encaissant libère les ions de $Na^+ + K^+$ et fixe les ions de Ca^{+2} , Mg^{+2} de l'eau.

L'indice d'échange de base calculé dans le cas présent varie de 0,11 à 0,38. On remarque que tous les échantillons d'eaux analysés ont un (i e b) supérieur à zéro, donc les eaux échangent des ions de $Na^+ + K^+$ contre les ions de Ca^{+2} et Mg^{+2} du terrain encaissant, (Fig.III.8).

Tab.III.8: Calcul de l'indice d'échange de base .

Forage	i e b	Forage	i e b
F1	0.29	F9	0.38
F2	0.3	F10	0.26
F3	0.35	F11	0.17
F4	0.11	F12	0.27
F5	0.3	F13	0.27
F6	0.29	F14	0.27
F7	0.33	F15	0.28
F8	0.23	F16	0.33

III.9. Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux superficielles et souterraines peuvent être utilisées aussi bien pour l'A.E.P que pour l'irrigation ou l'industrie. Pour l'irrigation, en raison de l'effet de leurs éléments minéraux sur les végétaux, la méthode du taux d'absorption du sodium mis au point en 1969 par le Geological Survey a

été appliquée. Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le S.A.R donné par la formule :

$$\text{SAR} = \text{Na} / \sqrt{((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2)}$$

la concentration de chaque ion est exprimées en méq/L. selon le taux d'absorption de sodium (S.A.R), on a la classification suivante (tab.III.9) :

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

Le tableau.III.9. ci-dessous permet de voir après le calcul de S.A.R que la majorité des eaux de la nappe de notre région sont excellentes pour l'irrigation et qui peuvent être utilisée avec peu de risque d'alcalinisation des soles. La nature et le pourcentage des éléments chimiques dissous dans l'eau présentent une influence sur le type de culture pratique.

Tab.III.9: Résultats du S.A.R.

Forage	SAR	Qualité de l'eau
F1	5.04	eau excellente
F2	4.99	eau excellente
F3	4.62	eau excellente
F4	5.78	eau excellente
F5	5.43	eau excellente
F6	4.23	eau excellente
F7	5.76	eau excellente
F8	5.43	eau excellente

Forage	SAR	Qualité de l'eau
F9	2.64	eau excellente
F10	5.54	eau excellente
F11	5.98	eau excellente
F12	7.55	eau excellente
F13	4.47	eau excellente
F14	6.1	eau excellente
F15	4.32	eau excellente
F16	4.19	eau excellente

III.10. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire

III.10.1. Les normes algériennes pour l'eau potable.

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricte fixée par les responsables de la santé. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon le degré de développement des pays, c'est pour cette raison que les normes des pays développés (les Etats unis, Canada, l'Union Européenne etc.) sont plus sévère en comparaison avec les pays en voie de développement (Algérie, Egypte, Tunisie etc.), où les moyens techniques de traitement des eaux sont moins disponibles. L'OMS fixe des normes moins sévères que celles des

pays développés. Il existe ainsi près de 63 critères pour une eau propre à la consommation : ces critères, décidés selon le principe de précaution maximale qui permet de protéger les personnes dont la santé est la plus fragile, portent sur plusieurs paramètres fixés avec l'aide de l'U.E. En Algérie, l'article 10 du 26 juillet 2000 fixe la norme algérienne pour l'eau potable (Tab.III.7).

Tab.III.10: Normes Algériennes de potabilité.

Paramètre	Valeur	Unité
PARAMETRESPHYSICO-CHIMIQUES		
Température	25	°C
pH	6.5-8.5	-
Conductivité	2800	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 INDESIRABLES		
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l
Ammonium	0.5	mg/l
Phosphates	0.5	mg/l

III.10.2. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire.

La comparaison entre les résultats des mesures hydrochimiques et les normes Algériennes de l'eau potable montre que tous les eaux sont non potables parce que les concentrations des éléments chimique dépassent les valeurs recommandées (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , NO_3^-). Elles nécessitent de traitement avant leurs utilisations pour l'alimentation en eau potable.

Tab.III.11: potabilité des eaux de la nappe de CI de Reggane

Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PH	CE	RS	Remarque
Norme	200	150	250	15	600	400	50	6.5-8.5	2800	2000	POTABLE
F1	264	154	400	40	618	1000	56.5	7.15	4400	3040	N. POTABLE
F2	127	91	290	25	448	550	60	7.03	2650	1760	POTABLE
F3	123	88	264	24	440	310	115	7.27	2570	1590	POTABLE
F4	189	118	395	28	476	973	82.5	7.16	3490	2280	N. POTABLE
F5	220	124	390	29	600	850	100	7.09	3760	2490	N. POTABLE
F6	140	103	260	24	400	603	54.8	7.57	2680	1665	POTABLE
F7	185	140	410	27.5	652	775	75.5	7.2	3620	2360	N. POTABLE
F8	171	115	360	26.5	500	700	92	7.04	3260	2270	N. POTABLE
F9	180	100	171	14.9	300	580	80	7.82	2520	1570	POTABLE
F10	114	82	305	25	445	460	82.5	7.65	2570	1560	POTABLE
F11	123	96	350	27	452	593	68	7.07	2990	1960	N. POTABLE
F12	104	100	432	27.7	634	558	74	7.94	3250	2047	N. POTABLE
F13	114	107	266	26	400	505	58.4	7.28	2640	1690	POTABLE
F14	104	57.5	300	27.7	450	405	74	7.74	2340	1460	POTABLE
F15	118	76	235	21	355	450	57	7.4	2290	1450	POTABLE
F16	163	124	280	21	450	600	60	7.12	2990	1810	N. POTABLE

III.11. La distribution spatiale des éléments (TH;NO₃ et RS)

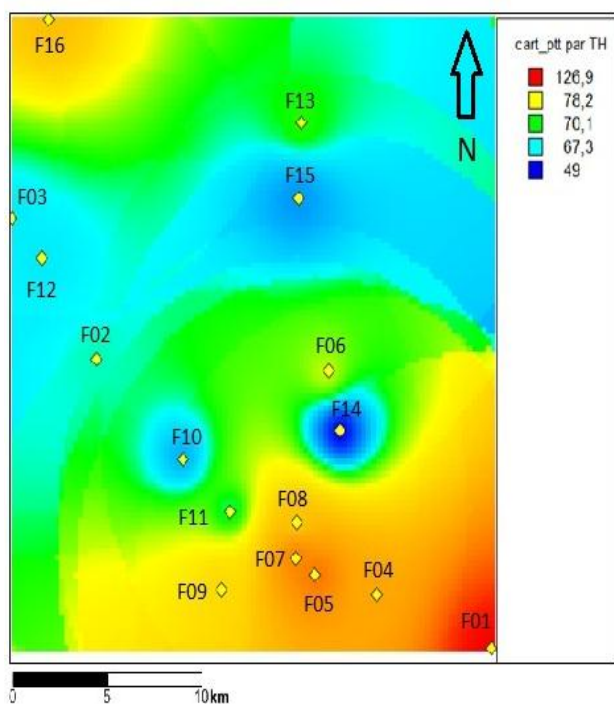


Fig.III.22 : carte distribution spatiale du TH (influence surfacique)

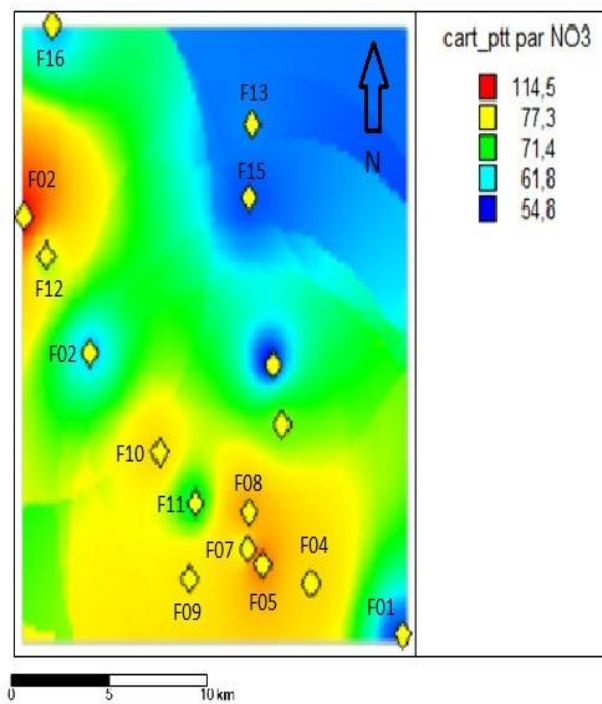


Fig.III.23 : carte distribution spatiale du NO3 (influence surfacique)

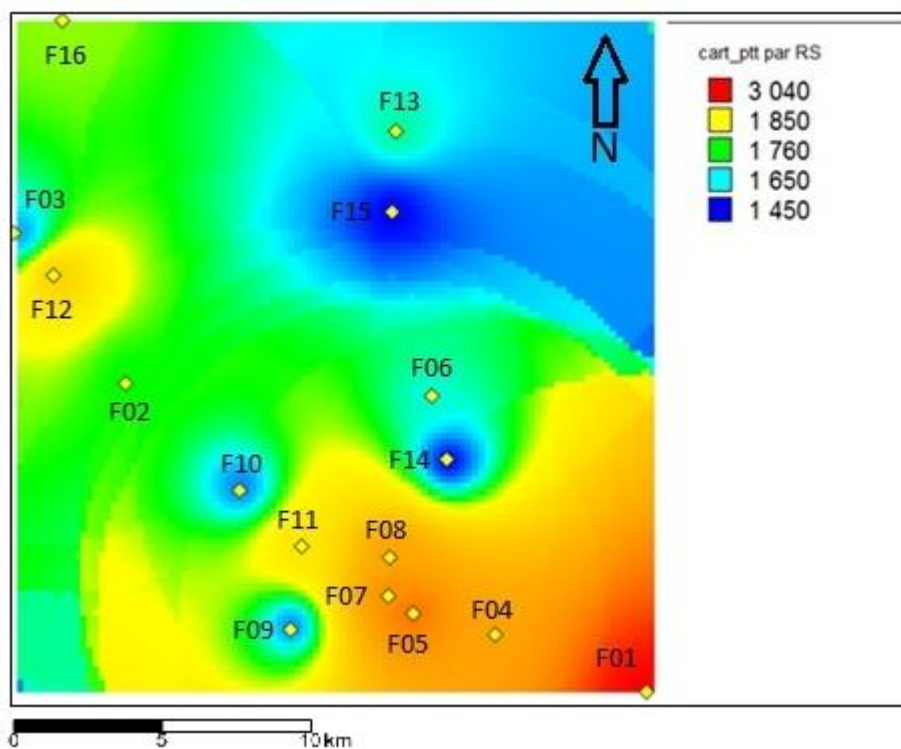


Fig.III.24: carte distribution spatiale du RS (influence surfacique)

III.12. Conclusion :

L'étude hydrochimique effectuée sur les points d'eau captant la nappe du Continental Intercalaire de la région de Reggane montre que les eaux présentent une minéralisation élevée, ceci est dû à la nature géologique des formations, avec une prédominance de terrains argileux et des passages gypseux, d'une part, et aux phénomènes d'évaporation intense d'autre part, notamment au niveau des Sebkhas.

La majorité des éléments chimiques évoluent du Sali au Nord-Ouest vers Azrafil au Sud-Est de la région, conformément à la direction global du sens d'écoulement. Les eaux présentent un faciès majoritairement sulfaté sodique, évoluant vers un faciès chloruré sodique. L'étude des teneurs en nitrates indique généralement des valeurs élevées à très élevées, probablement causée par une pollution anthropique (agriculture et les eaux usées domestiques). Le calcul du S.A. R a confirmé que les eaux du secteur étudié sont excellentes pour l'irrigation. La comparaison entre les résultats des mesures hydrochimiques et les normes Algériennes de l'eau potable montre que tous les eaux sont non potables parce que les concentrations des éléments chimique dépassent les valeurs recommandées (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-). Elles nécessitent de traitement avant leurs utilisations pour l'alimentation en eau potable.

Conclusion

générale

Conclusion générale

L'intérêt de cette étude hydrogéologique et hydrochimique est la valorisation des ressources en eaux souterraines dans la région de Reggane (Adrar). Il ressort de cette étude :

La région de Reggane a un climat hyperaride avec deux saisons distinctes, l'une froide en hiver l'autre chaude et sèche en été (45°C), avec des précipitations moyennes mensuelles de l'ordre de 16mm, la température moyenne mensuelle est de 26°C, l'évapotranspiration potentielle (ETP) est élevée, elle est de l'ordre de 1211.69mm.

Les travaux géologiques réalisés sur la région ont mis en évidence l'existence d'une structure importante sur le plan hydrogéologique : le Continental Intercalaire (CI). A partir des constatations faites sur terrain pendant l'inventaire des points d'eau et en analysant la carte piézométrique, on remarque que la nappe du Continental Intercalaire, au niveau de la région de Reggane, est caractérisée par un potentiel en eau souterraine très important. Elle est largement exploitée par des forages et puits traditionnels.

L'interprétation de la carte piézométrique de la région d'étude montre que l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Nord-Est vers le Sud-ouest.

Le gradient hydraulique au Nord ouest entre F16 et F03, est de l'ordre de $3.73 \cdot 10^{-3}$, au centre entre F6 et F10, est de l'ordre de $4.94 \cdot 10^{-3}$, au Sud entre F4 et F9, est de l'ordre de $4.84 \cdot 10^{-3}$. Les valeurs du gradient hydraulique sont différentes d'une zone à l'autre.

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.

On déduit des analyses hydrogéologiques que la proportion de rayonnement nucléaire dans les eaux souterraines en demande les analyse hydrochimique pour extraire le résultat exact dans la région de Reggan.

L'importance de la minéralisation des eaux de la nappe du CI trouve en grande partie son explication dans la nature géologique des terrains du Crétacé inférieur (grés-argileux, carbonates, et sablo-argileux gypso évaporitiques), elle est comprise entre 1418 et 2728mg/L.

Les eaux de la nappe de Continentale Intercalaire de la région de Reggane sont caractérisées par un pH qui varie de 7.03 à 7.94 et une conductivité qui varie de 2290us/cm à 4400us/cm.

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

La valeur du TA = 0 pour l'ensemble des forages du fait que le pH ne dépasse pas 8.3

Les eaux sont de dures à Très dure, la dureté est TH >32°F.

Deux faciès chimiques caractérisent les eaux de la région : un faciès prédominant c'est le faciès sulfaté -sodique de l'ordre 81% et l'autre, de moindre importance, le chloruré -sodique de l'ordre 19%.

L'étude des principaux rapports caractéristiques confirme que le lessivage et la dissolution des formations gypso-évaporitiques, gypso-calcaires et sablo-argileuse sont à l'origine de la minéralisation des eaux de la nappe du CI.

Selon les prescriptions de l'O.M.S. et les normes algériennes, les eaux de la nappe du Continental Intercalaire sont non potabilité sauf pour quelque point qui sont favorables à la consommation humaine

Les échantillons d'eau utilisés dans cette étude présentent un SAR généralement < 10, ces eaux peuvent être utilisées, pour l'irrigation, avec peu de risque d'alcalinisation des sols.

D'autres facteurs de grande importance peuvent être énoncés, notamment l'activité humaine (rejets domestiques, décharges, rejets industriels, pratiques agricoles,...).

On conclut que les eaux souterraines de la région de Reggane sont plus ou moins propres à la consommation humaine, assez bonnes pour l'irrigation mais même si les ressources sont importantes il est impératif que l'exploitation doit être rationnelle pour préserver cette ressource aux générations futures.

Bibliographie

Bibliographie

[1]; **Cherqui.M &Omeur.I.** Etude des ressources hydriques de la region de Reggane. Mémoire de Master Académique .UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.2017

[2]; **Laabodi 2009**

[3]; **BENHAMZA M., 2013.** Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « foggara » dans la région d’Adrar, Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar-Annaba, 130 p

[4]; **Conrad G.1969** : Les séries carbonifères du Sahara central Algérien, stratigraphie, sédimentations et évolution structurale, Thèse Doctorat d’état, Université Aix, Marseille.

[5]; **Station météorologique d’Adrar 2021**

[6]; **Nioc 1981**

[7]; **BUSSON G., (1970).** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p

[8]; **DAHBI MOHAMMED:** etude hydrogeologique et hydrochimique des eaux souterraines de la region de reggane (wilaya d’adrar). UNIVERSITE de TLEMEN. Diplôme de MASTER.2016

[9]; **LOGANE P. & DUDDY I 1998.** An investigation of thermal history of the ahnet and reggane basins,central algérien and the consequences for hydrocarbon generation and accumulation.in : petroleum geology of north Africa (eds MACGREGOR D.S.,MOODY R.T.J.& CLARK-LOWES D.D.), Geological society of London, Spusial Publicqtion,132,pp. 132-155

[10];**Taybi.A, 2010.**Mémoire d’ingénieur d’état, université Mentouri constantine etude Hydrogéologique de continental intercalaire dans la région Reggane-Aoulef.

[11];**Laparent.1960**

[12]; **OSS, (2003).** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.

[13]; Etude du Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes-Ministère de l'Agriculture et de la Pêche C.D.A.R.S. /Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, C.I.G. Armines, 1999

[14]; **UNESCO 1972** : Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional.

[15]; **Système Aquifère du Sahara Septentrional 2003.**

[16];**Gonflunting et Al.1974**

[17]; **ANRH-DRSO, ADRAR.** Direction régionale Sud-Ouest, ADRAR. Données des forages (2018,2021) de la région du Reggane

[18]; **banaceur omar:** Etude hydrogéologique et hydrochimique de foggara dans la région Touat (Adrar), Diplôme de Master. UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.2016

[19]; **wikipedia**

[20]; **RODIER J., (2009).** L'analyse de l'eau, 9^e Edition, Dunod, Paris, 1579 p.

[21]; **BABASY M., (2005).**Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional, Thèse de Doctorat en Géologie, Faculté de Tunis, Tunisie.250p.

SITE WEB ET ENCYCLOPEDIE ELECTRONIQUES

- [http://en.tutitempo.net /m /climate /algeria.html](http://en.tutitempo.net/m/climate/algeria.html).

LOGICIELS

Surfer 10, Arcgis10.2, Googleearth, MapInfo Professional 8.0, Microsoft Office Excel 2007 et Diagramme.

Annexes

Annexe 1: Résultats d'analyse physico-chimique des eaux en (méq/l)

Forage	Désignation	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
F1	AZRAFIL02	13.2	12.83	18.18	1.05	17.66	20.83	0.91	1.37
F2	IN ZEGLOUF01	6.35	7.58	13.18	0.66	12.8	11.46	0.97	2.26
F3	TINOURT01	6.15	7.33	12	0.63	12.57	6.46	1.85	2.26
F4	TAOURIRT 03	9.45	9.83	17.95	0.74	13.6	20.27	1.33	1.82
F5	REGGANE 01	11	10.33	17.73	0.76	17.14	17.71	1.61	1.87
F6	REGGANE 2	7	8.58	11.82	0.63	11.43	12.56	0.88	1.97
F7	TINOULEF GUEDIMA	9.25	11.67	18.64	0.72	18.63	16.15	1.22	1.87
F8	TAARABET	8.55	9.58	16.36	0.7	14.29	14.58	1.48	3.94
F9	TIMADANINE 01	9	8.33	7.77	0.39	8.57	12.08	1.29	2.21
F10	AIT MESSAOUD ANR	5.7	6.83	13.86	0.66	12.71	9.58	1.33	2.4
F11	EN NEFIS	6.15	8	15.91	0.71	12.91	12.35	1.1	2.26
F12	BAHOU 02	5.2	8.33	19.64	0.73	18.11	11.63	1.19	2.46
F13	SALI 02	5.7	8.92	12.09	0.68	11.43	10.52	0.94	2.47
F14	ZOUJET REGGANE	5.2	4.79	13.64	0.73	12.86	8.44	1.19	1.97
F15	ZOUJET LAHCHEF	5.9	6.33	10.68	0.55	10.14	9.38	0.92	2.52
F16	SALI01	8.15	10.33	12.73	0.55	12.86	12.5	0.97	2.47



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICHER ALGERIENNE DEMOCRATE ET POPULAIRE

وزارة الموارد المائية

MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU

الوكالة الوطنية للموارد المائية

AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

Crée par décret N°81/167 du 25 juillet 1981- Compte Trésorerie d'Alger N°00198000065clé59
الفرع الجنوبي لتجنوب الغرب
Antenne Régionale Sud Ouest

13/01/2021

Demandeur : EL HAMEL EL MOKHTAR
Analyse demandée : AF
Date de Réception : 01/10/2020
N de laboratoire : 7 246
Designation : FORAGE 08 REGGANE

RESULTATS D'ANALYSES

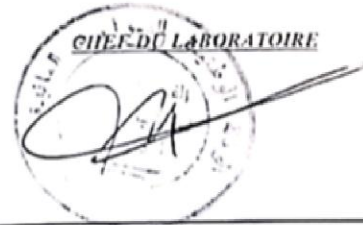
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE	MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE
PH :	8.05	>6.5 et <9	Calcium Ca ⁺⁺ mg/l	200	200.00
Conductivité ms/cm	3,1900	2.80	Magnésium mg ⁺⁺ mg/l	105	150.00
Turbidité eau brute NTU	0.23	5.00	Sodium Na ⁺ mg/l	296	200.00
Turbidité eau déc. NTU	-		Potassium K ⁺ mg/l	19.4	12.00
Residu sec a 110° C mg/l	1970	1500.00	Chlorures Cl ⁻ mg/l	602.97	500.00
Temperature °C	-	25.00	Sulfates SO ₄ ⁻⁻ mg/l	503	400.00
PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS		Bicarbonates HCO ₃ ⁻ mg/l	152.5	-
			Carbonate CO ₃ ⁻⁻ mg/l	ID	-
Oxygène Dissous mg/l	-		Silice SiO ₂ mg/l	8.63	-
Ammonium NH ₄ ⁺ mg/l	0.065	0.50	TH °F	92	-
Nitrite NO ₂ ⁻ mg/l	0.001	0.20	TAC °F	12.5	-
Nitrate NO ₃ ⁻ mg/l	91.19	50.00	TA °F	ID	-
O.phosphate PO ₄ ⁻ mg/l	2.83	0.50	Minéralisat mg/l	1977.8	-
Mat .Ox .(mil.Ac.) mg/l O ₂	1	5.00	Somme des ions mg/l	1970.06	-
Fer mg/l	-	0.30	F - mg/l	-	-
DCO mg/lo ₂	-		DBO mg/lo ₂	-	-

interpretation :

Eau très fortement minéralisée de qualité physico - chimique mauvaise

Le prélevement a été fait par le demandeur

Éditeur : bakhti



ANRH/ D.R.S.O : B.P 364 Adrar (W.ADRAR) - 364 ادرار - 364000
Tél : 049.36.04.67 Fax :049.36.03.95



ENTREPRISE ELHAMEL ELMOKHTAR

المنطقة الصناعية بادرار

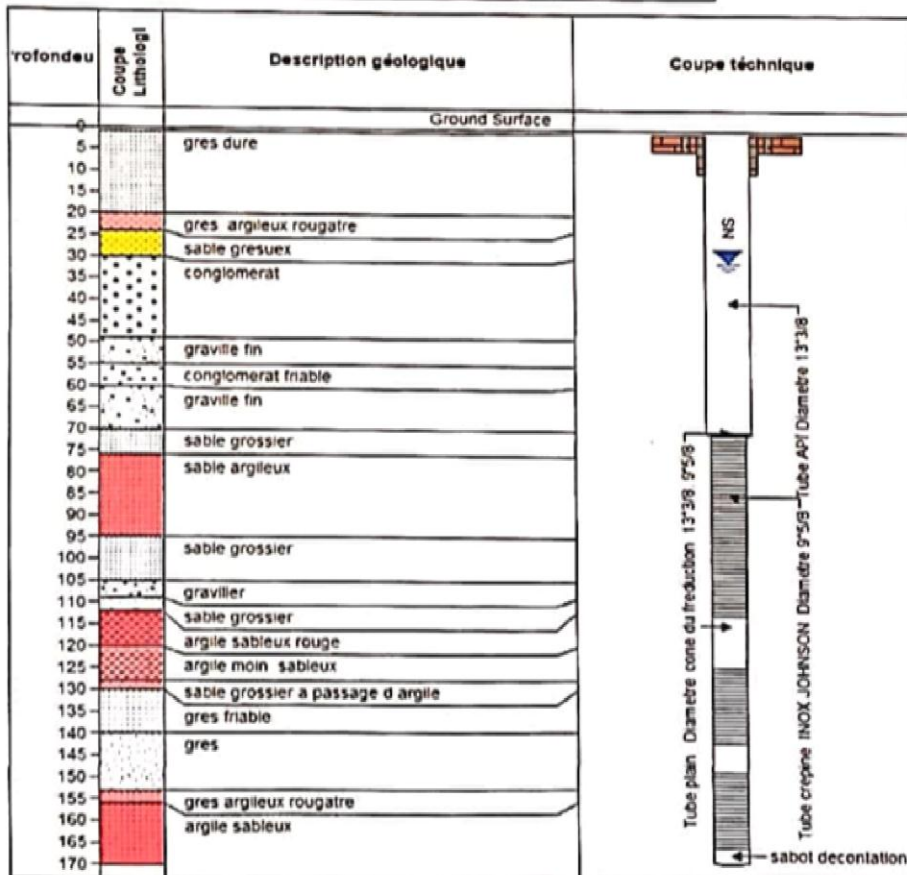
Télé : 0661 27 52 54 Tél faxe : 049.36.38.46/049 36 38 47

Adresse électronique : FTBFLMOKHTAR2010@YAHOO.FR



IX / COUPES TECHNIQUES DES FORAGES EXISTANT F8:

Nom de forage : FORAGE AEP REGGANE 08	Profondeur : 170 ml
Localisatio : X : 00° 12' 20.9" W	NS: 31 m
Y : 26° 51' 39.6"N	ND: 46.50 m
Z :	Débit : 32 L/S



Usage : AEP	Commun : REGGANE
Date de travaux : 07/06/2020	Daira : REGGANE
Date fin : 14/07/2020	Lieu-dite : N CC de Reggane F8
Etat : exploite	

هاتف المسير : 0661.27.52.54/0660.46.14.65

ممثل المؤسسة / 0660.43.87.24 هاتف/فاكس 049.36.38.46/049 36 38 47

البريد الإلكتروني: ETBELMOKHTAR2010@YAHOO.FR



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATE ET POPULAIRE
 وزارة الموارد المائية

MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU
 الوكالة الوطنية للموارد المائية

AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES
 Créé par décret N°81/167 du 25 juillet 1981- Compte Trésorerie d'Alger N°0019800065cl659
 Antenne Régionale Sud Ouest

الفرع الجهوي للجنوب الغربي

Demandeur : ETUDIANT TINDOUF
 Analyse demandée : AF
 Date de Réception : 29/03/2021
 N de laboratoire : 7,360
 Designation : BAHOU FORAGE REGANE

05/04/2021

RESULTATS D'ANALYSES

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE	MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE
PH :	7.94	>6.5 et <9	Calcium Ca++ ml/l	104	200.00
Conductivité ms/cm	3.2500	2.80	Magnésium mg++ mg/l	100	150.00
Turbidité eau brute NTU	0.08	5.00	Sodium Na+ mg/l	432	200.00
Turbidité eau déc. NTU	-		Potassium K+ mg/l	27.7	12.00
Résidu sec a 110° C mg/l	2047	1500.00	Chlorures Cl- mg/l	643	500.00
Temperature °C	-	25.00	Sulfates SO4-- mg/l	558.27	400.00
PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS		Bicarbonates HCO3- mg/l	152.5	-
			Carbonate CO3-- mg/l	ID	-
			Silice SiO2 mg/l	7.825	-
Oxygène Dissous mg/l	-		TH °F	66	-
Ammonium NH4+ mg/l	0.0001	0.50	TAC °F	11.25	-
Nitrite NO2- mg/l	0.008	0.20	TA °F	ID	-
Nitrate NO3- mg/l	74.044	50.00	Minéralisat mg/l	2015	-
O.phosphate PO4- mg/l	0.02	0.50	Somme des ions mg/l	2076.26	-
Mat .Ox .(mil.Ac.) mg/l O2	0.8	5.00	F - mg/l	-	-
Fer mg/l	-	0.30	DBO mg/lo2	-	-
DCO mg/lo2	-				

interpretation :

Eau très fortement minéralisée de qualité physico - chimique mauvaise

Le prélèvement a été fait par le demandeur

Éditeur : sahraoui

CHIEF DU LABORATOIRE

ANRH/ D.R.S.O : B.P 364 Adrar (W.ADRAR) ... 364 أدرار م.ص ب
 Tél : 049.36.04.67 Fax :049.36.03.95



Demandeur : ETUDIANT TINDOUF
 Analyse demandée : AF
 Date de Réception : 29/03/2021
 N de laboratoire : 7,361
 Designation : ZET REGANET

05/04/2021

RESULTATS D'ANALYSES

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE	MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE
PH :	7.74	>6.5 et <9	Calcium Ca++ ml/l	104	200.00
Conductivité ms/cm	2.3400	2.80	Magnésium mg++ mg/l	57.5	150.00
Turbidité eau brute NTU	0.03	5.00	Sodium Na+ mg/l	300	200.00
Turbidité eau déc. NTU	-		Potassium K+ mg/l	27.7	12.00
Résidu sec a 110° C mg/l	1464	1500.00	Chlorures Cl- mg/l	450	500.00
Temperature °C	-	25.00	Sulfates SO4-- mg/l	405	400.00
PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS		Bicarbonates HCO3- mg/l	122	-
			Carbonate CO3-- mg/l	-	-
Oxygène Dissous mg/l	-		Silice SiO2 mg/l	7.375	-
Ammonium NH4+ mg/l	0.001	0.50	TH °F	49	-
Nitrite NO2- mg/l	0.058	0.20	TAC °F	10	-
Nitrate NO3- mg/l	74.044	50.00	TA °F	ID	-
O.phosphate PO4- mg/l	0.07	0.50	Minéralisat mg/l	1450.8	-
Mat .Ox .(mil.Ac.) mg/l O2	1.5	5.00	Somme des ions mg/l	1540.24	-
Fer mg/l	-	0.30	F - mg/l	-	-
DCO mg/lo2	-		DBO mg/lo2	-	-

Interpretation :

Eau minéralisée de moyen qualité physico-chimique

Le prélèvement a été fait par le demandeur

Éditeur : sahraoui

CHEF DU LABORATOIRE

ANRH/ D.R.S.O : B.P 364 Adrar (W.ADRAR) - و.و.م.م. م:ص ب 364 أدرار -
 Tél : 049.36.04.67 Fax :049.36.03.95



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATE ET POPULAIRE
 وزارة الموارد المائية
 MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU
 الوكالة الوطنية للموارد المائية
 AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES
Crée par décret N°81/167 du 25 juillet 1981. Compte Trésorerie d'Alger N°0019800065c1459
 الفرع الجهوي للجنوب الغربي
 Antenne Régionale Sud Ouest

Demandeur : ETUDIANT
 Analyse demandée : AF
 Date de Réception : 08/12/2019
 N de laboratoire : 7,048
 Désignation : EAU ROBINET REGANE

26/01/2020

RESULTATS D'ANALYSES

PARAMETRES PHYSICO-CHEMIQUES	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE	MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE
PH :	7.83	>6.5 et <9	Calcium Ca ⁺⁺ mg/l	128	200.00
Conductivité ms/cm	2.8450	2.80	Magnésium mg ⁺⁺ mg/l	85	150.00
Turbidité eau brute NTU	0.05	5.00	Sodium Na ⁺ mg/l	340	200.00
Turbidité eau déc. NTU	-		Potassium K ⁺ mg/l	23.9	12.00
Residu sec à 110° C mg/l	1770	1500.00	Chlorures Cl ⁻ mg/l	500	500.00
Température °C	-	25.00	Sulfates SO ₄ ⁻ mg/l	580	400.00
PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS		Bicarbonates HCO ₃ ⁻ mg/l	122	-
			Carbonate CO ₃ ⁻ mg/l	-	-
Oxygène Dissous mg/l	-		Silice SiO ₂ mg/l	-	-
Ammonium NH ₄ ⁺ mg/l	0.0001	0.50	TH °F	66	-
Nitrite NO ₂ ⁻ mg/l	0.0237	0.20	TAC °F	10	-
Nitrate NO ₃ ⁻ mg/l	57	50.00	TA °F	10	-
O.phosphate PO ₄ ⁻ mg/l	0.001	0.50	Minéralisat mg/l	1763.9	-
Mat .Ox .(mil.Ac.) mg/l O ₂	1.2	5.00	Somme des ions mg/l	1835.9	-
Fer mg/l	-	0.30	F - mg/l	-	-
DCO mg/lo ₂	-		DBO mg/lo ₂	-	-

Interpretation :

Eau très fortement minéralisée de qualité physico - chimique mauvaise

Le prélèvement a été fait par le demandeur

Éditeur : sahraoui

CHEF DU LABORATOIRE

ANRH/ D.R.S.O : B.P 364 Adrar (W.ADRAR) - ب.ب 364 آدرار - و.ب.م.م.
 Tél : 049.36.04.67 Fax :049.36.03.95

N°BIRH : P004-00121

Désignation: In zeglouf 01

Localisation : X : 0°03'08" E

Y : 26°49'37" N

Z : 217 m

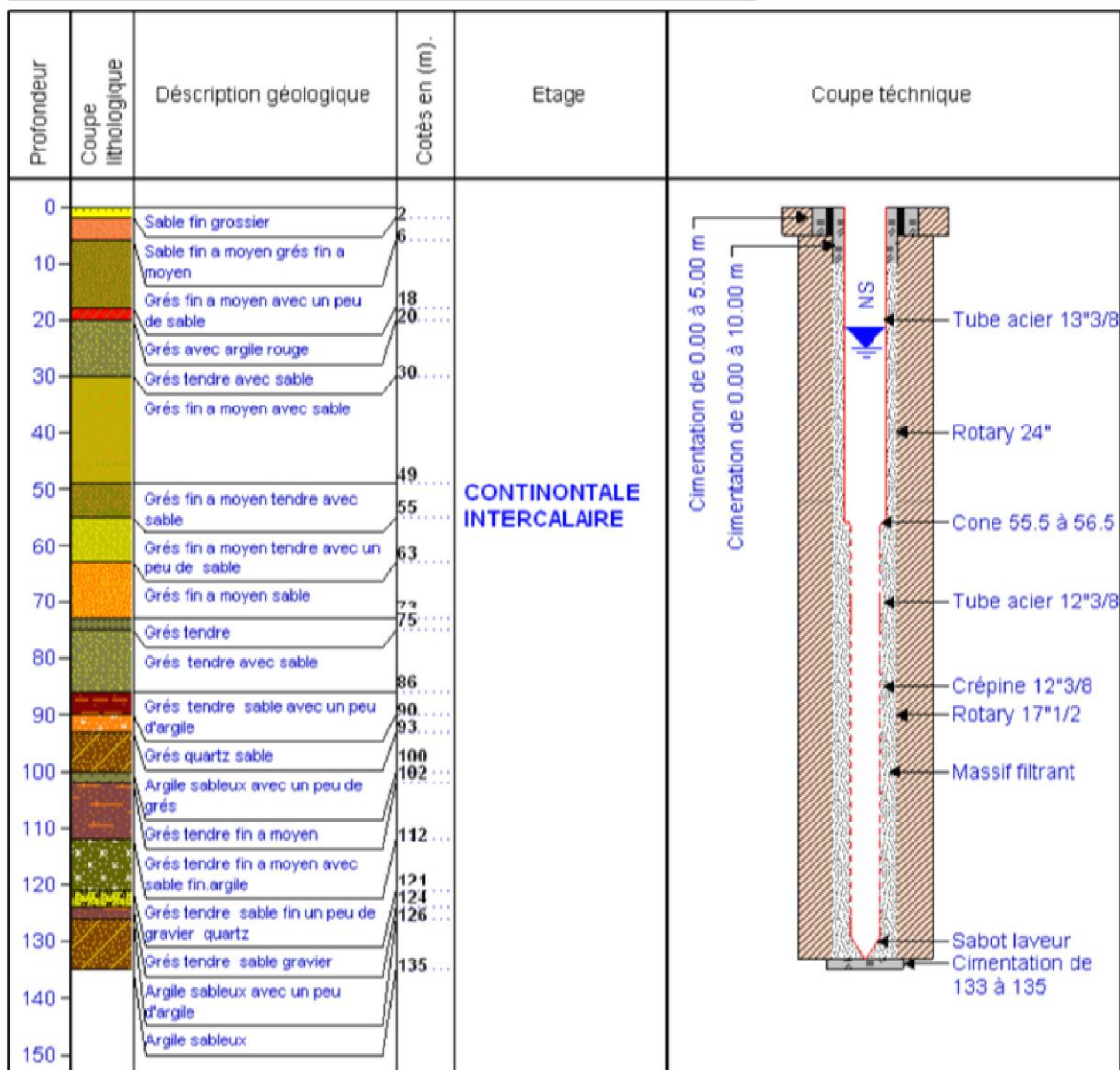
Profondeur: 135 m

Ns: 25 m

Débit : 8 L/S



AGENCE NATIONALE DES RESSOURCE
HYDRAULIQUE
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR



Usage : AEP

Date de travaux : 19/10/86

Date fin : 23/07/87

Etat : Exploité

Daira : Reggane

Coumune : Regganouf

Lieu-dite : In zeglouf

Annexe 7: Coupe lithologique du forage de in zeglouf (ANRH d'Adrar)