



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des hydrocarbures de l'énergie

Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers

Département des sciences de la terre et de l'univers



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Option : Hydrogéologie

THEME

***Étude géochimique des eaux de la nappe du
complexe terminal dans la région de Touggourt,
(Sud Est Algérien)***

Présenté par :

REGAGDA KHADRA

Le 19/06/2025

Devant le jury :

Président : NEZLI Imed Eddine

Professeur Univ. Ouargla

Encadrant : REMITA A. Raouf

M. A. A Univ. Ouargla

Examineur : HOUARI Idir Menad

M. C. A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2024/2025

Dedicace

*À mon premier amour
à celui dont je porte le nom, à mon père, tu as toujours
été pour moi un soutien qui ne me quittera jamais
À celle qui fait battre mon cœur et apaise mon âme
À toi, ma mère, Tu es ma fierté éternelle
À ma sœur tu as toujours été mon soutien lorsque les
moments étaient difficiles. Que tu sois toujours une
sœur irremplaçable pour moi et une bénédiction
durable*

*Et à mes chers amis Rihab, Aya, Khansa, Chaïma et
Haitham
Vous avez été bien plus que de simples compagnons de
route*

*.Dans les moments de doute, vous étiez ma lumière
Dans les moments de joie, vous étiez mes éclats de rire
Merci pour votre écoute, votre soutien, vos mots
sincères et votre présence constante*



Remerciement

Merci à ALLAH qui a illuminé mon chemin, m'a soutenu dans les moments de doute et m'a donné la force et la patience pour mener à bien cette œuvre.

J'exprime mes sincères remerciements au Professeur Remita A.raouf mon directeur de thèse, pour son précieux soutien et sa bienveillance tout au long de cette mémoire

Un merci spécial au professeur Benhmida Selimane pour son soutien constant, ses conseils avisés et pour avoir consacré son temps précieux à nous encadrer avec tout le sérieux et la générosité

Je voudrais également adresser mes remerciements particuliers au Professeur Menad Houari pour ses avis, son soutien et l'aide qu'il m'a apporté tout au long de ce travail

Je tiens à remercier les membres de la société ANRH de touggourt et ADE ,de ouargla , M. Salah Benguega , et Mme Hafssa Itlili pour leur accueil leur coopération et les informations fournies, qui ont grandement contribué à la réussite de cette mémoire

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à mes collègues et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette mémoire



الملخص: تقع منطقة تقرت في شمال شرق الصحراء الجزائرية، وتتميز المياه للطبقة الحاملة من العصر الميو-بليوسيني في هذه المنطقة بجودة ضعيفة وصلابة عالية. ونظرًا لندرة البيانات المتوفرة والمعالجة حول الجيولوجيا والصخور المكوّنة لهذا الخزان المائي التابع للمركب النهائي، يُعدّ هذا العمل مساهمة في التعرف الجيولوجي، الليثولوجي (الوصفي للصخور)، والهندسي لهذا الخزان، بالإضافة إلى دراسة تأثيره على التركيب الهيدروجيوكيميائي للمياه. وقد أظهرت النتائج وجودًا كبيرًا للأملاح المتبخرة (الإفابوريتات) في هذه التكوينات، مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات تمعدن المياه، والذي يتجلى في تركيزات مرتفعة من الكلوريدات والكبريتات والصوديوم.

كلمات مفتاحية : الميو بليوسيني , الجيولوجيا ,المركب النهائي , الليثولوجي , الهيدروجيوكيميائي , الإفابوريتات .

Résumé : La région de Touggourt, située au nord-est du Sahara algérien, est caractérisée par des eaux de la nappe du Mio-Pliocène présentant une qualité médiocre et une forte dureté. En raison du manque de données disponibles et traitées concernant la géologie et la lithologie de cette formation aquifère du Complexe Terminal, ce travail s'inscrit comme une contribution à la connaissance géologique, lithologique et géométrique de cet aquifère, ainsi qu'à l'étude de son impact sur la composition hydrogéochimique des eaux. Les résultats obtenus mettent en évidence une forte présence d'évaporites dans ces formations, entraînant une minéralisation élevée des eaux, marquée notamment par des concentrations importantes en chlorures, sulfates et sodium.

Mots Clés : Mio-Pliocène , la géologie , la lithologie , Complexe Terminal , hydrogéochimique . Evaporites .

ABSTRACT: The Touggourt region, located in the northeast of the Algerian Sahara, is characterized by water from the Mio-Pliocene aquifer with poor quality and high hardness. Due to the lack of available and processed data on the geology and lithology of this aquifer within the Terminal Complex, this study serves as a contribution to the geological, lithological, and geometrical understanding of the aquifer, as well as to the investigation of its impact on the hydrogeochemical composition of the water. The results highlight a significant presence of evaporites in these formations, leading to a high degree of water mineralization, notably reflected in elevated concentrations of chlorides, sulfates, and sodium.

Keywords: Mio-Pliocene , the geology, lithology, the Terminal Complex, the hydrogeochemical evaporites .

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	10
------------------------------------	-----------

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATOLOGIQUE

I. INTRODUCTION :	3
I.2 SITUATION ET LIMITE GEOGRAPHIQUE DE LA REGION DE TOUGGOURT:	3
I.3 SYNTHSE CLIMATIQUE SUR LA REGION :	4
I.3.1 LE BUT D'ETUDE :	4
I.3.2 STATION METEOROLOGIQUE DE REFERENCE :	5
I.3.3 PARAMETRES CLIMATOLOGIQUES :	5
I.3.3.1. La température :	5
I.3.3.2 La Précipitation :	6
I.3.3 L'insolation	8
I.3.4. DETERMINATION LES TYPES DE CLIMAT :	10
I.3.4.1. Diagramme pluviothermique :	10
I.3. 4.2. Indice d'aridité	11
CONCLUSION :	13

CHAPITRE II : CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

I.INTRODUCTION.....	15
II. CADRE GEOLOGIQUE :	15
II.1. GEOLOGIE REGIONALE :	15
II.2.GEOLOGIE LOCALE :	16
II.2.1 Géologie et Géomorphologie:	16
II.2.2. Stratigraphie :	18
II.3.TECTONIQUE GENERALE :	21
II.3. Etude hydrogéologique :	23
CONCLUSION :	28

CHAPITRE III29ETUDE GEOCHIMIQUE

III. 1 -INTRODUCTION :	30
III.2. OUTIL INFORMATIQUE :	30
III.2.1. ROCKWORKS ET GOOGLE EARTH:	30
III.2.2. DIAGRAMMES :	30
a) Présentation de logiciel diagrammes :	30
b) Le diagramme de Piper :	30
c) Le diagramme vertical (Schoëller Berkloff) :	30
d) Diagramme de Gibbs :	30
III.3. ETUDE GEOCHIMIES :	31
III.3.1. L'ECHANTILLONNAGES :	31

III.3.2. ANALYSES DES EAUX :	31
<i>les paramètres physico-chimiques</i> :	31
<i>les paramètres chimiques</i> :	31
III.4. PRESENTATION DES RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX :	32
❖ <i>LES PARAMETRES PHYSIQUES</i> :	32
III.4.1. LE POTENTIEL HYDROGENE (PH) :	32
III.4.2. LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE CE :	32
III.4.3. LE SOLIDE DISSOUS TOTAL TDS :	33
III.4.4. LA MINERALISATION :	33
❖ <i>LES PARAMETRES CHIMIQUES</i> :	34
III.4.5. BALANCE IONIQUE (BI) :	34
III.4.6. LES ELEMENTS MAJEURS :	35
❖ <i>LES CATIONS (Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺)</i> :	35
III.6.1. Le calcium Ca ²⁺ :	35
III.6.2. Le magnésium Mg ²⁺ :	36
III.6.3. Le Sodium Na ⁺ :	36
III.6.4. Le potassium K ⁺ :	36
❖ <i>LES ANIONS (HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻)</i> :	37
III.6.5. Les chlorures Cl ⁻ :	37
III.6.6. Les Sulfates SO ₄ ²⁻ :	37
III.6.7. Les bicarbonates HCO ₃ ⁻ :	37
III. 5. DISCUSSION ET RESULTATS :	38
III.5.1. L'EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES :	38
III.1.1. Les paramètres physiques (PH, CE et TDS) :	38
III.1.2. Les cations majeurs (Ca ²⁺ , Na ⁺ , Mg ²⁺ , k ⁺) :	38
III.1.3. Les anions majeurs (Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ -NO ₃ ⁻) :	39
III.5.2. REPRESENTATION GRAPHIQUE :	39
III.2.1. DIAGRAMME DE PIPER :	39
III.2.2. DIAGRAMME DE SCHÖELLER BERKALOFF :	41
III.2.3. DIAGRAMME DE GIBBS :	42
III.5.3. ORIGINE DES ELEMENTS CHIMIQUES :	42
III.3.1. LA RELATION ENTRE rNa ⁺ /rCl ⁻ :	43
III.3.2. LA RELATION rCa ²⁺ /SO ₄ ²⁻ :	44
III.3.3. LA RELATION ENTRE rCa ²⁺ ET rHCO ₃ ⁻ :	45
III.3.4. LA RELATION ENTRE rK ⁺ ET rCl ⁻ :	46
LES RAPPORTS CARACTERISTIQUES :	46
III.5.4. ECHANGE CATIONIQUE :	48
CONCLUSION :	50
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	
CONCLUSION GENERALE :	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53

Liste des figures

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATOLOGIQUE

Figure I.1 : Situation géographique de la zone d'étude (D.G.D.A.M.A.E ,2004)	4
Figure I. 2 : Variation mensuelle de température (2005/2024)	5
Figure I. 3: Histogramme de température moyenne annuelle (2005/2024).....	6
Figure I. 4 : Distribution mensuelle interannuelle des précipitations (2005/2024)	7
Figure I.5 : Histogramme des variations annuelles des précipitations.	7
Figure I.6 : Répartition moyenne mensuelle d'insolation (2005/2024)	8
Figure I.7 : Vitesses moyennes des vents mensuels (2005/2024).....	10
Figure I.8 : Diagramme pluviothermique de Touggourt	11
Figure I. 9 : : Climagramme d'Emberger d'Touggourt (2005/2024)	13

CHAPITRE II : CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Figure II. 1: Carte géologique du Sahara orientale. ((Bussou 1972).).....	16
Figure II.2 : Les grandes unités géologiques au Sahara (Nesson, 1978)	17
Figure II. 3 :Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (ANRH 2004).....	20
Figure II.4 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt. (khoudrane et manssouri 2018)	22
Figure II. 5 : : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)	23
Figure II.6 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).	25
Figure II.7 : Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).	25
Figure II.8 : coupe hydrogéologique du Complexe Terminal (A.N.R.H, 2017).	27
Figure II.9 : Carte piézométrique de référence du CI (ERESS, 1972)	28

CHAPITRE III : ETUDE GEOCHIMIQUE

Figure III1 : Carte de localisation des forages dans la zone études	32
Figure III. 2: présentation de variation des cations	38
Figure III. 3: présentation de variation des anions	39
Figure III.4 : Diagramme de Piper.	40
Figure III. 5 :Diagramme de Schöeller du Forges	41
Figure III.6 : Diagramme de Gibbs.....	42
Figure III.7 : La relation entre rNa^+/rCl^-	43
Figure III. 8:La relation entre rCa^{2+} et $rHCO_3^-$	44
Figure III. 9: La relation entre rCa^{2+} et $rHCO_3^-$	45
Figure III.10 : La relation entre rK^+ et rCl^-	46
Figure III.11 : La relation rNa/rCa vs rSO_4/rCl	46
Figure III.12 : La relation rNa/rMg vs rSO_4/rCl	47
Figure III.13 : La relation rMg/rCa vs rSO_4/rCl	47
Figure III. 14: indice CAI 1	49
Figure III. 15: indice CAI 2	49

Liste des tableaux

CHAPITRE I : DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATOLOGIQUE

Tableau I. 1: Découpage administratif de la wilaya de Touggourt.....	3
Tableau I. 2 : Caractéristiques géographiques de station climatique	5
Tableau I.3 :Les moyennes des données de température durant la période (2005/2024)	5
Tableau I. 4 : Précipitations moyenne mensuelles de Touggourt (2005/2024).....	6
Tableau I. 5: L'insolation mensuelle de Touggourt (2005/2024)	8
Tableau I. 6 : Vitesses moyennes des vents mensuels	9
Tableau I. 7 : Type de climat selon la classification par De Martonne	12

CHAPITRE III : ETUDE GEOCHIMIQUE

Tableau III.1 : Analyses physico-chimiques des forages Touggourt (ADE).....	31
Tableau III.2 : Variation de PH.	32
Tableau III.3 : Variation de la conductivité électrique	33
Tableau III. 4: Variation du TDS	33
Tableau III.5 : La relation entre la conductivité et la minéralisation	33
Tableau III. 6 : Balance Ionique.	35
Tableau III 7 : Variation du calcium	35
Tableau III.8 : Variation de magnésium.....	36
Tableau III.9 : Variation du sodium	36
Tableau III. 10 : Variation de potassium.	37
Tableau III.11 : Variation de chlorure.	37
Tableau III. 12 : Variation de sulfate.....	37
Tableau III.13 : Variation des bicarbonates.....	38
Tableau III 14 : Résultat des indices chloro-alcalins.....	48

Liste des abréviations

- ❖ **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques
- ❖ **CI** : complexe intercalaire
- ❖ **CT** : complexe terminal
- ❖ **AEP** : Alimentation en Eau Potable
- ❖ **S-N** : sud-nord
- ❖ **SASS** : Système Aquifère du Sahara Septentrional
- ❖ **N-E** : nord-est
- ❖ **S-E** : sud-est
- ❖ **TDS** : solide dissous total
- ❖ **PH** : potentiel hydrogène
- ❖ **CE** : conductivité électrique
- ❖ **IB** : Balance Ionique

❖ **CAI** : indice chloro alcalin

Introduction générale

Introduction générale :

La wilaya de Touggourt fait partie du Sahara algérien qui se caractérise par un climat hyper aride, ce qui signifie que l'eau est une ressource rare et précieuse. Les eaux souterraines sont donc une source vitale pour divers besoins des habitants et pour des fins agricoles et industriels. De grandes quantités d'eau sont stockées dans trois 3 nappes à savoir : la nappe phréatique, la nappe du Continentale Intercalaire, et la nappe du Complexe Terminal.

Plusieurs études académiques, articles scientifiques et rapports techniques ont été réalisés sur ces aquifère, mais nous allons étudier la plus exploitée : le Complexe Terminal. qui se caractérise par une qualité médiocre et une forte dureté.

L'objectif de notre travail est de décrire l'évolution géochimique des eaux de la nappe Complexe Terminal dans la région de Touggourt, par la recherche de la relation entre la composition chimique des eaux et la nature lithologique des formations aquifères traversées

Afin de mener à bien ce travail, nous avons adopté une structure de mémoire contenant en trois chapitres suivants :

Chapitre I : Description géographique et climatologique

Dans ce chapitre, on a présenté la situation géographique et climatiques spécifiques de la région étude

Chapitre II : Contexte Géologique et Hydrogéologique

Il représente les caractéristiques hydrogéologiques et géologique dans la zone étude.

Chapitre III : Etude Géochimique

Renferme les matériels et les différents méthodes et résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de la nappe CT dans la région étudiée

Chapitre I :

Description géographique et climatologique

I. Introduction :

Dans Ce chapitre, on va présenter notre zone d'étude et donnerons quelques composantes climatiques de la région TOUGGOURT pour la période de 20 ans (2005/2024).

I.2 Situation et limite géographique de la région de Touggourt :

Créée en 2019 et officialisée en 2021, auparavant une wilaya déléguée créée en 2015, la wilaya de Touggourt est située au Sud-Est algérien, sa superficie est de 17 428 km². La wilaya de Touggourt est délimitée :

- Au Nord par la wilaya d'El M'Ghair
- A l'Est par la wilaya d'El Oued
- A l'Ouest et au Sud par la wilaya d'Ouargla.

La zone d'étude se place à une :

- Longitude : Entre 5°50' E et 6°50' E.
- E Latitude : Entre 32°50' N et 33°50' N

La wilaya de Touggourt est constituée de 13 communes regroupées en 4 daïras (tableau N°01)

Tableau I. 1: Découpage administratif de la wilaya de Touggourt

Daïra	Commune
Touggourt	Touggourt, Zaouia El Abidia, Tebesbest, Nezla
Megarine	Megarine, Sidi Slimane
Temacine	Temacine, Blidet Amor
El Hadjira	El Hadjira, El Allia
Taïbet	Taïbet, M'Naguer, Benaceur

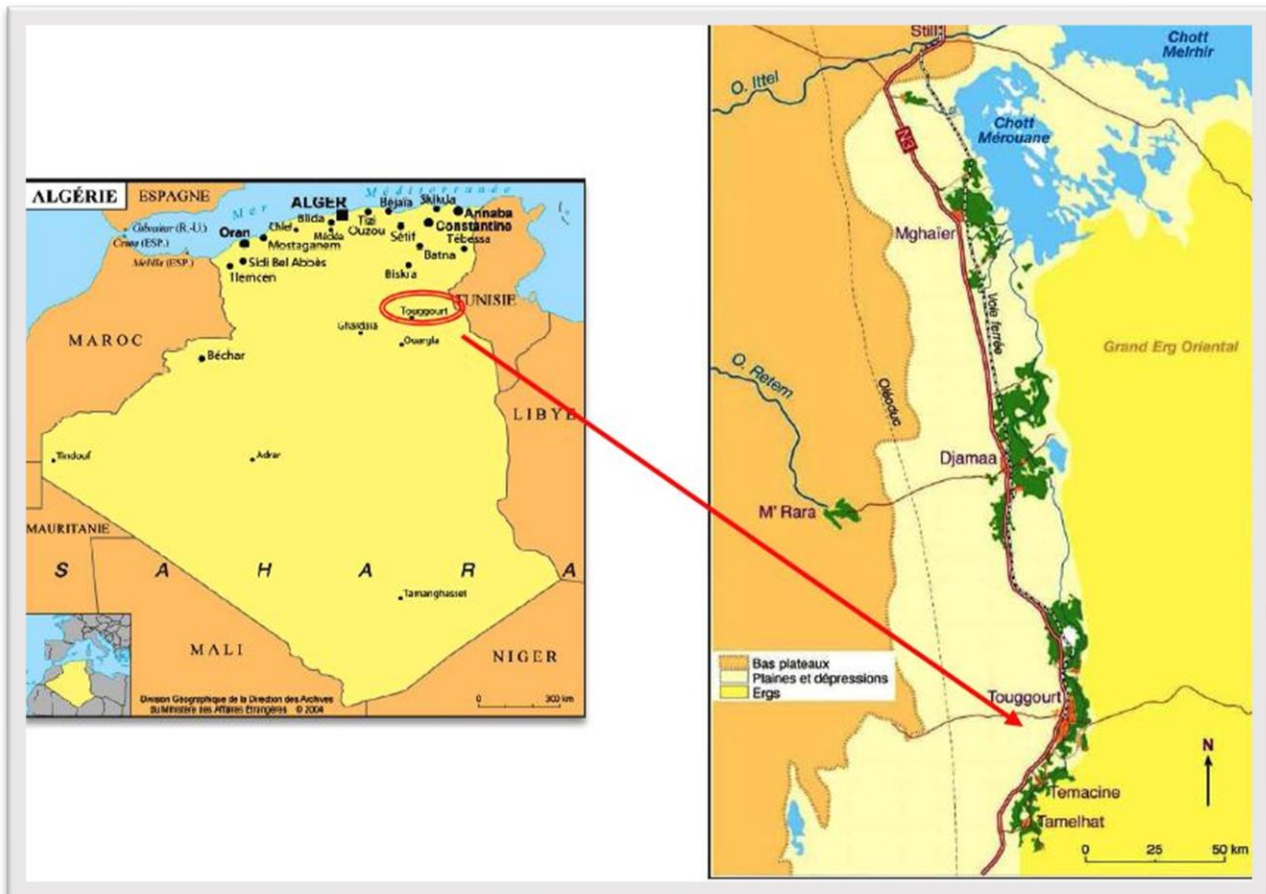


Figure I.1 :Situation géographique de la zone d'étude (D.G.D.A.M.A.E ,2004)

I.3 Synthèse climatique sur la région :

I.3.1 Le but d'étude :

La connaissance des caractéristiques climatiques est essentielle dans le cadre d'une étude hydrogéologique il est indispensable pour évaluer l'alimentation de réservoir souterraine par infiltration, et pour l'établissement d'un bilan hydrique

L'Algérie se divise en trois grandes zones climatiques :

[3]

- ✓ Au nord, un climat méditerranéen
- ✓ A l'intérieur du pays (les hauts plateaux) un climat semi-aride
- ✓ Et enfin, un climat aride qui caractérise le grand Sahara

I.3.2 Station météorologique de référence :

La station Hydriques (ANRH) Agence Nationale des Ressources Hydriques est située dans Touggourt :

Tableau I. 2 : Caractéristiques géographiques de station climatique

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Touggourt	60555	87 m	06°05'31"E	33°04'12"N

I.3.3 Paramètres climatologiques :

I.3.3.1. La température :

C'est grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid, la température est mesurée avec le thermomètre. [3]

I.3.3.1.1. Température moyenne mensuelle :

Les moyennes des données de température durant la période (2005/2024) est représentée dans le **Tableau (I.3)** et **Figure (I.2)**

Tableau I.3 :Les moyennes des données de température durant la période (2005/2024)

Mois	sep	oct	nev	Déc	jan	Fév	Mar	avr	mai	juin	jui	aout
T(c°)	29.42	23.54	16.44	11.78	10.76	12.29	17.26	21.92	26.9	32.2	35.47	33.94

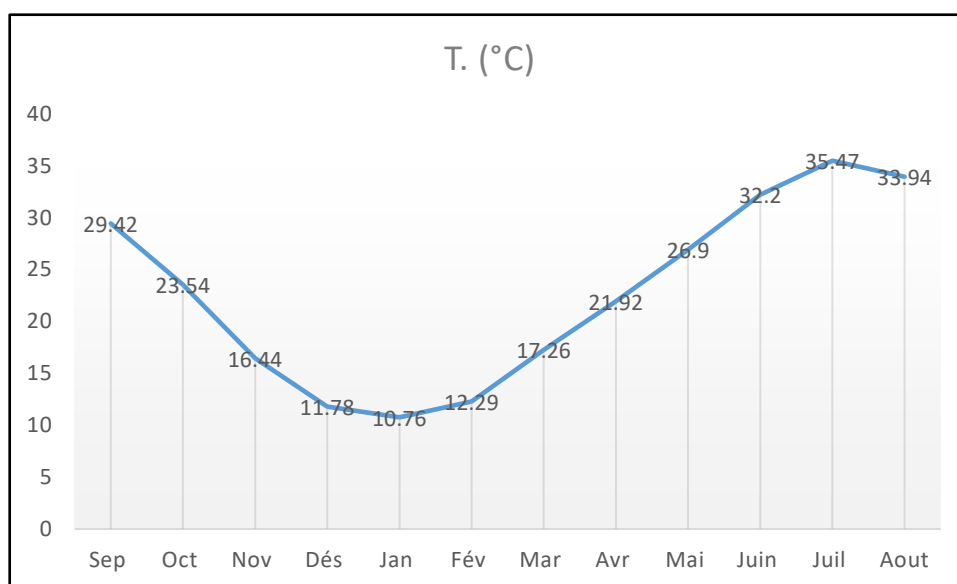


Figure I. 2 : Variation mensuelle de température (2005/2024)

La courbe représente les variations mensuelles des températures moyennes. Nous constatons que la température moyenne mensuelle est à son maximum en juillet, avec une valeur d'environ 35.47 c° et la température la plus basse est en janvier, avec une valeur de 10.76c°

I.3.3.1.2. Température moyenne annuelle :

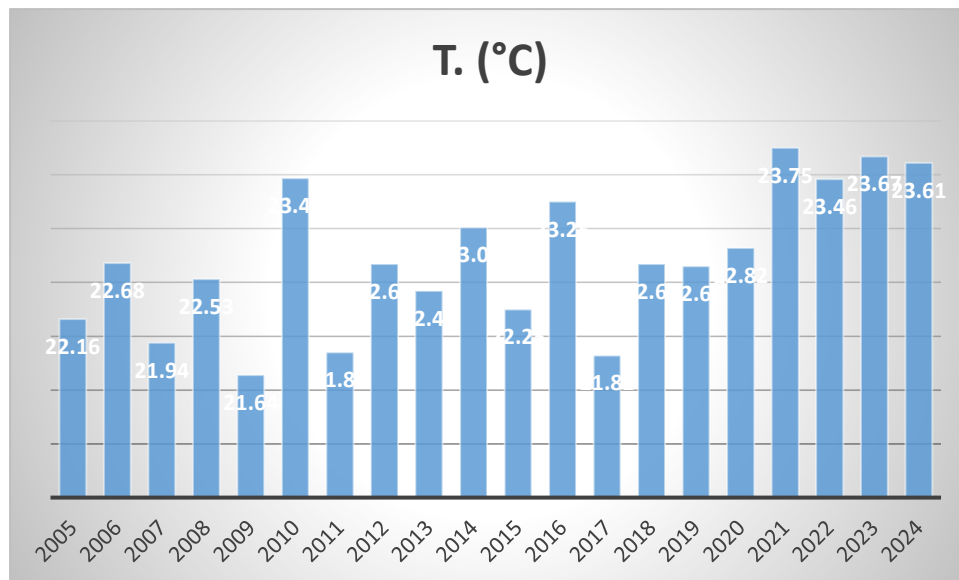


Figure I. 3: Histogramme de température moyenne annuelle (2005/2024)

La courbe représente la température moyenne annuelle Où l'on remarque que la température la plus élevée a été observée dans l'année 2021 avec une valeur 23.75c° et la température la plus basse a été observée dans l'année 2009 avec une valeur 21.64c°

I.3.3.2 La Précipitation :

Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à surface du globe. Les différentes formes de la précipitation sont : la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosée, la quantité de la précipitation est mesurée à l'aide d'un pluviomètre. [3]

I.3.3.2.1. Précipitations moyenne mensuelles :

Tableau I. 4 : Précipitations moyenne mensuelles de Touggourt (2005/2024)

mois	Sep	Oct	Nev	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
Pmm	5.96	3.11	4.24	2.91	7.74	2.85	4.02	9.25	1.95	0.43	0.03	3.07

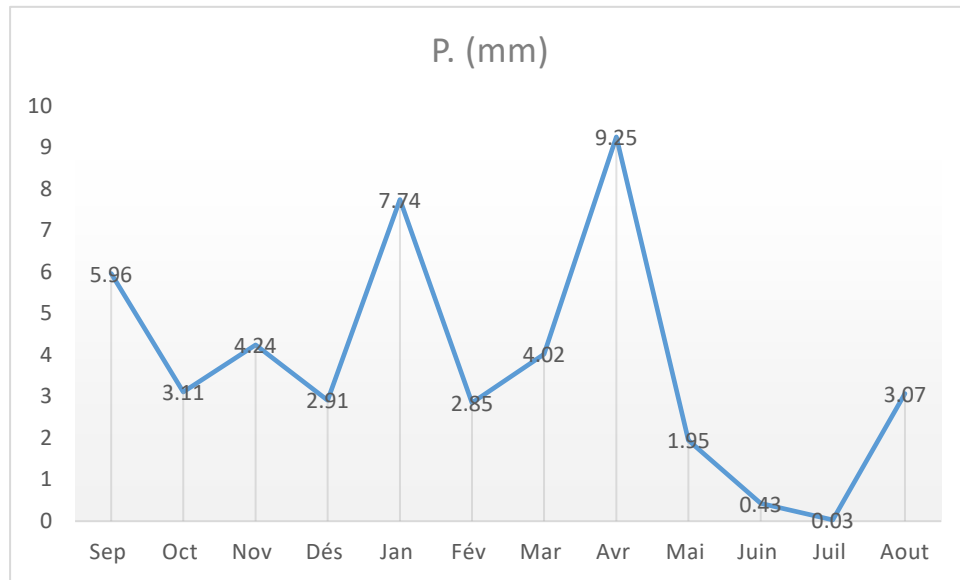


Figure I. 4 : Distribution mensuelle interannuelle des précipitations (2005/2024)

Selon les données, nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (Figure I.4 et Tableau I.3). On constate que le mois de Avril est le plus arrosé avec 9.25 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0.03mm.

I.3.3.2.2. Précipitations annuelles:

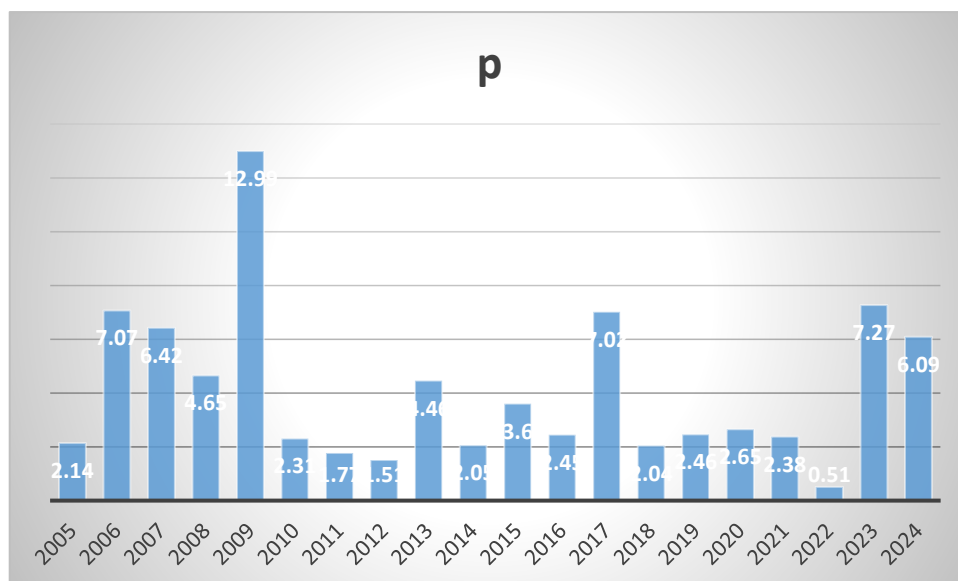


Figure I.5 : Histogramme des variations annuelles des précipitations.

La courbe des variations annuelles des précipitations (Figure I.5.) montre que : L'année la plus pluvieuse est 2009 avec une quantité annuelle :12.99 mm et l'année la plus sèche est 2022 avec une quantité annuelle :0.51 mm

I.3.3.3. L'insolation :

Les moyennes des données d'insolation durant la période (2005/2024) est représentée dans le **Tableau I.5** et **Figure I.6**

Tableau I. 5: L'insolation mensuelle de Touggourt (2005/2024)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Insolation	265.8	274.9	248.7	232.3	246.6	230.1	263.1	275.4	306.8	318.3	358.8	337.4

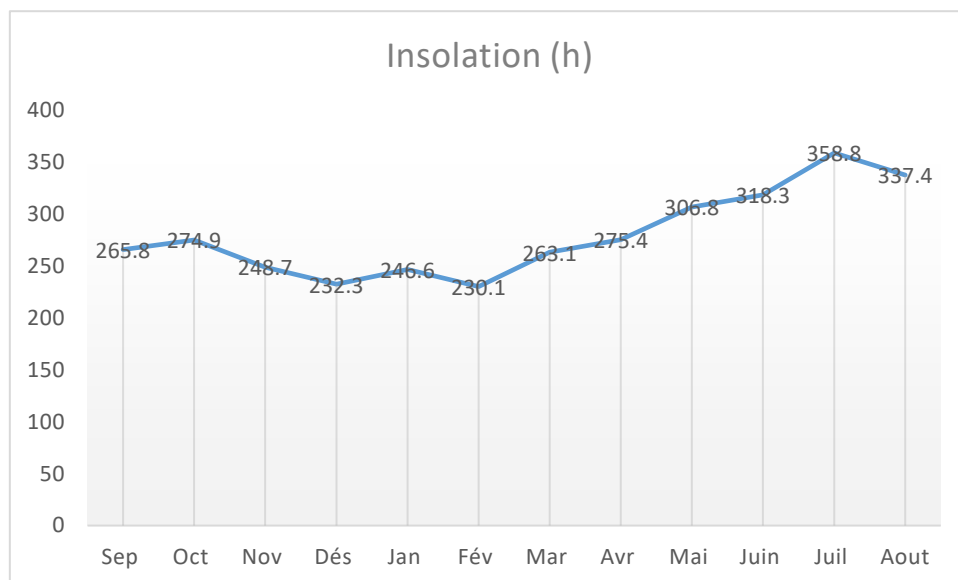


Figure I.6 : Répartition moyenne mensuelle d'insolation (2005/2024)

La région de Touggourt reçoit un ensoleillement relativement important, le maximum est atteint en Aout avec une durée moyenne de 358.8 heures, le minimum est enregistré en février avec une durée moyenne de 230.1 heures.

I.3.3.4. Les vents :

Le vent est mouvement de l'air entre deux différentes pressions atmosphériques de l'haute pression, vers la basse pression, il est influencé par la température.

Il y a trois mois durant lesquels les vents de sables sont les plus nombreux : Mars, Avril et Mai. Les vents atteignant 70 km/h, présentent un phénomène normal ; l'air reste obscurci pendant 2 à 3 jours

et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à 1500m. En hiver, les vents froids dominants sont ceux des secteurs Ouest (N-O et S-O), au printemps et en été, ils viennent uniquement de l'Est (N-E et S-E), en automne, ils sont N-E ou S-O. Le vent d'Est est appelé :

❖ **Le Bahri :**

C'est le vent dominant de la saison chaude, il est apprécié au printemps parce qu'il amène la fraîcheur, mais il est redouté en toute autre saison car il est violent, c'est lui qui apporte le sable. Le vent Gharbi, ou d'Ouest : est le vent froid.

❖ **Le Chihili :**

C'est un vent brûlant qui ne souffle qu'une quinzaine de jours par ans, c'est le vent du Sud, le vent du désert.

❖ **Le Dhahraoui :**

Vent N.O-S. E, souffle surtout au printemps. Les plus fréquents sont ceux de direction Nord-Ouest, suivi à degrés moindres par ceux de direction Ouest et Sud-Ouest.

❖ **Le sirocco :**

Soufflant du Sud vers le Nord il est relativement fort où pendant l'été il devient dangereux, notamment pour les plantes. Il est chargé de sable désertique donnant au ciel une couleur jaune, il peut durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 40 à 50 Km/h.
[3]

Tableau I. 6 : Vitesses moyennes des vents mensuels

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fève	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
V(km/h)	69.26	54.86	57.4	55.41	59.88	63.38	80.41	74.64	78.64	69.71	64.62	69.12

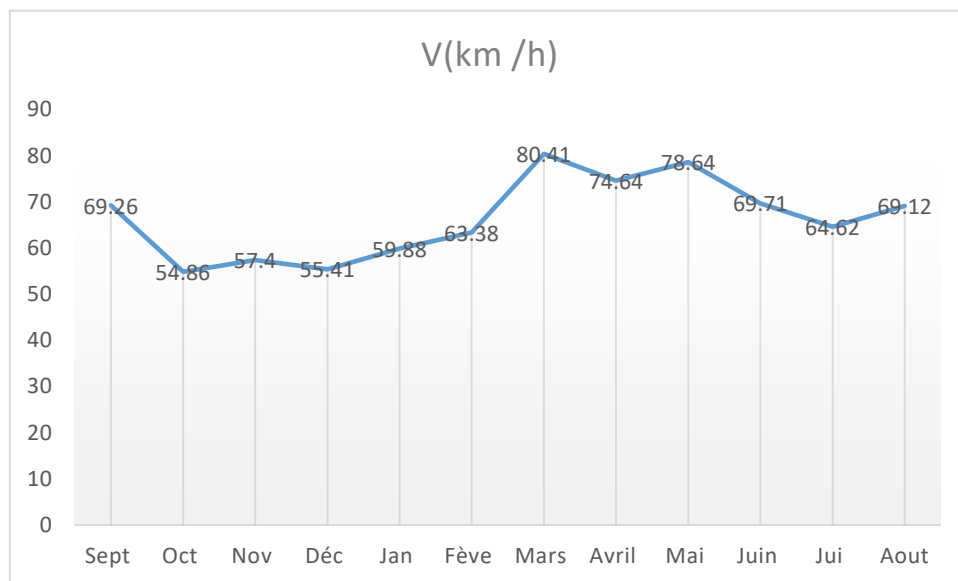


Figure I.7 : Vitesses moyennes des vents mensuels (2005/2024)

La courbe représente Vitesses moyennes des vents mensuels (2005/2024) On peut remarquer que la vitesse du vent moyenne oscille entre 55.41 km/h enregistrée durant le mois de décembre et 80.41 km/h pour le mois de mars.

I.3.4. Détermination les types de climat :

I.3.4.1. Diagramme pluviothermique :

Son objectif est la détermination de la période sèche ou humide, au cours de la même durée d'observation.

Pour établir ce diagramme, on doit présenter les deux courbes Température ($^{\circ}\text{C}$) et Précipitation (mm) sur un même graphe contenant les deux paramètres à la fois

Les températures sont représentées sur une échelle double à celle des précipitations.

L'intersection des deux courbes, définit la zone humide. Autrement dit, si la courbe des précipitations est au-dessus de celle des températures, la période est dite : humide. Si on a au contraire, la courbe des précipitations est au-dessous de celle des températures, la période est dite : sèche.

Ce même principe est appliqué pour le mois. Un mois est dit sec, si sa lame d'eau moyenne est inférieure ou égale au double de sa température moyenne enregistrée.

[3]

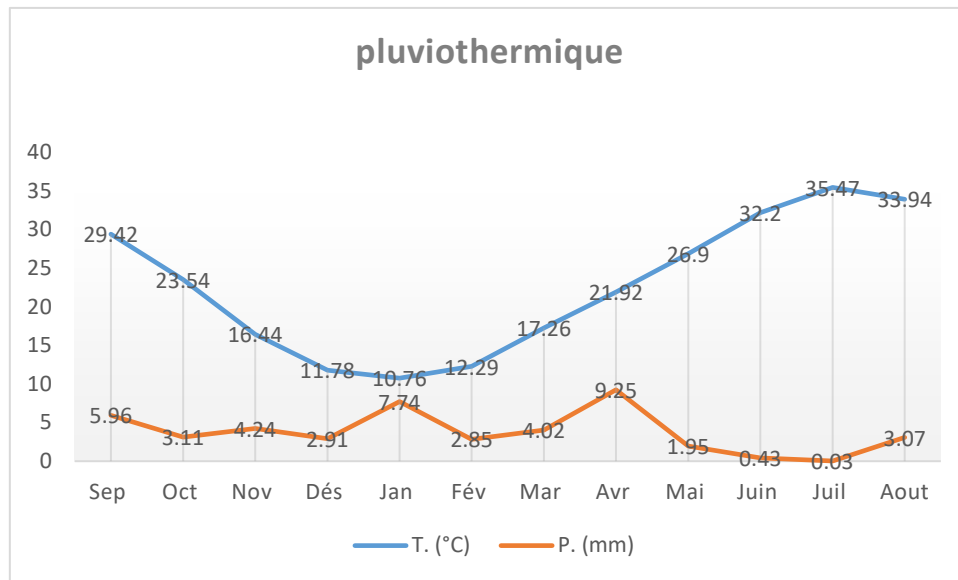


Figure I.8 : Diagramme pluviothermique de Touggourt

I.3. 4.2. Indice d'aridité :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles et de la température annuelle. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

[3]

Avec :

- _ **I** : Indice d'aridité.
- _ **P** : Précipitation moyenne annuelle (mm).
- _ **T** : Température moyenne annuelle (°C).

Application :

$$I = \frac{P}{T+10} = \frac{3.79}{22.66+10} = 0.11$$

A partir de la classification, définie par De Martonne, on peut déterminer le type de climat.

Tableau I. 7 : Type de climat selon la classification par De Martonne

Indice	Type de climat
$20 < I < 30$	Climat tempéré (humide)
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$7.5 < I < 10$	Climat steppique
$05 < I < 7.5$	Climat désertique
$I < 5$	Climat hyper-aride

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martonne (Tableau I.7), nous pouvons dire que le type de climat de la région de Touggourt est de type **hyper-aride**

I.3. 4.3. Climagramme d'Emberger :

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé la formule de Stewart (1969) adapté pour l'Algérie qui a la forme suivante :

$$Q = \frac{3.43P}{(M - m)}$$

Avec :

- _ **Q** : Quotient pluviométrique d'Emberger. [3]
- _ **P** : Précipitation moyenne annuelle (mm).
- _ **M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).
- _ **m** : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (°C).

D'après les données de la période de 20 ans on a :

- $P = 3.79 \text{ mm}$;
- $M = 29.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $m = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Application :
$$Q = \frac{3.43 \times 3.79}{(29.4 - 16)} = 0.94 \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$$

Donc : $Q = 0.94 \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$

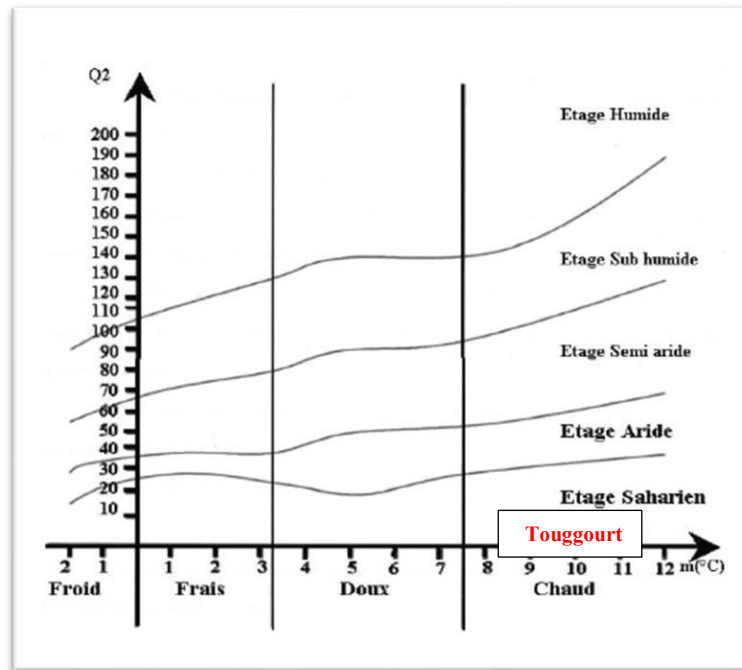


Figure I. 9 : : Climagramme d'Emberger d'Touggourt (2005/2024)

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger, la région d'étude est caractérisée par un climat saharien avec un hiver doux.

Conclusion :

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara, et caractérisée par un climat désertique aride, la température est plus élevée ont été, Les précipitations annuelles sont faibles et très irrégulière donc le type de climat de la zone étude est type **hyper-aride** .

Chapitre II

Contexte Géologique et Hydrogéologique

I. Introduction :

Dans ce chapitre, nous synthétisons et présentons les travaux d'un certain nombre d'auteurs pour donner un aperçu du cadre géologique et présenterons une étude sur les systèmes aquifères de la zone étude.

II. Cadre Géologique :

II.1. Géologie régionale :

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara situé entre l'accident sud atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès, au Nord ; la falaise méridionale du Tihert, au Sud. Les affleurements crétacés du Dahar, à l'Est et la dorsale du Mزاب, à l'Ouest.

Le Bas Sahara est caractérisé par l'extrême simplicité de sa topographie. Mis à part le côté Nord, les autres bordures sont de hauteur modeste et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSW-NNE et parcourue par les oueds Mya et Righ. Toutefois, vers le Nord, se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Naïl, des Aurès et des Nemamcha, bordant une dépression longitudinale occupée par des chotts dont le fond est inférieur au niveau de la mer. Il s'étend sur 720 000 Km² de superficie.

Le Bas Sahara se présente ainsi comme une cuvette synclinale dont les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés sur les bordures.

Nous distinguons de bas en haut, trois ensembles (Figure II. 1) : [4]

- **Les terrains paléozoïques** : Ils affleurent principalement au sud, entre les plateaux du Tademaït et de Tihert, ainsi que dans le massif du Hoggar.
- **Les terrains mésozoïques et cénozoïques** : Ils forment l'essentiel des affleurements situés sur les bordures du Bas Sahara.
- **Les dépôts continentaux du Tertiaire supérieur et du Quaternaire** : Ces formations occupent le centre de la cuvette, témoignant des processus sédimentaires récents.

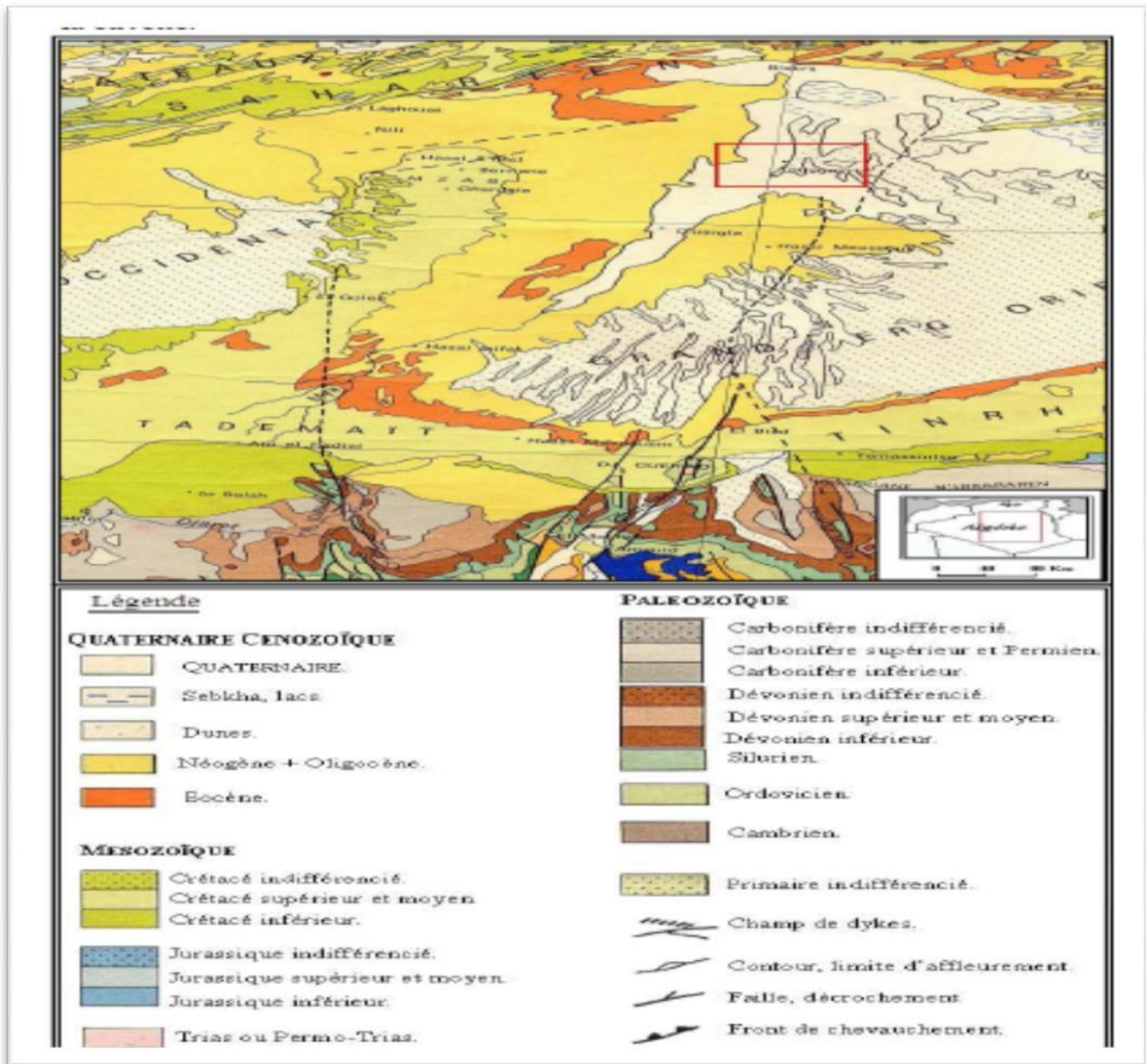


Figure II. 2: Carte géologique du Sahara orientale (Bussou 1972).

II.2.Géologie locale :

II.2.1 Géologie et Géomorphologie :

D'après les travaux menés par Bel et Demargne (1966), Busson (1970) et Fabre (1976) et qui constituent les références de base pour comprendre la géologie de la région on peut constater qu'à une profondeur de plus de 3000 m se trouve le socle le plus ancien, ce dernier surmonté par les grès primaires plus ou moins plissés et érodés. Au-dessus, s'entassent les grès du Continental Intercalaire qui contiennent l'aquifère du même nom. [4]

A la suite de la discordance cénomaniennne s'empilent encore les couches marines du Sénonien et de l'Eocène qui se terminent par la couverture continentale du Miopliocène également aquifère (Miopliocène).

Morphologique la région étudiée fait partie d'un large fossé de subsidence de direction Sud-Nord, prenant son origine légèrement au Sud de la palmeraie d'EL Goug et débouchant sur le Chott Merouane. La pente générale est de l'ordre de 1‰; cependant le profil longitudinal de la vallée est très irrégulier et on note une succession de petits chotts communiquant entre eux par des seuils bas. Le fond de la vallée est comblé de sédiments sableux entrecoupés de lentilles d'argile salifère. La dénivelée entre le haut et le bas est de quelques mètres seulement et le relief est peu marqué. La zone de TOUGGOURT appartient au bas Sahara, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents totalement aplanis au début de l'Ere secondaire ; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable.

[4]

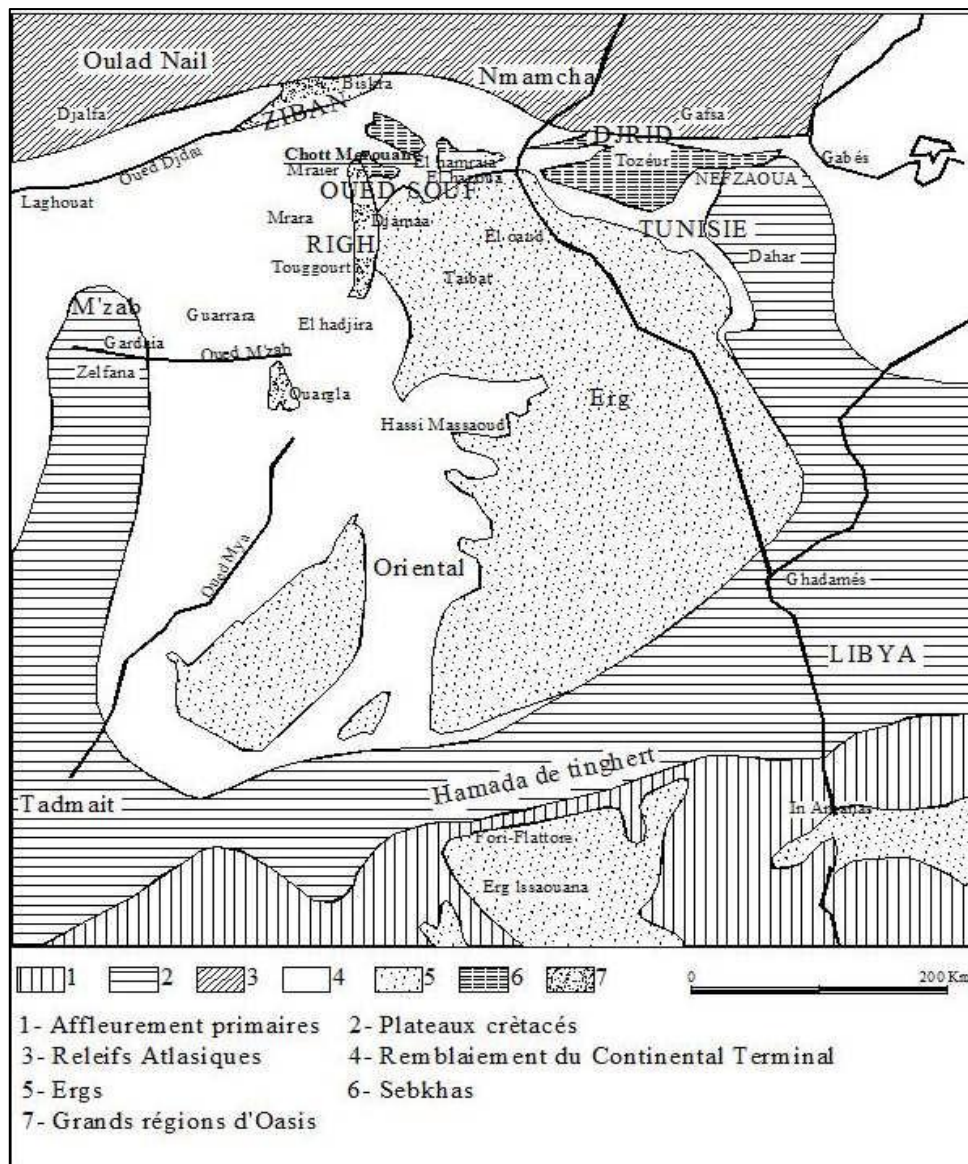


Figure II.3 : Les grandes unités géologiques au Sahara (Nesson, 1978)

II.2.2. Stratigraphie :

Les formations géologiques de la zone étudiée sont décrites du plus ancien au plus récent :

a- Secondaire:

➤ **Albien** : se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

➤ **Vraconien** : Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement de passées de grès à ciment calcaire.

➤ **Cénomaniens** : présente une épaisseur considérable qui diminue progressivement vers le Nord. Il affleure dans la zone atlasique. Ce Cénomaniens est composé essentiellement de dépôt lagunaire marneux où prédominent des couches d'anhydrite et parfois même de sel.

➤ **Turonien** : représenté par un dépôt marin, calcaro-marneux, son épaisseur reste à peu près constante.

➤ **Sénonien** : essentiellement de calcaire blanc avec une alternance de calcaire de marne et de couche de gypse. Il est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique : le Sénonien lagunaire, à la base et le Sénonien carbonaté, au-dessus.

b- Tertiaire :

➤ **Eocène** : on distingue deux ensembles lithologiques ; l'Eocène carbonaté à la base, l'Eocène évaporitiques au-dessus.

❖ Eocène inférieur carbonaté :

L'Eocène carbonate a des caractéristiques lithologiques qui le rendent difficile à distinguer du Sénonien. Seule la présence ou l'absence de nummulites permet de faire la différence. Les calcaires ont tendance à prédominer sur les dolomies et les évaporites sont beaucoup plus rares que dans le Sénonien, sinon totalement absentes. Les calcaires à silex rencontrent au sommet du Sénonien carbonate se poursuivent dans l'Eocène. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m.

❖ Eocène moyen évaporitique :

Il est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (BEL et CUCHE, 1969). Dans l'oued Righ, la nappe des calcaires semble être située dans un niveau carbonaté appartenant à l'Eocène évaporitiques

➤ **Miopliocène:**

BEL et DEMARGNE (1966) distinguent de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires:

❖ **Niveau 01** : argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud.

Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.

❖ **Niveau 02** : gréso-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de Gassi Touil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Miopliocène.

❖ **Niveau 03** : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones ; elle est épaisse et constante que dans la région des chotts.

❖ **Niveau 04** : C'est le deuxième niveau sableux du Miopliocène. Parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

c- Quaternaire :

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables. Cette formation Quaternaire est à l'origine de la formation de la nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation. (Fig II.3) :

[4]

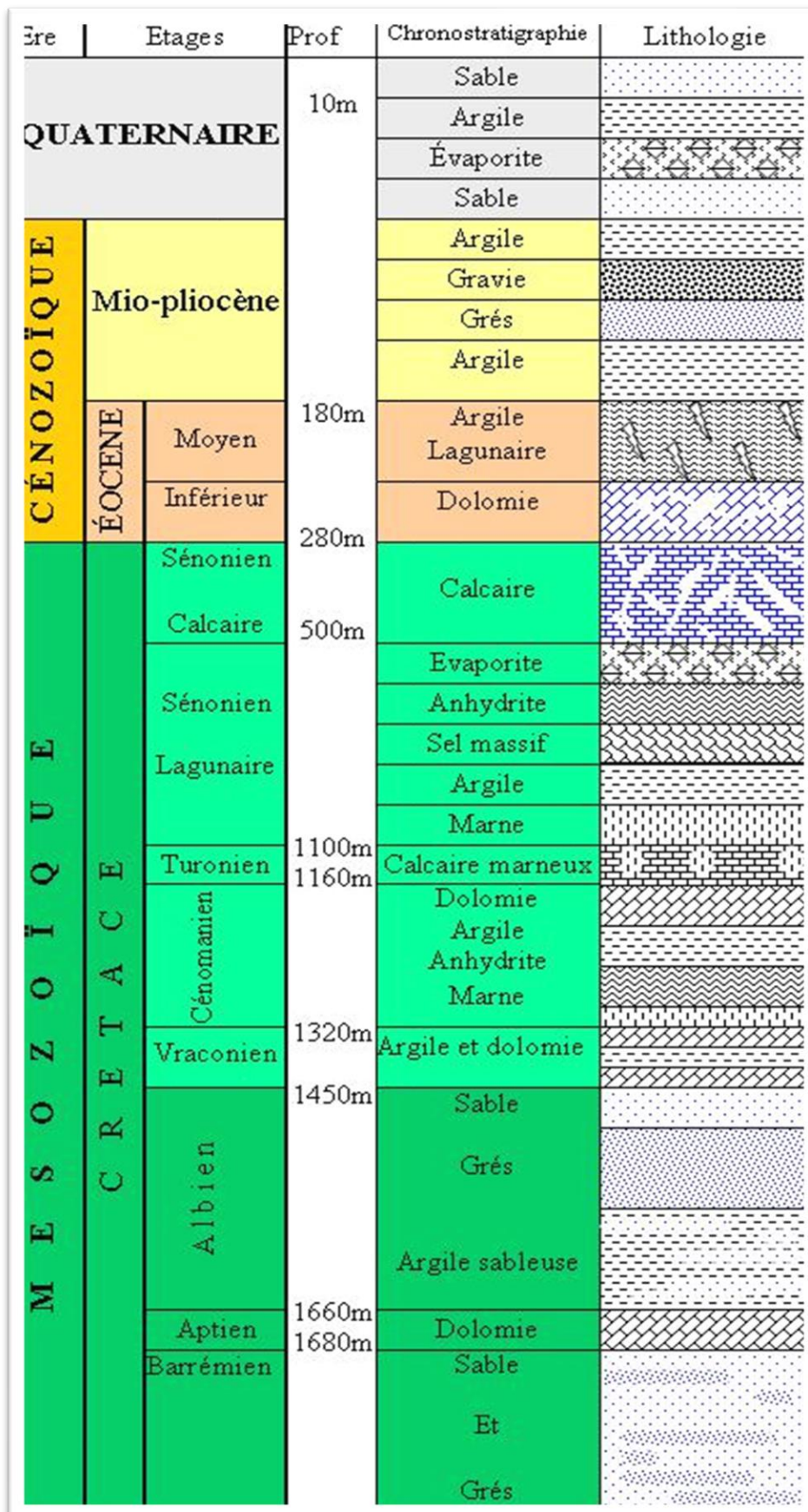


Figure II. 4 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (ANRH 2004)

II.3. Tectonique générale :

Le Sahara algérien oriental subissait des mouvements verticaux d'ensemble au cours du Secondaire. Pendant que de véritables chaînes de montagnes se formaient plus au Nord, dans le géosynclinal de l'Atlas saharien, la zone saharienne tendait plutôt à un effondrement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant sensiblement par la vallée de l'Oued R'hir et par le tronçon supérieur de la vallée de l'Oued Mya (Fabre, 1976).

La géométrie actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des déformations tectoniques importantes (Fig II.6). La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contrecoups sur la plateforme saharienne :

- Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur qui succède et donne naissance au Tell et aux aurès,

- Enfin la phase plio-quaternaire qui s'insèrent avec les précédentes dans la phase alpine ; d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest, forment la surrection du massif des aurès et l'affaissement de la partie Sud « sillon sud Aurèsien », ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tels que chott merouane et chott Melghir.

La flexure sud atlasique de direction Est-Ouest qui sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on, peut avoir au Nord des points culminant « monts des aurès » et au Sud les points les plus affaissés.

[4]

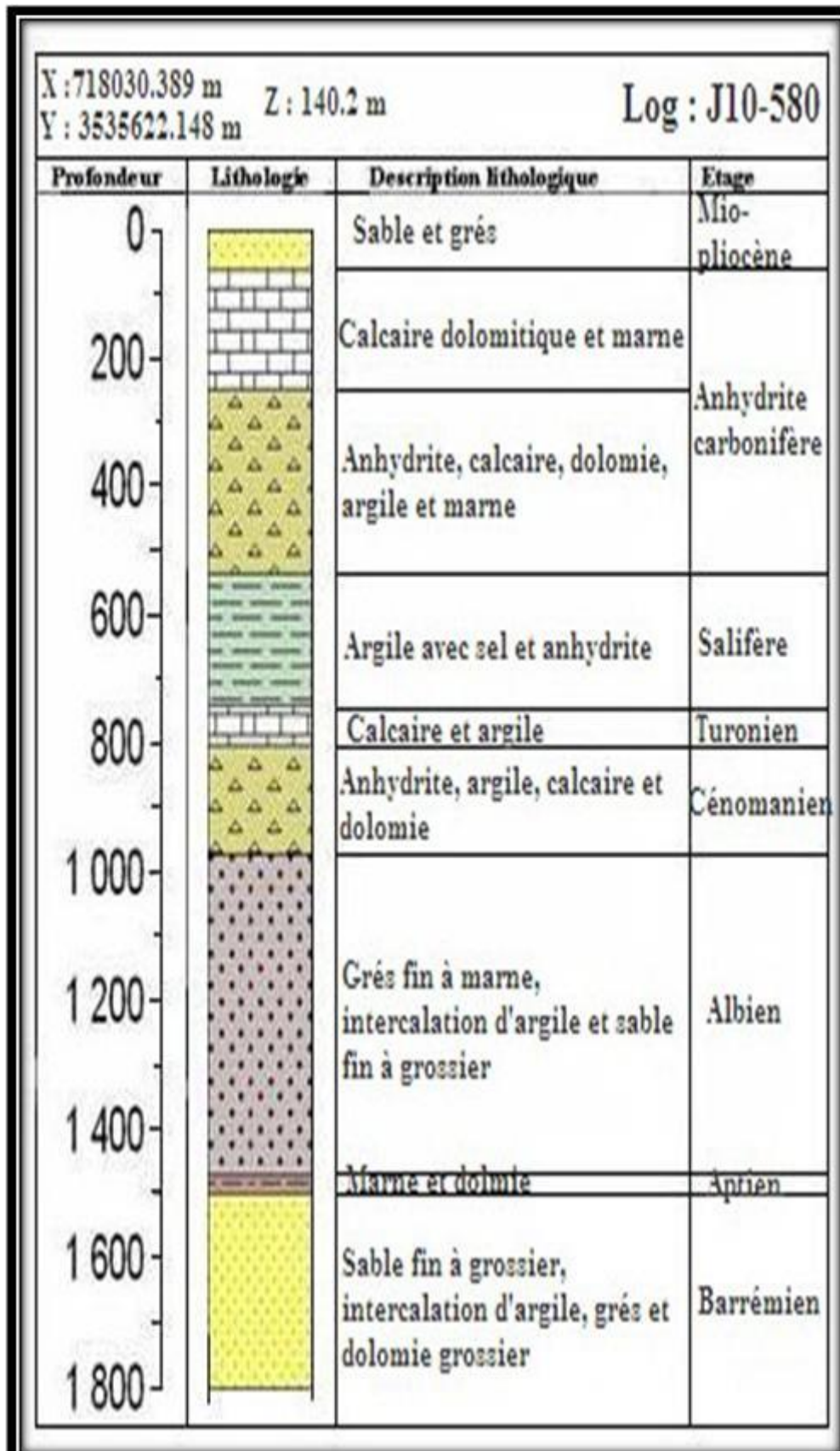


Figure II.5 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt. (khoudrane et manssouri 2018)

II.3. Etude hydrogéologique :

II.3.1 Présentation des nappes aquifères de la région d'étude :

Du point de vue hydrogéologique, la région touggourt est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique (figure II.5).

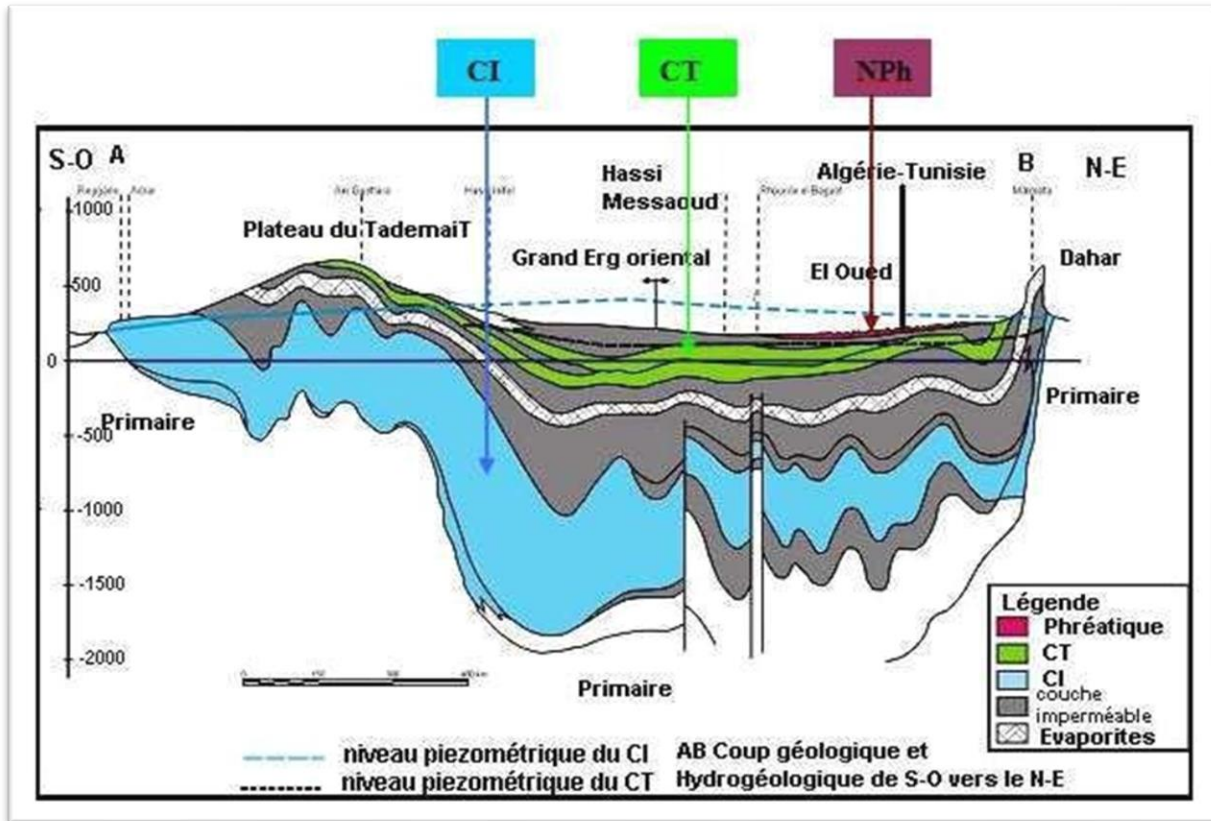


Figure II. 6 : : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)

II.3.2. Nappe phréatique :

C'est une nappe libre dont la profondeur varie entre 0 et 60 m. Elle affleure sur le sol en plusieurs endroits de la vallée ; la lithologie dominante est constituée de sables ou sables argileux avec gypse. Son eau est généralement très salée et excessivement chargée dans les zones mal drainées ; le résidu sec dépasse **13 g/l** ; l'alimentation de cette nappe provient essentiellement de l'excédent d'eau d'irrigation et avec un très faible pourcentage des précipitations, elle est rarement exploitée dans l'Oued Righ, sauf dans les zones hors vallée où on l'utilise comme par exemple, Berkadjia (El Meghaier) et Taibet pour l'irrigation des petits périmètres éloignés de la palmeraie (**Lembarek S, 2008**).

[1]

[1]

II.3.3. Nappe du Complexe Terminal (CT) :

On général le terme de "nappe du Complexe Terminal" qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique.

Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler.

La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du MioPliocène sur la bordure du bassin.

Le système aquifère du "Complexe Terminal" couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 km².

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Le "Complexe Terminal" affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar.
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- A l'Ouest, sur la dorsale de M'zab

[4]

Les zones d'exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens et sur le Golfe de Syrte.

L'écoulement de cette nappe se produit (Fig. II.7):

- A partir de la dorsale du M'zab, où l'ensemble de l'écoulement converge vers les zones des chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).
- Dans le sens Ouest-est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, convergent vers la zone des chotts.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des chotts et le golfe de Syrte.

Le concept de recharge ainsi que ses conditions sont adoptables pour tous les aquifères du SASS, de ce fait, le CT doit obéir aux mêmes conditions.

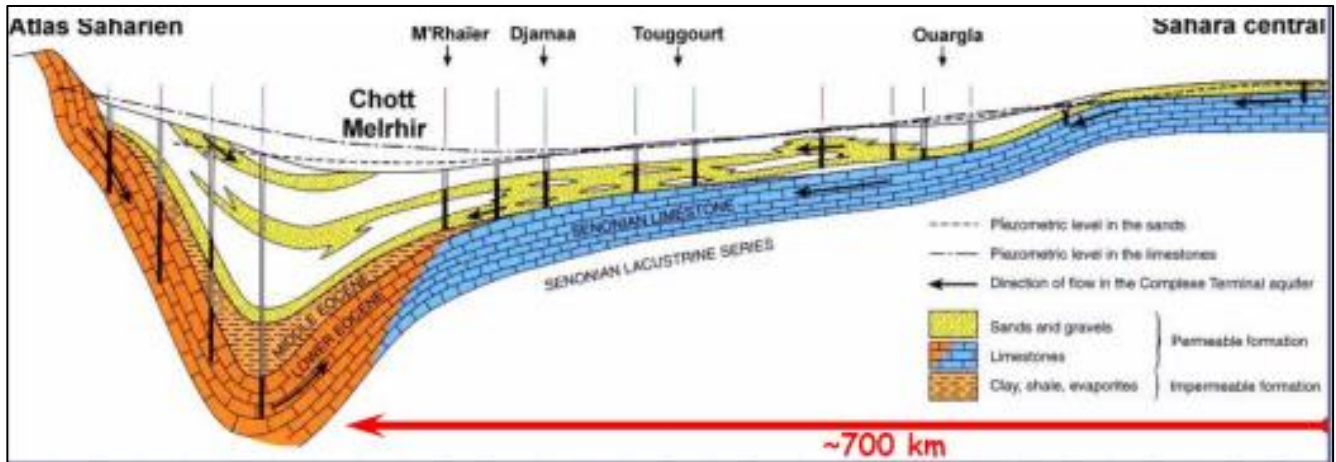


Figure II.7 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).

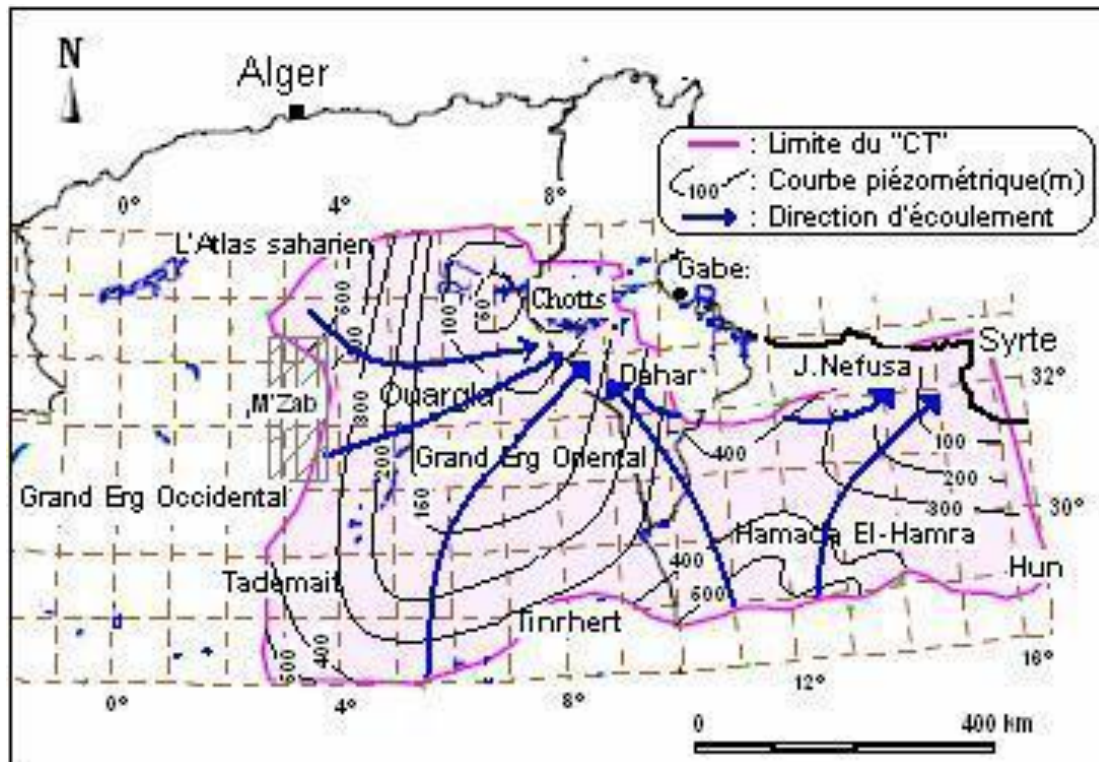


Figure II.8 : Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).

Dans la région de l'Oued Righ, trois formations aquifères sont bien différenciées : la Première et la deuxième nappe des sables du Miopliocène, puis la nappe des calcaires de L'Eocène Inférieur.

II.3.3.1. La première nappe des sables :

Cette nappe est la moins profonde de 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Miopliocène.

Le faciès sableux varie largement et latéralement. Un niveau d'argiles constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive qui était jadis très exploitée, avec un débit faible à moyen, de l'ordre de 20 à 40 l/s, (le débit global d'exploitation proche de 6 m³/s).

II.3.3.2. La deuxième nappe des sables :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement des grès, de gravier et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. L'épaisseur de la couche aquifère est de 20 à 36 m. Cette nappe captive est moins exploitée par des forages moyennement profonds (100 et 300 m), avec un débit variant entre 25 et 40 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes, forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

Ces deux nappes de Mio-pliocène sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface et les percolations des nappes artésiennes sous-jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seule exhaure.

II.3.3.3. La nappe du Sénonien-Eocène :

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse. Il n'est pas très exploité à Touggourt, donnant un débit de 25 à 40 l/s. Leur toit est supérieur à 180 m, dont le débit global peut atteindre 2,8 m³/s.

A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux. La porosité moyenne de cette nappe est de 20%.

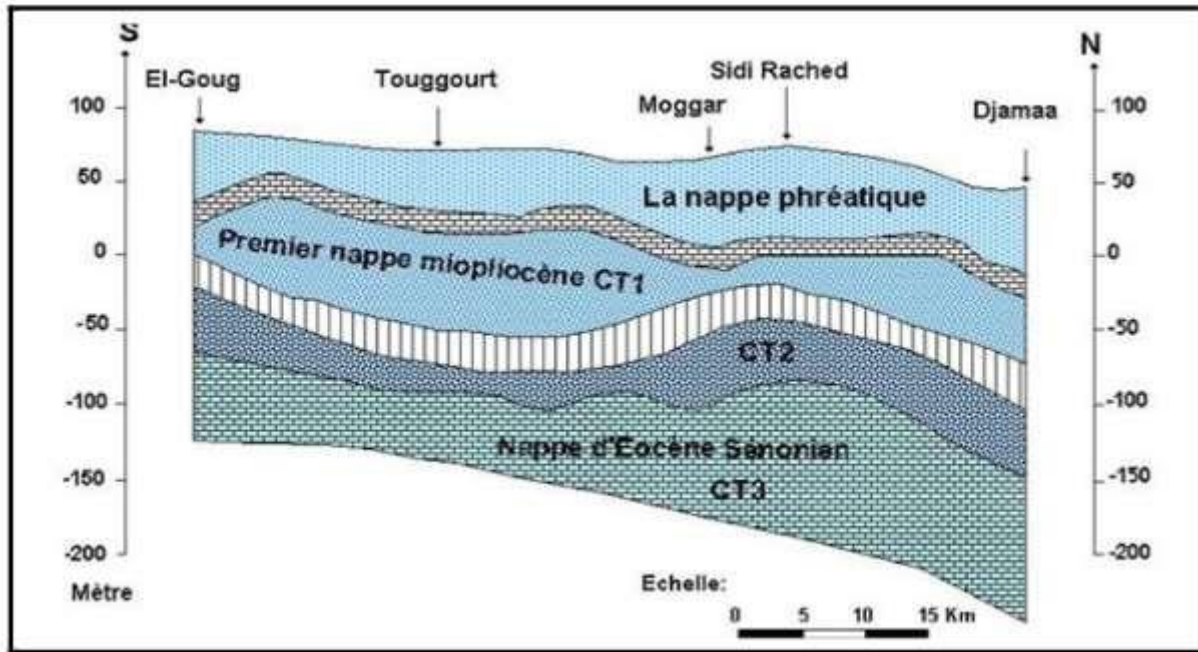


Figure II.9 : coupe hydrogéologique du Complexe Terminal (A.N.R.H, 2017).

II.3.4. Continental Intercalaire CI) :

C'est un aquifère de 1500m et plus d'argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km², son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord-Ouest du Sahara. Il se situe entre 700 et 2000 m de profondeur. De point de vue lithologique, le continental intercalaire est argileux et d'argile. La qualité de l'eau du Continental Intercalaire est bonne (la minéralisation totale est généralement < 3,5 g/l). L'eau d'Albien est relativement peu minéralisée, de conductivité électrique de 3 mS/cm, la température est supérieure à 50 °C quand elle jaillit, ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation. Cette eau provoque des dépôts abondants de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate. (S. LEMBAREK, 2008).

[2]



La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara qui se présente comme une cuvette synclinale. Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) regroupe deux énormes réservoirs d'eaux souterraines ; le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). La recharge actuelle de cette nappe est négligeable lorsque les conditions climatiques dans les point recharge sont faible (précipitations).

Chapitre III

Etude Géochimique

III. 1 -Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes et les résultats des analyses chimiques de notre étude géochimique des eaux au niveau CT a été mené sur la base d'interprétation des analyses chimiques effectués par l'ADE sur 12 échantillons des forages Mio-pliocènes de Touggourt 2024 avec d'utilisation des logiciels informatiques spécialisés.

III.2. Outil informatique :

III.2.1. RockWorks et Google Earth:

La carte d'emplacement des échantillons a été réalisée à l'aide de Google Earth, en identifiant et repérant les coordonnées géographiques précises des sites de prélèvement. Ces données ont ensuite été importées dans RockWorks pour une meilleure gestion et traitement spatial. Cette approche a permis de visualiser clairement la répartition des échantillons dans la zone d'étude, en facilitant la création d'une carte de localisation conforme aux exigences d'une analyse environnementale.

III.2.2. Diagrammes :

a) Présentation de logiciel diagrammes :

Dans le but de bien identifier les faciès hydro chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours aux diagrammes de Piper et Schoeller Berkloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes. [5]

b) Le diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. [5]

c) Le diagramme vertical (Schoëller Berkloff) :

Le diagramme de Schoëller-Berkloff est une représentation graphique semilogarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. [5]

d) Diagramme de Gibbs :

Est un outil graphique utilisé pour interpréter les processus de contrôle chimique qui affectent la composition des eaux naturelles (eaux souterraines, eaux de surface, etc.).

III.3. Etude Géochimies :

L'étude Géochimique des eaux souterraines à la région Touggourt nous Permet de comprendre l'évolution du chimisme des eaux de la Mio-Pliocène Et les phénomènes qui se produisant dans le système aquifère, par les Différents échanges possibles entre l'eau et la roche.

Les analyse Géochimique été faite afin de savoir la différente classification Des eaux souterraine selon l'alimentation en eau potable et de comparer les différents échantillons et les éléments chimiques.

L'objectif de l'étude géochimique de savoir :

- Les paramètres d'influence sur l'évolution chimique des eaux. [5]
- L'origine des éléments chimiques des eaux de la région d'étude
- Les principaux faciès chimiques des eaux
- Relation enter lithologie de l'aquifère et les faciès chimiques.

III.3.1. L'échantillonnages :

Des prélèvements ont été effectués par ANRH pour 13 puits.

III.3.2. Analyses des eaux : (voir le Tableau III.1).

Les analyses chimiques effectuées aux échantillons concernant :

Les paramètres physico-chimiques :

Potentiel d'Hydrogène (PH), la Conductivité Électrique (CE) et Le solide dissous total TDS.

Les paramètres chimiques :

Les éléments majeurs : **Cations:** Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , **Anions:** Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- .

Nom de forage	PH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T.D.S mg/l	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4	HCO_3	NO_3
Centre TGT	7.74	7810	3905	360.72	235.7	760	55	1732.94	1250	167.6	14
bell air	7.68	7950	3970	380.75	235.75	772	55	1766.26	1260	181.25	15
Refroidiss	7.74	5190	2595	272.34	177.46	600	36	1026.43	970	153.27	12.7
EL mor TB	8.02	5650	2825	320.64	189.57	540	39	1189.73	936	144.07	12.89
Taibet centre	7.98	4920	2460	260.52	167.7	485	34	1016.43	890	153.37	11.27
Omih beali	7.93	5050	2525	263.53	174.99	500	35	1023.1	900	171.96	12.4
taibet ouest	7.89	5500	2750	312.14	187.14	545	39	1083.09	1000	176.6	13.31
cite el nacer	7.86	6320	3160	332.6	204.16	630	44	1326.36	1090	176.6	15.12
cite el manar	7.81	5490	2745	280.56	177.42	538	38	1113.08	1000	153.37	13.18
secour bassatine	6.92	5820	2910	356.12	174.99	571	41	1196.25	1000	170.8	23.31
forage limane	7.3	5230	1615	280.56	157.98	515	36	1033.04	950	141.96	17.78

Tableau III.1 : Analyses physico-chimiques des forages Touggourt (ADE).

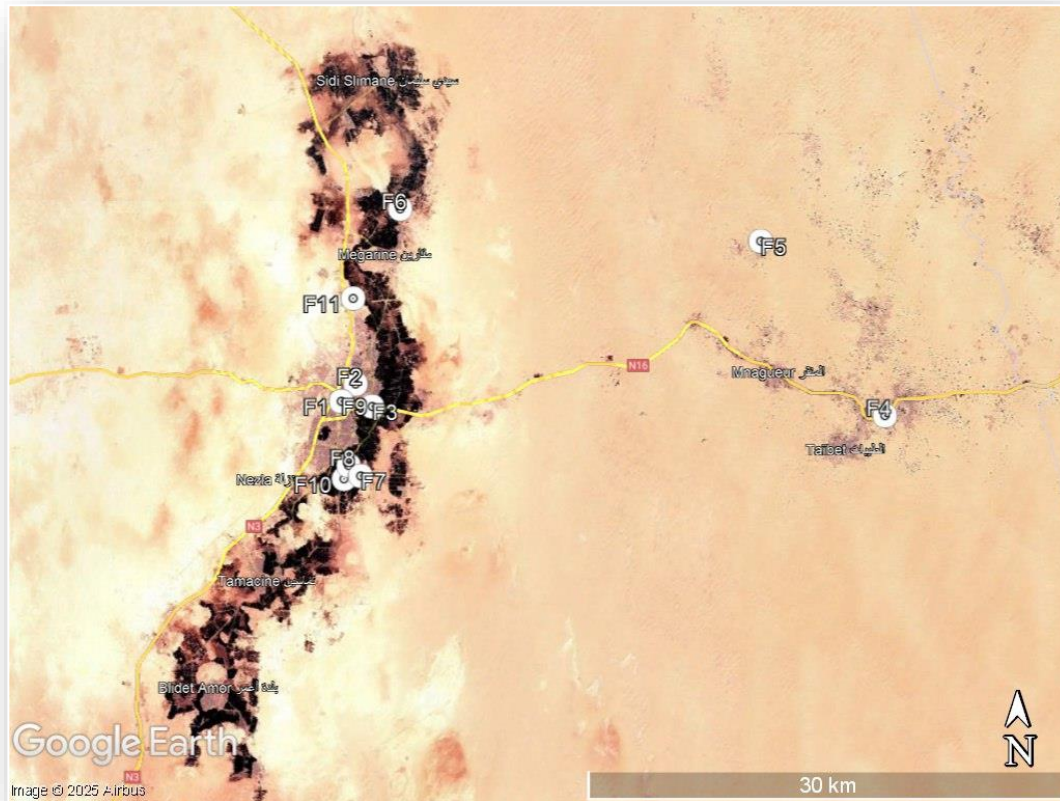


Figure III1 : Carte de localisation des forages dans la zone études

III.4. Présentation des résultats des analyses physico-chimique des eaux :

❖ Les paramètres physiques :

III.4.1. Le potentiel hydrogène (PH) :

Le pH détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau en mesurant la concentration des ions H^+ , il varie selon une échelle de 0 à 14, alors que 7 est le pH de neutralité. Le PH de notre échantillon va de 6.92 à 8.02 avec une moyenne de 7.47 (Tableau III.2). Donc Les valeurs mesurées paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins dans tous les forages de notre zone d'étude.

Tableau III.2 : Variation de PH.

Norme ALG	Max	Min	Moy
6,5-9	8,02	6,92	7,47

III.4.2. La conductivité électrique CE :

La conductivité électrique des eaux est liée aux minéralisation surtout la salinité et à la capacité des eaux à dissoudre les minéraux contenus dans les roches. La conductivité moyenne est de $4920 \mu S.cm^{-1}$, elle est comprise entre $8777 \mu S.cm^{-1}$ avec une moyenne de $6848.5 \mu S.cm^{-1}$ (tableau III 3). Nous constatons que le CE d'eau est élevé.

Tableau III.3 : Variation de la conductivité électrique

Norme ALG	Max	Min	Moy
2800	8777	4920	6848.5

III.4.3. Le solide dissous total TDS :

Le TDS est compris entre 1615 et 4388.5 mg/l, avec une moyenne de 3001.75 mg/l, valeurs supérieures aux normes (tableau III.4).

Tableau III. 4: Variation du TDS

Norme ALG	Max	Min	Moy
1000	4388.5	1615	3001.75

III.4.4. La minéralisation :

La minéralisation de l'eau se produit par des phénomènes d'interaction eau-roche passant par différents processus physico-chimiques de mélanges entre différents types d'eau, la composition chimique des eaux naturelles est le résultat combiné de la composition chimique des précipitations qui atteignent le sol et des réactions avec les minéraux présents dans l'encaissant.

Elle dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé. [5]

La relation entre la conductivité et la minéralisation exprimée au tableau suivant : [5]

Tableau III.5 : La relation entre la conductivité et la minéralisation

Conductivité (µs/cm)	Minéralisation (mg/L)
CE < 100	Très faible
100 < CE < 200	Faible
200 < CE < 333	Moyenne
333 < CE < 666	Moyenne accen
666 < CE < 1000	Important
CE > 1000	Elevé

Selon les données dont nous disposons le CE élevé donc les eaux très minéralisées.

❖ *Les paramètres chimiques :***III.4.5. Balance Ionique (BI) :**

La méthode de la balance ionique nous permet de vérifier la fiabilité des analyses chimiques de l'eau par la vérification de la charge électrique des cations et anions majeur, cette méthode est une étape nécessaire avant toute interprétation des résultats. En effet, l'eau naturelle est composée de plusieurs ions chargés électriquement, à savoir des cations (chargés positivement) et des anions (chargés négativement), cependant sa charge électrique total est neutre, ceci n'est possible que si, la somme des charges positives égale à la somme des charges négatives ; c'est le principe de la balance ionique [5]

Le calcul de la balance ionique se fond sur l'équation suivante :

$$BI = \frac{\sum Cations - \sum Anions}{\sum Cations + \sum Anions} \times 100$$

Quoi que, théoriquement la balance ionique doit être égale à 0, mais c'est rarement obtenu, cette différence dans la balance ionique est due à d'éventuelles erreurs d'analyse ou à la présence d'ion mal connu, cependant, la valeur de la balance ionique ne doit pas dépasser les 2% à 5%. D'une manière générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

- ✓ **-1% < BI < 1%** : fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- ✓ **-5% < BI < 5%** : fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- ✓ **-10% < BI < 10%** : fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- ✓ **BI < - 10% ou BI > 10%** : mauvaise fiabilité des résultats d'analyse

[5]

Tableau III. 6 : Balance Ionique.

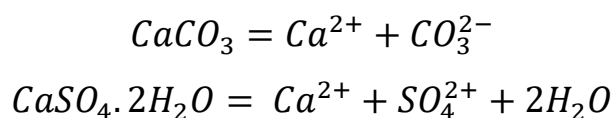
Nom de forage	$\Sigma Ca(+)$	$\Sigma An(-)$	BI %	Résultats
Centre TGT	72.12	77.96	-3.89	Acceptable
bell air	73.64	77.96	-2.81	Acceptable
Refroidiss	55.39	51.82	3.32	Acceptable
EL mor TB	41.89	55.57	1.23	Acceptable
Taibet centre	48.94	49.86	-0.93	Excellente
Omih beali	50.37	50.57	-0.19	Excellente
taibet ouest	55.88	54.43	1.31	Acceptable
cite el nacer	62.14	63.19	-0.83	Excellente
cite el manar	53.14	54.9	-1.62	Acceptable
secour bassatine	58.25	57.69	0.48	Excellente
secour siege de center ADE	89.5	82.98	3.78	Acceptable
forage limane	50.49	51.48	-0.97	Excellente

III.4.6. Les éléments majeurs :

❖ Les cations (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+) :

III.6.1. Le calcium Ca^{2+} :

La présence des ions Ca^{2+} dans les eaux est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$) ainsi que les formations gypseuses ($CaSO_4$) selon les équations suivantes :



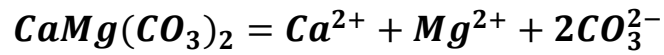
les valeurs supérieures à 200mg/l.

Tableau III 7 : Variation du calcium

Norme ALG	Max	Min	Moy
200	492.98	260.52	262.81

III.6.2. Le magnésium Mg^{2+} :

Cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium en l'occurrence ; la Dolomite selon la relation suivante :



La concentration moyenne des forages présentent des teneurs en magnésium supérieures à la norme

Tableau III.8 : Variation de magnésium

Norme ALG	Max	Min	Moy
150	306.24	157.98	232.11

III.6.3. Le Sodium Na^+ :

La présence de cet élément est principalement liée à la décomposition de l'halite. Eau Dans notre zone d'étude, il existe des valeurs élevés et supérieures à la norme (tableau III.9).



Tableau III.9 : Variation du sodium

Norme ALG	Max	Min	Moy
200	869	485	6677

- les valeurs supérieures à 200g/l.

III.6.4. Le potassium K^+ :

Il provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par suite d'altération des argiles potassiques.



Tableau III. 10 : Variation de potassium.

Norme ALG	Max	Min	Moy
12	61	34	47.5

➤ Les valeurs enregistrées sont entre 34 mg/l et 61 mg/l.

❖ *Les anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) :*

III.6.5. Les chlorures Cl^- :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'halite (Na Cl), qui se fait selon la relation suivante :



Tableau III.11 : Variation de chlorure.

Norme ALG	Max	Min	Moy
500	1023.1	1766.26	1394.68

➤ Même remarque il existe des valeurs élevés et supérieures à la norme.

III.6.6. Les Sulfates SO_4^{2-} :

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation :

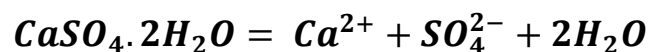


Tableau III. 12 : Variation de sulfate.

Norme ALG	Max	Min	Moy
400	1586	890	1238

➤ Les valeurs enregistrées sont entre 890 mg/l et 1586 mg/l.

III.6.7. Les bicarbonates HCO_3^- :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire. Dolomite...etc.) par des eaux chargées en gaz carbonique. L'équation de dissolution est donnée comme suit :

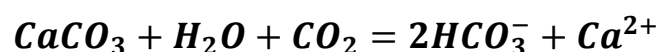


Tableau III.13 : Variation des bicarbonates

Norme ALG	Max	Min	Moy
300	181.25	141.96	161.6

- Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la région Touggourt varient de 141.96 mg/l à 181.25 mg/l.

III. 5. Discussion et résultats :

III.5.1. L'évolution des paramètres physico-chimiques :

III.1.1. Les paramètres physiques (PH, CE et TDS) :

Les valeurs de la conductivité électrique et le TDS accroîtront avec la température et montrent de fortes amplitudes et s'avèrent caractéristiques des eaux de la nappe du MioPliocène, au niveau de la région d'étude montrent une augmentation remarquable pour les deux paramètres dépassant la norme algérienne. La valeur du pH reste dans les normes algériennes.

III.1.2. Les cations majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+) :

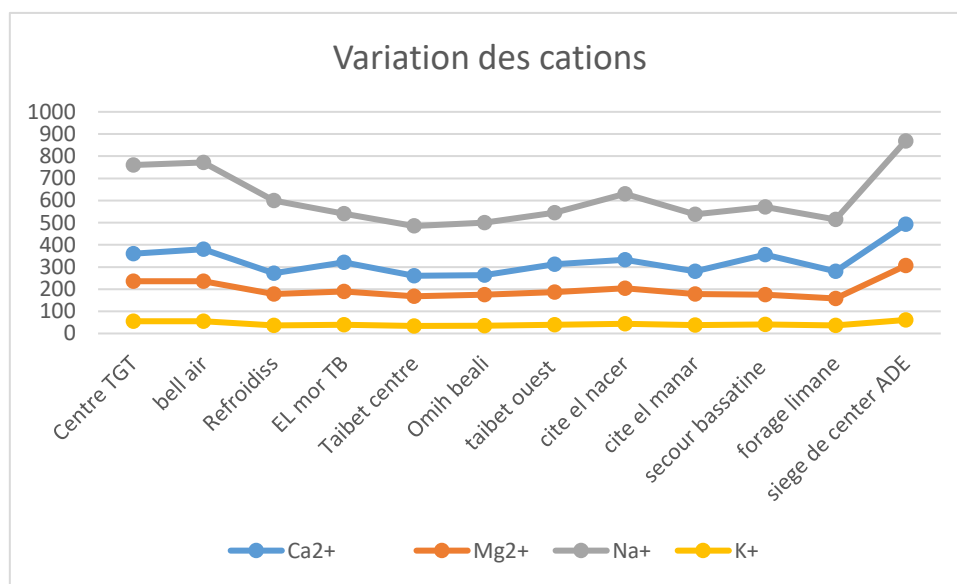
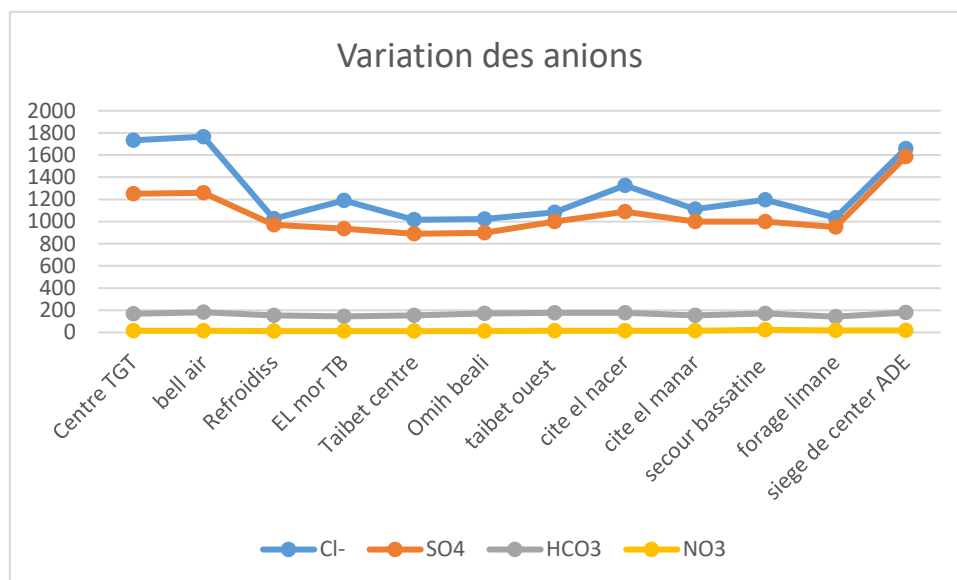


Figure III. 2 : Présentation de variation des cations

Le graphique présente la variation des concentrations de quatre cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) dans différentes localités. L'analyse montre que le sodium (Na^+) est le cation dominant dans la plupart des localités, suivi du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}). Le potassium (K^+) reste faible et stable.

III.1.3. Les anions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) :**Figure III. 3 : Présentation de variation des anions**

Le graphique présente la variation des concentrations des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-)

Minéralisation élevée dans la majorité des sites, avec des concentrations importantes en Cl^- , et SO_4^{2-} , indiquant une eau fortement minéralisée.

Stabilité de HCO_3^- typique des eaux naturelles.

Teneurs très faibles en nitrates (NO_3^-), traduisant une bonne qualité bactériologique et peu de pollution d'origine agricole.

III.5.2. Représentation graphique :

Le principal outil utilisé pour les représentations graphiques des analyses Chimiques est le logiciel DIAGRAMMES crée par Roland SIMLER du Laboratoire D'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant L'exploitation d'analyse d'eau. Parmi ces diagrammes qui nous permis de déduire les Interprétations sont :

- ✓ . Diagramme de Piper,
- ✓ . Diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkalof [5]

III.2.1. Diagramme de piper :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au

total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon ; sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée. [3]

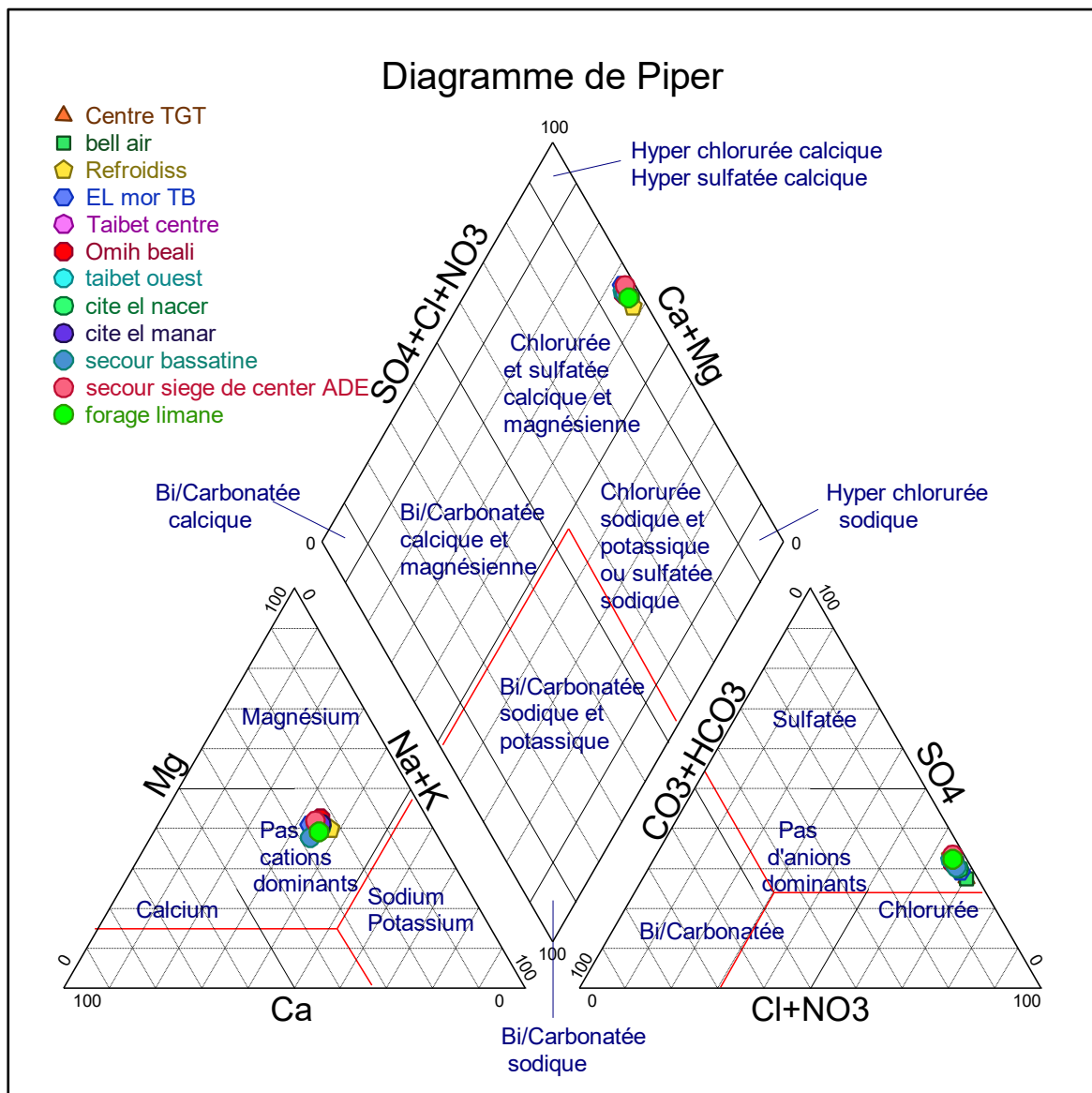


Figure III.4 : Diagramme de Piper.

Selon le diagramme de Piper (Figure III.4), le faciès chimique des eaux du Mio-Pliocène de notre région d'étude est chloruré et sulfatée sodique ou calcique ou magnésienne.

III.2.2. Diagramme de Schöeller Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. [5]

A travers ces représentations, les eaux de la nappe CT présentent un faciès chloruré magnésienne. Selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, les ions dominants sont les chlorures pour les anions et le magnésium et sodium pour les cations. Les concentrations s'ordonnent comme suit :

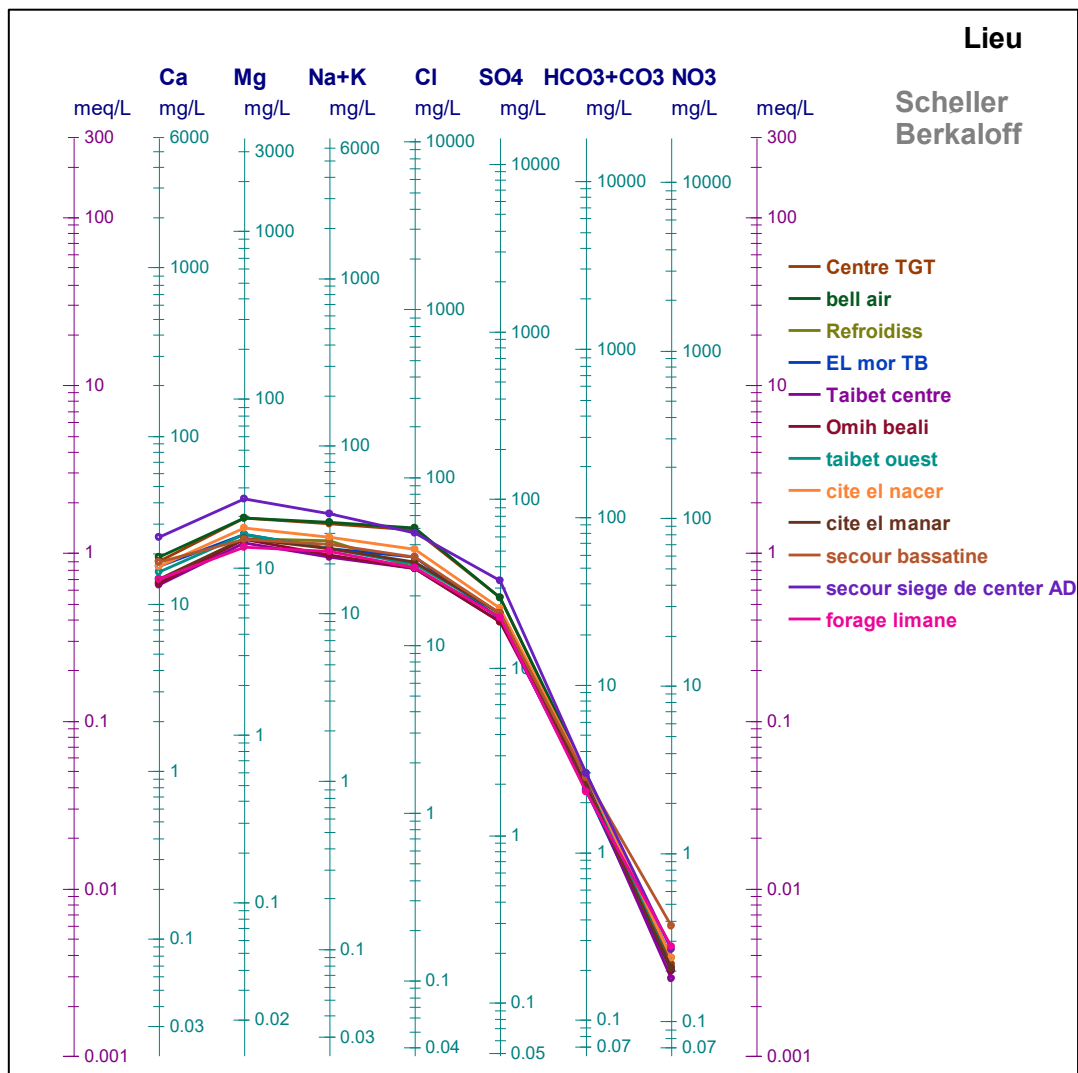
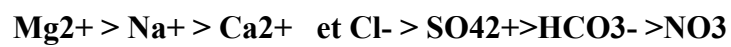


Figure III. 5 : Diagramme de Schöeller du Forges

III.2.3. Diagramme de Gibbs :

Le diagramme Gibbs représente les concentrations de TDS en fonction des rapports de $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ pour les cations et $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ pour les anions. On l'utilise pour obtenir un aperçu des processus hydrogéochimiques, y compris l'interaction eau-roche, l'évaporation et la précipitation atmosphérique. [3]

Le diagramme de Gibbs des données de la région d'étude (Figure III.6) indique que l'évaporation est le processus dominant.

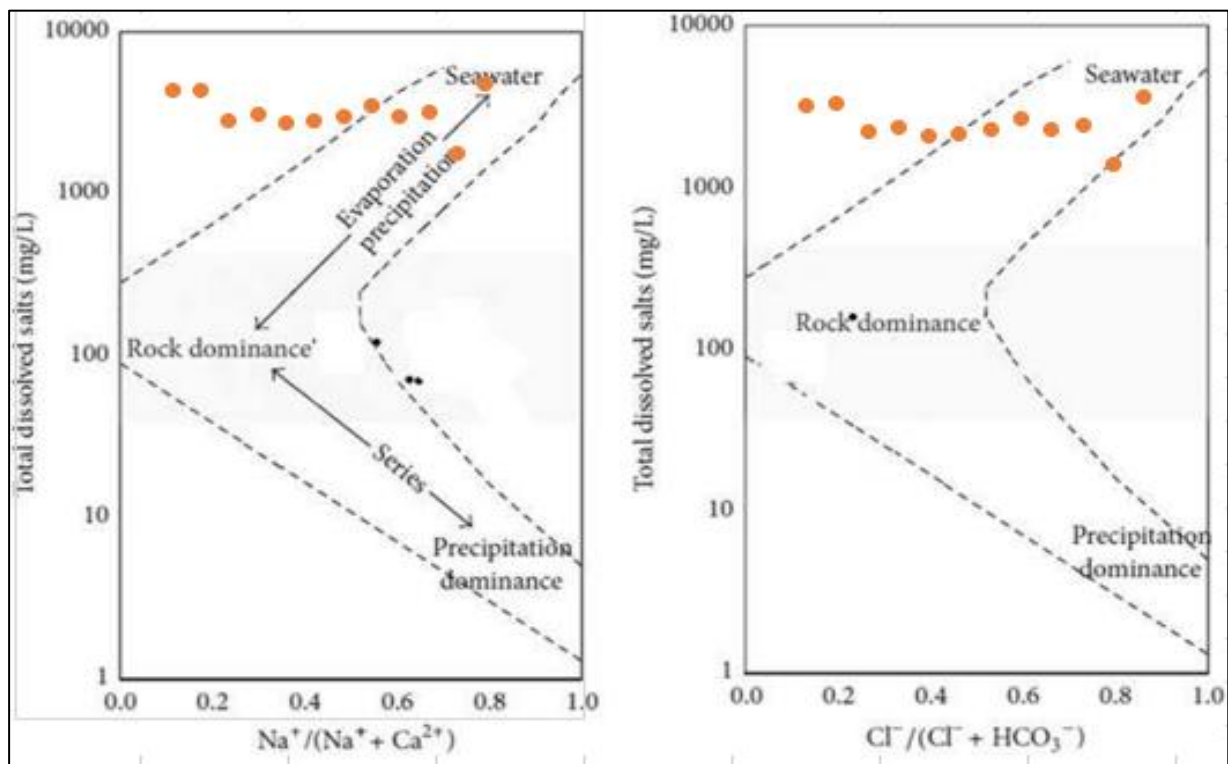


Figure III.6 : Diagramme de Gibbs

III.5.3. Origine des éléments chimiques :

Pour classer chimiquement les eaux, on fait recours à plusieurs formules, la plus simple est celle de STABLER, elle consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale de l'eau, cette formule est :

$$r\% = (100/c) \times r$$

Avec :

[3]

- **r** : est la quantité en réaction de l'ion considéré en meq/l ;
- **c** : la concentration totale. On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, on obtient les différents faciès chimiques des eaux étudiées.

La prédominance des cations Na^+ vis-à-vis de Ca^{2+} et Mg^{2+} , ainsi que l'abondance des anions Cl^- , et SO_4^{2-} , nous permettent d'établir des rapports caractéristiques $r\text{Na}^+ / r\text{Ca}^{2+}$ versus $r\text{SO}_4^{2-} / r\text{Cl}^-$, puis $r\text{Na}^+ / r\text{Mg}^{2+}$ versus $r\text{SO}_4^{2-} / r\text{Cl}^-$ pour expliquer l'évolution des faciès géochimiques rencontrés dans le diagramme de Piper.

III.3.1. La relation entre $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^-$:

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle entre le sodium et les chlorures ce qui indique une origine commune, probablement l'halite (Na-Cl), et qui confirme la domination du faciès chlorurée sodique. Le coefficient de corrélation est **de 0,9936**.

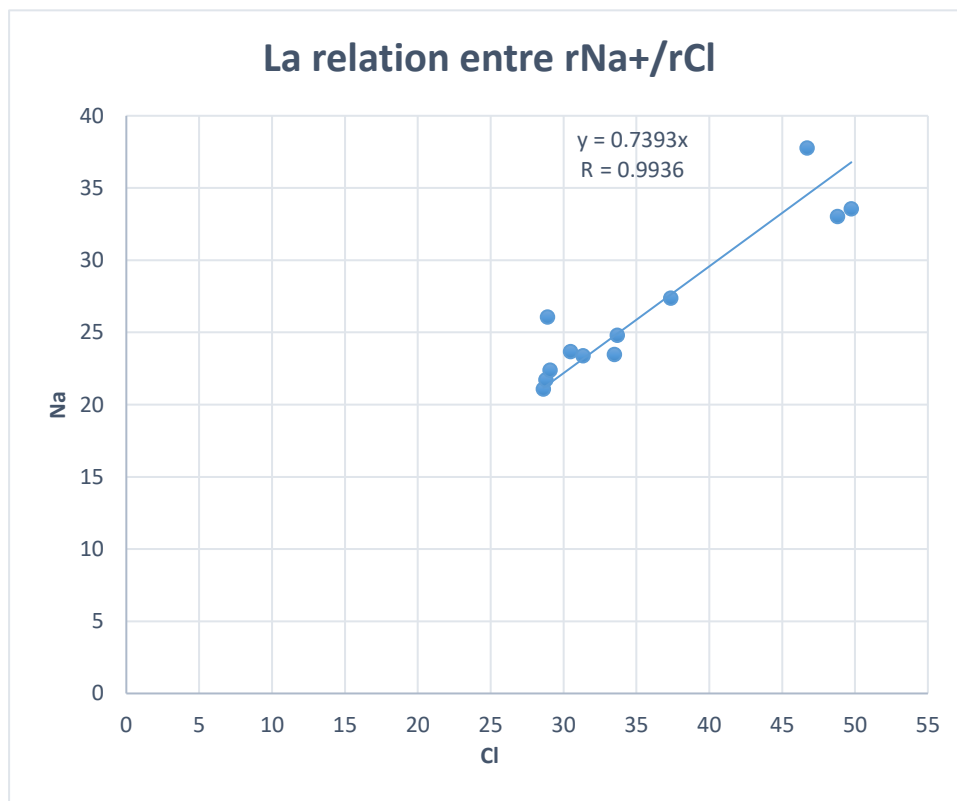


Figure III.7 : La relation entre $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^-$

III.3.2. La relation rCa^{2+}/SO_4^{2-} :

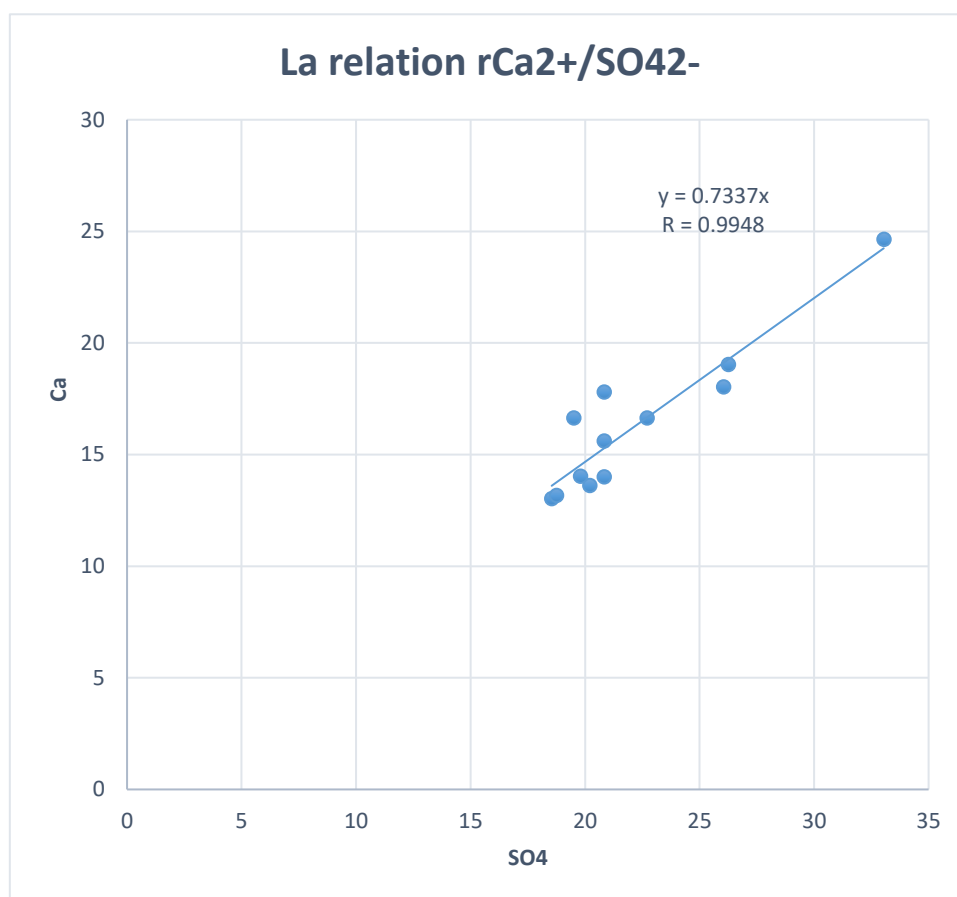


Figure III. 8 : La relation entre rCa^{2+} et $rHCO_3^-$

Les sulfates ont une relation proportionnelle avec le Calcium, donc ils ont des origines communes, soit du gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) soit de l'anhydrite ($CaSO_4$), avec Un excès pour les sulfates, d'où l'échange de base du calcium des formations Argileuses, le coefficient de corrélation régression linéaire **de 0,9948**.

III.3.3. La relation entre rCa^{2+} et $rHCO_3^-$:

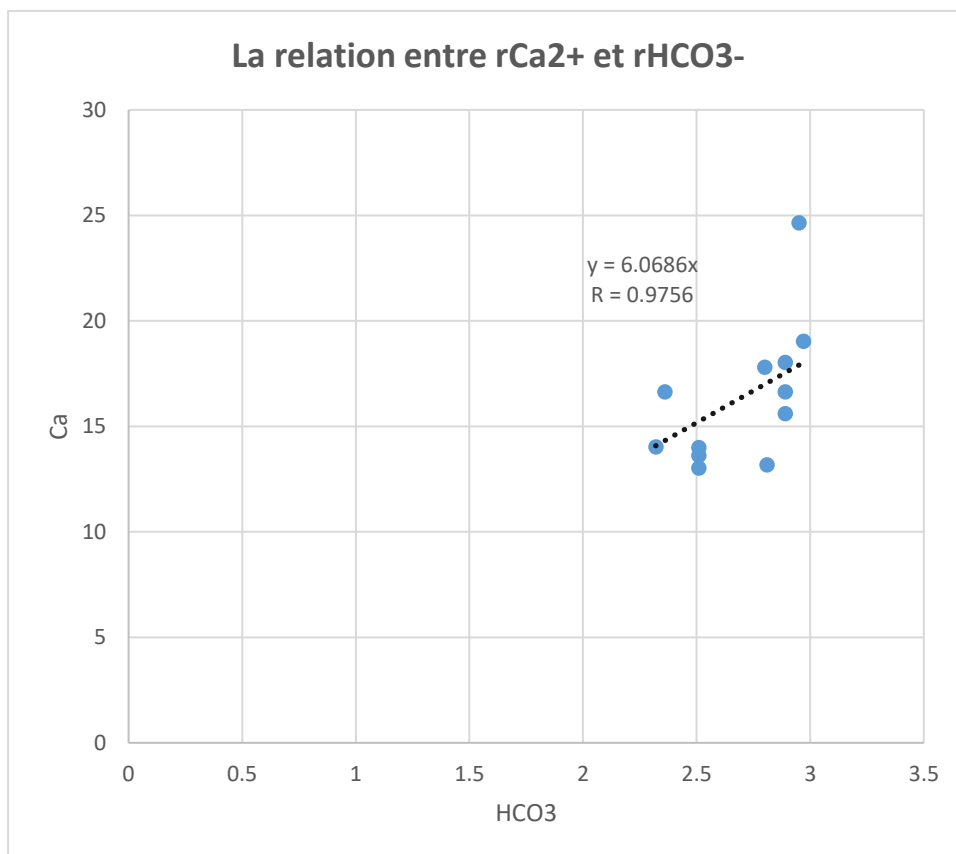


Figure III. 9 : La relation entre rCa^{2+} et $rHCO_3^-$

Une dispersion des points présentée dans le graphe (**Figure III.9**). Ce qui indique une évolution séparée des bicarbonates et du calcium.

III.3.4. La relation entre r_{K^+} et r_{Cl^-} :

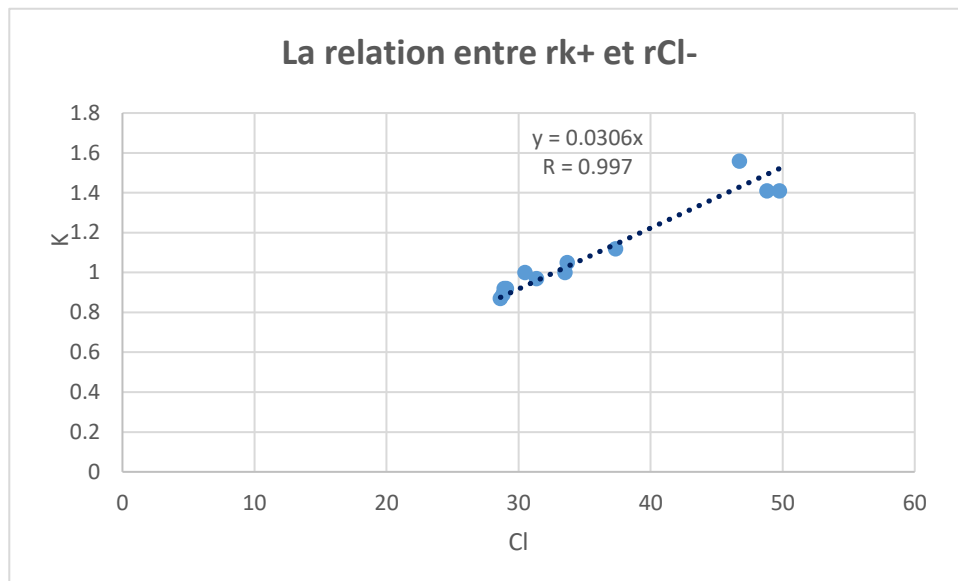


Figure III.10 : La relation entre r_{K^+} et r_{Cl^-} .

Le graphe montre une évolution des deux éléments (Figure III.10). Ce qui indique l'origine de ses éléments est sylvite

Les rapports caractéristiques :

Le rapport r_{SO_4}/r_{Cl} (figure III.11) montrant des valeurs inférieures à 1, cela indique une dominance en ion chlore et le rapport r_{Na}/r_{Ca} montrant des valeurs supérieures à 1, indique une dominance en sodium.

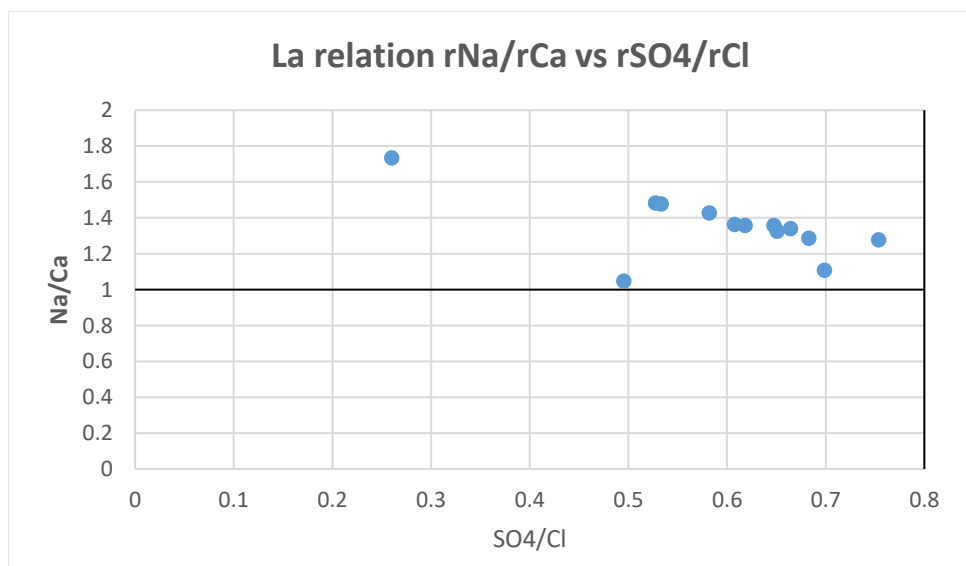


Figure III.11 : La relation r_{Na}/r_{Ca} vs r_{SO_4}/r_{Cl}

Le rapport r_{SO4}/r_{Cl} (figure III.12) montrant des valeurs inférieures à 1, cela indique une dominance en ion chlore. Le rapport r_{Na}/r_{Mg} montrant des valeurs inférieures à 1, indique une dominance en magnésium.

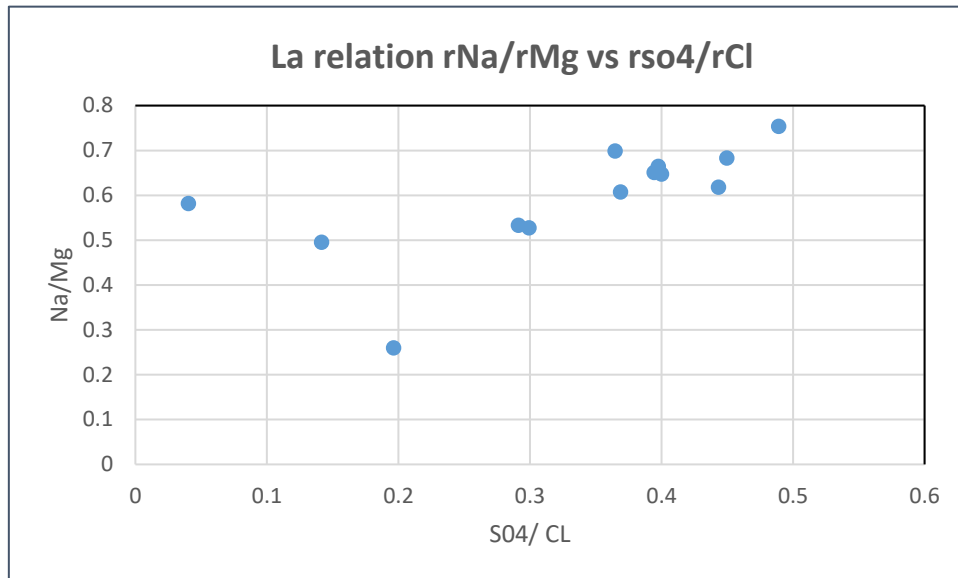


Figure III.12 : La relation r_{Na}/r_{Mg} vs r_{SO4}/r_{Cl}

Le rapport r_{SO4}/r_{Cl} (figure III.13) montrant des valeurs inférieures à 1, cela indique une dominance en ion chlore. Pour le rapport r_{Mg}/r_{Ca} montrant des valeurs inférieures à 1, indique une dominance en calcium et des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en magnésium.

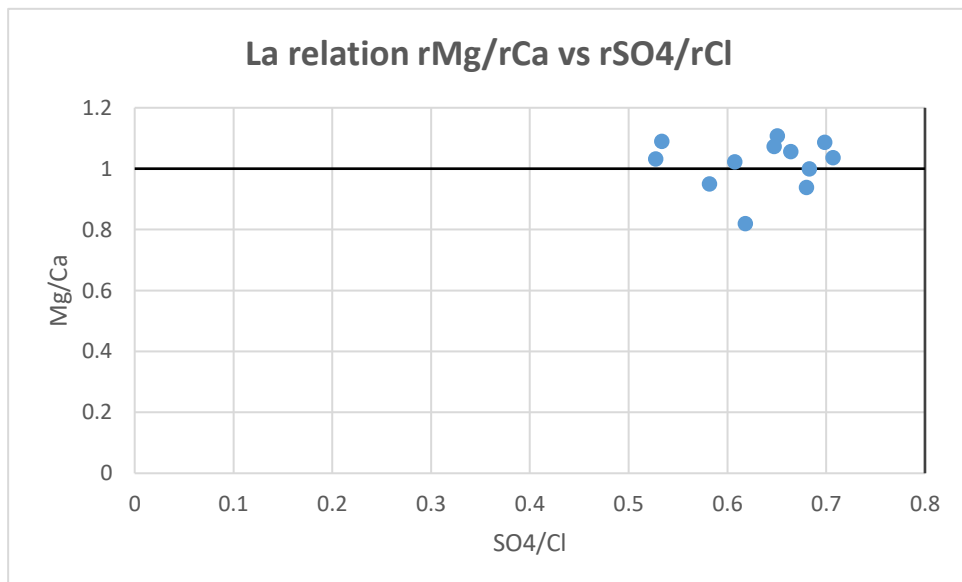


Figure III.13 : La relation r_{Mg}/r_{Ca} vs r_{SO4}/r_{Cl}

III.5.4. Echange cationique :

Il est essentiel d'identifier les différents changements de composition chimique subis par les eaux souterraines lors de leur parcours dans le sous-sol (Johnson 1979). Pour cela on utilise les indices chloro-alcalin pour indiquer l'échange entre l'eau et la roche. Ses valeurs peuvent être positive ou négative. Si les valeurs sont positives, cela explique que les échanges, ceci indique une réaction d'échange direct de base. En revanche, si elles sont négatives alors cela signifie qu'il y a un échange d'ions Mg^{2+} et Ca^{2+} proviennent de l'eau avec Na^+ et K^+ les ions des roches. Donc une réaction d'échange indirect de base indiquant un déséquilibre chloro-alcalin. [3]

Les indices chloro-alcalins sont calculés à l'aide des formules suivantes :

$$CAI\ 1 = (Cl - (Na + K)) / Cl$$

$$CAI\ 2 = (Cl - (Na + K)) / (SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3)$$

Tableau III 14 : Résultat des indices chloro-alcalins

Nom de forage	CAI 1	CAI 2
Centre TGT	0.29	0.49
bell air	0.29	0.5
Refroidiss	0.07	0.08
EL mor TB	0.26	0.4
Taibet centre	0.23	0.31
Omih beali	0.21	0.28
taibet ouest	0.19	0.24
Cite el nacer	0.23	0.34
Cite el manar	0.22	0.29
secour bassatine	0.23	0.32
secour siege de center ADE	0.15	0.2
Forage limane	0.19	0.25

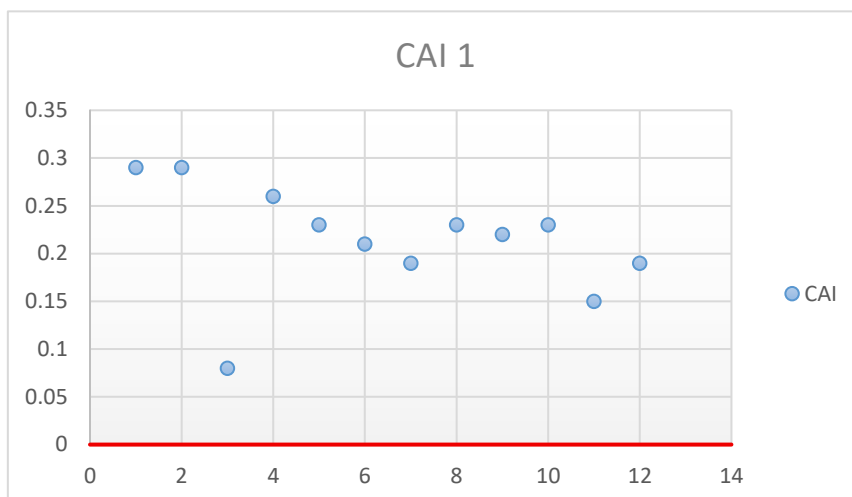


Figure III. 14 : Indice CAI 1

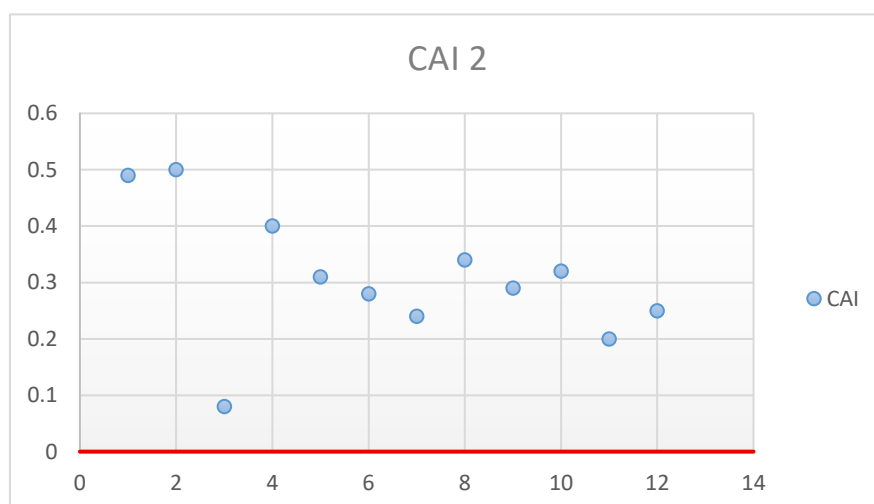


Figure III. 15 : Indice CAI 2

Les indices chloro-alkalins pour les eaux dans notre zone d'étude a été constaté que les valeurs de CAI 1 varient entre 0.01 et 0.28 meq/l. Tandis que les valeurs de CAI 2 se situent entre 0.08 et 0.49 meq/l. Donc nos résultats ont montré un rapport positif qui se présente sous la forme d'une réaction directe d'échange de base.

Conclusion :

L'étude géochimique des eaux de Mio-Ploicién de la Région Touggourt nous permet de mettre en évidence que ces eaux sont caractérisées Par la dominance du faciès chlorurée magnésienne. Les eaux sont très minéralisées et présentent des teneurs en éléments majeurs (sodium, magnésium, sulfate, chlorure et calcium) dépassant les normes recommandées par les normes algériennes. La participation des ions évaporitiques dans la minéralisation totale des eaux résulterait d'une éventuelle dissolution de l'halite et du gypse et de l'anhydrite.

Conclusion générale

Conclusion générale :

La région de Touggourt qui constitue notre zone d'étude représente la partie Nord du Sahara septentrional algérien, et caractérisée par un climat désertique aride, le type de climat de la zone étude est type hyper-aride la température est plus élevée ont été, Les précipitations annuelles sont faibles et très irrégulière.

Géologiquement, notre région est composée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé de roches éruptives et métamorphiques, surmonté par des milliers de mètres de couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire, géo-structuralement, le Mio-Pliocène qui fait l'objet de notre étude, n'est pas affecté par des accidents tectoniques à l'instar du reste de la série sédimentaire sous-jacente du Sahara septentrional, la lithologie y est très variée, on a constaté l'abondance des formations évaporitiques (gypse et anhydrite) et argileuses, avec quelquefois des carbonates.

Du point de vue hydrogéologie, la ville de Touggourt est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique.

D'après l'interprétation des analyses chimiques, les eaux de la nappe CT présentent des teneurs élevées en éléments majeurs tels que (potassium, sodium, sulfate, chlorure et calcium) dépassant les normes algériennes, et augmentent également le long du sens d'écoulement, cette minéralisation excessive est exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées

La participation des ions évaporitiques dans la minéralisation totale des eaux résulterait d'une éventuelle dissolution de l'halite et du gypse et de l'anhydrite.

Et aussi par le phénomène d'échange de base, comme montrer l'étude des rapports caractéristiques entre les éléments majeurs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- ✓ [1] ARIF Larbi, SAHRAOUI Brahim 2021 : Evaluation et Gestion Actuelle des ressources en eaux de la ville de Touggourt Mémoire master ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA –
- ✓ [2] BABAUSMAIL Houcine 2016 : Etude géochimique de l'aquifère du Mio-Pliocène dans la région de l'oued Righ (Touggourt) Mémoire master ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
- ✓ [3] DJIDOUR Nadjah, BENAGGA Ahmed 2023 : Etude géochimique des eaux de nappe complexe terminale dans la région d'oued souf . Mémoire master ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA –
- ✓ [4] KHOUDRANE Moussa MANSOURI Brahim 2018 : Caractérisation géochimique des eaux de Complexe Terminal de la région de Touggourt. Mémoire master ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
- ✓ [5] TIDJANI Ahmed fouad, SERRAOUI Nadjoua 2022 : Etude hydrochimique de eaux mio- pliocène de la wilaya de touggourt. Mémoire master ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA –
- ✓ ADE de Touggourt et ADE de Ouargla : Fichier d'analyses physico chimique d'eau de la région
- ✓ ANRH de Touggourt : Les données climatique