

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

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

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

Etude des ressources hydriques de la region de Reggane

Présenté par :

Cherqui.Mohammed

Omeur.Ilyas

Soutenu publiquement le

Devant le jury :

Président :	Belksier.Mohamed Saleh	M.C.B	Univ. Ouargla
Promoteur :	Bouselsal.Boualem	M.C.A	Univ. Ouargla
Examineur :	Houari.Ider Maned	M.A.A	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017

Dédicace

*C'est avec un grand plaisir et une grande joie, que je dédie ce
modeste travail à la mémoire d mon père pour ses conseils
inoubliables et sa compassion tout au long de ma vie.*

*Je dédie ce mémoire à ma mère pour son soutien pendant toutes
mes études.*

*À mes très cher frères et sœurs pour leurs soutiens tout
au long de mes études;*

À toute ma famille : cousins, cousines, oncles et tantes ;

À tous mes amis sans exception ;

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

ILYAS



Dédicace

Je dédie ce travail :

*Tout d'abord à mes parents qui avaient tant souhaité
me voir mener à bien mes études. Que dieu les garde
pour nous.*

*A mon frère, de m'avoir aidé et soutenu tout le long
de mes études universitaires.*

A mes très chères sœurs.

A mes fidèles amis.



CHERQUI.M

Remerciements

Langage tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force

Pour terminer ce modeste travail.

*Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur, Monsieur
BOUSELSAL BOUALEM pour son encadrement et ses
aides précieuses.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait
l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

*Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du
département des sciences de la terre et l'univers*

*Enfin nous remercions nos parents et tous ceux qui ont
contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste
travail, trouvent ici l'expression de nos profondes gratitudees
et respects.*



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 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.

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 رغان هي جزء من توات في الصحراء الشمالية. وتتميز بمناخ حار وجاف. حوض رغان يتكون من الرواسب الطباشيري السفلي، وهي على نطاق واسع في المنطقة، التي هي المصدر الرئيسي للمياه في المنطق عمق المياه يتراوح بين 2 و50 م. تفسير الخريطة البيوزيمتر يدل على ان التدفق عموما من الشمال الشرقي الى الجنوب الغربي ويبدو أن المراكز الحضرية على الخريطة كمناطق التقارب، تشير إلى أن تدفق في هذا الجزء هو قوي بسبب الحفر الذي يقع في المقام الأول في مناطق مستجمعات المياه و تركيزات من الحفر والفقارة. الدراسة الكيميائية على حوض التداخل القاري لمنطقة رغان تبين انها ليست صالحة للشرب ولها تمعدن عالي ويرجع ذلك إلى الطبيعة الجيولوجية وتشكيلاتها، وفي الغالب من الطين والجبس من جهة، وظواهر تبخر مكثفة من ناحية أخرى، وحسب الدراسة فان هذه المياه ممتازة للري. الكلمات الدالة: رغان، التداخل القاري، بيوزيمتر، صالح للشرب، الري.

Abstract

The region of Reggane is part of Touat is in the Northern Sahara. She is characterised by a (hyperarid) dry and hot climate. The bowl of Reggane is constituted of sediments of lower Cretaceous age, which show on the surface widely in the region, these trainings contain an important tablecloth of continental intercalary, which constitutes main resource in water of the region. The depth of the tablecloth varies between 2 and 50 m, the interpretation of the piézométrique card shows that flow becomes, in general northeast towards the Southwest, centres urban appearing on the card as zones of convergences, point out that the flow at the level of this part is strong has reason of the effect of boring of catchment which is mainly located in the zones of concentration of catchment by boring and foggaras.

The hydrochemical study performed on the tablecloth of Continental Intercalary of the region of Reggane shows that they are not potable and introduce a high mineralization, this is due to the geological nature of trainings, with a predominance of loamy fields and of passages gypseux, on one hand, and in the phenomena of intense evaporation on the other hand, notably at the level of Sebkhass. Calculation of S.A.R confirmed that waters of the studied sector are very good for irrigation.

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

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	01
<i>Partie 1: Généralités sur la zone d'étude</i>	
1. presentation de la zone d'étude.....	03
1.1.Situation géographique.....	03
1.2.Géomorphologie.....	04
1.2.1.Les plateaux	04
1.2.2.Les Regs.....	04
1.2.3.Les Ergs.....	05
1.2.4.Les Terrasses d'érosion.....	05
1.2.5.Les terrasses d'apport éolien.....	05
1.2.6.Les Sebkhass.....	05
2. Contexte climatologique.....	06
2.1. Les paramètres climatiques.....	06
2.1.1. La Température.....	06
2.1.2. Précipitation.....	06
2.1.3. Evaporation.....	07
2.2.L'évapotranspiration.....	08
➤ Formule de L. TURC (1954)	08
➤ Calcul de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE.....	08
2.3. Indices d'aridité annuelle.....	09
2.4. Bilan hydrologique de Thornthwaite.....	10
3. contexte geologique.....	11
3.1. Cadre géologique régional	11
3.1.1. Les bassins de Tindouf et de Reggane	12
3.1.2. Le bassin de Béchar	12
3.1.3. Le bassin d'Ahnet-Timimoun.....	12
3.1.4. Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya.....	12
3.1.5. la synéclyse d'Illizi-Ghadamès.....	12
3.2. Cadre géologique local.....	12
3.3. La lithostratigraphie de la zone d'étude.....	14
3.3.1. Précambrien	14

3.3.2. Le paléozoïque.....	15
3.3.3. Secondaire	16
a. Le Crétacé inférieur « Continental intercalaire »	16
➤ Données de surface.....	16
a. Données des sondages	17
3.3.4. Tertiaire.....	18
4.Conclusion	20

Partie 02 : Etude Hydrogéologique

1.Introduction.....	22
2. Les systèmes Aquifères du Sahara Septentrional.....	22
2.1. Le Complexe Terminal (CT).....	23
2.2 Le Continental Intercalaire (CI).....	24
2.2.1 Lithologie.....	24
2.2.2. Piézométrie du "CI"	25
2.2.3. Alimentations et exutoires du Continental Intercalaire.....	26
3. l'hydrogeologie locale.....	27
3.1 .Caractéristiques hydrodynamiques.....	27
3.1.1.Conditions aux limites.....	27
3.1.2. Carte piézométrique de mai 2015.....	27
3.1.3. Profondeur de la nappe	29
3.2. Essais de puits et pompages d'essai.....	30
3.2.1. Essais de puits.....	31
3.2.3.Pompage d'essai.....	31
a. Forage Reggane BM 10.....	32
b. Forage Taarabet.....	33
4.Conclusion.....	34

Partie 3: Hydrochimie

1.Introduction.....	36
2. Etudes des Paramètres physico-chimiques.....	36
2.1. Etude des Paramètres physiques.....	36
2.1.1. Température.....	36
2.1.2. Potentiels d'hydrogène (pH).....	36
2.1.3. Conductivité.....	36

2.1.4. Résidu sec.....	37
2.1.5. Dureté totale ou TH (Titre Hydrotimétrique).....	38
2.1.6. Balance ionique.....	39
2.2. Etude des paramètres chimiques majeurs.....	39
V.1.2.1. Etude des cations.....	39
a. Calcium (Ca^{2+}).....	39
b. Magnésium (Mg^{2+}).....	39
c. Sodium et Potassium (Na^+ , K^+).....	41
2.2.2. Etude des anions.....	42
A. Chlorures (Cl^-).....	42
B. Bicarbonates (HCO_3^-).....	42
C. Nitrates (NO_3^-).....	44
3. Facies chimiques des eaux de CI	44
3.1. Diagramme de Piper.....	45
3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	45
4. Qualité des eaux d'irrigation.....	47
5. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire.....	48
5.1. Les normes algériennes pour l'eau potable.....	48
5.2. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire.....	50
6. Conclusion.....	51
Conclusion générale.....	53

Références bibliographiques

Annexes

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Carte de situation de la zone d'étude	04
Figure 02 : Carte morphologique de la région d'étude (d'après Laaboudi 2009).....	05
Figure 03 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (2003-2015).....	06
Figure 04: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2003-2015)..	07
Figure 05: Histogramme d'évaporation moyenne mensuelle d'Adrar (2003-2015).....	07
Figure 06 : Indice d'aridité de « De Martonne ».....	10
Figure 07 : Répartition des bassins du Sahara Algérien	11
Figure 08 : Carte géologique du secteur d'étude (Conrad, 1969).....	13
Figure 09 : Colonne stratigraphique type du bassin de Reggane (Sonatrach, 2004).....	14
Figure 10: Coupe de la falaise du Continental Intercalaire à Reggane-Plateau (Conrad, 1969).....	17
Figure 11: Coupe de forage I Reggane (Conrad, 1969).....	18
Figure 12 : Coupe du Néogène sur le Continental Intercalaire, près de Tiouririne (Touat), (Conrad, 1969).....	19
Figure 13 : Extension des formations du SASS (UNESCO, 2003).....	22
Figure 14 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).....	23
Figure 15 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	24
Figure16: Carte hydrogéologique du Sahara Septentrional (Gonfiantinig et Al.1974).....	25
Figure 17 : piézométrique du Continental Intercalaire, projet du SASS (2003).....	26
Figure 18 : Carte d'inventaire des points d'eau de la région d'étude.....	28
Figure 19 : Carte piézométrique de la région d'étude en mai 2015.....	29
Figure 20 : Profondeur de la nappe de continentale intercalaire en mai 2015.....	30
Figure 21 : Forage de Reggane BM 10, courbe de descente.....	32
Figure 22 : Forage de Reggane BM 10, courbe de remontée	32
Figure 23 : Forage de Taarabet, courbe de descente.....	33
Figure 24 : Forage de Taarabet, courbe de remontée	33
Figure 25 : Carte de Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	37
Figure 26 : Relation Résidu sec-Minéralisation.....	38
Figure 27: Relation conductivité-Résidu sec.....	38
Figure 28 : Carte d'isoteneur en Calcium en mg/l	40
Figure 29 : Carte d'isoteneur en Magnésium en mg/l	40
Figure 30 : Carte d'isoteneur en sodium en mg/l	41

Figure 31 : Carte d'isoteneur en potassium en mg/l.....	42
Figure 32 : Carte d'isoteneur en Chlorure en mg/l.....	43
Figure 33 : Carte d'isoteneur en Bicarbonates en mg/l.....	43
Figure 34 : Carte d'isoteneur en Nitrates en mg/l.....	44
Figure 35 : représentation des analyses chimiques sur le diagramme de PIPER.....	45
Figure 36 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	46
Figure 37 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Températures moyennes mensuelles (2003-2015)	06
Tableau 02 : précipitations moyennes mensuelles (2003-2015).....	07
Tableau 03 : Evaporation Moyenne mensuelle (2003 - 2015).....	07
Tableau 04: porte les résultats de calcul de l'ETP mensuelle par cette formule	09
Tableau 05: les résultats des calculs du bilan hydrique, période (2003-2015).....	10
Tableau 06 : Quelques paramètres hydrodynamiques des forages dans la région.....	33
Tableau 07 : Qualité de l'eau en fonction du TH.....	38
Tableau 08 : Résultats du S.A.R.....	48
Tableau 09 : Normes Algériennes de potabilité.....	49
Tableau 10 : potabilité des eaux de la nappe de CI de Reggane	50

Introduction

Générale

Introduction générale

Au cours de ces dernières décennies, la demande sur l'eau dans la région de Reggane a augmenté d'une façon importante suite à l'accélération du développement économique d'une part et la croissance démographique d'autre part. Et devant cette situation, les techniques traditionnelles du captage se trouvent incapables de satisfaire la demande croissante sur l'eau, ce qui a poussé les responsables de ce secteur de faire appel aux nouvelles techniques de captage. D'après les prospections hydrogéologiques réalisées dans cette région, les réserves d'eau souterraine sont considérables, il s'agit de la nappe du Continental Intercalaire (ou nappe albienne). Cette nappe soutien toute sorte d'activité dans la région (agricoles, industrielles, et l'approvisionnement en eau potable).

Le but de ce mémoire est de présenter les résultats d'une étude hydrogéologique 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'hydrodynamique, 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:

- 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.
- 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.

Partie 1:

Généralités sur la zone d'étude

1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

1.1. Situation géographique.

En plein cœur du Sahara algérien, la wilaya d'Adrar est située au sud-ouest du pays à plus de 1200 km d'Alger. Elle est située entre les méridiens : 2°E et 6° W, et les parallèles : 20° et 32° Nord. La superficie totale est de 427 368 Km², soit environ 18 % de la superficie globale de l'Algérie, près d'un cinquième du territoire national. La population est estimée à 432.265 habitants au 31.12.2011 et La densité est de 1,01 habitant /km².

Elle est limitée :

- Au Nord, par les wilayas de Bayedh et Ghardaïa.
- A l'Ouest, par la wilaya de Bechar et Tindouf.
- A l'Est, par la wilaya de Tamanrasset.
- Au Sud, par la Mauritanie et le Mali.

La wilaya d'Adrar répartie entre quatre régions sahariennes naturelles représentées par :

- Gourara: Son centre administratif est la daïra de Timimoune, cette région regroupe tout le palmerais et les ksars de cette daïra.
- Touat: Elle se prolonge du Brinkane jusqu'à Reggane; c'est la plus vaste des régions, et la plus intéressante, car elle contient un grand nombre de foggara.
- Tidikelt: Cette région se prolonge d'Aoulef à Ain Saleh qui est le centre de la région
- Tanezrouft : région de Bordj Badji Mokhtar.

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 124 298 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 20 402 habitants avec une densité d'ordre de 0,16 habitant /km².

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.

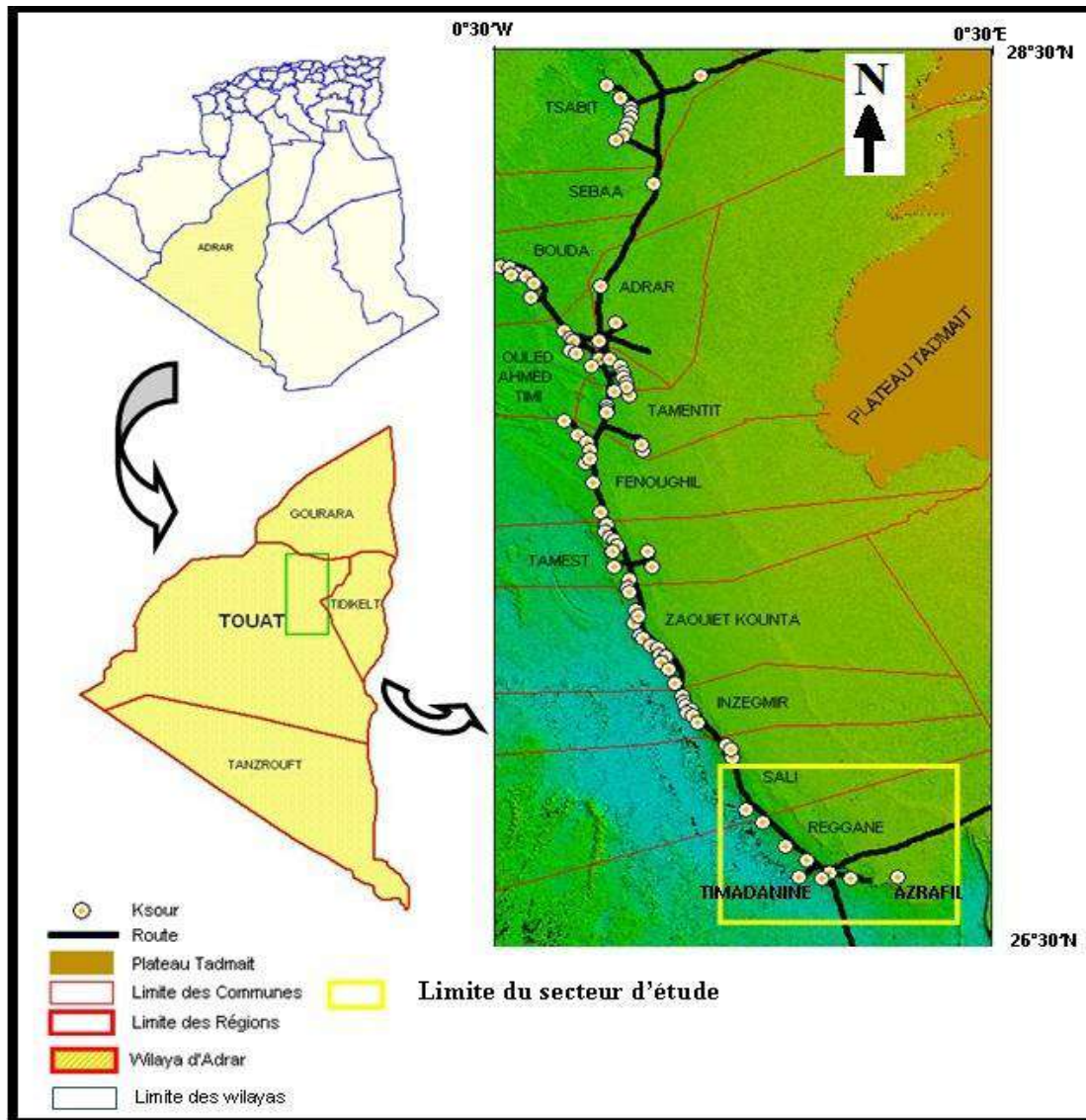


Figure 01: Carte de situation de la zone d'étude.

1.2. Géomorphologie

La géomorphologie de la région est constituée des éléments suivants (Fig.02) :

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).

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 Tanzrouft.

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.

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.

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

1.2.6. Les Sebchas : 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 Sebchas 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.

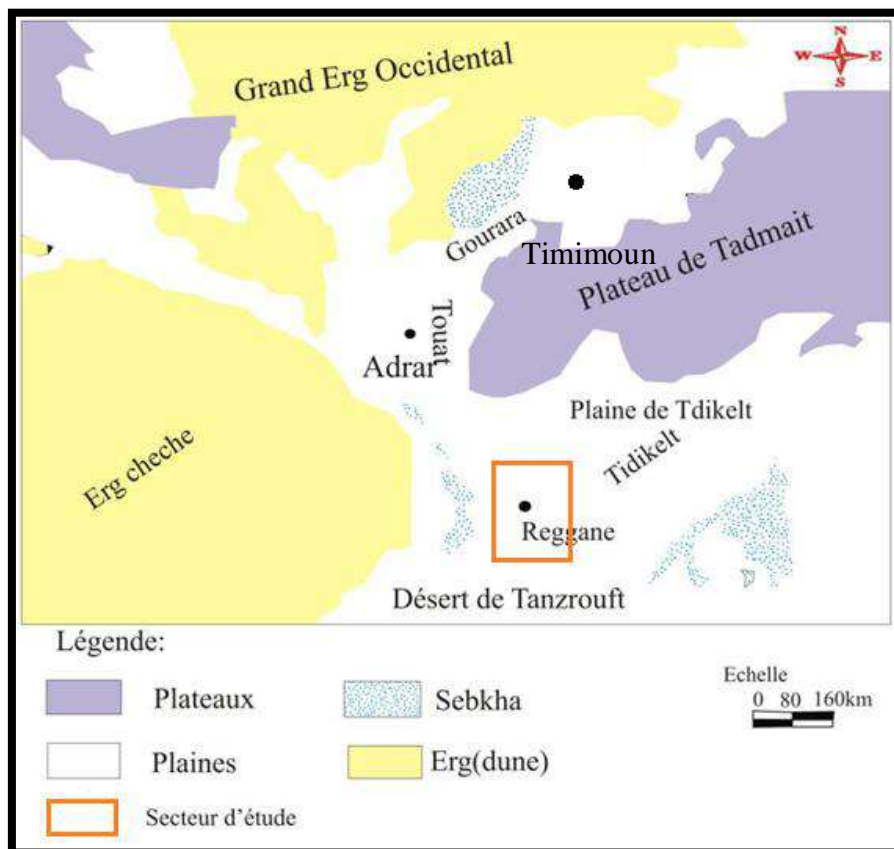


Figure 02 : Carte morphologique de la région d'étude (Laaboudi 2009).

2. CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE

2.1. Les paramètres climatiques

La climatologie du Sahara est un sujet d'étude complexe, à cause de la rareté des précipitations et de la faible densité du réseau de stations météorologiques fournissant au sol des mesures de qualité. Les données de notre étude concernent la seule station météorologique d'Adrar et couvrent la période allant de 2003 à 2015.

Notre étude climatologique a été basée sur les principaux paramètres climatiques suivants : température, précipitation, évaporation.

2.1.1. La Température : Les températures moyennes journalières oscillent entre 29°C et 42°C à l'ombre pendant l'été. Durant la période allant de 2003 à 2015, la moyenne annuelle des températures est 24.4°C. Les variations moyennes mensuelles des températures (Fig.03 et Tab.1) montrent qu'elle est maximale au mois de juillet avec une valeur d'ordre de 37 °C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 12 °C.

Tableau 1 : Températures moyennes mensuelles (2003-2015).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOÛT	MOY
T°C	32	25	17	13	12	15	20	24	28	34	37	36	24.4

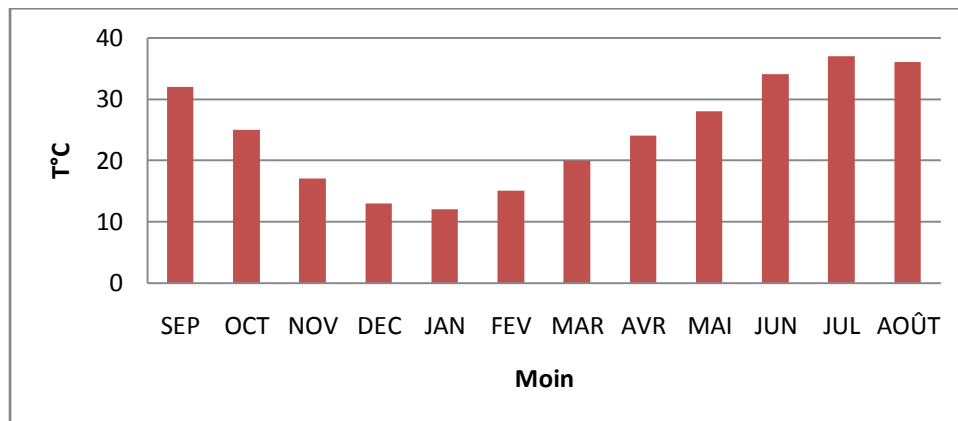


Figure 03 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (2003-2015).

2.1.2. Précipitation : La précipitation est très rare dans la région d'Adrar. Selon les données de tableau (Tab.2), nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (Fig.04). L'historgramme, donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. On constate que le mois de janvier est le plus arrosé avec 5,4 mm, et les mois de juillet et octobre présentent nulles. La moyenne interannuelle de précipitation est d'ordre de 12 mm.

Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2003 - 2015).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOÛT	Année
P (mm)	0,1	0,0	0,7	0,9	5,4	0,4	2,3	1,7	0,1	0,1	0,0	0,2	12,0

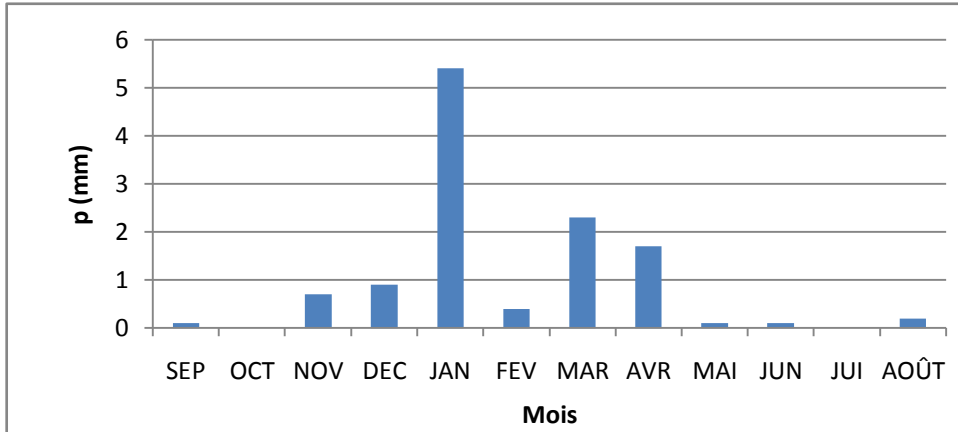


Figure 04 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles d'Adrar (2003-2015).

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 reliée à la forte température ; elle est minimale au mois décembre (205,9 mm) et maximale au mois de Juillet (717,9 mm). L'évaporation annuelle moyenne est de l'ordre de 5380,4mm.

Tableau 3 : Evaporation moyenne mensuelle (2003-2015).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOÛT	Année
Evp(mm)	541,2	401,2	275,5	205,9	216,9	273,5	378,8	467,8	559,7	642,0	717,9	699,9	5380,4

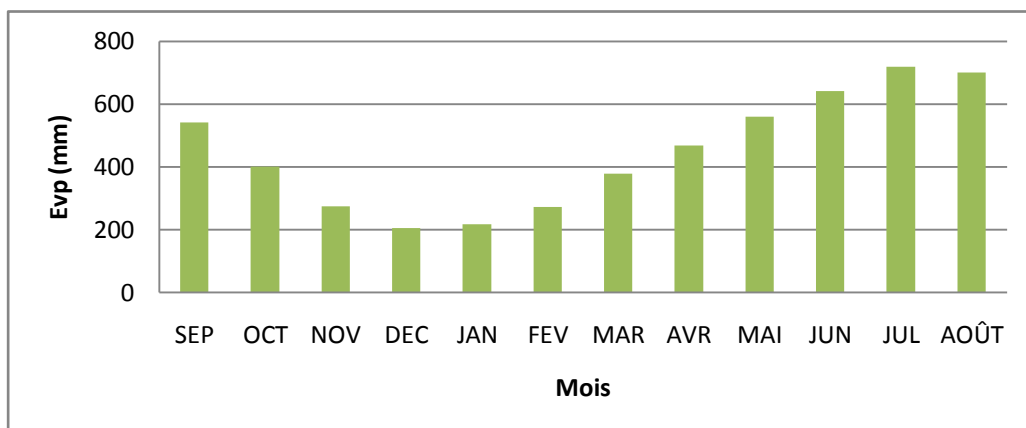


Figure 05 : Histogramme d'évaporation moyenne mensuelle d'Adrar (2003-2015).

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. Elle joue un grand rôle dans le climat. On distingue l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Ces données sont utiles et nécessaires pour étudier les bilans de circulations d'eau ; on peut estimer la valeur de ce paramètre en fonction de la Température d'air et du module pluviométrique, grâce à plusieurs méthodes :

➤ **Formule de L. TURC (1954) :**

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

Où: $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$. $L = 1637.48$

T : température moyenne annuelle de l'air en (°C), (T=24.41°C).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) (P= 12 mm).

Soit $ETR = 12.64$ mm.

➤ **Calcul de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE :**

L'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948 une expression pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

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

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

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 ($a = 0.016 \cdot I + 0.5$) ($a = 2.72$. $I = 138.91$).

D'après les résultats du tableau ci-dessus, on constate que les précipitations sont inférieures à l'ETP pendant tous les mois.

Le tableau 4 : porte les résultats de calcul de l'ETP mensuelle par cette formule.

Mois	Pi	T	i	K	ETP
Sep	0.1	32	16.61	1.03	159.48
Oct	0.0	25	11.43	0.98	77.53
Nov	0.7	17	6.37	0.9	24.94
Dec	0.9	13	4.24	0.89	11.89
Jan	5.4	12	3.76	0.91	9.77
Fev	0.4	15	5.27	0.87	17.15
Mar	2.3	20	8.15	1.03	44.41
Avr	1.7	24	10.74	1.07	75.76
Mai	0.1	28	13.57	1.17	125.99
Jun	0.1	34	18.21	1.16	211.81
Jui	00	37	20.70	1.19	273.48
Aou	0.2	36	19.86	1.13	241.04
Année	12	24.41	138.91	/	1273.25

2.3. Indices d'aridité moyenne 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 moyennes annuelles en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

Dans le cas de la station d'Adrar, on a : $I = 16.07/(25.91+10) = 0.447$

Figure 1.5. 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 6, la station d'Adrar bénéficie d'un climat hyperaride.

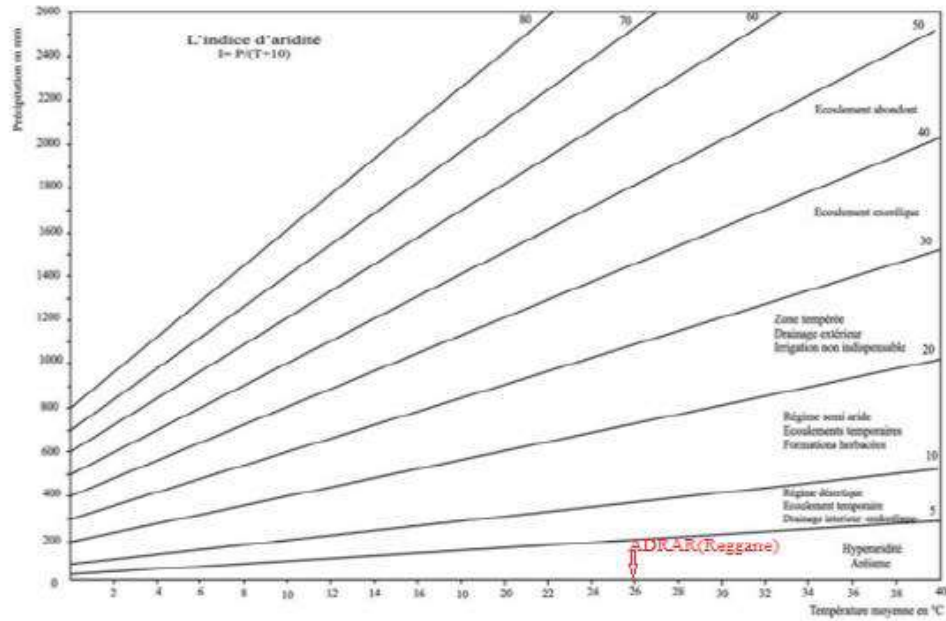


Figure 06 : Indice d'aridité de « De Martonne ».

2.4. Bilan hydrologique de Thornthwaite:

Le bilan hydrique d'Adrar (Tab.5), dans la période (2003-2015) 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 juillet 273.48mm.

Tableau 5 : Bilan hydrologique de Thornthwaite de la station d'Adrar (2003- 2015).

Moin	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Aout	Année
P(mm)	0.1	0.0	0.7	0.9	5.4	0.4	2.3	1.7	0.1	0.1	0	0.2	12
T°C	32	25	17	13	12	15	20	24	28	34	37	36	24.41
ETP	159.48	77.53	24.94	11.89	9.77	17.15	44.41	75.76	125.99	211.81	273.48	241.04	1273.25
P-ETP	-159.3	-	-	-	-4.36	-	-	-	-	-	-	-	/
ETR	0.1	0	0.7	0.9	5.4	0.4	2.3	1.7	0.1	0,1	0	0.2	12
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Da	159.38	77.53	24.24	10.99	4.36	16.75	42.11	74.06	125.89	211.71	273.48	240.84	1261.34
EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

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.

Nous distinguons plusieurs bassins sédimentaires (Fig.7) de la plate-forme saharienne correspondant à de grandes dépressions remplies de sédiments marins, fluviatiles et lacustres qui sont d'Ouest en Est.

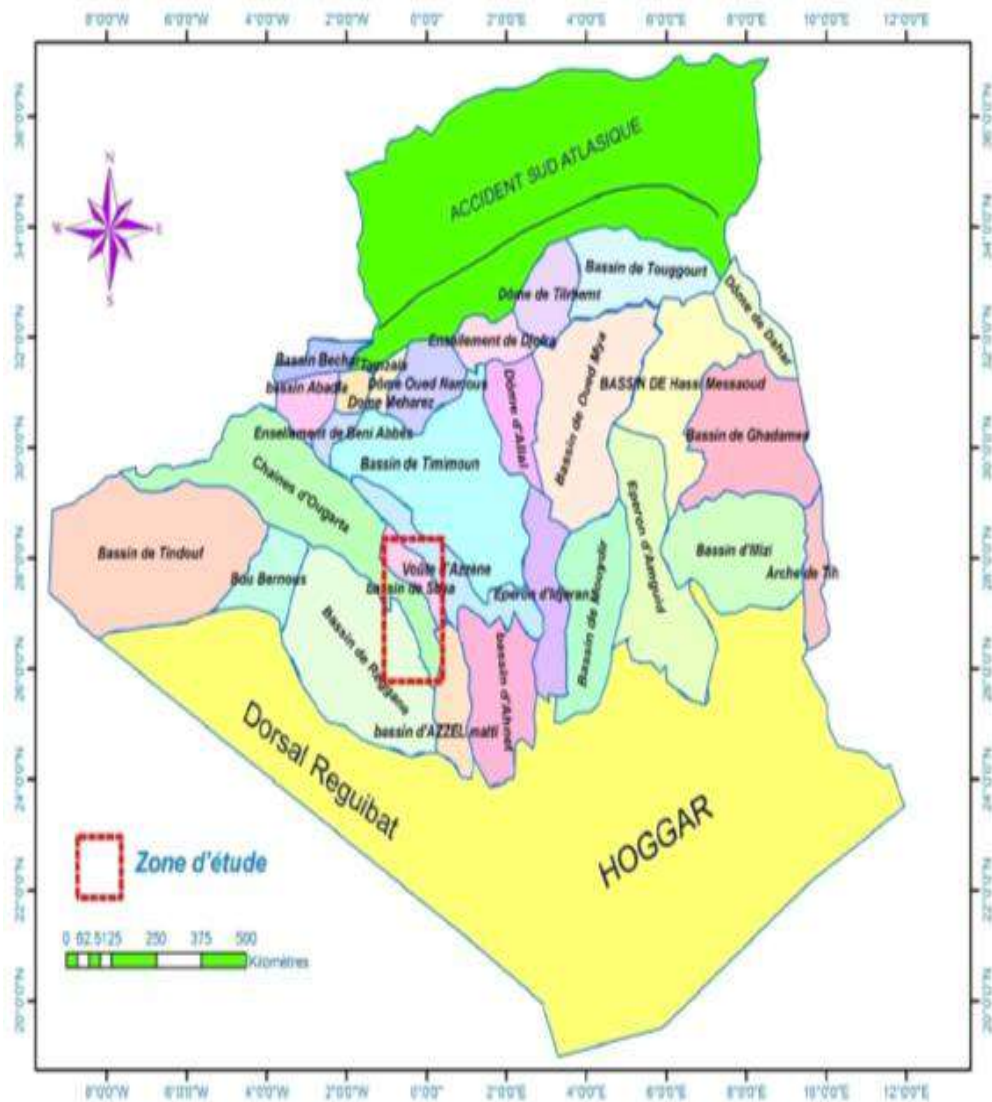


Figure 07 : Répartition des bassins du Sahara Algérien

3.1.1. Les bassins de Tindouf et de Reggane : Se situent sur les bordures Nord et Nord-est du bouclier reguibat. La couverture sédimentaire atteint 8000m d'épaisseur dans le bassin de Tindouf et 6500 m d'épaisseur dans celui de Reggane.

3.1.2. Le bassin de Béchar : Il est limité au Nord par le haut atlas, au Sud et à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta. Sa couverture sédimentaire atteint 8000 m d'épaisseur. Les réservoirs se trouvent dans le détritique paléozoïque inférieur et les récifs carbonifères.

3.1.3. Le bassin d'Ahnet-Timimoun : Il est limité au Nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta, au Sud par le bouclier Touareg et à l'Est par la dorsale d'Idjerane-Mزاب. La couverture serait en moyenne de 4000 m d'épaisseur.

3.1.4. Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya : Ils sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane-m'زاب et à l'Est par la dorsale Amguid-el Biod. Au Sud, les sédiments paléozoïques affleurent dans le Mouydir. Au Nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued Mya, comblée par une puissante série paléozoïque et méso-cénozoïque (5000m à oued Mya).

3.1.5. La synéclyse d'Illizi-Ghadamès : Est limitée à l'ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod et à l'est par le môle de Tihemboka et les confins tuniso-libyens. Dans le bassin de Ghadamès, la couverture sédimentaire (supérieure à 6000 m).

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.

Le Bassin de Reggane présente un flanc Nord-Est fortement redressé et un flanc Sud-Ouest sous forme d'un monoclinale adossé sur le massif cristallin des Eglabs.

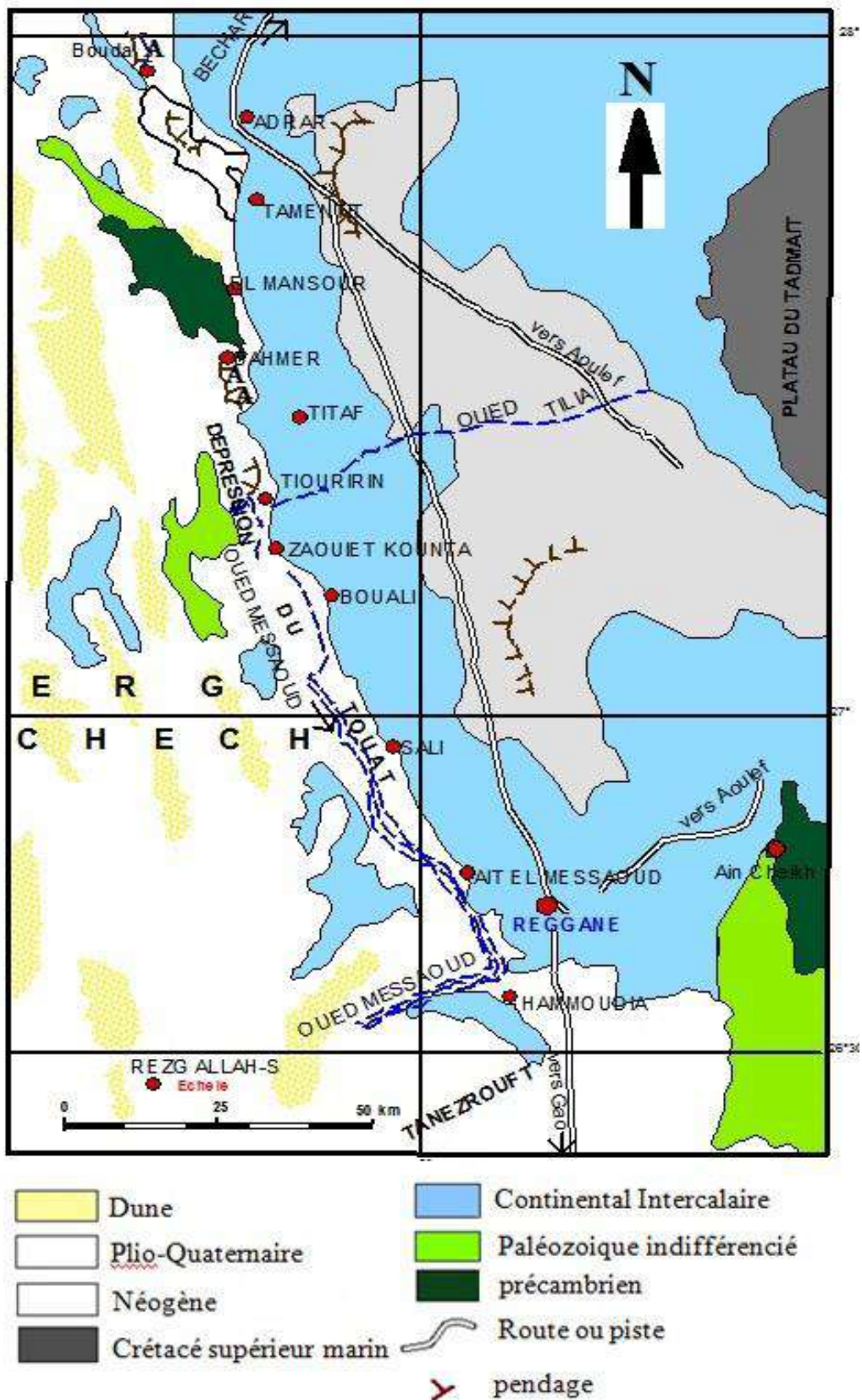


Figure 08: Carte géologique du secteur d'étude (Conrad, 1969).

3.3. La lithostratigraphie de la zone d'étude

D'après SONATRACH la coupe suivante représente la Lithostratigraphie de bassin de Reggane (fig.09).

Âges	Système	Etages	Lithologie	Épaisseur (m)	FORMATIONS Définies dans l'Ougarta	
MEZ		Plio-Pleistocene		20-233		
		Continental inter.		37-347		
PALEOZOÏQUE	Carbonifère	Disc. hercyn.		26	Bahmar	
		Namurien		1033		
		Viséen	D		77-284	Timimoune
			C		223 335	
			B		354 376	
			A		185	
		Dalle a lridet		381		
	Tournaisien		85-215	Kahla		
	Dévonien moyen	Strunien		50-266	Marhouma	
		Famennien		190 1248		
		Frasnien		21 244		
		Dev.Moy.		21-93		
	Dévonien inf.	Eifelien		21-93	Chefar el Ahmar	
		Emslien		17-125	Tafreguenit	
		Praguien		57-215	Dkhissa	
	Lochkovien		Sahab El Djir Zelmiet			
	Silurien			87 738	Oued Ali	
Ordovicien			18 183	Di Senaf Bou Mhoued Foum Ezzaidiya Khenig El Aasene Foum Tinaslam		
	Cambrien			Am En Necheia Sobhet El Mellah		
	infra-Cambrien		65-539	Séries intermédiaires		
	Socle		10			

Figure 09 : Colonne stratigraphique type du bassin de Reggane (Sonatrach, 2004)

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 (Nioc, 1981). Cette série est représentée par les trios formations suivantes :

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

3.3.2. Le paléozoïque

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 (G.Busson, 1968). 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

(formation 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.

3.3.3. Secondaire

a. Le Crétacé inférieur « Continental intercalaire » : Pour C. Kilian, 1931, le Continental Intercalaire correspondant à une période allant du Moscovien au Cénomaniens; il est postérieur aux mouvements hercyniens et antérieur à la transgression Cénomaniens. Il s'agit en réalité d'un complexe continental à dominance gréseuse dont les limites stratigraphiques varient dans le Touat et Gourara. Le Continental Intercalaire est d'âge Crétacé inférieur grâce à des découvertes paléontologiques assez nombreuses (A.F.Delapparent, 1947, G.Conrad, 1969). Le Continental Intercalaire est subdivisé en quatre horizons, de bas en haut :

- A la base, une unité (A), formée de 25 à 300 m d'argiles rouges, de grès rosés et blancs, de grès rouges à stratification entrecroisée, avec des lentilles de graviers et dragées de quartz.
- Au-dessus l'ensemble (B), est formé par une dalle de grès quartzitiques de 1 à 2 m d'épaisseur, surmontant un conglomérat à bois silicifié, parfois à troncs d'arbres silicifiés et ossements de reptiles. Ce niveau forme la surface des plateaux qui s'étend de Timimoun à Ain Salah en passant par Adrar, Reggane et Aoulef.
- Au-dessus, l'ensemble (C) est formé par une deuxième série argileuse, de 40 à 100 m de puissance qui admet des intercalations de grès à dragées et des grès Kherboub.
- Enfin l'ensemble (D) qui comprend 60 à 125 m d'argiles rouges ou panachées à bancs gréseux, alternant avec quelques bancs de calcaires.

➤ **Données de surface :** Dans la dépression de Reggane, une coupe décrit les formations rencontrées : Coupe de Reggane-Plateau (Fig.10).

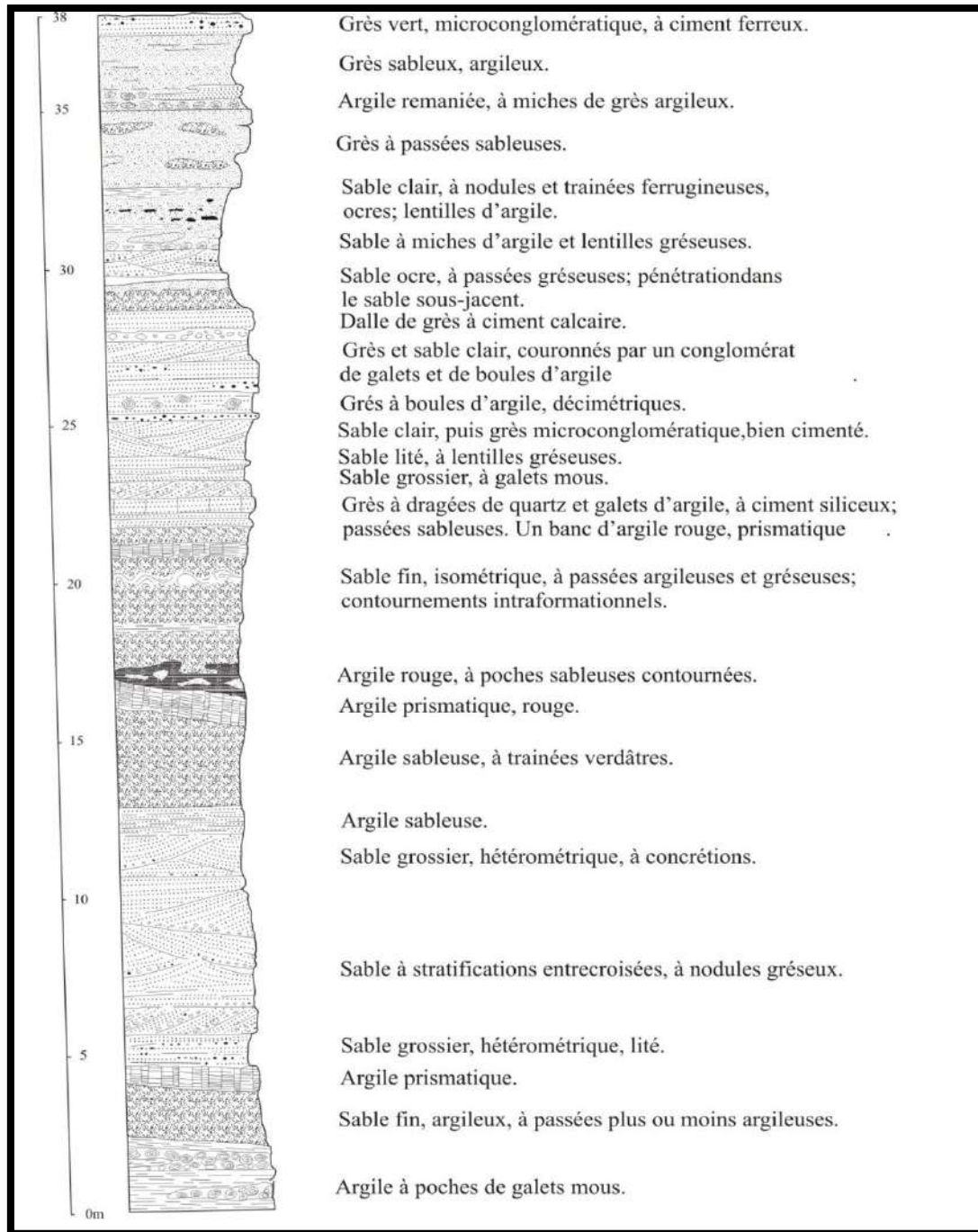


Figure 10 : Coupe de la falaise du Continental Intercalaire à Reggane-Plateau (Conrad, 1969).

➤ **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 Hammoudia

que 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.11), après avoir traversé un encroûtement calcareo-gréseux quaternaire, a atteint le Continental Intercalaire et l'a traversé sur 110 mètres avant d'être interrompu.

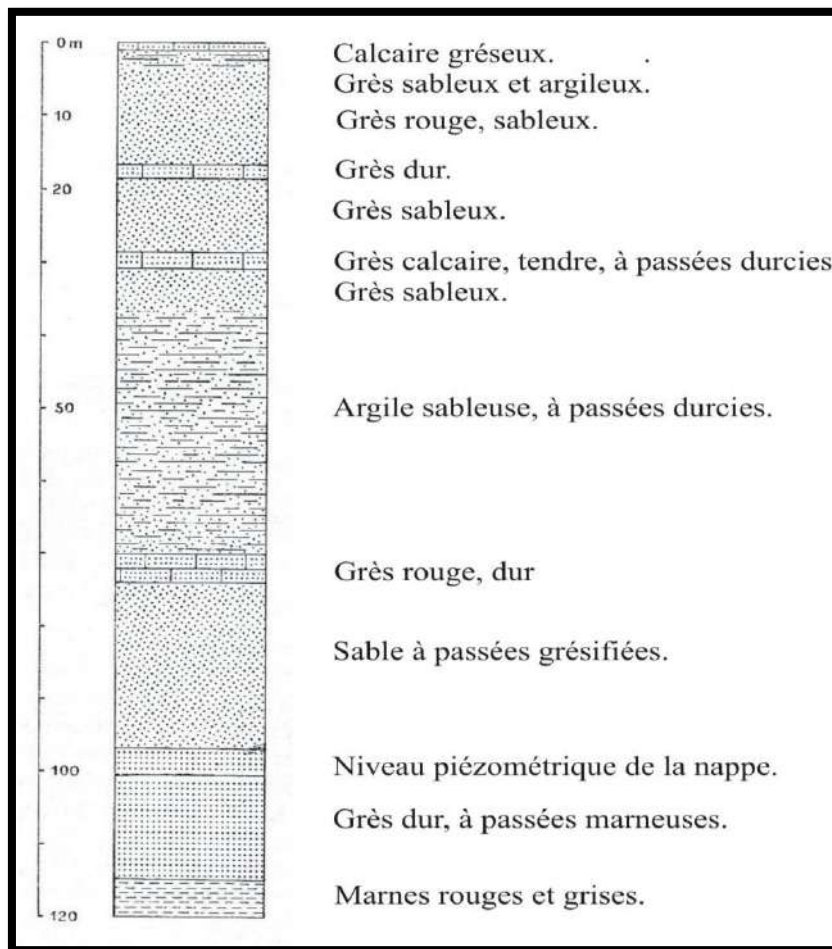


Figure 11: Coupe de forage I Reggane (Conrad, 1969).

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.12).

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.

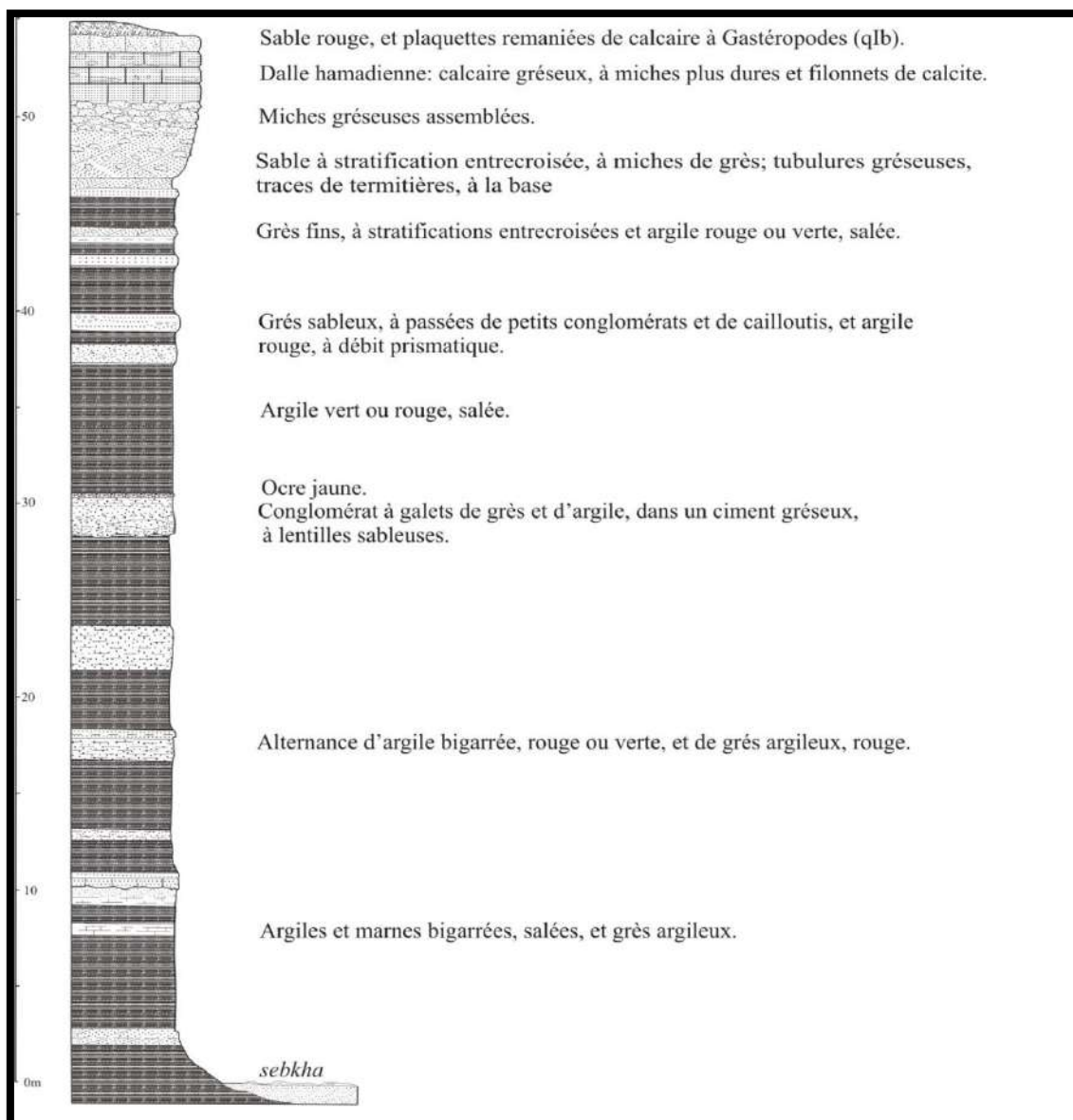


Figure 12 : Coupe du Néogène sur le Continental Intercalaire, près de Tiouririne (Conrad, 1969).

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 2003 à 2015 montre que le climat de la région est hyperaride. Le bilan hydrique suivant la méthode de Thorntwaite 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 Bassin de Reggane est situé dans la partie Nord-Ouest de la plate-forme saharienne. Il 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 (Laparent, 1960).

Partie 02 :

Etude Hydrogéologique

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.

2. LES SYSTEMES AQUIFERES DU SAHARA SEPTENTRIONAL

Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS) (Fig.13) renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

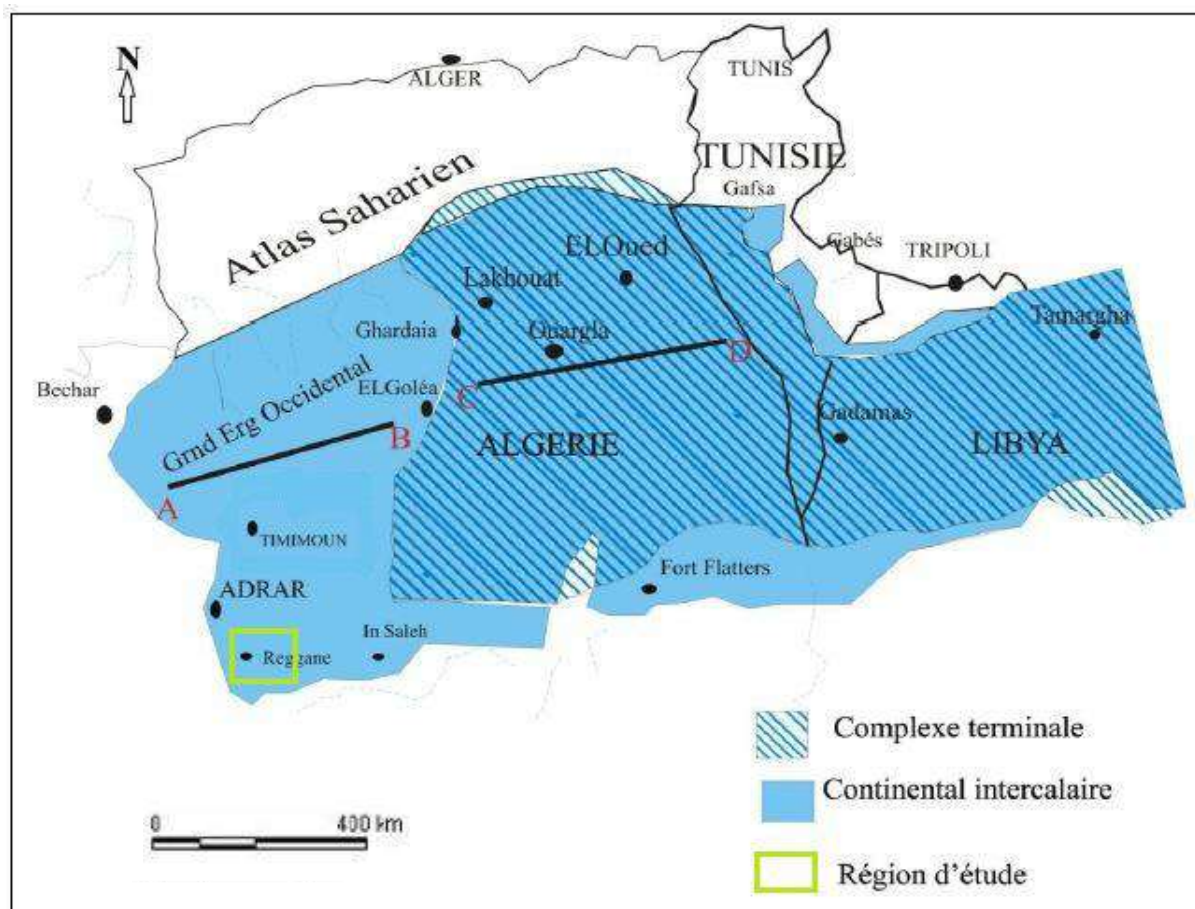


Figure 13 : Extension des formations du SASS (UNESCO, 2003).

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.14).

Les prélèvements dans le Complexe Terminal étaient de $16,3 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 (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).

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.

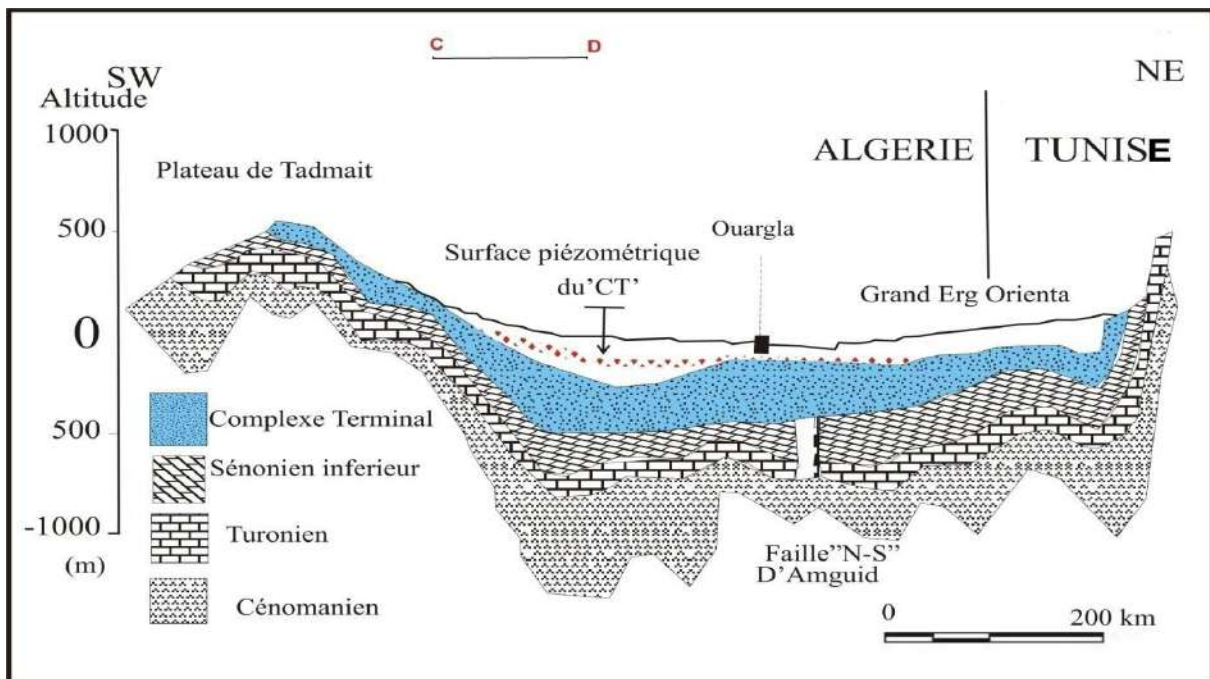


Figure 14: Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).

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.15 et 16).

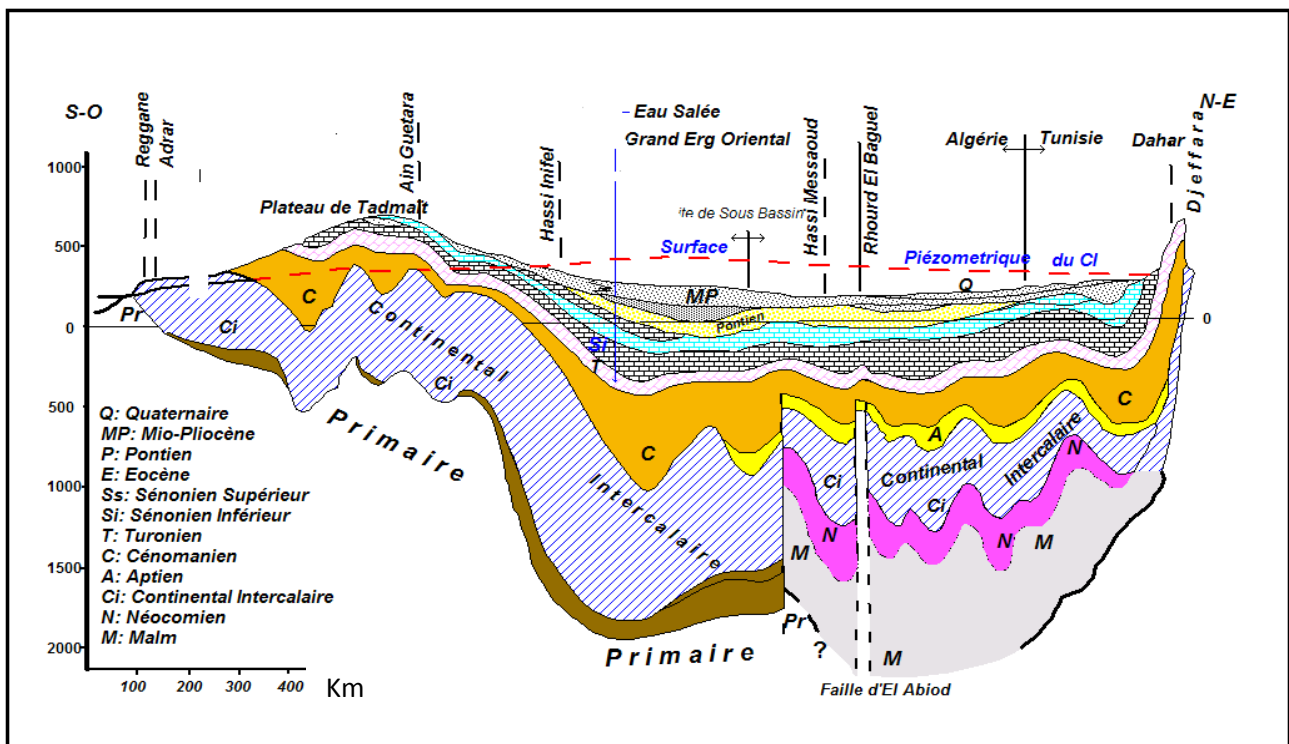


Figure 15: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

2.2.1 Lithologie : Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz). Le caractère particulier de ces grès est leur grande porosité qui est nettement plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Elle est évaluée au minimum à

10%. Les ciments sont le plus souvent calcaires, ils sont parfois siliceux ou argileux. Les niveaux parfaitement cimentés sont rares et souvent liés aux affleurements.

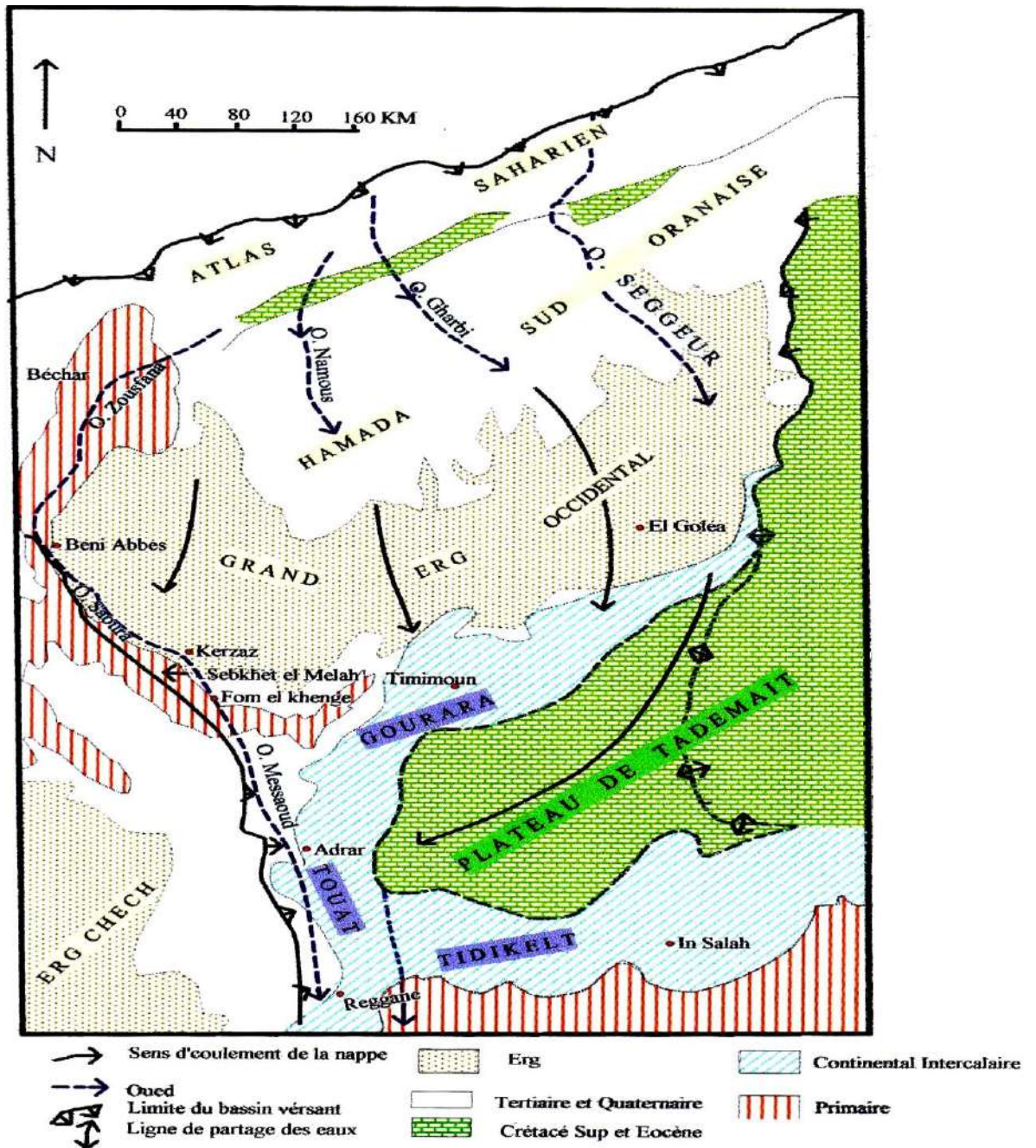


Figure16: Carte hydrogéologique du Sahara Septentrional (Gonfiantinig et Al.1974).

2.2.2 Piézométrie du "CI": la carte piézométrique du "CI" (Fig.17), élaborée dans le cadre du projet SASS (OSS, 2003). Permis de montrer l'écoulement de la nappe à l'état « naturel », peu ou pas influencé par les pompages. L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement. Il s'agit :

- Du piémont sud atlasique au Nord et Nord-Ouest.

- Du Tinrhert au Sud.
- Du Dahar à l'Est.

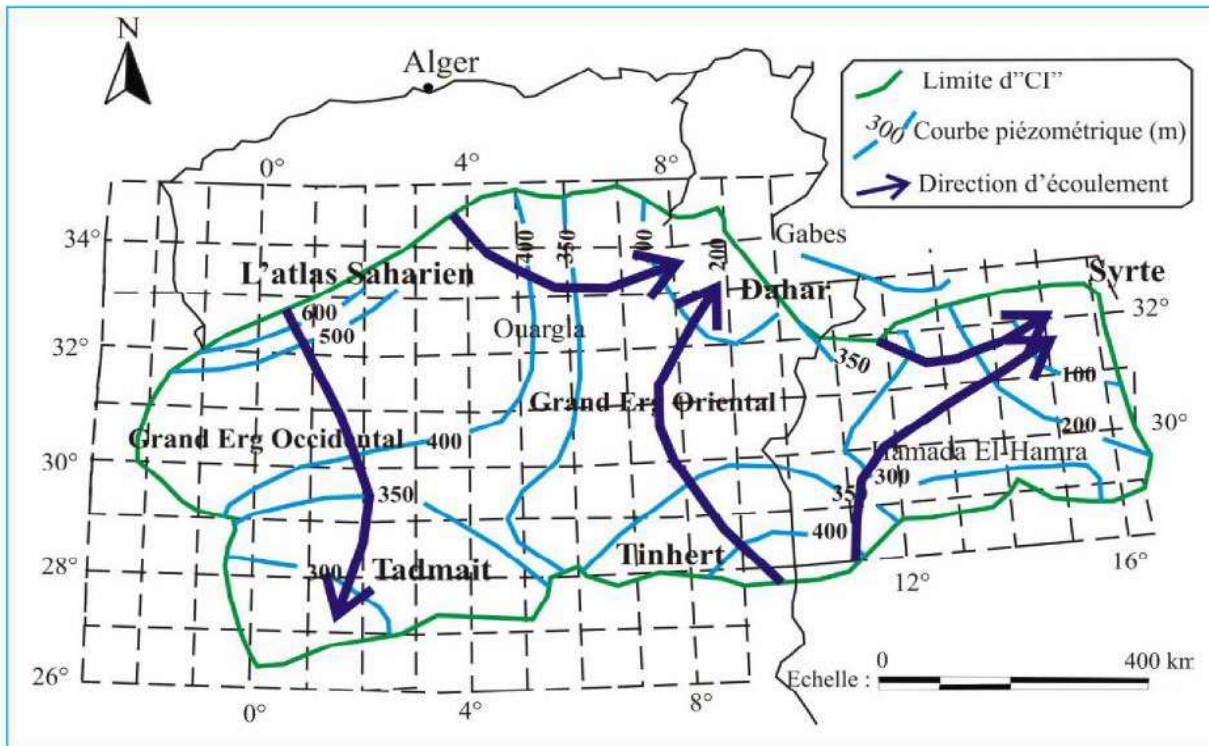


Figure17 : Carte piézométrique du Continental Intercalaire, projet du SASS (2003).

2.2.3 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 $3,5 \times 9 \times 10^3 m^3$.

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.

3. L'HYDROGEOLOGIE LOCALE

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.

3.1. Caractéristiques hydrodynamiques

3.1.1. Conditions aux limites : 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.

3.1.2. Carte piézométrique de mai 2015.

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.

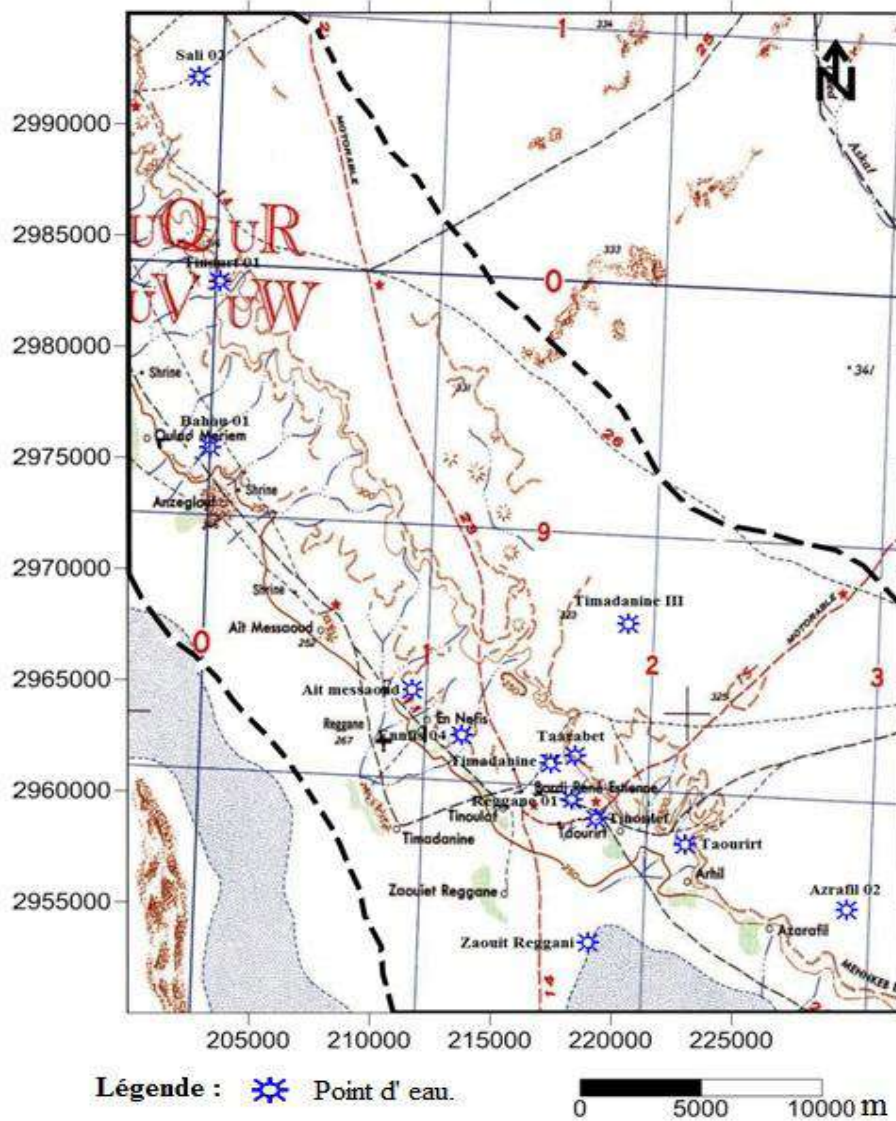


Figure18 : Carte d'inventaire des points d'eau de la région d'étude.

La carte piézométrique a été établie et réalisée en mai 2015 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.19), les centres urbaines 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 isopièzes 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.

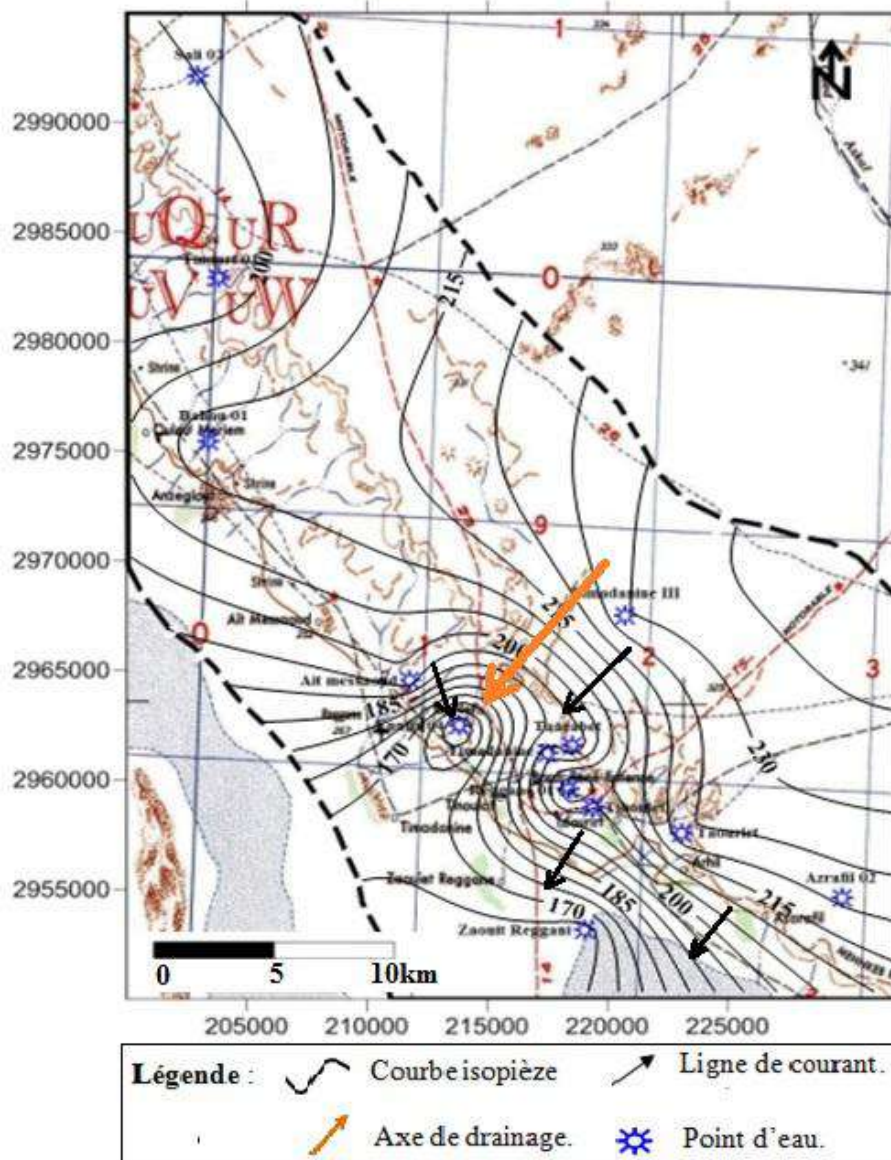


Figure 19: Carte piézométrique de la région d'étude en mai 2015.

3.1.3. Profondeur de la nappe : Généralement, le niveau statique des forages de la région se situe entre 2 et 50 m de profondeur par rapport au niveau du sol (Fig.20). Dans les agglomérations la profondeur d'eau est souvent très importante à cause de la surexploitation de la nappe de continentale intercalaire dans la région. Au Sud-Est de forage Taourirt et Azrafil 02 jusqu'à la palmeraie de Zaouiet Reggani 02 où le niveau statique atteint 4m.

En allant vers le N-W, le niveau statique est moins profond. La profondeur maximum enregistrée est de l'ordre de 50m Forage Ennfis 04 et minimum 2m Forage Bahou 01.

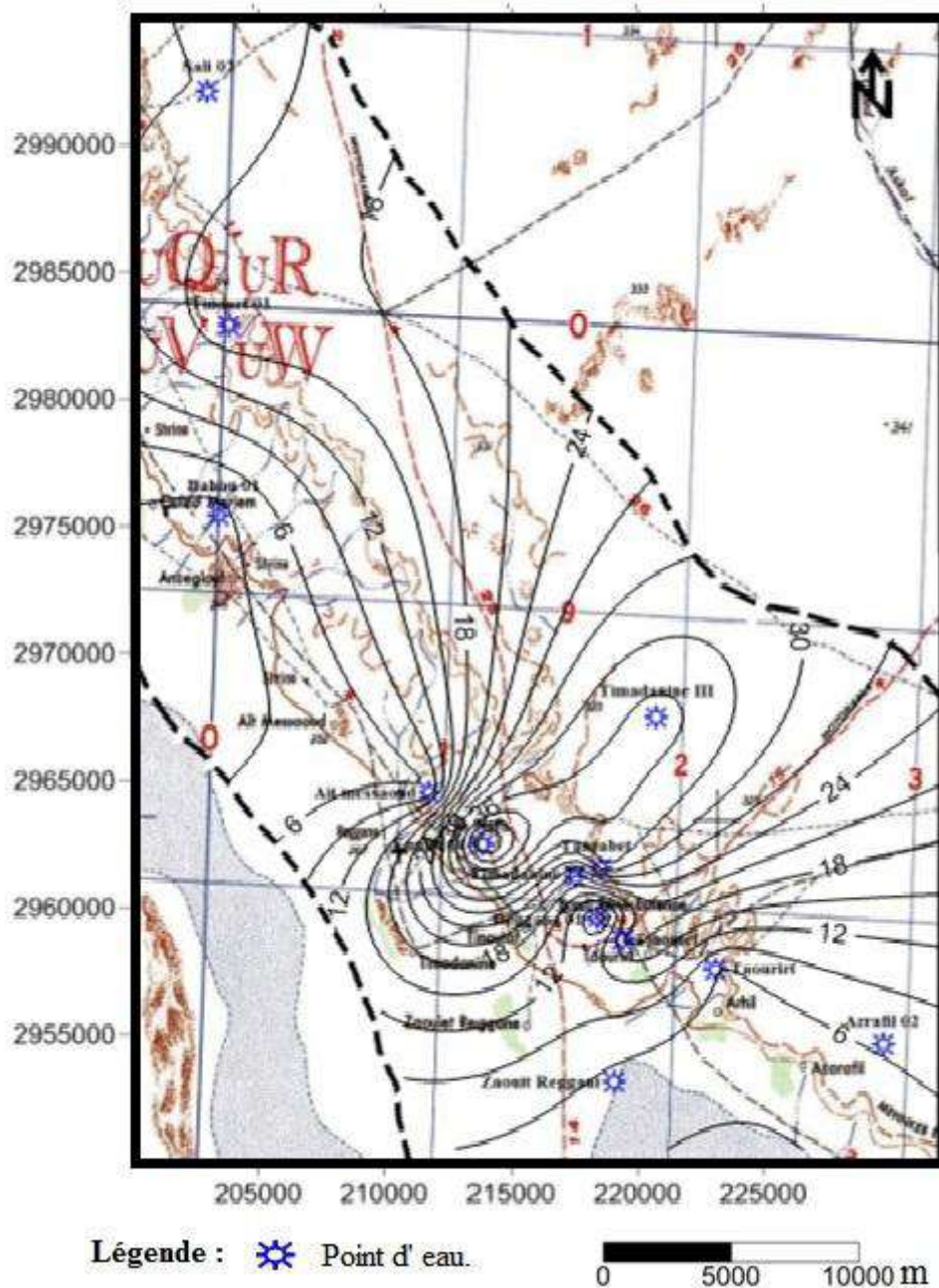


Figure 20: Profondeur de la nappe de continentale intercalaire en mai 2015

3.2. 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.

3.2.1. 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 Reggane BM 10 qui est d'ordre de 6 l/s et pour le forage de Taarabet qui est d'ordre de 40 l/s.

3.2.2. 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 rapprochées.

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

a. Forage Reggane BM 10 :

Les courbes de descente: Les données du pompage d'essai, profondeurs des niveaux d'eau (Rabatement) en mètres et temps en minute, ont permis de tracer la droite représentative. Pour le forage de Reggane BM 10, on observe au début un rabattement relativement important dû à l'effet de capacité du forage. Par la suite, on observe une relation linéaire entre le temps et le rabattement, intercalée par des paliers courte durée de stabilité, due probablement au changement latéral et/ou vertical de formation (peu perméable à plus perméable, drainance ascendante ou descendante). Cette stabilité augmente avec la profondeur, ceci s'explique par les bonnes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (Fig.21).

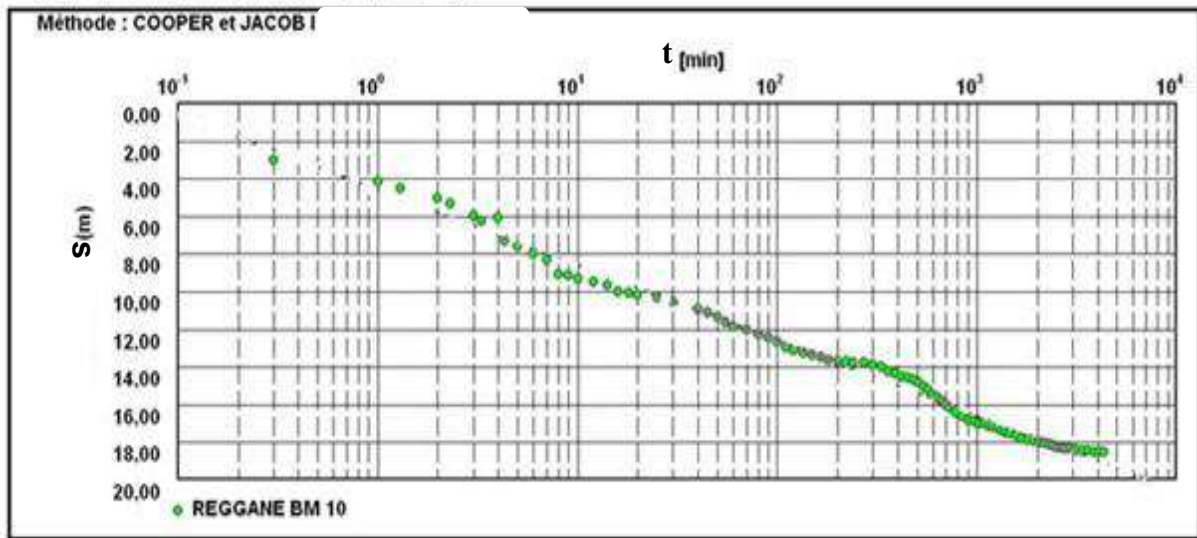


Figure21 : Forage de Reggane BM 10, courbe de descente.

Les courbes de remontées : On observe au début un rabattement relativement important dû à l'effet de capacité du forage. Nous avons le reste un alignement de points selon une droite de pente très fort et on a également noté des paliers de stabilités de plus grande durée.

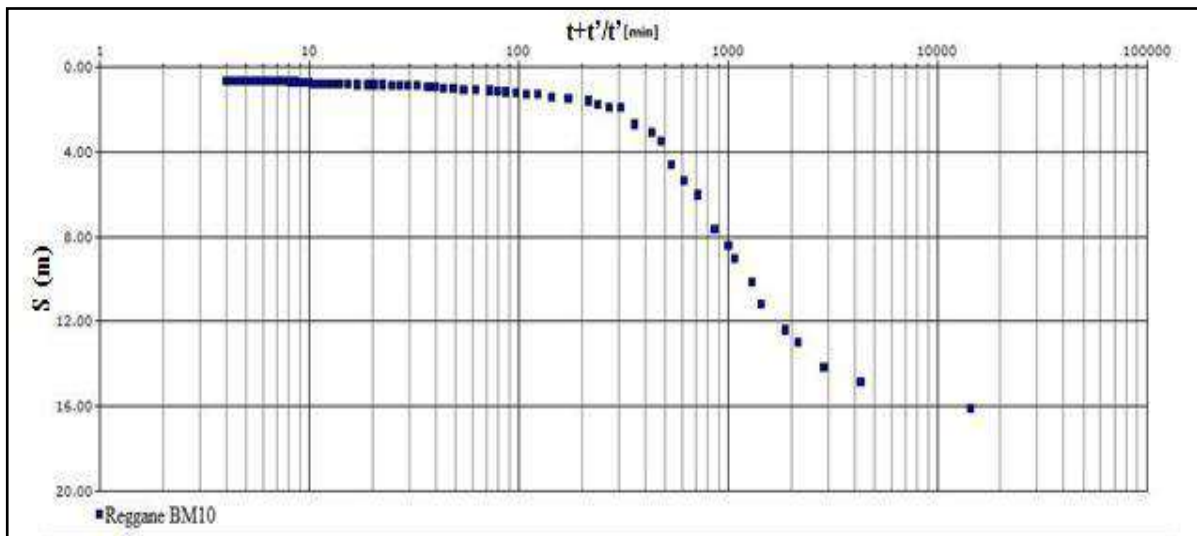


Figure 22 : Forage de Reggane BM 10, courbe de remontée.

b. Forage Taarabet :

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 ($Q= 40\text{l/s}$), le rabattement également (29 m), (voir tableau n°6), (Fig. 23).

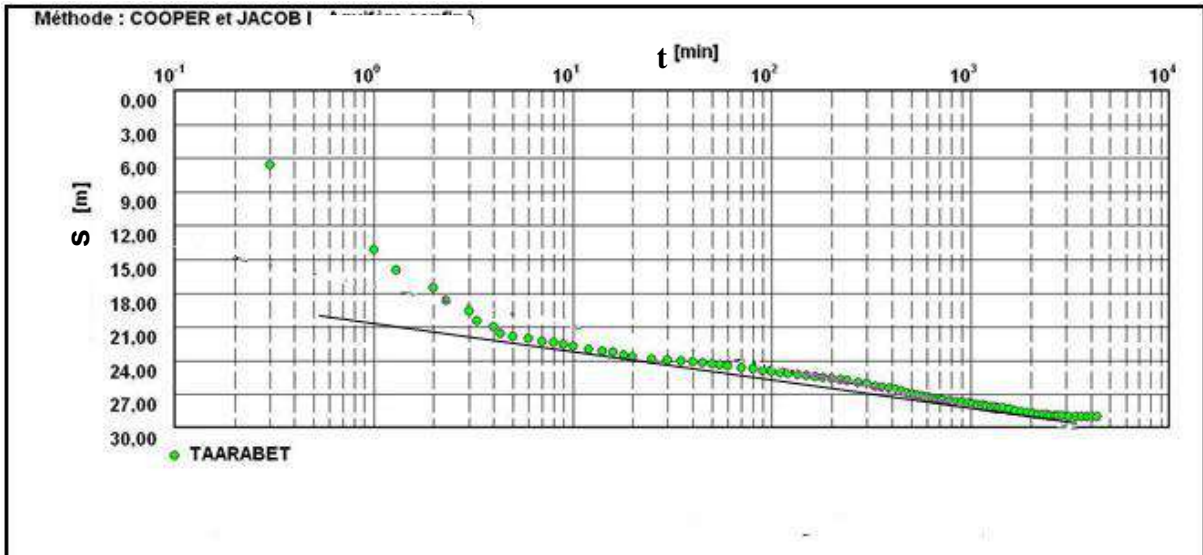


Figure 23 : Forage de Taarabet, courbe de descente.

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.

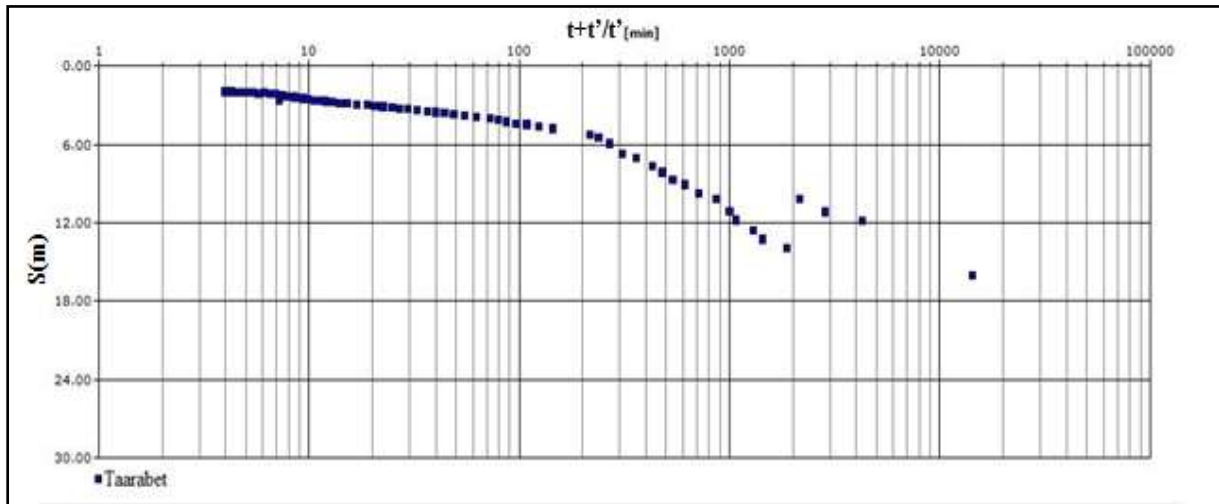


Figure 24 : Forage de Taarabet, courbe de remontée.

Tableau 6 : Quelques paramètres hydrodynamiques des forages dans la région.

Forage	Débit de pompage Q (l/s)	Rabattement S (m)	Transmissivité T (m ² /s)
Reggane BM 10	6	18.52	3.61×10^{-3}
Taarabet	40	29	4.67×10^{-2}

4. 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 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.

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 $4.67 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Partie 3:

Hydrochimie

1. Introduction

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

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 (2015) pour expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément chimique.

2. Etudes des Paramètres physico-chimiques :

2.1. Etude des Paramètres physiques :

2.1.1. Température : 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 19 à 26 °C pour l'ensemble des points d'eau (en Avril 2015).

2.1.2. Potentiels d'hydrogène (pH): Le pH est, en considération d'autres paramètres et aussi de la facilité avec laquelle on peut le mesurer, la valeur la mieux appropriée pour décrire l'agressivité de l'eau vis-à-vis de différents matériaux. Il a une grande influence sur la résistance à la corrosion de matériaux de construction métalliques et de composites de ciment. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés ; il varie habituellement entre 6.5 et 8.5. C'est d'ailleurs dans cet intervalle de valeurs que se situe généralement le pH des eaux distribuées aux populations.

Le pH des eaux des forages d'AEP analysées varie entre 6.57 et 7.61, ces résultats montrent que le pH de ces eaux n'excède pas la valeur recommandée par l'organisation mondiale de la santé (OMS)

2.1.3. 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 µs/cm et 6640 µs /cm. Ces analyses montrent que les eaux de la région de Reggane ont une conductivité supérieure au Norme Algérienne (2800 µs/cm) sauf deux forages. Fig(25)

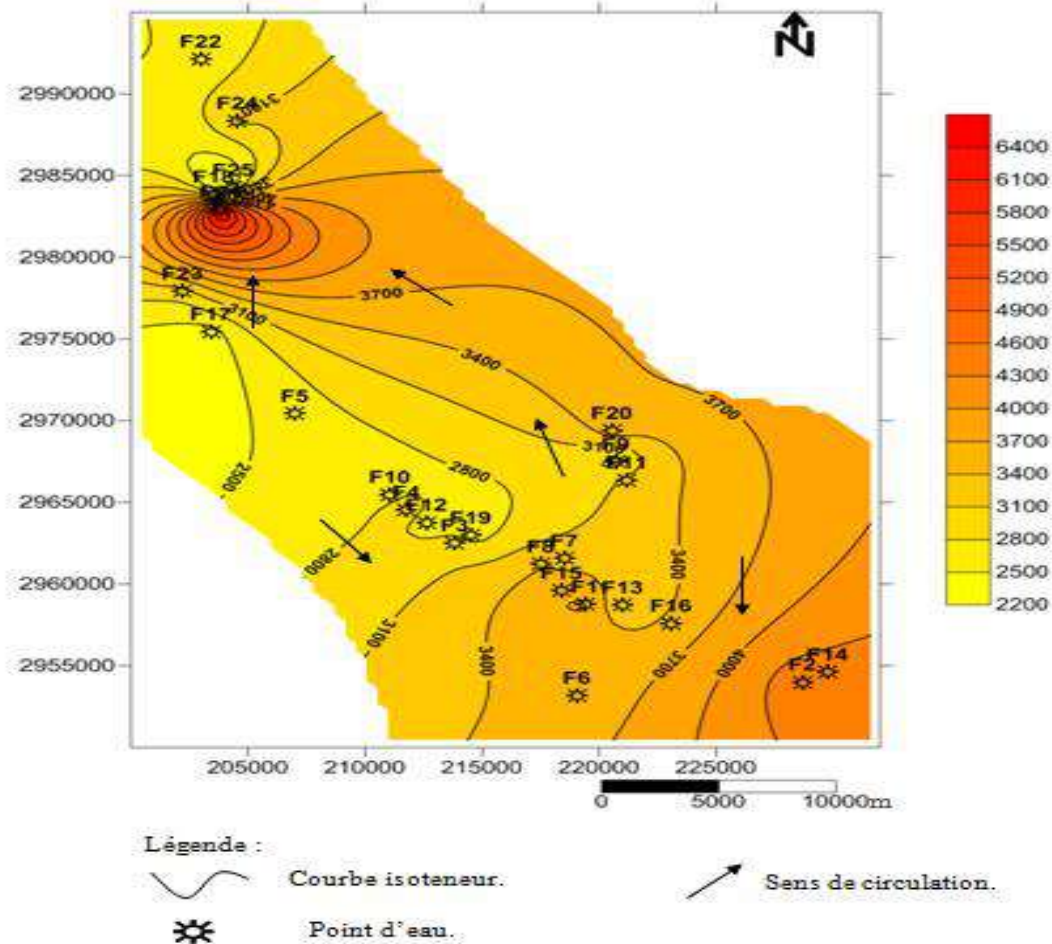


Fig. (25): Carte de Conductivité en $\mu\text{s/cm}$.

2.1.4. 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 3090 mg/l (Azrafil01). Et le minimum est enregistré au forage de Sali01 (1430 mg/l). Cela s'explique par la solubilité des éléments des terrains traversés, et avec les températures les plus élevées 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 ce Résidu sec est influencé par la minéralisation. On constate qu'il y a une bonne corrélation.

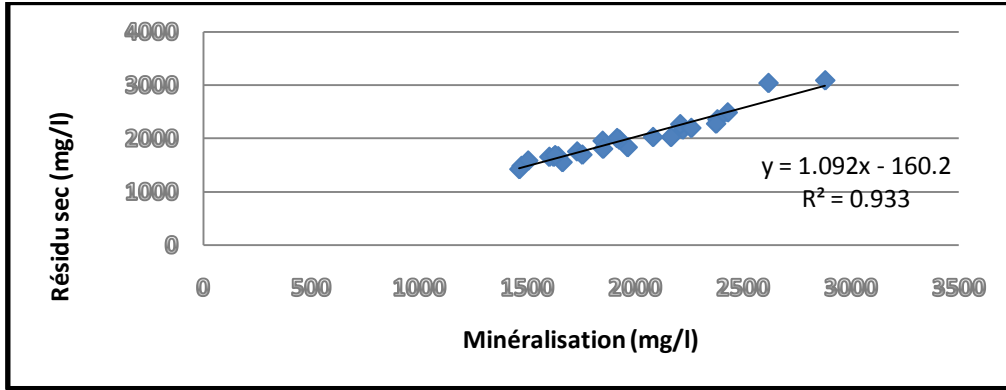


Fig. (26) : Relation Résidu sec-Minéralisation.

b. Relation Conductivité- Résidu sec: On observe qu'il ya une corrélation entre la conductivité et le Résidu sec dans la région, L'augmentation du résidu sec avec l'augmentation du conductivité.

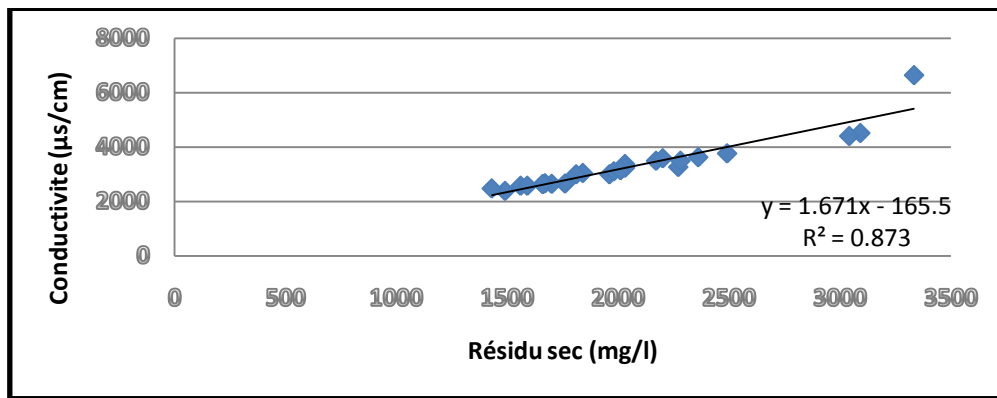


Fig. (27) : Relation conductivité–Résidu sec.

2.1.5. Dureté totale ou TH (Titre Hydrotimétrique) : La dureté d'une eau est un caractère naturel liée au lessivage des terrains traversés et se résume globalement à sa teneur en calcium et en magnésium. La dureté temporaire est liée directement à son alcalinité carbonatée tandis que la dureté permanente est prédominée par la présence des sulfates et des chlorures de calciums et de magnésium. Elle s'exprime soit en meq/l soit en mg/l de CaCO₃ soit en °F : 1 meq/l = 5°F = 50 mg/l de CaCO₃. $TH = (r Ca^{++} + r Mg^{++}) 5°F$

Tableau n°7: 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

Les résultats des analyses des forages d'AEP dans la région de Reggane montrent que les eaux de cette région possèdent une dureté supérieure à 50°F, la valeur de la dureté varie entre 62 °F au forage n°12 à 132°F au forage n° 2, donc ce sont des eaux très dures.

Pour les eaux de consommation, les normes algériennes indiquent comme bonne qualité une eau dont la dureté est entre 20 °F et 50 °F. (NA752 Séminaire sur la qualité de l'eau, 1996).

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

$$e\% = \frac{\Sigma \text{cations} - \Sigma \text{anions}}{\Sigma \text{cations} + \Sigma \text{anions}} \times 100$$

A partir du calcul du pourcentage d'erreur on distingue :

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

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

2.2. Etude des paramètres chimiques majeurs

2.2.1. Etude des cations :

a. Calcium (Ca^{2+}) : Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, et de chlorures. Les eaux potables de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/l de calcium. Les valeurs de calcium varient entre 97 mg/l et 277 mg/l. mais 88 % des eaux de la région possèdent des teneurs toujours inférieures à la Norme Algérienne (200 mg/l).

La teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés. L'ion calcium est obtenu en majorité par l'attaque par CO_2 dissous des roches calcaires (dolomie), ou par simple dissolution sous forme de sulfates dans le cas de gypse.

b. Magnésium (Mg^{2+}) : L'évolution des teneurs du magnésium est identique à celle du calcium. Les teneurs sont comprises entre 82 et 157 mg/l. La majorité des concentrations sont conformes à la norme de potabilité (150mg/l) d'après norme Algérienne.

La concentration diminue progressivement vers le NW pour atteindre 88 mg/l au forage n° 25. L'origine du magnésium dans les eaux souterraines est liée à la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomite).

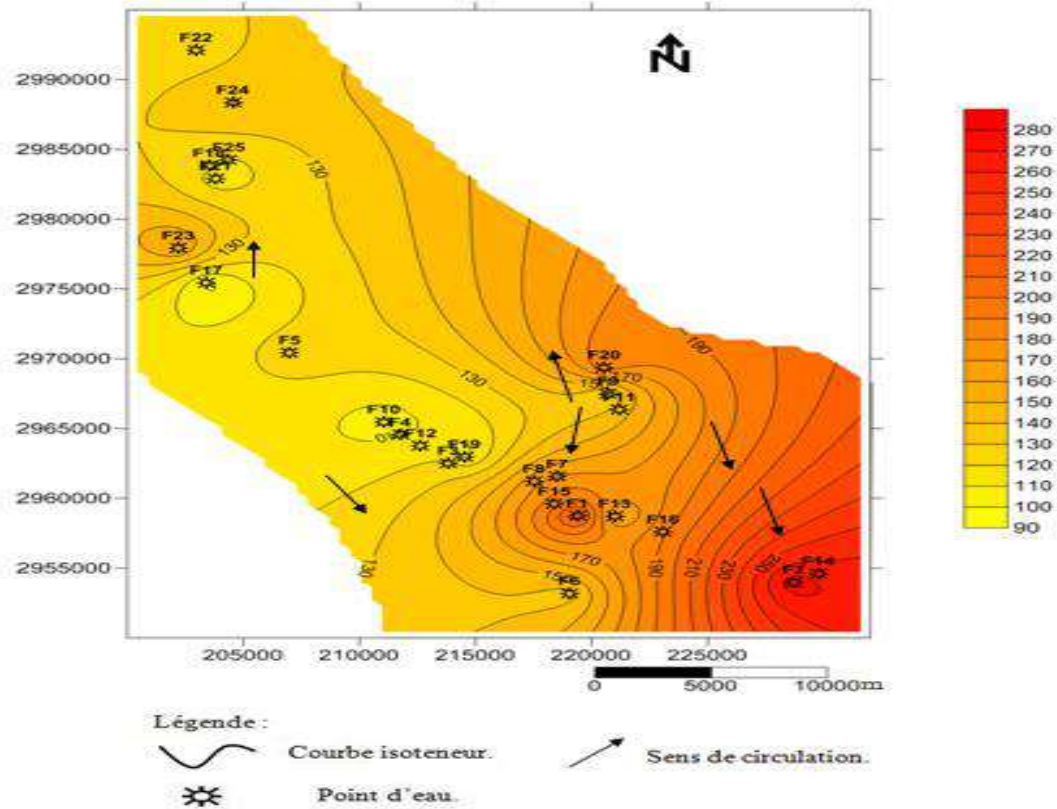


Fig. (28) : Carte d'isoteneur en Calcium en mg/l.

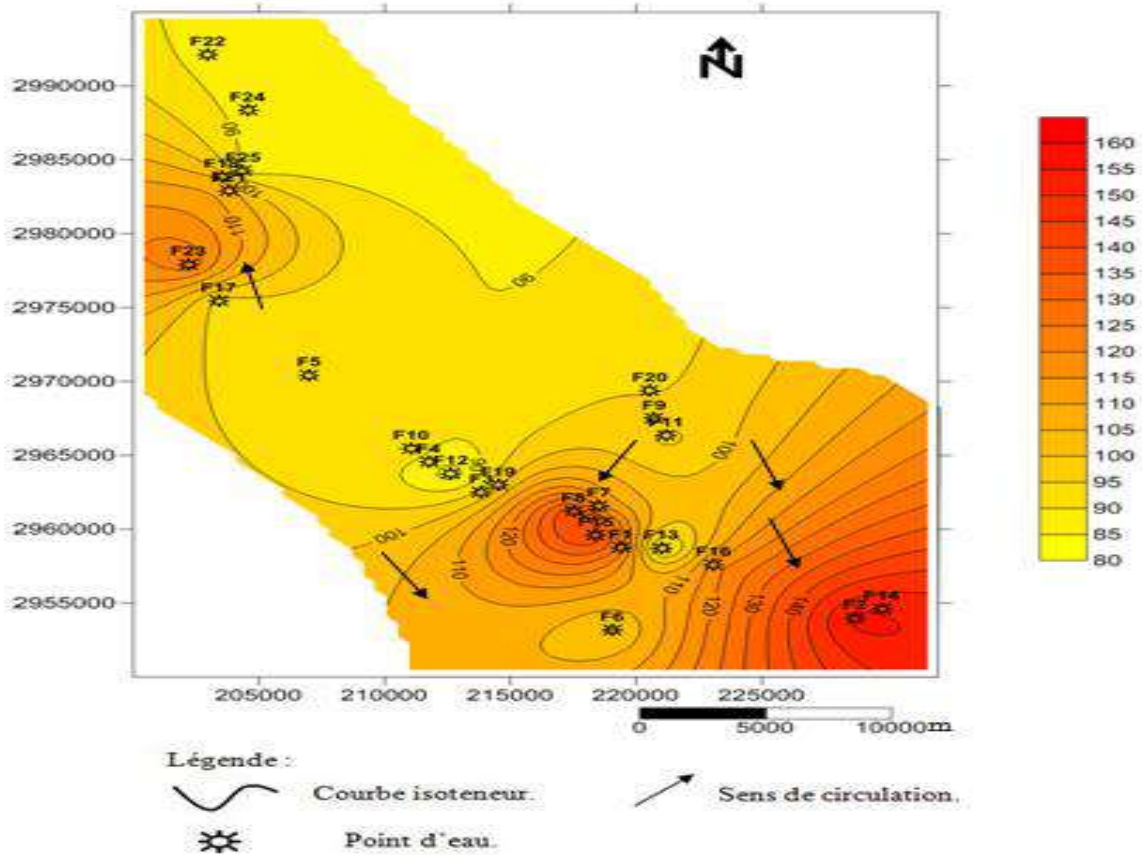


Fig. (29) : Carte d'isoteneur en Magnésium en mg/l.

C. Sodium et Potassium (Na^+ , K^+) : Il n'existe généralement pas une eau qui ne contient pas de sodium. Le sodium est un élément constant de l'eau. Les formations géologiques dans la région de Reggane peuvent être la source principale du chlorure de sodium est l'halite.

La teneur de l'ion sodium est supérieure à la norme Algérienne (250 mg/l) dans l'ensemble des forages et peut atteindre parfois 450 mg/l. Cette valeur a été observée dans le forage n°2. Aussi, pour le potassium, la concentration reste toujours supérieure à la norme (15 mg/l). Ceci s'explique essentiellement par un lessivage des terrains traversés et une concentration par évaporation.

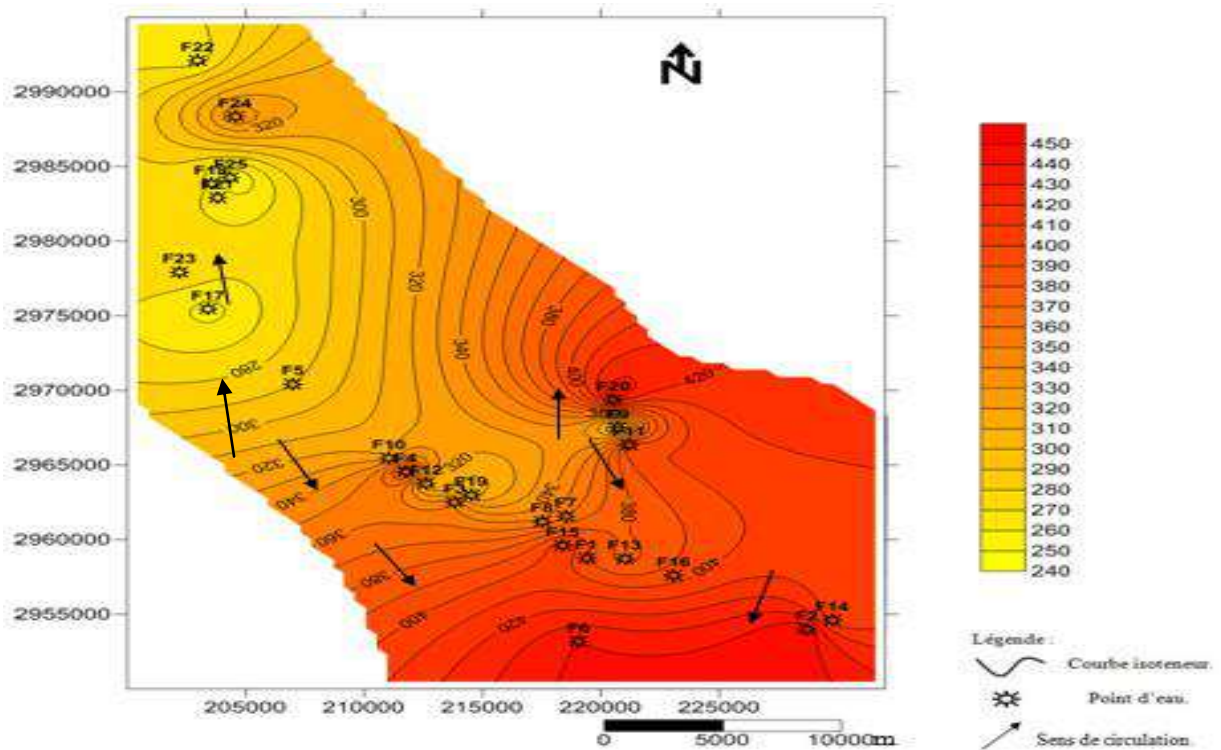


Fig. (30) : Carte d'isoteneur en sodium en mg/l.

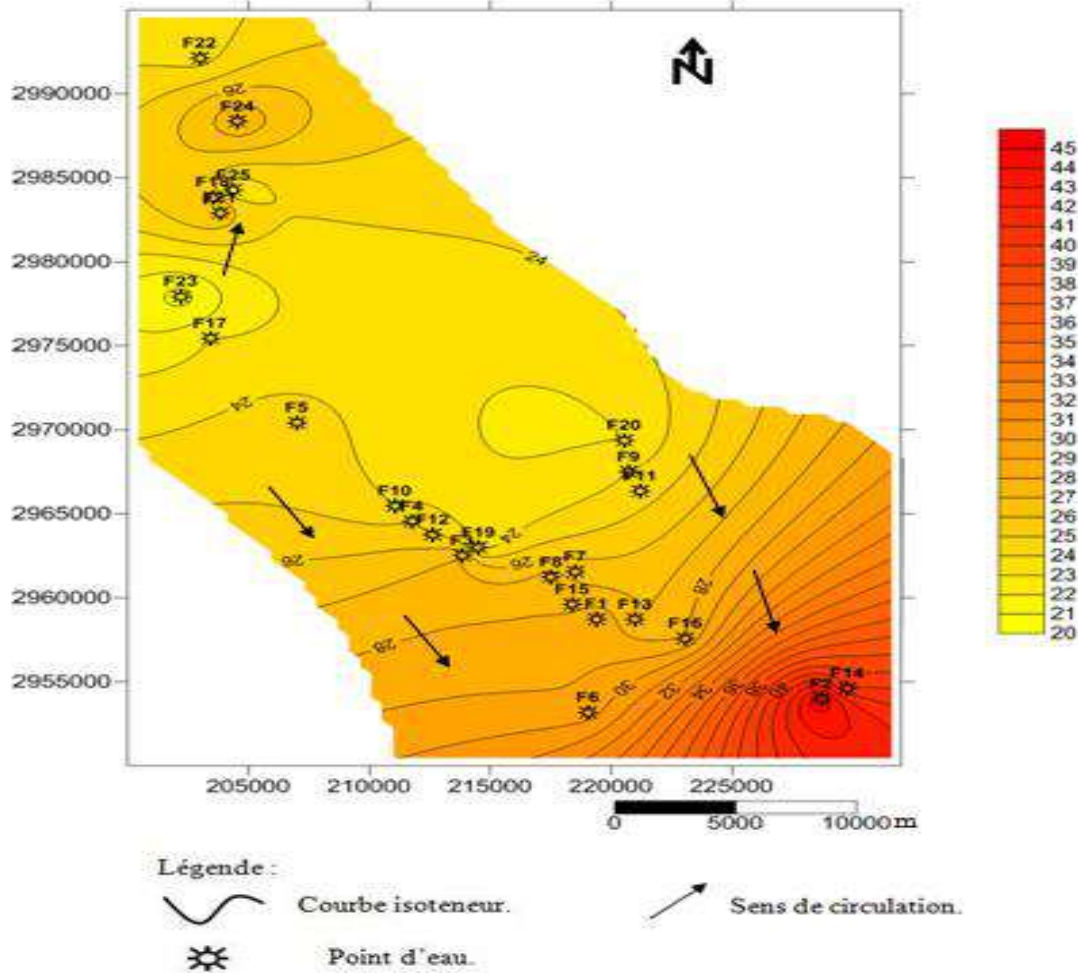


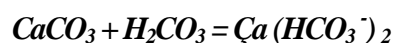
Fig. (31) : Carte d'isoteneur en potassium en mg/l.

2.2.2. Etude des anions :

A. Chlorures (Cl⁻) : Les teneurs en chlorures des eaux de la région de Reggane sont relativement élevés, ceci semble résulter essentiellement de la nature lithologique des formations aquifères et des phénomènes d'évaporation, intense dans la région. La teneur maximale est égal 660 mg/l au forage n°6 et minimale est égal 400mg/l au forage n°21

La carte d'isoteneur en chlorures (fig.32) montre que les teneurs en ion Cl⁻ sont évoluent du Nord-Ouest vers le Sud-Est, approximativement dans le sens de l'écoulement.

B. Bicarbonates (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 bicarbonates (Fig. 30) montre que la concentration en HCO₃⁻ varie entre 82mg/l au forage n°02 au Sud-est et 153mg/l au forage n°23 au Nord-Ouest.

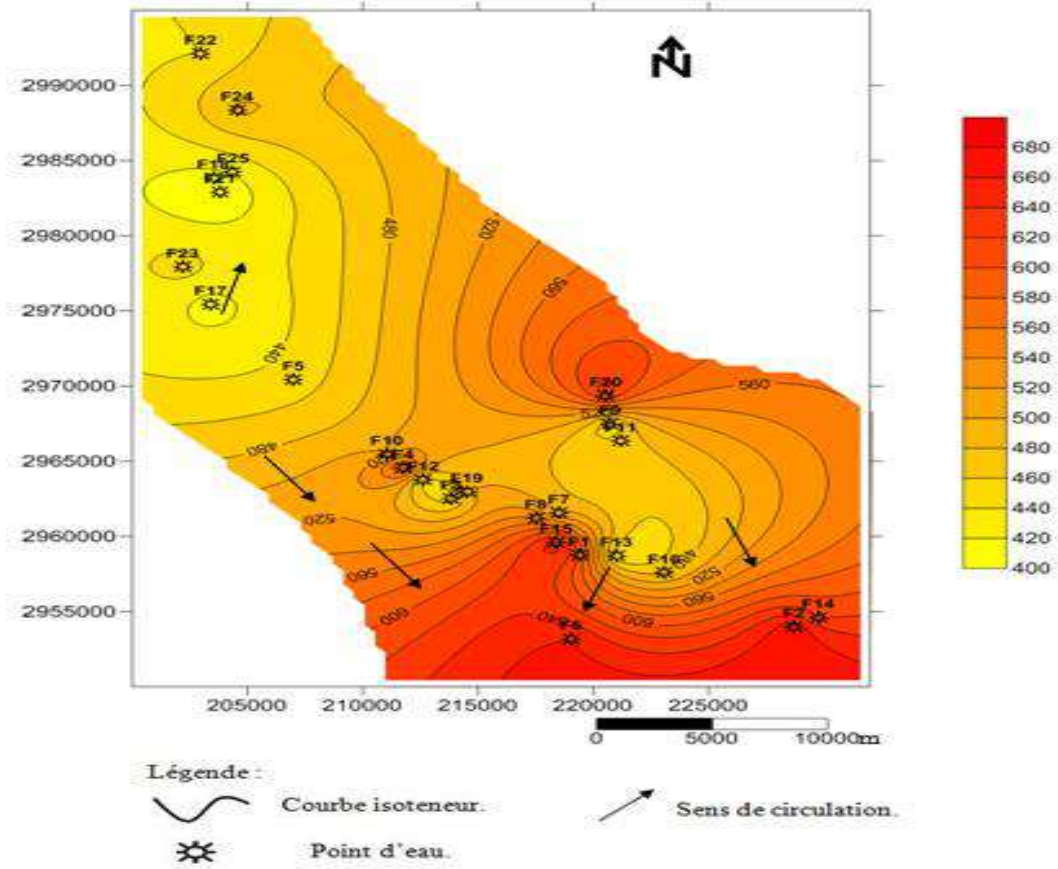


Fig. (32) : Carte d'isoteneur en Chlorure en mg/l.

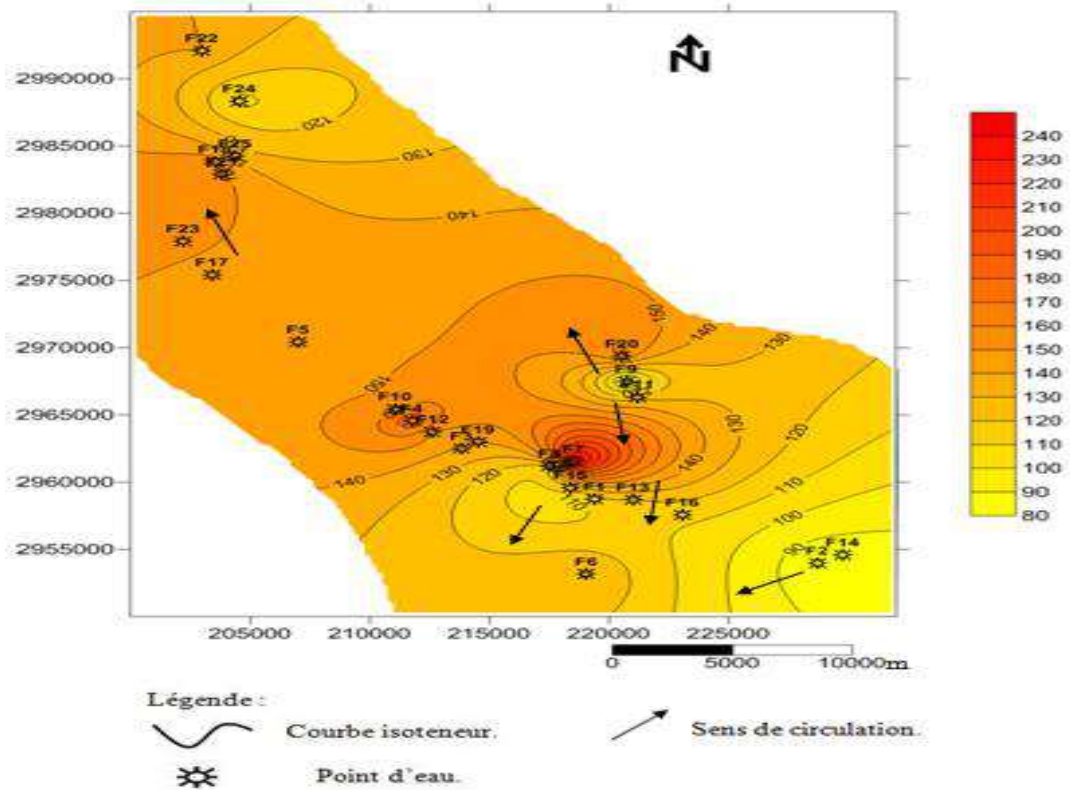


Fig. (33): Carte d'isoteneur en Bicarbonates en mg/l.

C. Nitrates (NO_3^-) : Une partie des nitrates naturels dans le sol résulte de la fixation de l'azote atmosphérique par des bactéries du sol, se trouvant par exemple dans les bulbes des racines de légumineuses. Une autre partie pénètre avec les précipitations par lessivage d'impuretés anthropogènes de l'air ou lors des orages. Dans notre cas, la présence des nitrates est probablement due à une pollution anthropique, à partir de contaminations par le réseau d'assainissement et les fosses septiques d'une part, et par l'utilisation des engrais d'autre part. La carte d'isoteneur en nitrates (Fig.34) montre des zones de concentration qui présentent des fortes valeurs, elles sont dues aux activités agricoles dans la région et aux rejets des eaux usées.

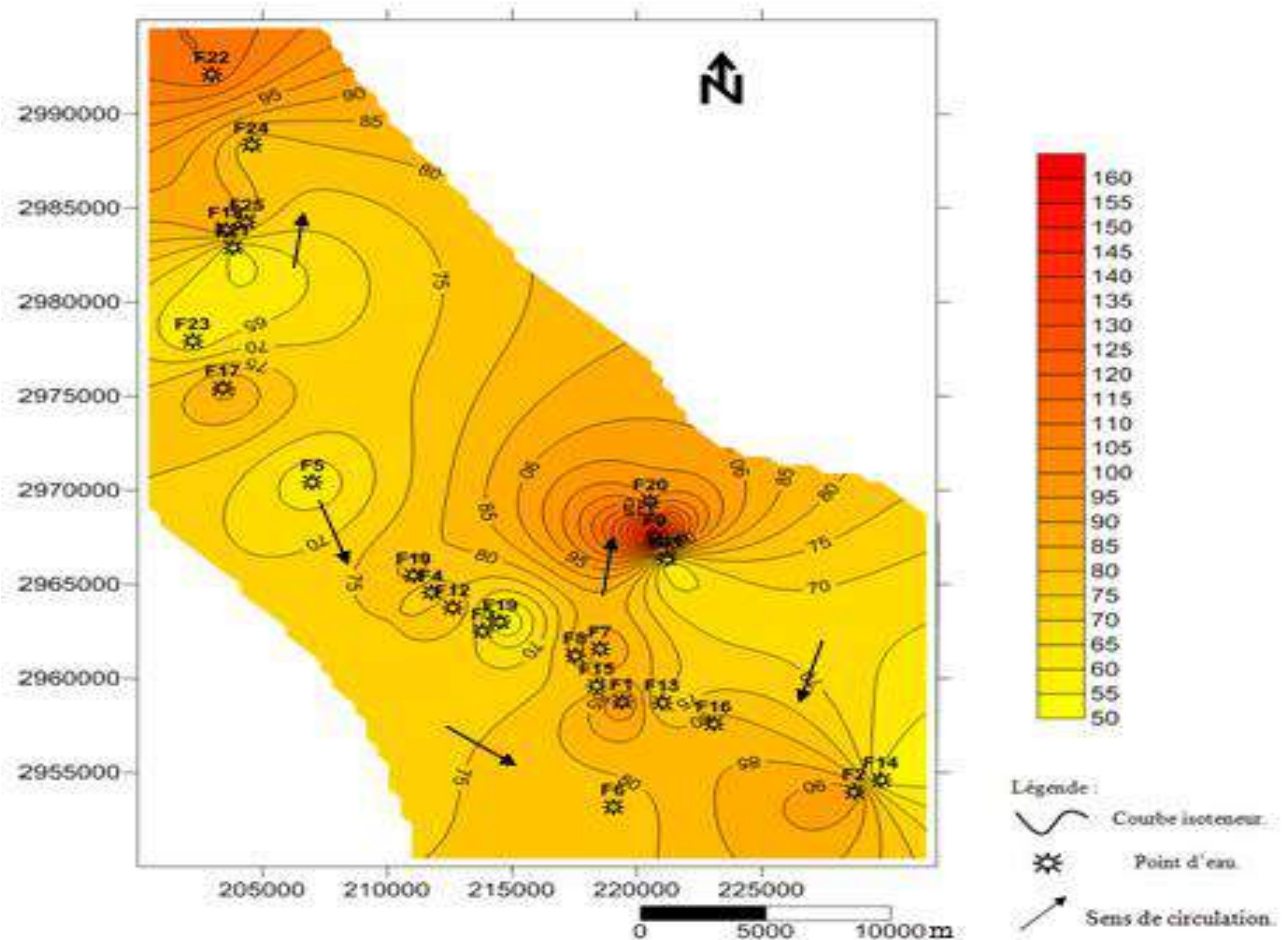


Fig. (34): Carte d'isoteneur en Nitrates en mg/l.

3. Facies chimiques des eaux de CI

Il existe plusieurs classifications des facies des eaux naturelles, nous utilisons ici deux diagrammes : diagramme de piper et diagramme de Schoeller-Berkaloff .

3.1. 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. 35): Sulfatée calcique et magnésienne et Chloruré sodique.

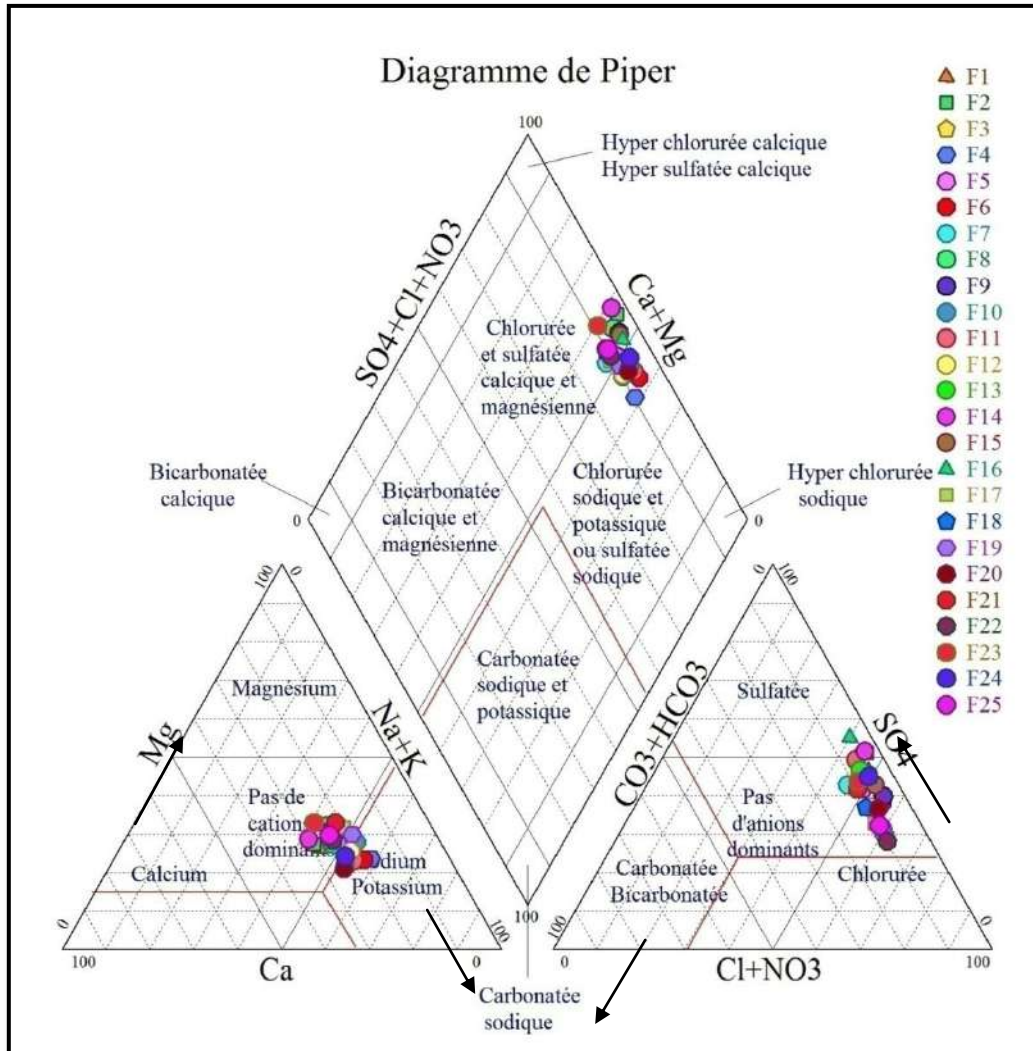
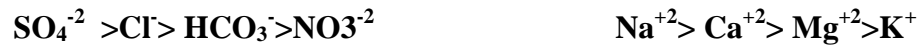


Fig. (35) : représentation des analyses chimiques sur le diagramme de PIPER.

3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

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 (Fig. 36 et 37), permet de distinguer deux grandes familles d'eaux :

* Des eaux à faciès Sulfaté sodique représentant 71% de forages, de formule caractéristique :



* Des eaux à faciès Chloruré sodique représentant 29% de forages, de formule caractéristique:

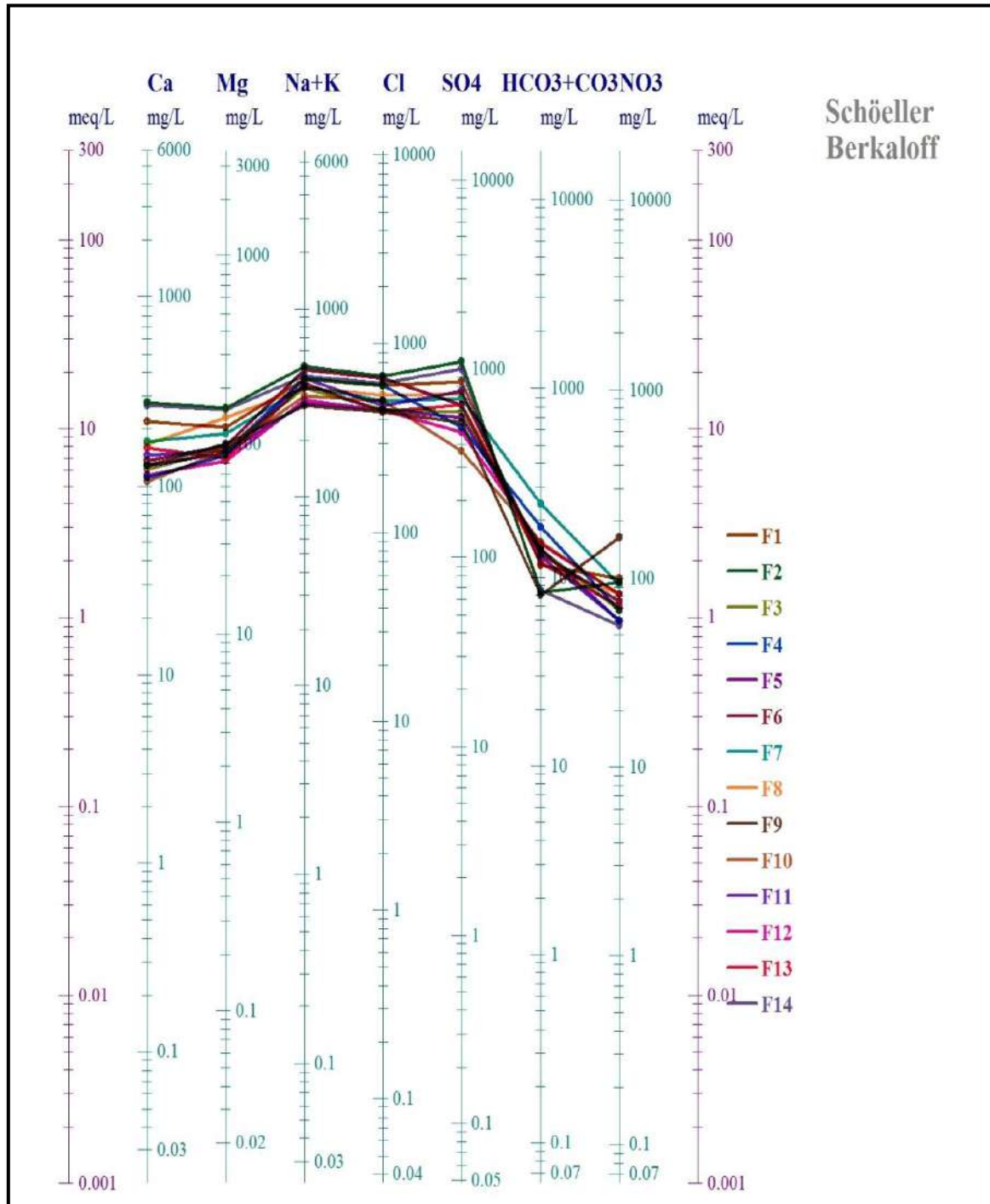


Fig. (36) : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

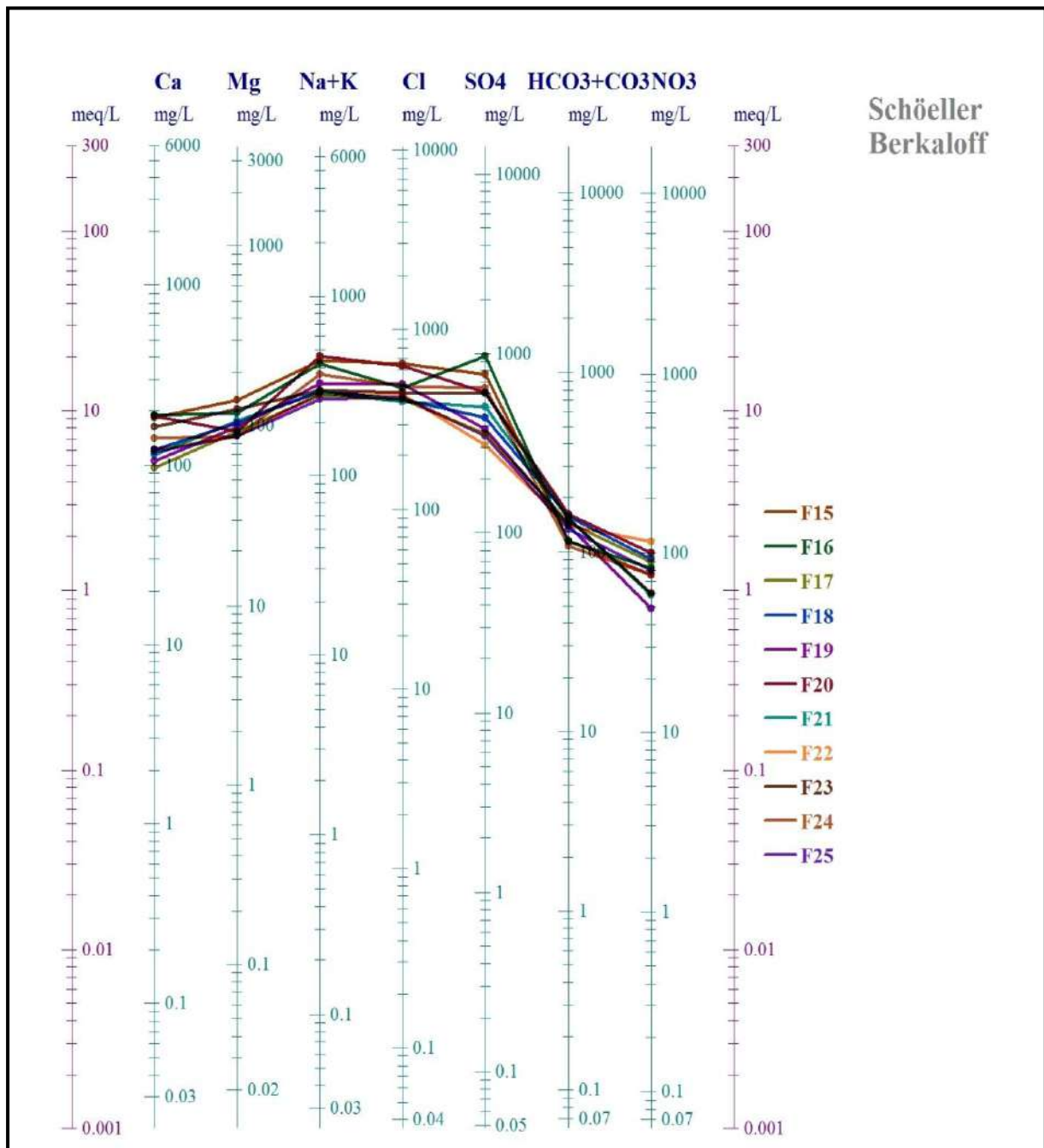


Fig. (37) : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

4. 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 appliquée. Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sols.

Le S.A.R (Sodium adsorption ratio) donné par la formule :
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}}$$

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 (Tableau 8) :

- 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).

Tableau n°8 : Résultats du S.A.R.

N° de forge	SAR	Qualité de l'eau
01	5,20	eau excellente
02	5,34	eau excellente
03	5,74	eau excellente
04	6,88	eau excellente
05	4,79	eau excellente
06	6,99	eau excellente
07	5,21	eau excellente
08	4,82	eau excellente
09	4,48	eau excellente
10	5,47	eau excellente
11	6,37	eau excellente
12	5,31	eau excellente
13	5,99	eau excellente
14	4,83	eau excellente
15	5,53	eau excellente
16	5,54	eau excellente
17	4,43	eau excellente
18	4,32	eau excellente
19	5,12	eau excellente
20	6,53	eau excellente
21	4,29	eau excellente
22	4,43	eau excellente
23	4,01	eau excellente
24	5,56	eau excellente
25	4,14	eau excellente

5. Potabilité des eaux de la nappe de continental intercalaire.

5.1. 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 Européen 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.8).

Art.10. l'état assure une surveillance des différentes composantes de l'environnement. L'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte, et les objectifs de qualité, notamment pour l'air, l'eau, le sol et le sous-sol, ainsi que les objectifs de surveillance de ces milieux récepteurs et les mesures qui doivent être précisées par voie règlementaire. Sur cette base, l'Algérie a établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n°51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation émanant du ministère du commerce. Ces normes ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 4 catégories: les paramètres organoleptiques, les paramètres physico chimiques, les substances indésirables et les substances toxiques.

Tableau 9: 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
Ox.KMON4 (Acide) (MO)	3.5	mg/l(O2)

5.2. 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 nécessitants de traitement avant leurs utilisations pour l'alimentation en eau potable.

Tableau 10: potabilité des eaux de la nappe de CI de Reggane.

Nom	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	RS	PH	Cond	Remarque
Norme	200	150	250	15	600	400	50	0.5	0.1	2000	6.5-8.5	2500	POTABLE
F1	220	124	390	29	600	850	100	0	0	2490	7.09	3760	N. POTABLE
F2	277	157	450	45	675	1100	95	0	0	3090	7.17	4510	N. POTABLE
F3	123	96	350	27	452	593	68	0	0	1960	7.07	2990	N. POTABLE
F4	110	88	400	25	600	491	68	0	0	1840	7.05	3040	N. POTABLE
F5	127	91	290	24.5	448	550	60	-	-	1760	7.6	2650	N. POTABLE
F6	136	99	440	29.5	660	650	75.5	-	-	2170	7.01	3490	N. POTABLE
F7	171	115	360	26.5	500	700	92	0	0.023	2270	7.04	3260	N. POTABLE
F8	167	140	350	27.5	540	740	82.5	0	0.023	2030	7.04	3370	N. POTABLE
F9	128	101	280	24	440	520	165	0.06	0.03	1700	7.21	2640	N. POTABLE
F10	105	93	320	24	500	365	82.5	0	0.02	1670	7.44	2660	N. POTABLE
F11	145	93	400	24.5	472	760	60	0	0.08	2030	7.35	3230	N. POTABLE
F12	114	82	305	25	445	460	82.5	0	0.03	1560	7.6	2570	N. POTABLE
F13	158	85	376	27	440	650	71.5	0	0	1980	7.13	3100	N. POTABLE
F14	264	154	400	40	618	1000	56.5	0	0.05	3040	7.15	4400	N. POTABLE
F15	185	140	410	27.5	652	775	75.5	0	0	2360	7.2	3620	N. POTABLE
F16	189	118	395	28	476	973	82.5	0	0	2280	7.16	3490	N. POTABLE
F17	97	93	255	23	411	360	88	0	0	1490	7.47	2380	N. POTABLE
F18	123	104	270	26	411	440	92	0	0	1660	7.18	2630	N. POTABLE
F19	105	99	305	23.5	500	380	49.3	0	0	1660	7.43	2630	N. POTABLE
F20	188	94	440	23	630	610	100	0.35	0.005	2200	6.57	3580	N. POTABLE
F21	114	107	266	26	400	505	58.4	0	0	1690	7.28	6640	N. POTABLE
F22	123	88	264	23.5	440	310	115	0	0	1590	7.27	2570	N. POTABLE
F23	163	124	280	20.5	450	600	60	0	0	1810	7.12	2990	N. POTABLE
F24	141	88	342	28	484	650	75.5	0	0	2010	7.61	3140	N. POTABLE
F25	119	88	245	23	424	350	80	0	0	1430	6.65	2470	N. POTABLE

6. 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 Sebkhass.

La majorité des éléments chimiques évoluent du Sali au Nord-Ouest vers Azrafil au Sud-Est de la région, conformément à la direction globale 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 chimiques 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.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

La région de Reggane fait partie du Touat se trouve au Sahara Septentrional. Elle est caractérisée par un climat sec et chaud (hyperaride) surtout en été avec une pluviométrie très rare ; ces précipitations se présentent sous forme d'averses durant la saison de mousson qui remonte de l'Afrique Equatoriale.

Du point de vue géologique, la cuvette de Reggane est constituée de sédiments d'âge Crétacé inférieur, reposant en discordance sur le socle Précambrien. Les formations du Crétacé inférieur (continental intercalaire) qui affleurent largement. Elles sont constituées essentiellement d'un faciès grés-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 à 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 $4.67 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

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 Sebkhass.

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 hydrochimique 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 nécessitants de traitement avant leurs utilisations pour l'alimentation en eau potable.

bibliographie

Bibliographie

- **ANRH., DRSO-ADRAR** Direction régionale Sud- Ouest, ADRAR. Rapport interne, mars 2007.
- **ANRH., 2015.**Fiches techniques des forages, les analyses chimiques des forages d'eau.
- **ANRH.,** Les données des essais de pompage.
- **Baali Aet Boutadara A., 2010.** Mémoire d'ingénieur d'état, université d'Oran, Dévonien inférieure et moyenne de bassin de Reggane.
- **Benhamza. M, 2012.** Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba. Aperçu Hydrogéologique et Hydrochimique sur le système de captage Traditionnel des eaux souterraines « Foggara » dans la région d'Adrar.
- **Boutadara Y., 2009.**Thèse de Magister en Hydraulique, université Mohamed Boudiaf Oran.Elaboration d'un système d'informations géographiques sur le système de captage traditionnel dans les OASIS sahariennes.
- **Castany G.,1982.** Principe et méthode de l'hydrogéologie. Edition Dunod, Université Bordas, Paris.
- **Conrad G., 1969.** Les séries carbonifères du Sahara central Algérien, stratigraphie, sédimentations et évolution structurale, Thèse Doctorat d'état, Université Aix, Marseille.
- **Djaafri M., 2006.**Thèse de Magister, université d'Oran Es Sénia.Etablissement d'une Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par la méthode DRASTIC. Cas de la région d'Adrar (Touat).
- **Fabre J., 1976.**Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED, Alger, Algérie, 422p.
- **Hassani M.I.,1991.** Les méthodes traditionnelles de captages des eaux souterraines dans le Sahara Algérien. Revue techniques et sciences n°6.
- **Internet (Google),**Le Tidikelt, Dépression de Reggane.
- **Jacob C.E., 1950.** cours hydrogéologie.
- **Kassir A.,1982.** Hydrogéologie du Gourara (Sahara. Occ, Algérie). Thèse 3^{eme} cycleUniv. Sc et Tech, H. Boumediene, Alger.
- **Khalil I etOmari A., 2006.**Mémoire d'ingénieur d'état, université d'Oran Es Sénia.Etude Hydro chimique de nappe la nappe d'Adrar (TOUAT).
- **Khodjaoui A., 2008.** Thèse de Magister, université M'Hamed Bougara-Boumerdes. Le Dévonien inférieur du Bassin de Reggane (Sahara Occidental Algérien) Sédimentologie, Bio-Stratigraphie et Stratigraphie Séquentielle.
- **Mimouni Y et kina A, 2013.** Mémoire d'ingénieur d'état, université d'Oran.Contribution a l'étude Hydrogéologique de continental intercalaire dans la région de Gourara.

- **ONM:** Office national de météorologie.
- **OSS., 2003.** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.
- **OSS., 2003.** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p.
- **Remini B., 2008.** La Foggara. Office Publication Universitaires.
- **SASS., 2003.**
- **Subdivision Hydraulique de Reggane,** Hydrogéologie de la région de Reggane et Aoulef.
- **Taybi.A, 2010.** Mémoire d'ingénieur d'état, université Mentouri constantine etude Hydrogéologique de continental intercalaire dans la région Reggane-Aoulef.
- **UNESCO., 1972.** Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional.

Annexes

DONNEES ESSAI DE POMPAGE LONGUE DUREE (DESCENTE + REMONTEE)

Nom Forage: REGGANE BM 10	Coordonnées	X:00°14'09"E
N° : P004-00123		Y:26°43'41"N
NS/Sol = 69,10 m		
Débit : 6 l/s		

Descente							Remontée						
Date	T(m)	ND(m)	S(m)	Date	T(m)	ND(m)	S(m)	Date	t+t'/t'	ND(m)	Date	t+t'/t'	ND(m)
#####	0	69,1	0		330	83,1	14	#####	0	87,62		14,09	69,92
	0,3	72,1	3		360	83,3	14,2		14401	85,2		13	69,91
	1	73,25	4,15		390	83,42	14,32		4321	84		12,07	69,9
	1,3	73,6	4,5		420	83,58	14,48		2881	83,26		11,28	69,9
	2	74,15	5,05		450	83,66	14,56		2161	82,1		10,6	69,88
	2,3	74,43	5,33		480	83,78	14,68		1879,26	81,52		10	69,86
	3	75,08	5,98		510	83,9	14,8		1441	80,34		9,47	69,84
	3,3	75,35	6,25		540	84,15	15,05		1310,09	79,26		9	69,83
	4	75,17	7,07		570	84,3	15,2		1081	78,15		8,57	69,81
	4,3	76,38	7,28		600	84,57	15,47		1005,65	77,56		8,2	69,8
	5	76,7	7,6		630	84,68	15,58		865	76,8		7,85	69,79
	6	77,05	7,95		660	84,88	15,78		721	75,15		7,54	69,78
	7	77,4	8,3		690	85,06	15,96		618,14	74,46		7,26	69,77
	8	78,2	9,1		720	85,22	16,12		541	73,7		7	69,77
	9	78,25	9,15		780	85,54	16,44		481	72,6		6,53	69,77
	10	78,4	9,3		840	85,7	16,6		433	72,2		6,14	69,77
	12	78,58	9,48		900	85,9	16,8		361	71,82		5,8	69,77
	14	78,75	9,65	#####	960	86	16,9		309,57	71,02	#####	5,5	69,77
	16	79,1	10		1020	86,07	16,97		271	71		5,23	69,77
	18	79,15	10,05		1080	86,12	17,02		240	70,86		5	69,77
	20	79,26	10,16		1140	86,19	17,09		217	70,7		4,78	69,77
	25	79,4	10,3		1200	86,26	17,16		173,8	70,62		4,6	69,77
	30	79,62	10,52		1260	86,34	17,24		145	70,54		4,42	69,77
	35	79,83	10,73		1320	86,42	17,32		124,42	70,4		4,27	69,77
	40	80	10,9		1380	86,55	17,45		109	70,37		4,13	69,77
	45	80,22	11,12		1440	86,64	17,54		97	70,34		4	69,77
	50	80,44	11,34		1560	86,75	17,65		87,4	70,3			
	55	80,72	11,62		1680	86,88	17,78		79,54	70,25			
	60	80,97	11,87		1800	86,96	17,86		73	70,22			
	70	81,13	12,03		1920	87,04	17,94		62,71	70,19			
	80	81,33	12,23		2040	87,1	18		55	70,16			
	90	81,55	12,45		2160	87,15	18,05		49	70,14			
	100	81,76	12,66		2280	87,2	18,1		44,2	70,09			
	110	82,07	12,97	#####	2400	87,27	18,17		40,27	70,06			
	120	82,2	13,1		2520	87,36	18,26		37	70,04			
	135	82,35	13,25		2640	87,39	18,29		33	70			
	150	82,48	13,38		2760	87,42	18,32		29,8	69,99			
	165	82,58	13,48		2880	87,45	18,35		27,18	69,97			
	180	82,75	13,65		3120	87,49	18,39		25	69,96			
	200	82,8	13,7		3360	87,53	18,43		22,6	69,95			
	220	82,82	13,72		3600	87,56	18,46		20,63	69,95			
	240	82,85	13,75		3840	87,59	18,49		19	69,95			
	270	82,87	13,77	#####	4080	87,6	18,5		17	69,94			
	300	82,96	13,86		4320	87,62	18,52		15,4	69,93			

Nom Forage: TAARABET	Coordonnées	X:00°10'12"E
N° : P004-00132		Y:26°44'58"E
NS/Sol = 34,15 m		
Débit : 40 l/s		

Descente							Remontée						
Date	T(m)	ND(m)	S(m)	Date	T(m)	ND(m)	S(m)	Date	t+t'/t'	ND(m)	Date	t+t'/t'	ND(m)
#####	0	34,15	0		330	60,4	26,25	#####	0	63,15		14,09	37
	0,3	40,75	6,6		360	60,53	26,38		14401	50,2		13	36,95
	1	48,25	14,1		390	60,62	26,47		4321	46,08		12,07	36,9
	1,3	50,11	15,96		420	60,71	26,56		2881	45,37		11,28	36,86
	2	51,65	17,5		450	60,88	26,73		2161	44,35		10,6	36,8
	2,3	52,8	18,65		480	61,02	26,87		1879,26	48,16		10	36,75
	3	53,75	19,6		510	61,12	26,97		1441	47,46		9,47	36,7
	3,3	54,61	20,46		540	61,2	27,05		1310,09	46,83		9	36,62
	4	55,12	20,97		570	61,29	27,77		1081	46		8,57	36,57
	4,3	55,75	21,6		600	61,37	27,22		1005,65	45,35		8,2	36,52
	5	56	21,85		630	61,45	27,3		865	44,4		7,85	36,47
	6	56,15	22		660	61,52	27,37		721	43,98		7,54	36,42
	7	56,41	22,26		690	61,58	27,43		618,14	43,27		7,26	36,88
	8	56,48	22,33		720	61,63	27,48		541	42,89		7	36,33
	9	56,71	22,56		780	61,7	27,55		481	42,32		6,53	36,31
	10	56,9	22,75		840	61,78	27,63		433	41,9		6,14	36,24
	12	57,16	23,01		900	61,85	27,7		361	41,21		5,8	36,27
	14	57,3	23,15		960	61,93	27,78		309,57	40,95		5,5	36,25
	16	57,41	23,26	#####	1020	62	27,85		271	40,14	#####	5,23	36,23
	18	57,65	23,5		1080	62,05	27,9		240	39,7		5	36,22
	20	57,8	23,65		1140	62,1	27,95		217	39,45		4,78	36,21
	25	58	23,85		1200	62,15	28		173,8	39,21		4,6	36,2
	30	58,09	23,94		1260	62,2	28,05		145	39		4,42	36,19
	35	58,19	24,04		1320	62,25	28,1		124,42	38,82		4,27	36,17
	40	58,28	24,13		1380	62,3	28,15		109	38,66		4,13	36,17
	45	58,37	24,22		1440	62,35	28,2		97	38,57		4	36,17
	50	58,46	24,31		1560	62,45	28,3		87,4	38,46			
	55	58,53	24,38		1680	62,55	28,4		79,54	38,31			
	60	58,62	24,47		1800	62,65	28,5		73	38,19			
	70	58,75	24,6		1920	62,75	28,6		62,71	38,09			
	80	58,89	24,74		2040	62,85	28,7		55	37,95			
	90	59	24,85		2160	62,92	28,77		49	37,88			
	100	59,09	24,94		2280	62,94	28,79		44,2	37,8			
	110	59,18	25,03		2400	62,96	28,81		40,27	37,73			
	120	59,27	25,12	#####	2520	62,98	28,83		37	37,65			
	135	59,36	25,21		2640	63	28,85		33	37,56			
	150	59,45	25,3		2760	63,02	28,87		29,8	37,5			
	165	59,55	25,4		2880	63,04	28,89		27,18	37,43			
	180	59,65	25,5		3120	63,08	28,93		25	37,37			
	200	59,75	25,6		3360	63,1	28,95		22,6	37,31			
	220	59,82	25,67		3600	63,12	28,97		20,63	37,25			
	240	59,9	25,75		3840	63,14	28,99		19	37,14			
	270	60,09	25,94	#####	4080	63,15	29		17	37,13			
	300	60,2	26,05		4320	63,15	29		15,4	37,06			

Tableau : Résultats d'analyse physico-chimique des eaux
(en mg/l, la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ et TH, TAC en $^{\circ}\text{F}$).

Nom	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	NO3	HCO3	TH	MIN	TAC	RS mg/l	PH	Cd $\mu\text{s}/\text{cm}$
F1	220	124	390	29	600	850	100	116	104	2429	10	2490	7.09	3760
F2	277	157	450	45	675	1100	95	82	132	2881	7	3090	7.17	4510
F3	123	96	350	27	452	593	68	140	69	1849	12	1960	7.07	2990
F4	110	88	400	25	600	491	68	183	63	1965	15	1840	7.05	3040
F5	127	91	290	24.5	448	550	60	140	68	1731	12	1760	7.6	2650
F6	136	99	440	29.5	660	650	75.5	131	74	2221	11	2170	7.01	3490
F7	171	115	360	26.5	500	700	92	244	89	2209	20	2270	7.04	3260
F8	167	140	350	27.5	540	740	82.5	119	98	2166	10	2030	7.04	3370
F9	128	101	280	24	440	520	165	80	72	1755	14	1700	7.21	2640
F10	105	93	320	24	500	365	82.5	153	64	1643	13	1670	7.44	2660
F11	145	93	400	24.5	472	760	60	128	74	2083	11	2030	7.35	3230
F12	114	82	305	25	445	460	82.5	149	62	1663	12	1560	7.6	2570
F13	158	85	376	27	440	650	71.5	119	74	1927	10	1980	7.13	3100
F14	264	154	400	40	618	1000	56.5	85	127	2618	7	3040	7.15	4400
F15	185	140	410	27.5	652	775	75.5	116	102	2381	10	2360	7.2	3620
F16	189	118	395	28	476	973	82.5	113	95	2375	9	2280	7.16	3490
F17	97	93	255	23	411	360	88	146	62	1473	12	1490	7.47	2380
F18	123	104	270	26	411	440	92	156	73	1622	13	1660	7.18	2630
F19	105	99	305	23.5	500	380	49.3	140	66	1602	12	1660	7.43	2630
F20	188	94	440	23	630	610	100	162	84	2260	13	2200	6.57	3580
F21	114	107	266	26	400	505	58.4	153	71	1629	13	1690	7.28	6640
F22	123	88	264	23.5	440	310	115	140	89	1504	12	1590	7.27	2570
F23	163	124	280	20.5	450	600	60	153	90	1851	13	1810	7.12	2990
F24	141	88	342	28	484	650	75.5	107	70	1916	9	2010	7.61	3140
F25	119	88	245	23	424	350	80	134	64	1463	11	1430	6.65	2470

Nom	Wilaya	Daira	Commune	Lieu-dit	Désignation	Longitude	Latitude	Z-Altitude	profondeur	n p
F3	ADRAR	REGGANE	REGGANE	AMIR A.E.K 2	EN NEFIS 04	00°07'22"E	26°45'25"N	203	50	153
F21	ADRAR	REGGANE	SALI	BAAZIZ	SALI 02	00°01'02"E	26°56'20"N	212	17.17	194.83
F22	ADRAR	REGGANE	SALI	TINOURT	TINOURT 1	00°00'08"E	26°53'37"N	212	12.11	199.89
F17	ADRAR	REGGANE	SALI	BAHOU	BAHOU 1	00°00'54"E	26°52'17"N	215	2	213
F6	ADRAR	REGGANE	REGGANE	MOULAY AHMED	ZAOUJET REGGANI 01	00°10'38"E	26°40'26"N	167	5.15	161.85
F7	ADRAR	REGGANE	REGGANE	TAARABET	TAARABET	00°10'12"E	26°44'58"N	224	34.15	189.85
F16	ADRAR	REGGANE	REGGANE	TAOURIRT	TAOURIRT 03	00°13'00"E	26°42'52"N	230	5.7	224.3
F8	ADRAR	REGGANE	REGGANE	TIMADANINE	TIMADANINE 02	00°09'36"E	26°44'46"N	220	20.43	199.57
F1	ADRAR	REGGANE	REGGANE	REGGANE	REGGANE 01	00°10'46"E	26°43'27"N	224	19.8	204.2
F9	ADRAR	REGGANE	REGGANE	REGGANE	TIMADANINE III	00°11'27"E	26°48'11"N	267	37.18	229.82
F4	ADRAR	REGGANE	REGGANE	MOKRANI	AIT EL MESSAOUD 01	00°06'05"E	26°46'31"N	204	5.72	198.28
F15	ADRAR	REGGANE	REGGANE	TINOULEF GUEDIMA	TINOULEF	00°10'09"E	26°43'54"N	221	4	217
F14	ADRAR	REGGANE	REGGANE	AZRAFIL	AZRAFIL 02	00°17'04"E	26°41'20"N	228	6.64	221.36

Mesures des piézomètres de la région de Reggane (ANRH, 2015).