

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

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

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

*Caractérisation géochimique des eaux de Complexe
Terminal de la région de Touggourt*

Présenté par

KHOUDRANE Moussa
MANSOURI Brahim

Soutenu publiquement le : 21-06-2018.

Devant le jury :

Président :	Mr ZEDDOURI Aziez	Pr	Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr HOUARI Idir Menad	M. A. A	Univ. Ouargla
Examineur :	Mr NEZLI Imed Eddine	Pr	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2017/2018



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A ma précieuse mère.

A mon cher père.

Mes frères et sœurs :

(Mounir, Abd-Elkrim, salah, Houssam, Madjda, Oualdja,

Nour-Elhouda)

A mes petites nièces (Mariam-Sara-Soudjoud)

A toutes les familles: Khoudrane.

A mes Amis intimes:

Brahim, Boumadiane.

A tous mes amis(es) sans exception.

A tout le Promotions Hydrogéologie (2017-2018).

Khoudrane Moussa.



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de Ma mère.

Mon père.

Mes frères et sœurs.

*A mes petites nièces (RAFIK-SBER-RAHMA-AYMEN-
WASSIM-HADIL -AHLAM-LILIANE -TASNIM-
MAHDI-ABDALLAH)*

A tous mes Familles MANSOURI.

A tous mes amis(es) sans exception.

A tout le Promotions Hydrogéologie (2017-2018)

MANSOURI BRAHIM.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

✚ Je remercie, en premier lieu **ALLAH** qui m'a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de mes études.

✚ Je tiens à remercier avec gratitude mon encadreur **HOUARI Idir Menad**, de m'avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de m'avoir conseillé, encouragé et aussi, Son aide et sa disponibilité m'ont permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.

✚ Notre remerciement à les Jurys Mr **ZEDDOURI Aziez** (le Président), **Mr NEZLI Imed Eddine** (l'Examineur).

✚ Je remercie aussi l'ensemble du personnel de l'**A.N.R.H** de Ouargla (Agence Nationale des Ressources Hydraulique) pour leurs conseils et encouragements.

✚ Sans oublier ma **famille** pour le soutien exemplaire moral et matériel continu tout au long de mon cycle.

✚ Nous tenons également à remercier tous les enseignants qui nous ont accompagnés durant tout notre cursus universitaire.

Liste des figures

Chapitre I: Cadre physique

Figure I.1	Situation géographique de la zone d'étude(D.G.D.A.M.A.E).....	04
Figure I.2	Histogramme de distribution de la température moyenne mensuelle – station de Touggourt	05
Figure I.3	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles – Station de Touggourt	06
Figure I.4	Histogramme de distribution d'humidité moyenne mensuelle - station de Touggourt.....	07
Figure I.5	Histogramme de distribution de la vitesse de vent moyenne mensuelle de la station de Touggourt.....	08
Figure I.6	Histogramme d'évaporations moyennes mensuelles de la station de Touggourt	09
Figure I.7	Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais2012).....	10

Chapitre II : Contexte géologique

Figure II.1	carte géologique du Sahara orientale	14
Figure II.2	Carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique 1/500000 de l'Algérie (in M.G .Bétier, et al, 1951.1952, modifiée).....	15
Figure II.3	Les grandes unités géologiques au Sahara (Nesson, 1978)	16
Figure II.4	Coupe géo-structurale transversale régionale (WEC, 2007).....	17
Figure II.5	Colonne litho-stratigraphique synthétique de la région de Touggourt, (Helal et Ourihane., 2004).....	19
FigureII.6	Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt	21

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

Figure III.1	Extension géographique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972).....	24
Figure III.2	Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972).....	26
Figure III.3	Carte piézométrique de référence du CI(OSS,2003).....	26
Figure III.4	Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).....	29
Figure III.5	Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).....	30

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Figure IV.1	Carte des emplacements des points d'eaux échantillonnés.....	33
-------------	--	----

Chapitre V : Résultats et discussion

Figure V.1	Evolution des anions majeurs.....	42
------------	-----------------------------------	----

Figure V.2	Evolution des cations majeurs.....	43
Figure V.3	Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de la région de Touggourt.....	44
Figure V.4	La relation Na/Ca vs SO ₄ / Cl.....	45
Figure V.5	La relation Na/Mg vs SO ₄ / Cl.....	46
Figure V.6	La relation Mg/Ca vs SO ₄ / Cl.....	46
Figure V.7	La relation Ca vs SO ₄	47
Figure V.8	La relation Na vs Cl.....	48
Figure V.9	La relation Ca/HCO ₃ vs Na/Cl.....	49
Figure V.10	La relation Ca/SO ₄ vs Na/Cl.....	50
Figure V.11	La relation Mg/HCO ₃ vs Na/Cl.....	51
Figure V.12	La relation Mg/SO ₄ vs Na/Cl.....	52

Liste des tableaux

Chapitre I: Cadre physique

Tableau I.1	découpage administrative de la région de Touggourt.....	03
Tableau I.2	Températures moyennes mensuelles (°C) (1975-2013).....	05
Tableau I.3	Distribution de précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de Touggourt (1975-2013).....	06
Tableau I.4	Humidité moyennes mensuelles (%) pour la station de Touggourt (1975-2013)	07
Tableau I.5	vitesses de vent moyennes mensuelles (m/s) pour la station de Touggourt (1975-2013).....	07
Tableau I.6	L'évaporation moyenne mensuelle de la station de Touggourt.....	08

Chapitre V : Résultats et discussion

Tableau V.1	Variations du pH.....	36
Tableau V.2	Variations de la température	37
Tableau V.3	Variations des conductivités électriques.....	37
Tableau V.4	Variations des concentrations des sulfates.....	38
Tableau V.5	Variations des concentrations des chlorures.....	38
Tableau V.6	Variations des concentrations des bicarbonates.....	39
Tableau V.7	Variations des concentrations du calcium.....	39
Tableau V.8	Variations des concentrations du magnésium.....	40
Tableau V.9	Variations des concentrations du sodium.....	40
Tableau V.10	Variations des concentrations du potassium.....	40

Liste des abréviations

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
CI	Continental Intercalaire.
CT	Complexe Terminal.
ERESS	Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional.
MP	Mio-Pliocène.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
ONM	Office National de Météorologie.
OSS	Observation du Sahara et du Sahel.
SASS	Système Aquifère du Sahara Septentrional.

Table de matière

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	01

Chapitre I: Cadre physique

I.1	Introduction.....	03
I.2	Situation géographique et administrative de la région de Touggourt.....	03
I.3	Synthèse climatique sur la région.....	04
I.3.1	Température.....	04
I.3.2	Précipitation.....	05
I.3.3	L'humidité relative.....	06
I.3.4	Vitesse de vent.....	07
I.3.5	L'évaporation.....	08
I.4	Réseau hydrographique.....	09
I.4.1	Oued Rhir	10
I.4.2	Les oueds de la dorsale du M'zab.....	10
I.5	Unités géomorphologiques et topographie.....	10
I.5.1	Les Hamadas.....	11
I.5.2	Les Regs.....	11
I.5.3	Les accumulations sableuses.....	11
I.5.4	Les Sebka et les Chott.....	11
I.6	Conclusion.....	11

Chapitre II : Contexte géologique

II.1	Introduction.....	12
II.2	Cadre géologique de la région.....	12
II.2.1	Structure géologique du bassin oriental.....	12
II.3	Géologie régionale.....	13
II.4	Géologie locale.....	14
II.4.1	Géologie et Géomorphologie de la région.....	14
II.4.2	Description Stratigraphique.....	17
II.5	Tectonique régionale.....	20
II.6	Paléogéographie.....	22
II.7	Conclusion.....	23

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

III.1	Introduction.....	24
III.2	Le Continentale intercalaire (CI).....	25
III.3	Le Complexe Terminal (CT).....	26

III. 4	HYDROGEOLOGIE LOCALE.....	30
III.4.1	La nappe du Continental Intercalaire.....	30
III.4.2	La nappe du Complexe Terminal.....	30
III.4.2.1	La première nappe des sables.....	31
III.4.2.2	La deuxième nappe des sables.....	31
III.4.2.3	La nappe du Sénonien-Eocène.....	31
III.5	Conclusion.....	32

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1	Introduction.....	33
IV.2	Emplacement des points d'eaux échantillonnés.....	33
IV.3	Outil informatique.....	34
IV.3.1	Statistica.6.1.....	34
IV.3.2	Diagramme 5.1.....	34
IV.3.3	Surfer 10.....	34
IV.4	Conclusion.....	35

Chapitre VI : Résultats et discussion

V.1	Introduction.....	36
V.2	Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux.....	36
V.2.1	Le potentiel hydrogène (pH).....	36
V.2.2	La température (°C).....	37
V.2.3	La conductivité électrique CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).....	37
V.2.4	Les sulfates SO_4^{2-} (mg/l).....	37
V.2.5	Les chlorures Cl^- (mg/l).....	38
V.2.6	Les bicarbonates HCO_3^- (mg/l).....	38
V.2.7	Le calcium Ca^{2+} (mg/l).....	39
V.2.8	Le magnésium Mg^{2+} (mg/l).....	39
V.2.9	Le sodium Na^+ (mg/l).....	40
V.2.10	Le potassium K^+ (mg/l).....	40
V.3	Hydrochimie et évolution géochimique des eaux.....	41
V.3.1	Les paramètres physiques (CE, pH et T°).....	41
V.3.2	Les anions majeurs.....	41
V.3.3	Les cations majeurs.....	42
V.4	Faciès chimiques des eaux.....	43
V.5	Origine des éléments chimiques.....	47
V.5.1	Origine des chlorures et du sodium.....	47
V.5.2	Origine des sulfates, du magnésium et du calcium.....	48
V.5.3	Origine du potassium et des bicarbonates.....	52
V.6	Conclusion.....	53
	Conclusion générale.....	54

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

Introduction générale

Introduction générale

Les études des interactions eau - roche ont pour but de décrire, quantifier et prédire les changements de compositions chimiques et minéralogiques des phases solides et liquides dans des systèmes naturels au cours du temps. Ces études ont pris une importance croissante durant ces dernières années, tant du point de vue de la compréhension théorique des systèmes naturels, que par les applications très concrètes qui en résultent. La composition chimique des eaux souterraines reflète la composition minéralogique des roches de l'aquifère et peut être utilisée pour localiser les aires de recharge, l'origine des eaux souterraines (météorique, marine, fossile, magmatique et métamorphique) et des différents composés chimiques (carbonate, sulfate, nitrate et ammonium). Les compositions chimiques de l'eau peuvent aussi donner des informations sur les processus d'interaction eau-roche. (Keddami.S et Taabli.H 2017)

La région de Touggourt est une entité économique bien précise car elle regroupe plusieurs Oasis situées au Nord-Est du Sahara. Vu cette position stratégique, Cette région nécessite un potentiel en eau pour l'agriculture d'une part et pour l'utilisation domestique de l'autre part, cette région en recèle d'énormes quantités dans un système aquifère constitué de la superposition de trois 3 nappes à savoir : la nappe du Continental Intercalaire, la nappe du Complexe Terminal et la nappe phréatique.

La qualité des eaux des aquifères a fait toujours un souci de la population et des agriculteurs. Ceci est justifié par les paramètres physico-chimiques qui varient latéralement du Sud au Nord, où d'une nappe à l'autre.

L'objectif de notre travail est de déterminer l'interaction Eau /Roche dans la région de Touggourt , on se basant sur le chimisme, son origine et d'éventuelle évolution en allant du Sud au Nord (sens d'écoulement des eaux de la nappe), nous limiterons l'investigation sur les eaux de la nappe des sables du Mio-Pliocène.

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

Chapitre I : Cadre physique

Introduction générale

Dans ce chapitre, on a présenté la situation et le cadre physique de notre région d'étude, puis, on a synthétisé les composantes climatiques essentielles dans le but de déterminer l'influence de ce facteur sur les eaux et leur composition chimique.

Chapitre II : Contexte géologique

On a exposé dans ce chapitre, la synthèse des travaux antérieurs portant sur les caractéristiques géologiques et lithologiques des aquifères et du sous-sol de la région d'étude, afin de déterminer la relation existant entre la lithologie et la composition chimique des eaux.

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

Ce troisième chapitre consiste à présenter les caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques de l'aquifère dans notre zone d'étude.

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Ce chapitre expose les différentes méthodes et approches suivies pour étudier l'évolution du chimisme des eaux en fonction de la lithologie (méthodes d'analyses physico-chimiques des eaux, outil informatique).

Chapitre V : Résultats et discussion

Ce chapitre a pour objectif en premier lieu, la présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux, en les comparant parallèlement avec des résultats obtenus à partir des travaux antérieurs effectués dans ce sens, puis on a essayé d'interpréter ces résultats en fonction des caractéristiques lithologiques de la région.

Chapitre I

Cadre physique

I.1 – Introduction :

Dans Ce chapitre, on va présenter notre zone d'étude, en donnant quelques composantes climatiques, hydrographiques et géomorphologiques de la région TOUGGOURT.

I.2- Situation géographique et administrative de la région de Touggourt :

Touggourt ville du Sud-Est Algérien était la capitale historique de la région de l'oued Righ comprise entre le grand Erg Oriental, au Sud-Est et la zone des chotts, au Nord.

La région de Touggourt est située entre les latitudes Nord $32^{\circ} 54'$ et $34^{\circ} 9'$ et les longitudes Est $5^{\circ} 30'$ et $6^{\circ} 20'$. L'altitude est d'environ 70 m.

D'un point de vue administratif, la daïra de Touggourt appartient actuellement à la wilaya d'Ouargla. Elle est située à 600 Km au Sud-Est d'Alger dans le Sahara Nord oriental entre le grand Erg oriental et le massif des Aurès (Fig. I.1). Cette région, occupée par environ 173 000 habitants, s'étend sur une superficie de 1334 km². Elle est divisée en 3 daïra et 5 communes indiquées dans le tableau suivant :

Tableau I.1: découpage administrative de la région de Touggourt.

Daïra	Commune
Touggourt	Zaouiat Sidi el Abed El Nezla, Tebesbest
El Mggarine	Sidi Slimane
Temacine	Belidat Amor

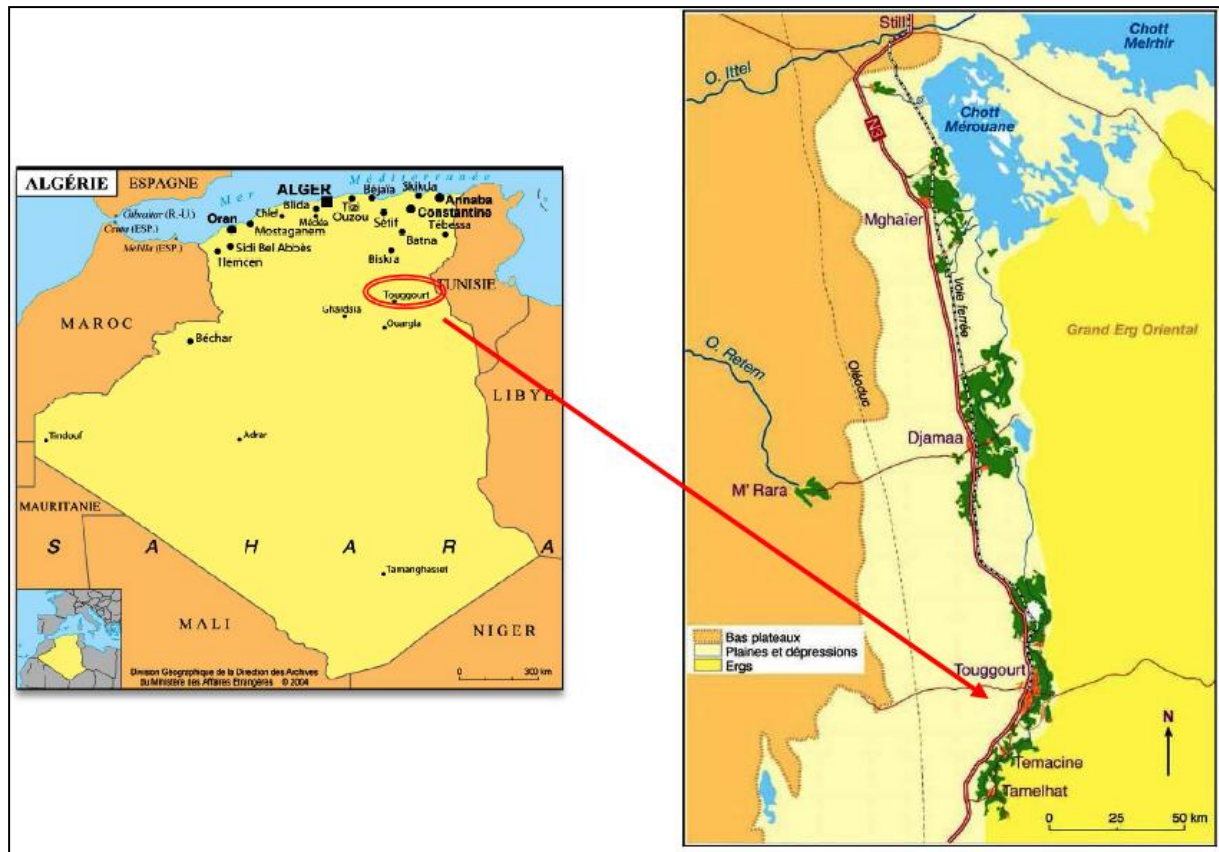


Figure I.1: Situation géographique de la zone d'étude (D.G.D.A.M.A.E ,2004).

I.3- Synthèse climatique sur la région :

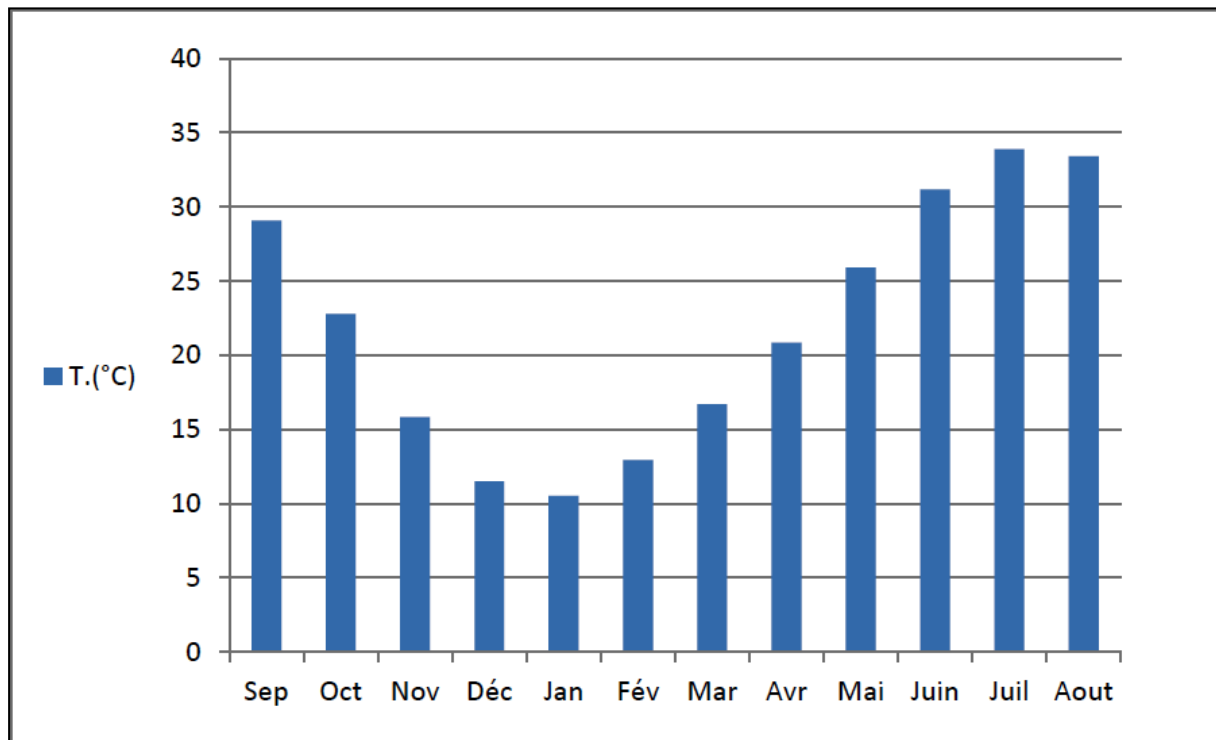
La région de Touggourt est caractérisée par un climat typiquement saharien qui se manifeste par des précipitations très faibles, des températures élevées et un taux d'humidité relativement faible, D'après les données de plusieurs années d'observations météorologiques au niveau de la station de l'ONM de Touggourt période (1975-2013).

I. 3.1- Température :

Les moyennes mensuelles des températures sont données au (Tableau I.2). L'histogramme montre que les mois les plus chauds sont : Juillet et Août avec des valeurs moyennes de 33.89 et 33.41°C respectivement. Les mois les plus froids sont : Décembre et Janvier avec des températures de 11.50 et 10.52°C respectivement. La valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de 22.05°C (Fig I.2)

Tableau I.2: Températures moyennes mensuelles (°C) pour la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T. (°C)	29.08	22.79	15.82	11.50	10.52	12.93	16.69	20.85	25.89	31.18	33.89	33.41

**Figure .I.2:** Histogramme de distribution de la température moyenne mensuelle – station de Touggourt (1975-2013).**I.3.2- Précipitation :**

La région d'étude est caractérisée par des pluies rares et aléatoires avec une influence d'un gradient pluviométrique décroissant du Nord vers le Sud dans les régions sahariennes. L'histogramme montre que la précipitation moyenne mensuelle maximale est enregistrée en mois de Janvier avec une valeur de l'ordre de 16.93 mm et une valeur minimale de l'ordre de 0.96 mm en mois de Juillet. Notant, que l'année la plus pluvieuse est celle de 2004 avec un cumul de précipitation de 161.8 mm. Tandis que l'année la plus sèche est l'année 1989 avec une précipitation de 11.5 mm (Fig I.3). Le Tableau I.3 montre les précipitations moyennes mensuelles.

Tableau. 3: Distribution de précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P. (mm)	5,47	6,10	7,87	5,81	16,93	4,91	9,29	6,90	4,92	1,47	0,96	2,74

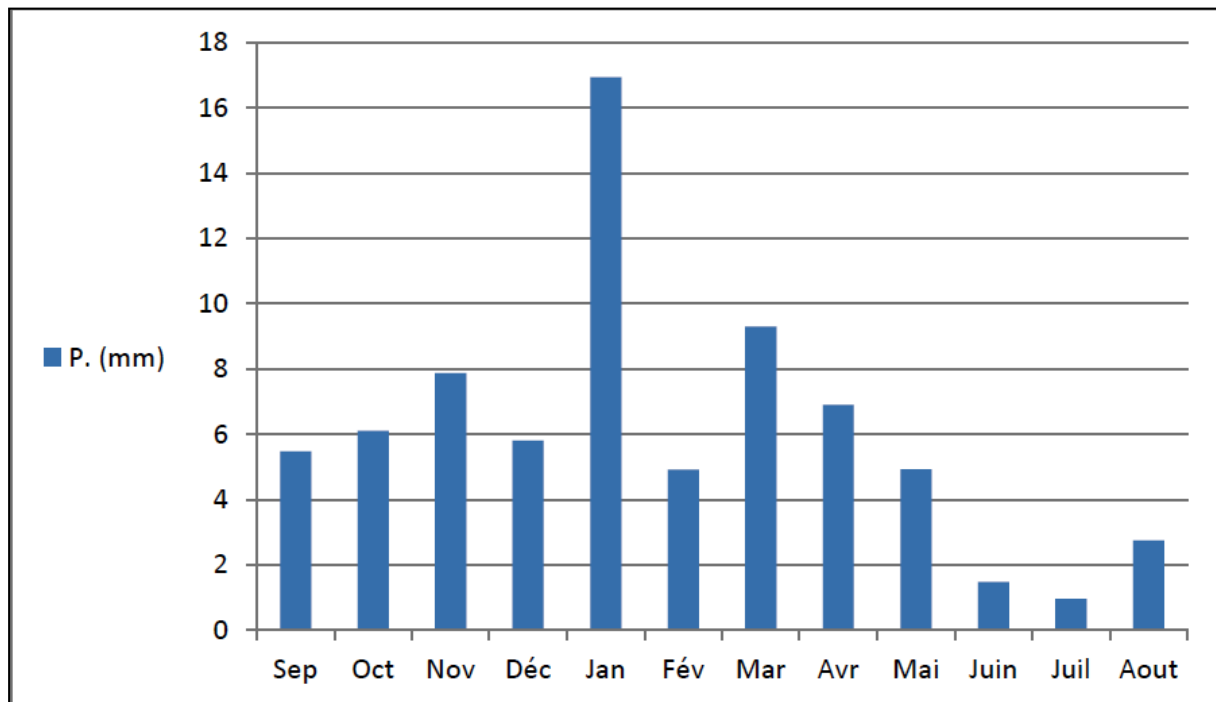


Figure.I.3: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles – Station de Touggourt (1975-2013).

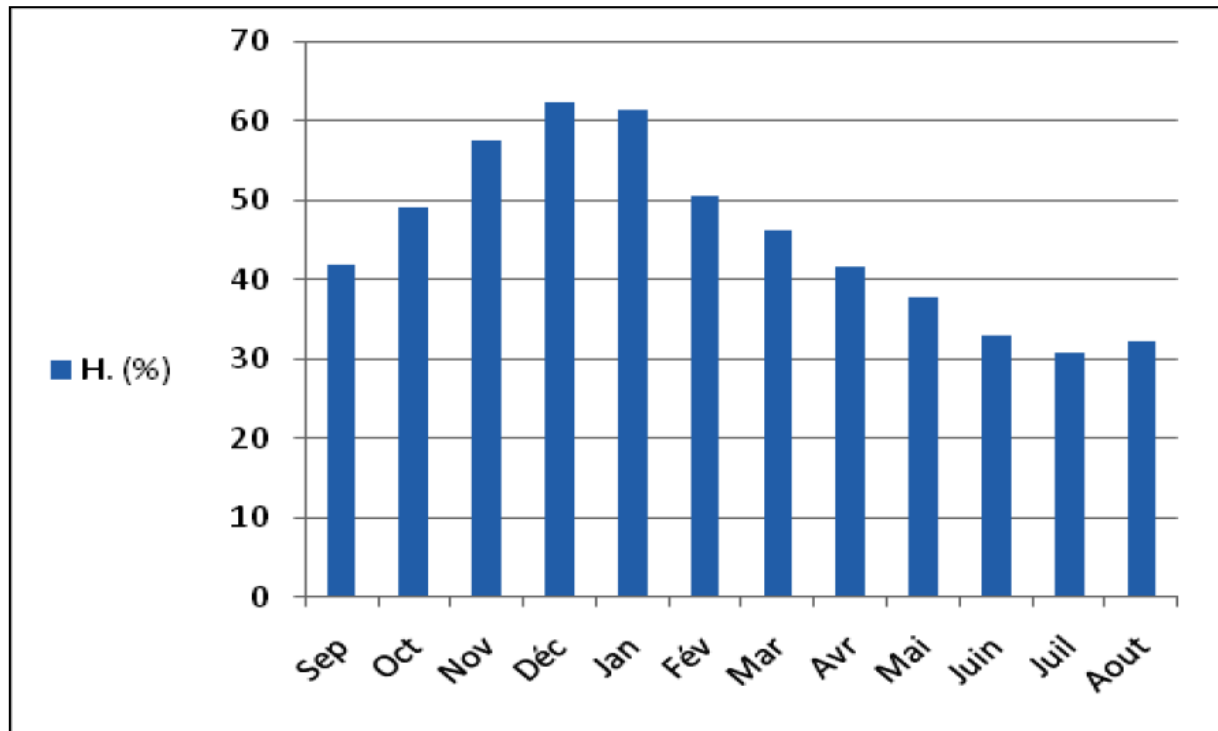
1.3.3 - L'humidité relative :

L'humidité relative est le rapport entre la tension de vapeur d'eau « e » et la tension de vapeur saturant « ew » à la même température exprimé en % « $U = e / ew * 100$ ». Le (Tableau I.4) présente, les valeurs d'humidité relatives moyennes calculées sur la base de 39 ans.

L'historgramme montre que l'humidité maximale est de l'ordre de 62.47 % en mois de Décembre, par contre l'humidité minimale est de 30.98 % enregistrée en mois de Juillet (Fig I.4). Il est à noter que les mois humides ($H > 45,51\%$) sont : Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars. Tandis que, les mois secs ($H < 45,51\%$) caractérisent le reste des mois de l'année.

Tableau. 04: Humidité moyennes mensuelles (%) pour la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
H.(%)	42.00	49.35	57.73	62.47	61.54	50.77	46.45	41.68	37.88	33.01	30.98	32.31

**Figure I.4 :** Histogramme de distribution d'humidité moyenne mensuelle - station de Touggourt (1975-2013).

1.3.4. Vitesse du vent :

Les vents qui influencent dans la région de Touggourt soufflent suivant des directions différentes généralement, NNE en hiver et SSE en été. Ceci provoque le déplacement des dunes et le dessèchement des végétaux. Il dépasse 20 km/s. D'après Benhaddya, (2006) et le (Tableau I.5) et l'histogramme (Fig I.5), la valeur maximum est enregistrée au mois de Mai avec une vitesse de 4.15 m/s tandis que, le minimum en décembre (2.59 m/s).

Tableau I.5: vitesses de vent moyennes mensuelles (m/s) pour la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vit. (m/s)	2.97	2.76	2.67	2.59	2.68	2.83	3.52	4.09	4.15	3.77	3.34	3.10

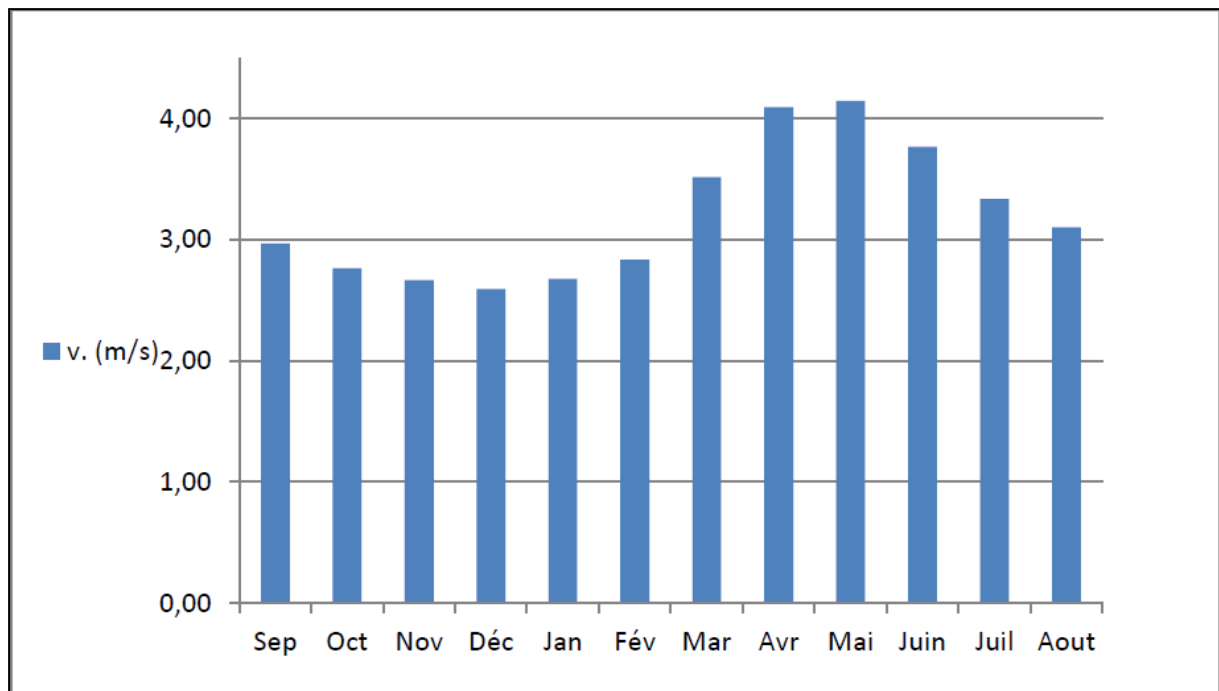


Figure. I.5: Histogramme de distribution de la vitesse de vent moyenne mensuelle de la station de Touggourt (1975-2013).

1.3.5. L'évaporation :

Le phénomène d'évaporation intervient dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou solide, atteignent la surface du sol. De plus l'humidité du sol, soit qu'elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe phréatique, constitue directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale.

L'évaporation moyenne mensuelle est présentée dans le tableau ci-après. On constate que l'évaporation est maximale au mois de juillet (399.79 mm) et minimale au mois de janvier (117.07 mm).

Tableau I .6: L'évaporation moyenne mensuelle de la station de Touggourt.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Eva (mm)	269.08	190.36	125.81	107.39	117.07	131.90	201.12	253.92	313.33	370.603	399.79	364.66

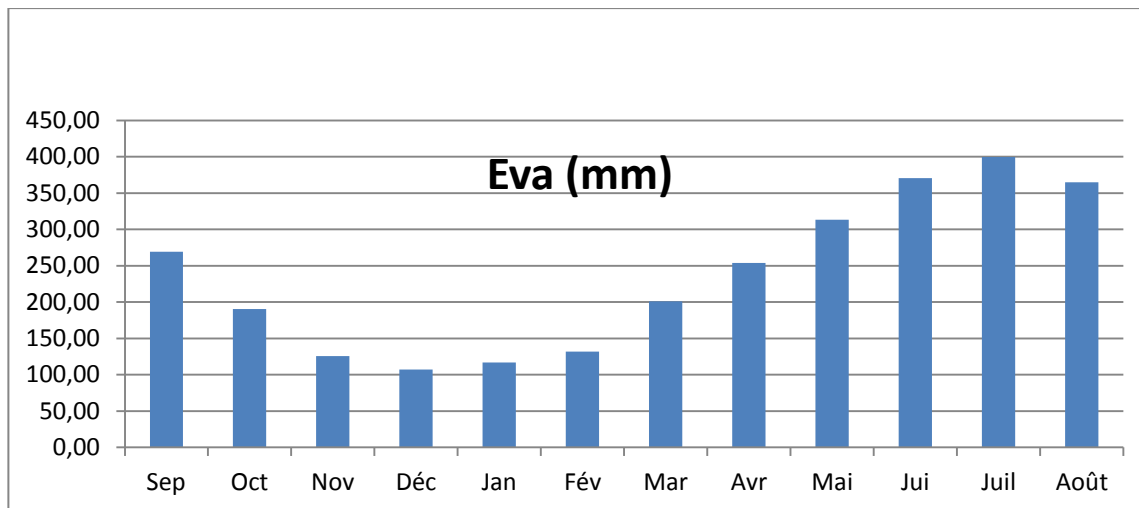


Figure. I.6: Histogramme d'évaporations moyennes mensuelles de la station de Touggourt.

I.4-Réseau hydrographique :

L'hydrographie du Sahara septentrional basée sur les travaux des chercheurs fondateurs : J. Dubief (1953) est reconsidérée par des recherches universitaires récentes effectuées par M. Côte (2005) montre que les oueds mythiques, Igharghar à partir du sud du Grand Erg Oriental, M'ya au niveau de Ouargla et Rhir n'existent pas. Parmi les oueds réels fonctionnels, on commence à mieux connaître ceux qui descendent de l'Atlas saharien avec leurs barrages et beaucoup moins bien ceux de la dorsale du M'zab. Des oueds réels fossiles viennent d'être découverts dans le Souf, à l'amont du Grand Erg Oriental. Les seules vraies rivières, pérennes, tel le grand drain, sont celles alimentées par les eaux de colature des oasis et des réseaux pluviaux des villes. (Ballais, 2012).

En effet, dans le Sahara septentrional, les précipitations sont non seulement rares, mais toujours très irrégulières. Par suite les conditions de l'écoulement y sont particulières (l'absence d'un écoulement permanent dans les talwegs, la désorganisation du réseau hydrographique et la dispersion de l'eau (Dubief, 1953).

La basse vallée de Oued M'ya (Ouargla) et le canal de l'Oued Rhir (Touggourt, Djamaa, et M'ghaïer) et l'oueds Ittel (stil) où appartiennent les localités de notre zone d'étude, sont drainés par différents et plusieurs oueds, qui déposent leurs apports en eaux et en minéraux dans les chotts Melhir et Merouane.

I.4.1- Oued Rhir :

La dépression topographique de l'oued Rhir paraît bien trop immense 15 à 30 km de large (Busson, 1972) pour être constituée par une vallée, même celle d'un très grand cours d'eau.

I.4.2- Les oueds de la dorsale du M'zab :

Des oueds drainent le versant des piedmonts Sud-Est de l'Atlas saharien à l'Est de la dorsale du M'Zab (Figure I.6), encore parfois fonctionnel, constitué de vallées orientées ouest-est qui se jettent dans deux vastes collecteurs, l'oued M'ya au sud et l'oued Rhir au nord jalonnés par une série de dépressions qui empêchent maintenant tout écoulement continu.



Figure I.7: Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2012)

I.5-Unités géomorphologiques et topographie :

Sur le plan géomorphologique, le Sahara possède plusieurs paysages caractéristiques. Les oueds descendant des reliefs se perdent souvent dans des dépressions, s'ennoient dans les ergs ou terminent leur course en mer. On peut aussi distinguer des plateaux sur lesquels s'érigent des reliefs (Hamdi Aissa, 2001).

I.5.1-Les Hamadas : Ce sont des plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue.

I.5.2- Les Regs : Ce sont des plaines de graviers et de fragments rocheux. Au Sahara, ils occupent des surfaces démesurées.

I.5.3- Les accumulations sableuses : Le sable est un élément essentiel du paysage saharien. Cependant, les dunes sont loin de recouvrir la totalité du Sahara, mais se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées les ergs, les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante du vent.

I.5.4- Les Sebka et les Chott : Ce sont des dépressions qui se forment lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand épisode pluvial contemporain à la glaciation de Würm, (Dubief, 1963).

I.6- Conclusion :

Notre zone d'étude fait partie de la région Est du Sahara septentrional algérien, elle est caractérisée par un climat désertique aride avec des températures extrêmes en été (plus de 50°C).

Les précipitations annuelles sont faibles, à distribution très irrégulière dans le temps comme dans l'espace, et notablement inférieures à l'évaporation potentielle annuelle qui y atteint des valeurs considérables, telles caractéristiques du climat actuel ne peuvent expliquer les énormes réserves d'eaux souterraines, mais peuvent contribuer quand même à une certaine recharge s'il y a présence d'un nombre de conditions géologiques, climatiques et topographiques. Cette recharge reste toujours négligeable par rapport à l'exploitation excessive. En fait, seuls les oueds de l'atlas saharien qui dévalent à chott Melrhir et Merouane et ont un effet sur la recharge de la nappe du Mio-Pliocène.

D'un climat aride, notre zone d'étude, et comme la totalité du Sahara, se caractérise par une topographie relativement plane, et d'un paysage saharien caractérisé par les dunes de sable, les regs, les hamadas, les chotts et sebkhas. Ou terminent leur course en mer. On peut aussi distinguer des plateaux sur lesquels s'érigent des reliefs (Hamdi Aissa, 2001).

Chapitre II

Contexte géologique

II.1 -Introduction :

La reconnaissance géologique de la région est une étape indispensable dans toute étude hydrogéologique. Elle permet la détermination de la nature lithologique et la description stratigraphique des formations et distinguer par conséquent celles pouvant renfermer des nappes souterraines.

Dans le but d'identifier les caractéristiques géologiques du réservoir, nous aborderons en premier lieu les aspects géologiques à l'échelle régionale puis à l'échelle locale propre à la zone de Touggourt.

II.2- Cadre géologique de la région :

Lorsqu'on aborde le Sahara par le Nord, on est surpris par la rapidité avec laquelle on passe des montagnes et plateaux de l'Atlas à la plate-forme désertique saharienne. Ce passage souligné par des affleurements de calcaires blancs sub-verticaux, correspond à l'accident sud-atlasique, qui est selon les endroits un pli, un pli-faille, ou une flexure. Au sud de cet accident qui va d'Agadir au Golfe de Gabès, s'étend le bouclier africain formé de roches éruptives et métamorphiques où se sont déposés plusieurs milliers de mètres de terrains sédimentaires allant du Cambrien au Quaternaire (Cornet, 1964). On y subdivise en deux (02) sous domaines : le bassin occidental et le bassin oriental, séparés par l'anticlinal du M'Zab. Notre zone d'étude, s'inscrit dans cet immense bassin sédimentaire oriental occupant dès le Secondaire, l'emplacement de l'actuel Sahara septentrional (Gouscov, 1952).

II.2.1- Structure géologique du bassin oriental :

Le bassin oriental du Sahara (Fig II.1), à couverture sédimentaire, d'âge paléozoïque au Récent, est nettement mieux connu que sa contre partie occidentale, grâce aux recherches pétrolières. Il est limité à l'Ouest par la dorsale du M'zab et au Sud par les plateaux du Tadmait et du Tinrhert, se plonge vers l'est en Tunisie et en Libye. Il comporte à la base des sédiments Paléozoïques plissés, et pénéplaines par l'orogénèse hercynienne, surmontés en discordance par des sédiments variés (marins et continentaux) du Secondaire et du Tertiaire sur une épaisseur de 2000 mètres environ. Le bassin oriental se présente également comme un vaste synclinal, ouvert vers le Nord. Dans sa moitié Sud,

ce synclinal est traversé par un grand axe anticlinal Nord-Sud; siège de plusieurs gisements pétroliers. C'est le haut-fond d'Amguid-El Biod. Cet axe n'est plus apparent dans les formations du Mio-Pliocène ; il y a même inversion de relief puisque l'axe de l'actuel synclinal Mio-Pliocène se superpose à l'ancien haut-fond. Dans le bassin du Sahara septentrional, une seconde zone haute a existé, du Cénomaniens au Mio-Pliocène, entre Hassi-Messaoud et la frontière tunisienne. Cette structure est orientée Est-Ouest ; elle sépare la fosse des chotts au nord, du reste du bassin.

Il semble que cet axe joue un rôle important dans l'hydrogéologie de cette région.

II.3-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 Tinhert, au Sud. Les affleurements crétacés du Dahar, à l'Est et la dorsale du Mzab, à l'Ouest.

Le Bas Sahara est caractérisé par l'extrême simplicité de sa topographie. Mis à part le coté 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 (Fig. II.3) :

- ◆ Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tinghert et le massif du Hoggar,
- ◆ Les terrains du Mésozoïque et Cénozoïque, constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- ◆ Des dépôts continentaux de la fin du Tertiaire et du Quaternaires, occupent le centre de la cuvette.

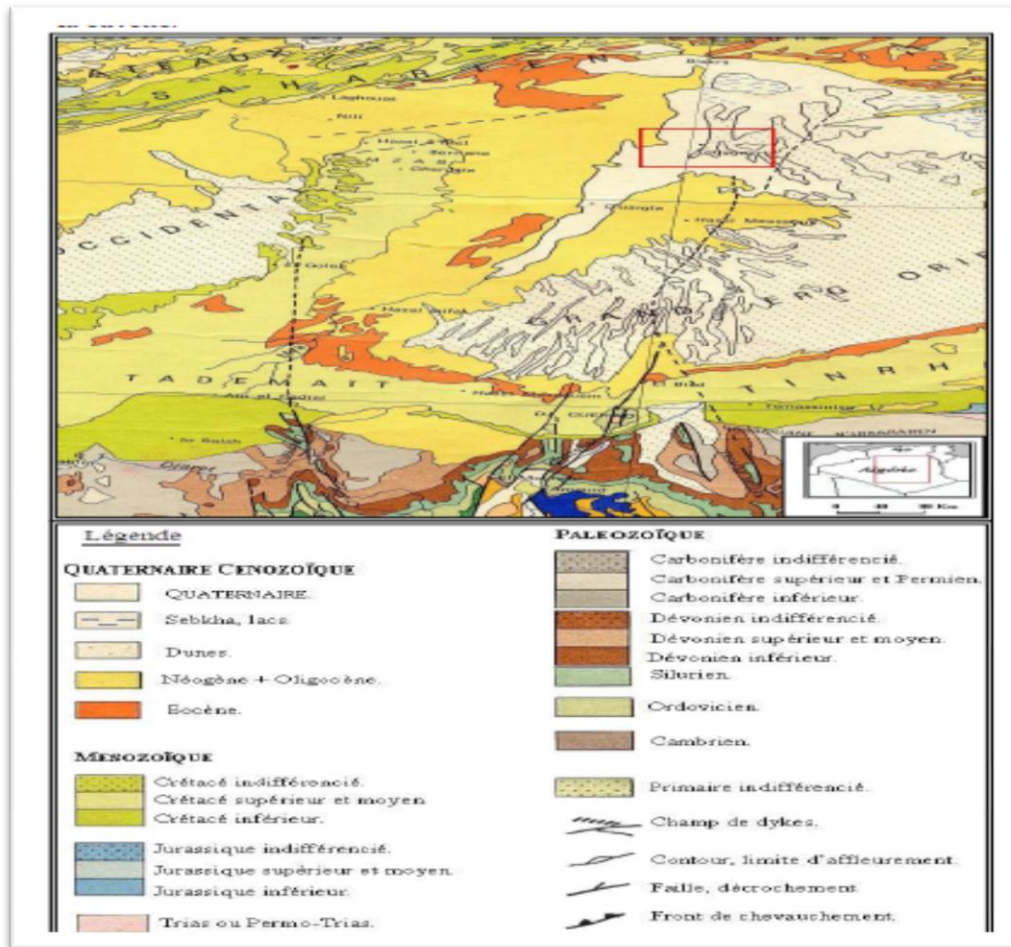


Figure II.1: Carte géologique du Sahara orientale.

II.4. Géologie locale :

II.4.1-Géologie et Géomorphologie de la région :

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.

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

Du point de vue morphologie, 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.



Figure II.2: Carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique 1/500000 de l'Algérie (in M.G .Bétier, et al, 1951. 1952, modifiée).

L'égende:

- A** Alluvions actuelles, lacs, marécages, Dayas, chotts sebhas, limons et croûtes gypso-Salines.
- D** Dunes récentes.
- qt** Quaternaire continental : alluvions, regs, terrasses.
- qua** Quaternaire marin : plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent.
- qC** Calabrien : grès marins formations dunaires associées.
- qV** Villafranchien : calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges.
- pV** Pliocène continental et Villafranchien non séparés.
- ps** Pliocène continental poudingues, calcaires lacustres.

- p** Pliocène marin | Conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées
- mp** Pontien (localement équivalent du mc)
- ms** Miocène terminal marin et lagunaire : couche à tripoli, marnes à gypse.
- mm** Miocène supérieure marin : calcaire, grès, argiles
- mc** Miocène continental anté Pontien
- mi** Miocène inférieur marin (burdigalien)
- canal Oued Righ

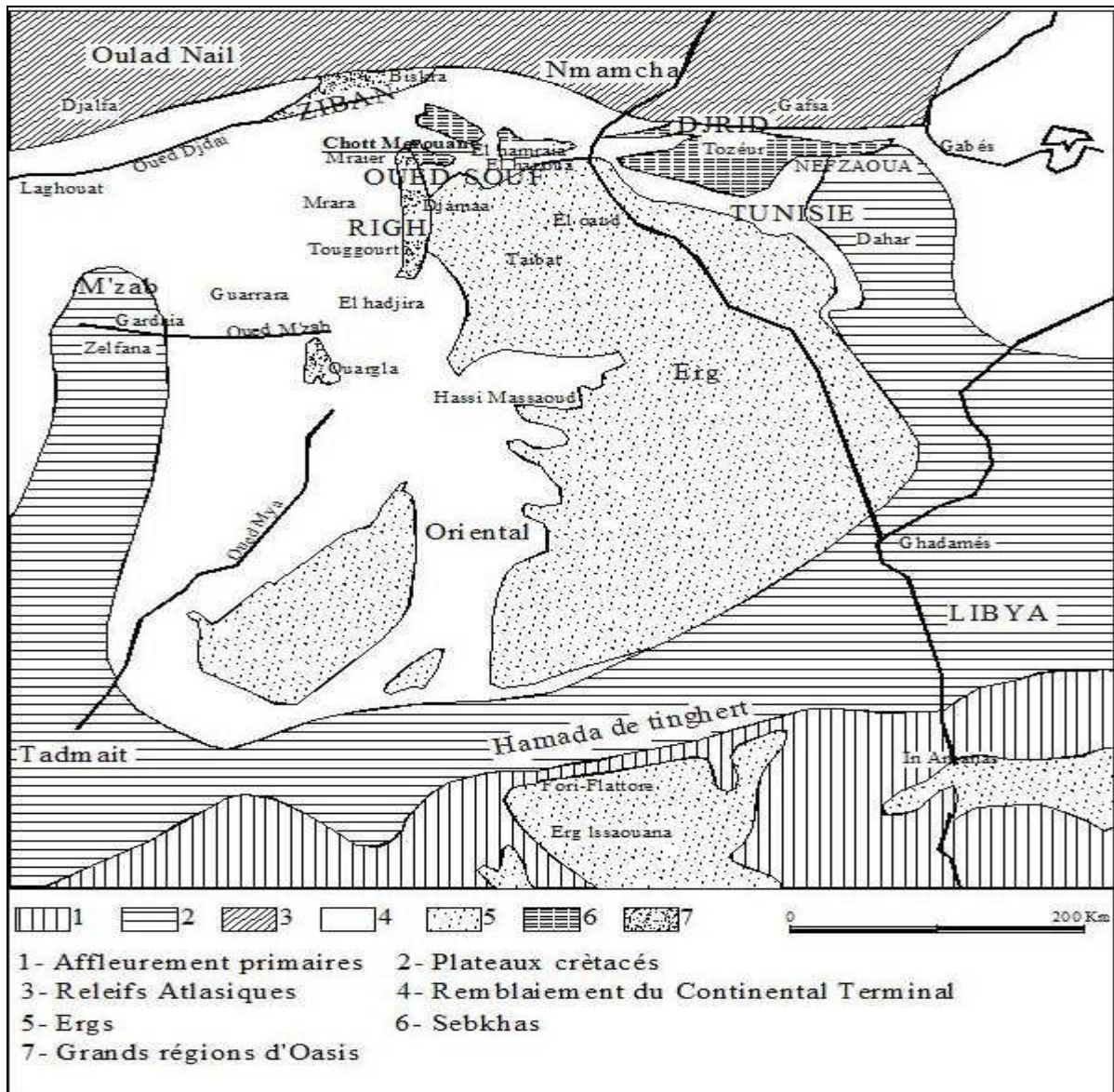


Figure II.3 : Les grandes unités géologiques au Sahara (Nesson, 1978)

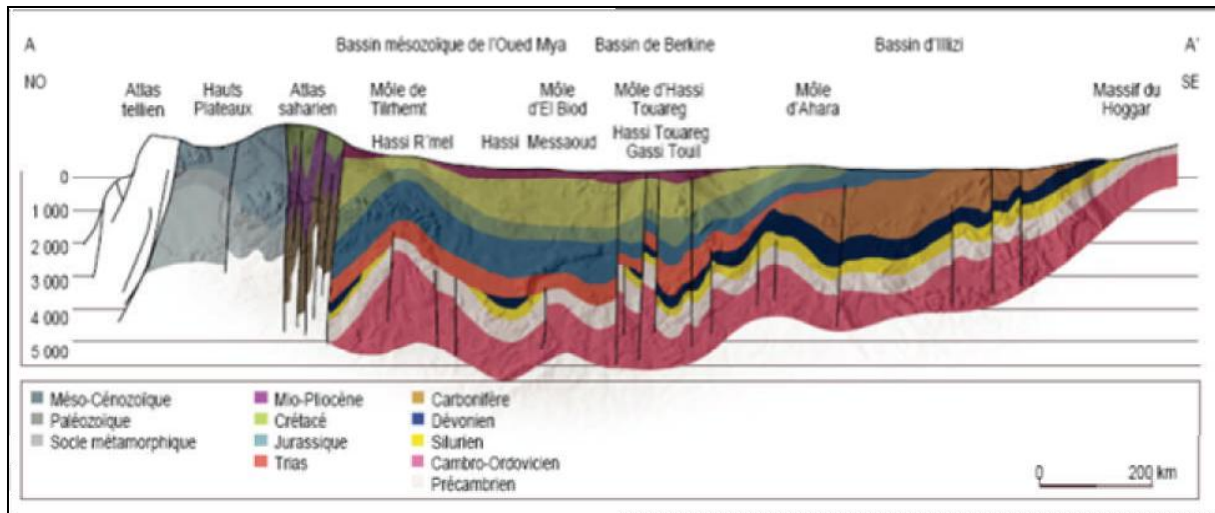


Figure II.4 : Coupe géo structurale transversale régionale (WEC, 2007).

II.4.2-Description Stratigraphique :

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 couche 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 rencontrés 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 : grés-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 Mio-pliocène.

❖ 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.5) :

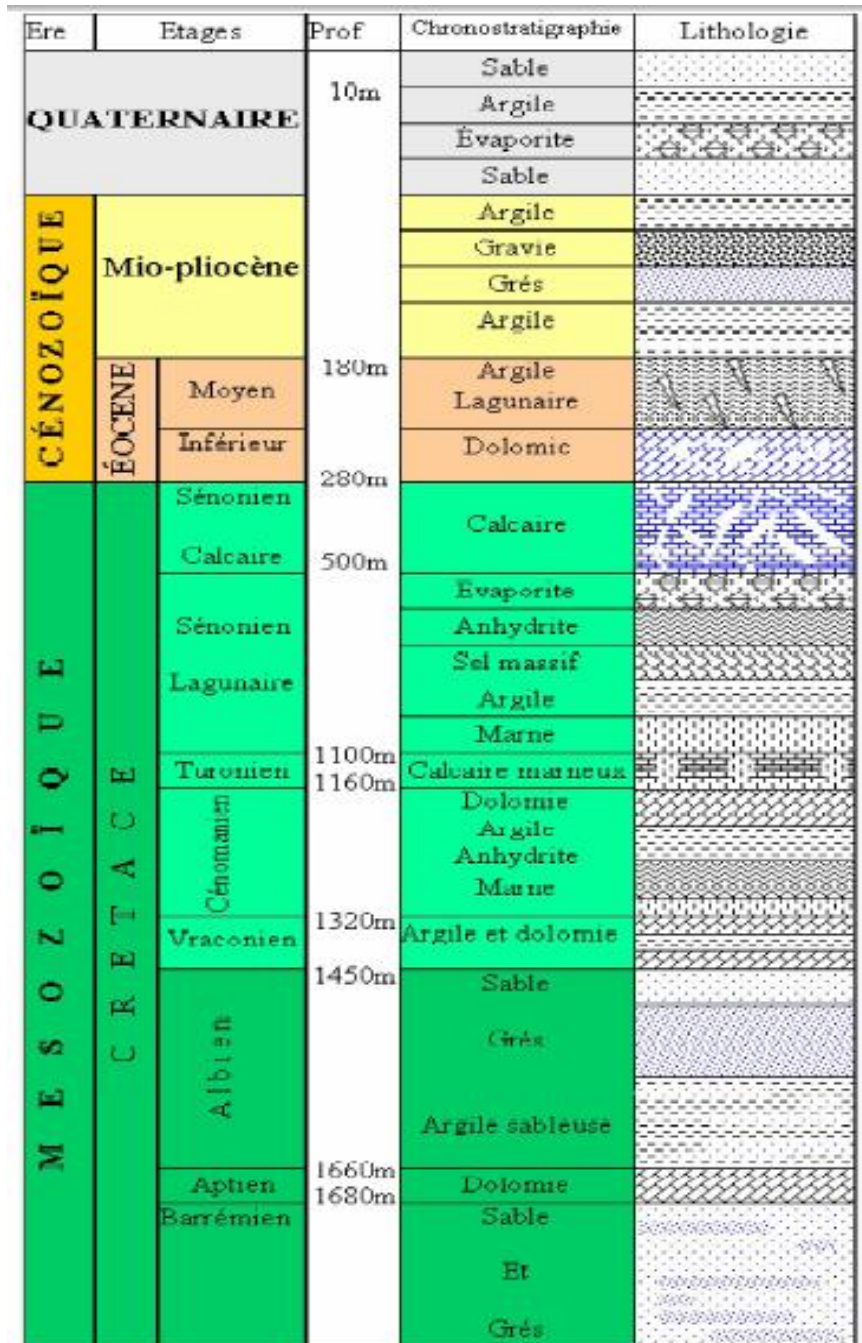


Figure II.5: Colonne litho-stratigraphique synthétique de la région de Touggourt, (Helal et Ourihane., 2004).

II.5-Tectonique générale :

Au cours du Secondaire, le Sahara algérien oriental subissait des mouvements verticaux d'ensemble. 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 contrechocs sur la plate forme 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-quadernaire qui s'insère 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 Aurésien », 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.

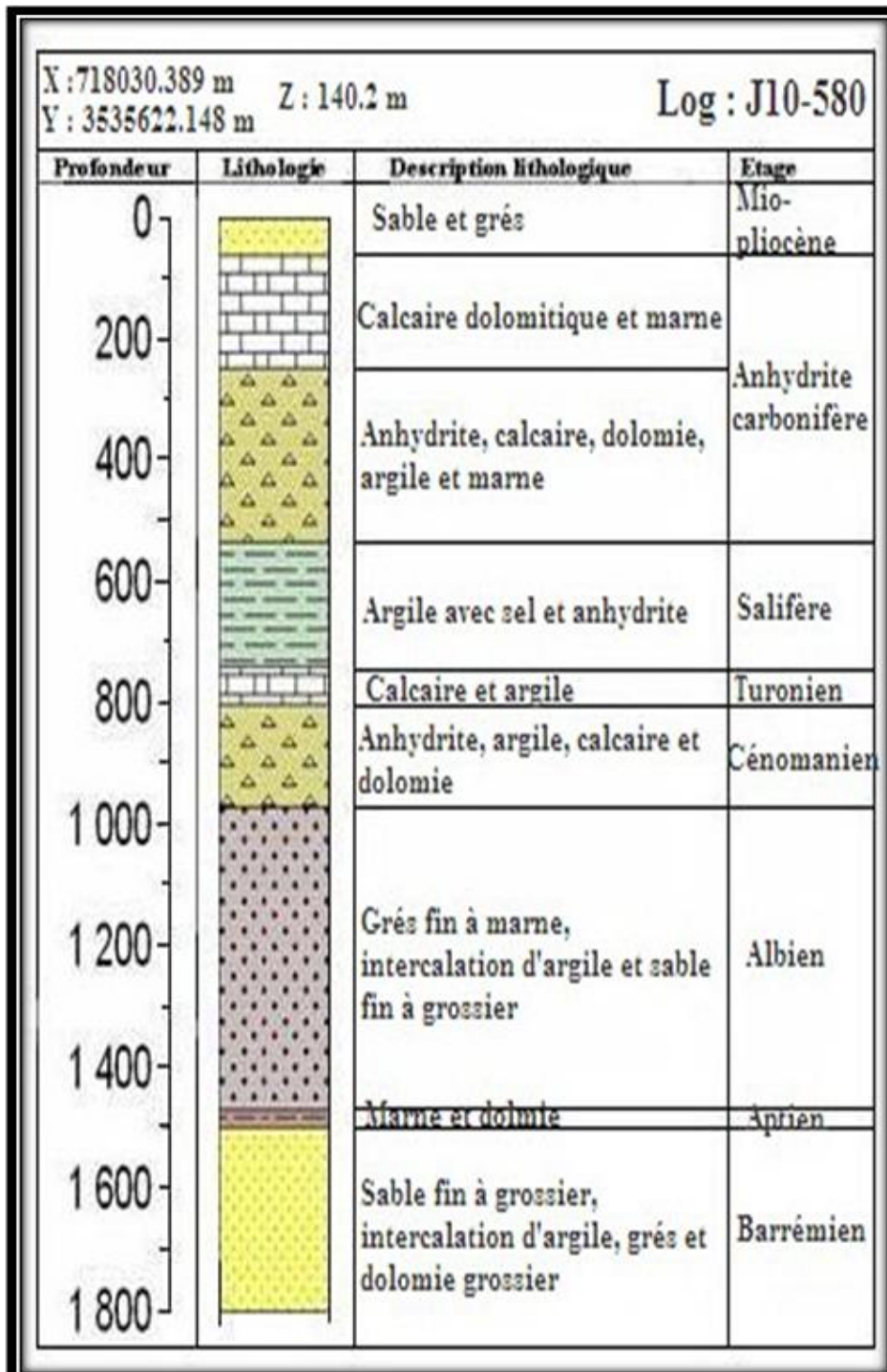


Figure II.6 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt.

II.6 -Paléogéographie :

Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara oriental, du Cénomaniens à la fin de l'Eocène sont donc :

- L'existence d'une plate forme très régulière sur laquelle les moindres variations du niveau de la mer, provoque des changements importants dans la sédimentation.
- L'existence d'une mer profonde dans le Bas Sahara actuel à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont les plus importantes étant celles du Cénomaniens et du Sénonien supérieur.
- A la fin de l'Eocène et la régression définitive de la mer s'accompagne de bouleversements important.
 - L'érosion enlève une partie des calcaires du Sénonien et l'Eocène.
 - Le régime marin est remplacé par un régime continental.

Cette reconstitution paléogéographique, est tirée des travaux de F. BEL et F. DEMARGNE (1966), elle s'applique à l'ensemble du Bas Sahara.

Pendant la première moitié de l'ère secondaire, la sédimentation dans la région de Touggourt et dans tout le Sahara oriental a été de type continental. En effet, du Trias à l'Albien, se sont déposés des argiles et des sables et des évaporites d'origine éolienne ou fluviatile. On note cependant, quelques rares incursions marines, en particulier en Jurassique et à l'Albien. Ce dépôts constituent « le continentale intercalaire » et contiennent la plus importante ressource aquifère du Sahara.

Durant la seconde moitié du secondaire, d'autres phénomènes se sont succédé :

- Au dessous des grès continentaux albiens viennent en transgression les calcaires marins du Cénomaniens. Ces calcaires qui s'intercalent avec les argiles et les évaporites. Cette alternance est l'indice d'un régime marin peu profond, évoluant vers un régime lagunaire responsable du dépôt des évaporites et des argiles gypsifères.
- Au Turonien, le régime marin s'est stabilisé, permettant le dépôt d'une barre calcaire homogène, atteignant parfois plus de 100 mètres dans le Sahara oriental. La stabilisation du régime marin durant le Turonien n'est que temporaire.
- En effet, dès le début du Sénonien à Touggourt se dépose en alternance de l'anhydrite, des argiles, des dolomies ainsi que quelques bancs calcaires. Le dépôt parfois d'un banc de sel massif à la base dans le Bas Sahara témoigne particulièrement du régime lagunaire qui s'était installé sur le Sahara oriental durant tout le Sénonien inférieur.

- Au Sénonien supérieur, le régime marin réapparaît une nouvelle fois déposant ainsi la seconde série calcaire. Cette transgression Sénonienne semble moins importante que celle du Turonien. En effet, on note la présence de petites intercalations d'évaporites dans les calcaires Sénoniens, ce qui n'est pas le cas des dépôts turoniens.
- Au début de l'Eocène inférieur, la mer recouvre toujours le Sahara oriental, c'est le dépôt des calcaires à Nummulites.
- Durant l'Eocène moyen et supérieur, les sédiments marins de l'Eocène inférieur sont peu à peu remplacés par des dépôts lagunaires où alternent les argiles, les évaporites et les calcaires. La faible extension de ce golfe marin localisé dans le Bas Sahara marque les dernières manifestations de la mer saharienne dont la disparition définitive se situe vers la fin de l'Eocène.
- A la fin de l'Eocène, le Sahara oriental se présente sous l'aspect d'une plate forme calcaire émergée qui sera exposée à l'érosion durant tout l'Oligocène.
- Au Mio-pliocène, suite à l'épirogénèse alpine, des sédiments argileux et sableux continentaux se déposent sur l'ensemble du Sahara oriental. Cette sédimentation continentale se poursuit durant le Quaternaire. C'est donc aux époques Tertiaires et Quaternaire que le Sahara oriental a pris la configuration que nous lui connaissons aujourd'hui.

II.7 -Conclusion :

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, sur les bordures.

Les prospections géophysiques et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle précambrien, situé entre 3000 et 5000 mètres. Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 mètres d'épaisseur.

- Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tinghert et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïque et du début du Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures.
- Les dépôts continentaux tertiaires et quaternaires occupent le centre de la cuvette.

La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants: le Continental intercalaire et le Complexe terminal.

Chapitre III

Contexte hydrogéologique

III.1- Introduction :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), (Fig. III.1) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Lybie. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés: le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 00 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie, sa réserve est estimée à 31.000×10⁹ m³ (Ould Baba Sy, 2005). Il s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guir-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie. En Algérie, ce système aquifère couvre une surface de 700 000 Km², et est d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (Cornet, 1964). Nous rappelons ci-dessous les définitions des aquifères du "CI" et du "CT".

Le terme "Continental Intercalaire" désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins:

En base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne.

Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

Le "Complexe Terminal" est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1972), (Fabre, 1976).

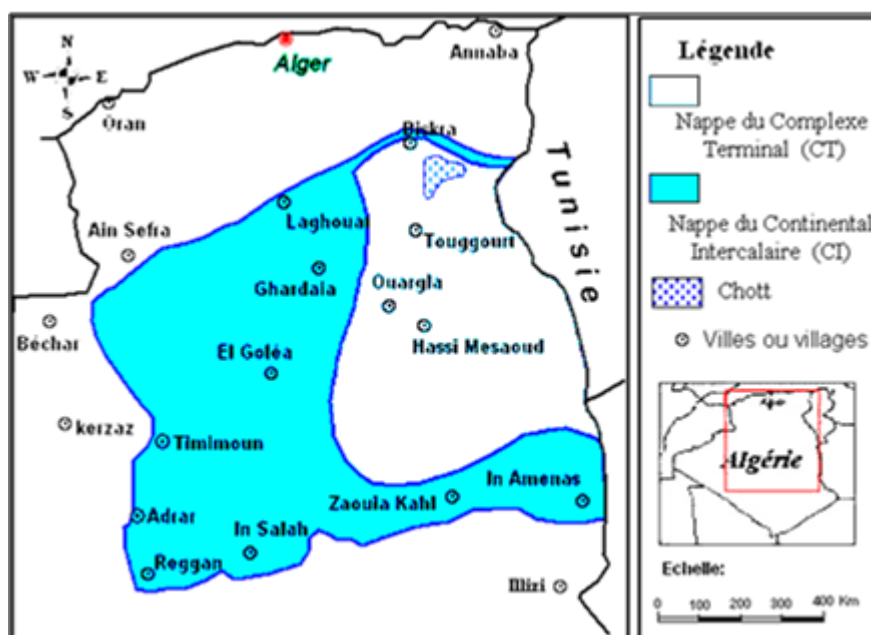


Figure. III.1: Extension géographique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972).

III.2- Le Continental Intercalaire (CI) :

D'après Kilian, (1931), le «Continental Intercalaire» désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne, alors qu'au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultant de la transgression cénomaniennne. (Busson, 1970 ; Fabre, 1976). Il occupe les formations sableuses et argilo gréseuses du Néocomien, Barrémien, Aptien, et de l'Albien (Cornet, 1964 ; Cornet et Gouscov, 1952). L'aquifère est continu du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar, et d'Ouest en Est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert libyen. Le débit d'alimentation du Continental intercalaire provenant du piémont de l'Atlas saharien est de 7.7 m³/s, (Ould Baba Sy, 2005 ; Ould Baba Sy, et al, 2006). Ce débit entre dans l'intervalle des estimations recueillies dans les études antérieures qui le situent entre 4 m³/s (Cornet, 1964) et 8.5 m³/s (Margat, 1990).

La carte piézométrique (Figure III.3) de référence du Continental Intercalaire établie, à l'état stationnaire (peu ou pas influencée par les pompages), sur la base des études antérieures (Cornet, 1964; UNESCO, 1972, 1972 ; Pallas, 1978), met en évidence les zones d'alimentation suivantes (Ould Baba Sy, 2005) :

- Piémont sud atlasique au Nord-Ouest ;
- Tinrhert au Sud;
- Dahar à l'Est;
- Jebel Nafusa au Nord-est;
- Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire.

Les zones d'exutoire sont:

- Les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt;
- L'exutoire tunisien marqué par la faille d'El-Hamma ;
- L'exutoire libyen au niveau d'AinTawargha.

Les failles de la dorsale d'Amguid (Figure III.2) sont à l'origine d'une drainance verticale, préalablement signalée, des eaux du CI vers la nappe du CT (Guendouz, 1985, Edmunds et al, 2003 ; Moulla et al, 2002 ; Guendouz et al, 2003).

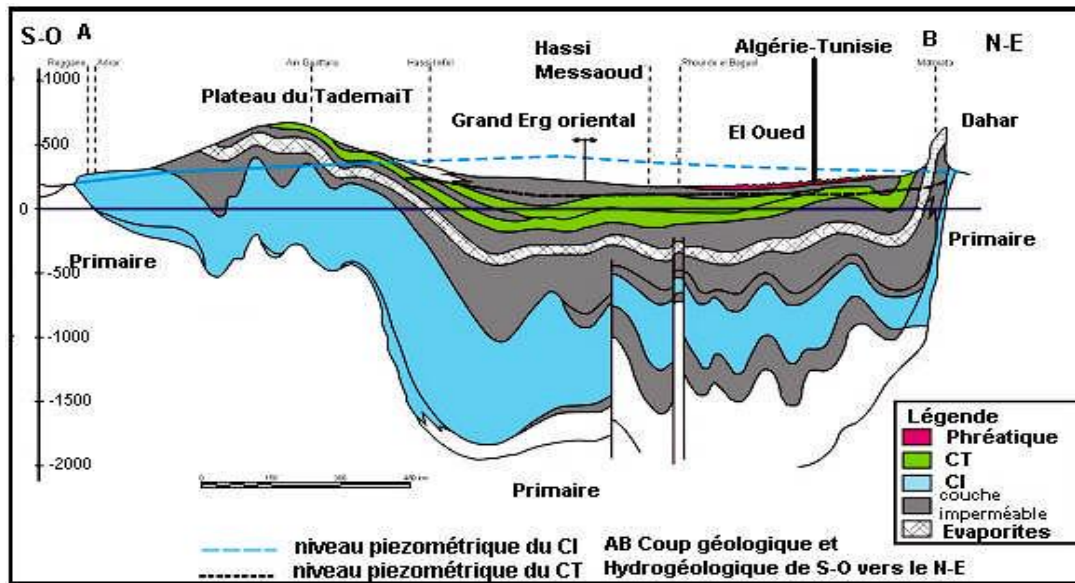


Figure III.2: Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972).

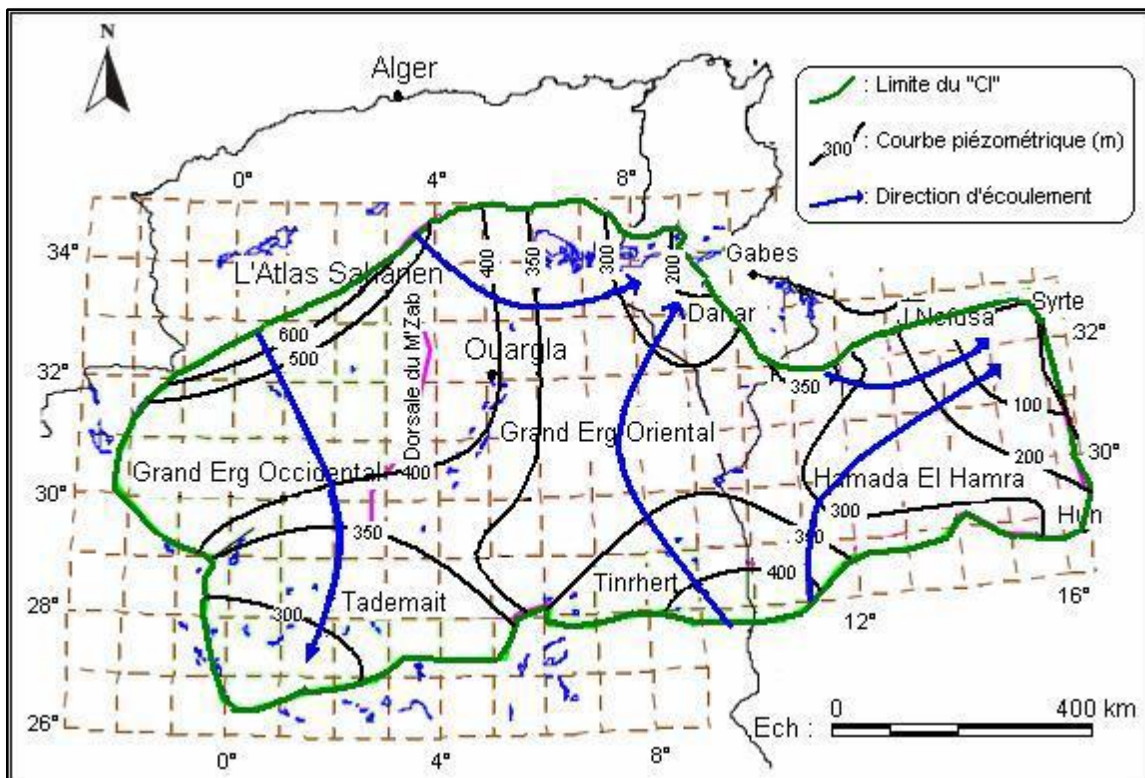


Figure III.3: Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).

III. 3- Le Complexe Terminal (CT):

Il est noté dans l'étude OSS (2003 b) que classiquement, et selon la définition de Killian (1931), le terme "Continental Terminal" désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-Pliocène. Mais d'après Bel et Dermagne (1966): "La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-Pliocène et plus ou moins en relation avec les

nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire"

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du "Complexe Terminal", appellation publiée pour la première fois par Bel et Cuche (1969).

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 Mio-Pliocène 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.

Comme pour le "CI", la construction de la carte piézométrique du "CT" est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication par Cornet, (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment Bel et Cuche, (1969) et le projet ERESS, (1972).

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale ou encore peu influencée par pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional.

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (Oued Righ et Djérid) assez souvent en relais hydrogéologiques. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre, (OSS, 2003).

L'examen de la carte piézométrique (Fig. III.5) met en évidence les zones d'alimentation, à savoir:

- L'Atlas Saharien du Nord-ouest.
- Le Dahar à l'Est.
- Le Tinrhert au Sud.
- Le J. Nafusa au Nord-est.

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. III.4):

- 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 tout les aquifères du SASS, de ce fait, le CT doit obéir aux mêmes conditions.

Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (Burdon, 1977 ; Margat & Saad, 1982 et 1984 ; Margat, 1990) in Ould Baba Sy, (2005), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau

actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (Ould Baba Sy, 2005). Pour d'autres par, contre il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (Dubief, 1953).

Les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surface spécifiques (sols à grains grossiers) peuvent être particulièrement génératrices de recharges (Ould Baba Sy, 2005). L'alimentation des nappes du Sahara septentrional, par exemple se manifeste sur les bordures Nord du bassin lorsque trois conditions sont réunies:

- Des précipitations suffisantes.
- Un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans les oueds.
- L'affleurement de formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères ou en relation directe avec un des aquifères sahariens (Dubief, 1953).

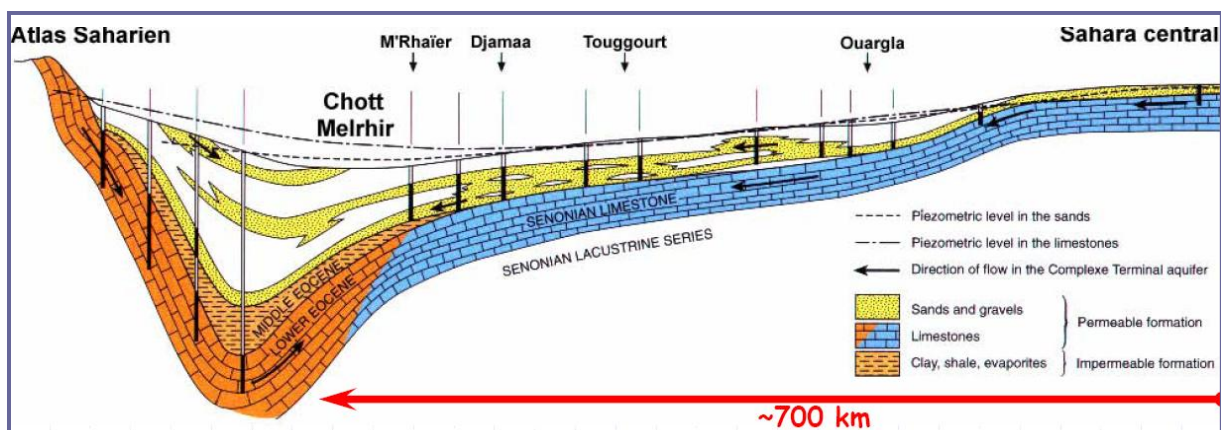


Figure. III.4: Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).

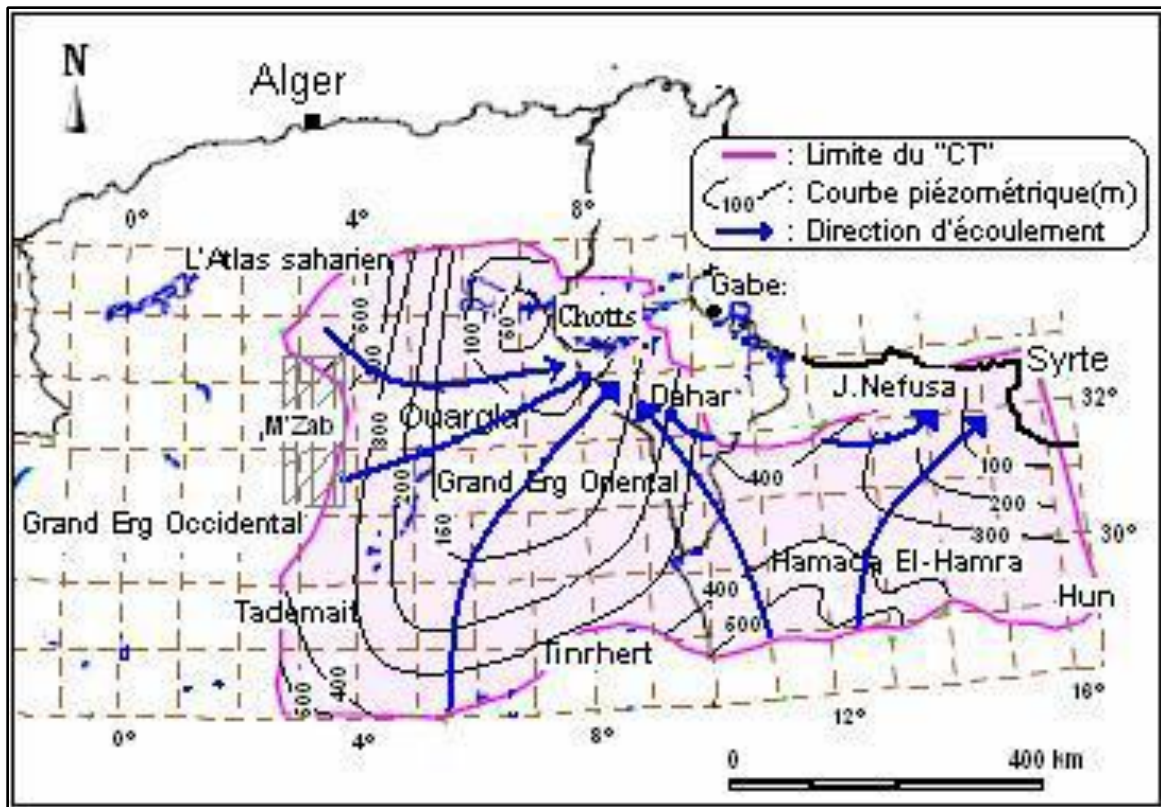


Figure. III.5 : Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).

III. 4. HYDROGEOLOGIE LOCALE :

III. 4. 1. La nappe du Continental Intercalaire :

La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Touggourt est caractérisée par:

- ❖ Sa grande profondeur, plus de 1500 m,
- ❖ Un fort artésianisme (15 à 20 bars),
- ❖ Un grand débit d'exploitation (250 à 400 l/s),
- ❖ Une température de l'eau élevée (50 à 65 °C),
- ❖ Une charge en CO₂, qui lui donne un caractère corrosif,
- ❖ Un résidu sec des eaux variant entre 3 et 5 g/l.
- ❖ L'épaisseur totale est de l'ordre 500 m mais l'épaisseur utile est de l'ordre de 371 m.

III. 4. 2. La nappe du Complexe Terminal :

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. (Fig. I.4).

III. 4. 2. 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 grés, 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). Cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les Forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

III. 4. 2. 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 grés, 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 très exploitée par des forages moyennement profonds (100 et 165 m), avec un débit variant entre 25 et 45 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 (de la nappe phréatique et du canal de l'Oued Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seul exhaure.

III. 4. 2. 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 et parfois présentant un artésianisme à faible débit (0,3 à 0,6 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%.

III.5- Conclusion :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) regroupe deux énormes réservoirs d'eaux souterraines ; le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Ce dernier s'étale sur une surface de 350 000 km² et couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sa puissance moyenne est de 300 m environ.

La recharge actuelle de cette nappe peut se réaliser lorsque certaines conditions climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables) se réunissent.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV.1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes de notre travail commençant par la collecte et le traitement des résultats d'analyses physico-chimique des eaux effectués par l'ANRH sur 39 points d'eaux échantillonnés des forages Mio-pliocènes (nappe des sables) en couvrant la zone d'étude (Touggourt). Des programmes informatiques (logiciels) vont être employés pour modélisations: graphique, statistique et géochimique, des paramètres physicochimiques des eaux dans le but de déterminer le maximum possible d'information et de renseignements.

IV.2-Emplacement des points d'eaux échantillonnés :

Trente neuf (39) échantillons d'eau (Figure IV 1) de la nappe du complexe terminal de la région de Touggourt ont été collectées a partir des inventaires établis par l'ANRH, ensuite, vérifiés par le logiciel Diagramme. L'emplacement des points échantillonnés couvre une étendue d'environ de 50 Km selon la direction d'écoulement des eaux.

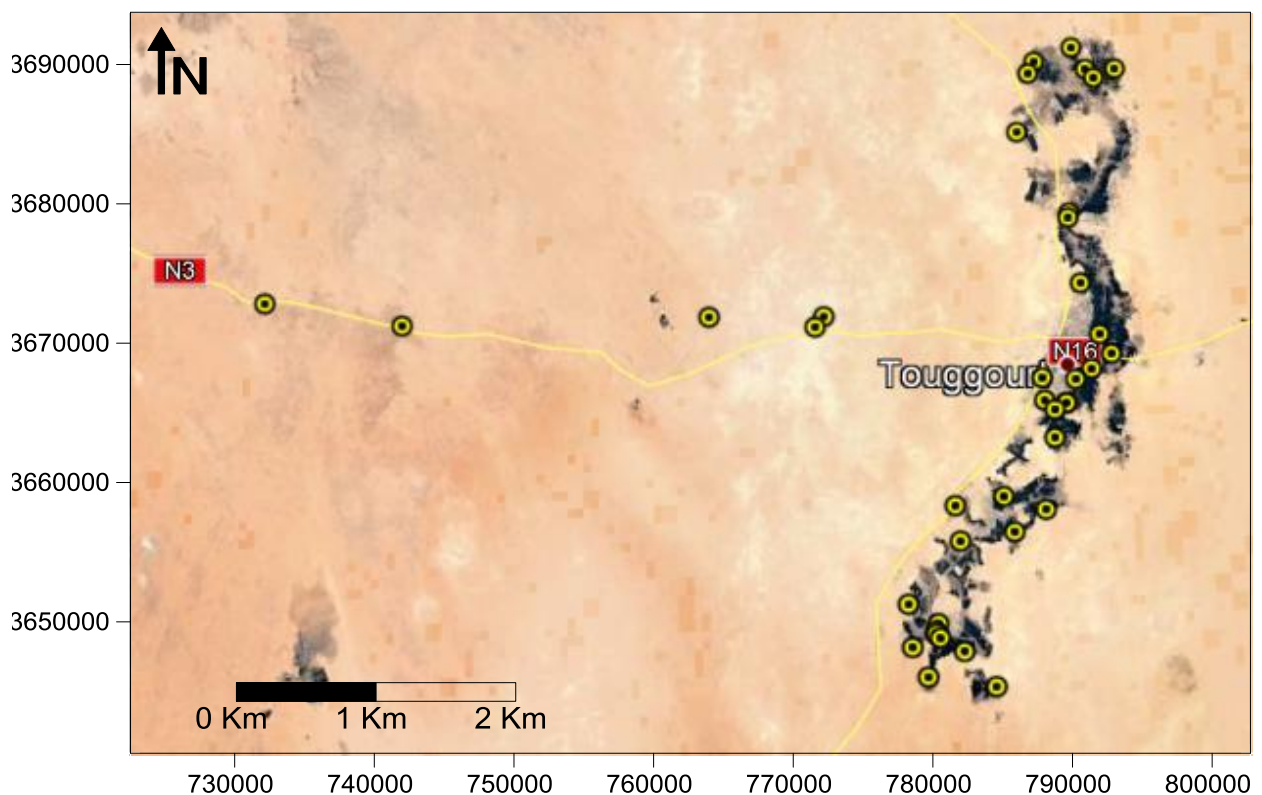


Figure IV .1: Carte des emplacements des points d'eaux échantillonnés.

IV. 3-Outil informatique :

IV. 3.1-Statistica. V6.1 :

Nous nous sommes servis de ce logiciel afin de déterminer les paramètres statistiques de nos données physicochimiques. Il s'agit de coefficient de corrélation, les valeurs max, min, ainsi que moyenne. Une méthode de classification hiérarchique ascendante, a été réalisée par ce programme qui consiste à classer "p" variables, "n" observations, par construction d'une matrice de distances entre les variables et les observations. On définit ensuite une règle de calcul de distances entre les groupements disjoints de variables ou d'observations. Les deux groupements dont la distance est la plus faible (selon ce critère) se réunissent et on réitère le processus jusqu'au regroupement complet de classes (Saporta, 1990 in Nezli, 2009). On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un dendrogramme ou arbre de classification.

IV. 3.2-Diagramme 5.1 :

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.

IV. 3.3-Surfer 12 :

C'est avec ce logiciel qu'on a pu réaliser les cartes d'emplacements des échantillons et celles de l'évolution des paramètres étudiés. Après avoir introduit les données en un fichier Excel, on choisit la méthode d'interpolation convenable ; le Krigeage. Après la sélection de la méthode, on obtient des cartes de courbes de niveau (courbes d'isovaleurs) liant les points ayant les mêmes valeurs.

IV.4- Conclusion :

Afin de concrétiser une étude se rapportant à l'hydrogéochimie, de l'aquifère du Mio-Pliocène de la région de Touggourt. nous avons repéré dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région, Des programmes informatiques ont été utilisés pour représenter les paramètres sus-indiqués et en tirer des renseignements particuliers.

Chapitre V

Résultats et discussion

V.1- Introduction :

Selon les études antérieures (Guendouz et al, 2003 ; Bouchahem et al, 2008 ; Nezli et al, 2009, Houari, 2012) effectuées sur les eaux de la nappe du CT à l'échelle locale et régionale, la température des eaux du Mio-Pliocène de la région Touggourt, est comprise entre 23°et 25°C, ces variations ne sont pas contrôlées par la profondeur, mais plutôt par la température de l'air et les saisons.

Les eaux sont alcalines bicarbonatées (pH < 8,3), très dures, et affichent des minéralisations excessives, exprimées par des conductivités électriques oscillant entre 2000 et 6000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, et allant jusqu'à 8000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ dans les cas les plus exceptionnels, la minéralisation augmente du Sud vers le Nord selon la direction d'écoulement. De telles minéralisations sont dues principalement à la richesse de la lithologie des formations par les évaporites (Halite, Gypse, etc....).

Une augmentation homologue des concentrations en Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , et d'un degré moindre de Mg^{2+} et K^+ , les concentrations en bicarbonates HCO_3^- restent relativement constantes du fait de la saturation des eaux en minéraux carbonatés.

Dans le présent chapitre notre intérêt se focalise sur l'interprétation des résultats obtenus en utilisant des approches diverses ; modélisation statistique, géochimique.

V.2- Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux :

Pour la présentation et l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux, on a adopté les symboles suivants pour les forages de la région : (T1, T2, T3,...T39).

V.2.1- 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. Les valeurs de pH mesurées (Tableau V.1) paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins dans toute les forages de notre zone d'étude.

Tableau V.1 : Variations du pH.

Moyenne	7,3
Max	7,6
Min	6,9

V.2.2- La température (°C) :

La température des eaux est variable selon différents facteurs; il s'agit essentiellement de la température extérieure (air), les saisons, la nature géologique des aquifères et également de la profondeur des eaux (gradient thermique).

Les températures (Tableau V.2) dépassent légèrement celles recommandées par l'OMS (23-25°C), et ne présentent pas de grandes variations.

Tableau V.2 : Variations de la température.

Moyenne	24
Max	25
Min	23

V.2.3- La conductivité électrique CE (µS.cm-1) :

La conductivité électrique donne une idée sur la minéralisation totale d'une eau (sels minéraux). Elle se mesure à une température des eaux entre 20° à 25° C, elle augmente avec la température et s'exprime en µS.cm-1.

Les conductivités (Tableau V.3) des eaux dépassent les normes (>1000 µS.cm-1) de potabilité de l'OMS (normes mises à jour en 2006), voir supérieure à 8670 µS.cm-1 selon les cas d'étude.

Tableau V. 3 : Variations des conductivités électriques.

Moyenne	5665,64
Max	8670
Min	3600

V.2.4- Les sulfates SO₄²⁻ (mg/L) :

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



Les concentrations des sulfates observées (Tableau V.4) dépassent les normes (**500 mg/L**), elles atteignent des concentrations très fortes (**2500 mg/L**) et présentent une augmentation nette le long du sens d'écoulement des eaux de la nappe.

Tableau V.4 : Variations des concentrations des sulfates.

Moyenne	1598,84
Max	2500
Min	696

V.2.5- Les chlorures Cl^- (mg/L) :

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



Cet élément présente des concentrations très élevées (**>3250 mg/L**), son augmentation est nettement remarquable le long du sens d'écoulement des eaux (Tableau V.5).

Tableau V.5 : Variations des concentrations des chlorures.

Moyenne	1301,85
Max	3250
Min	530

V.2.6- Les bicarbonates HCO_3^- (mg/L) :

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 :



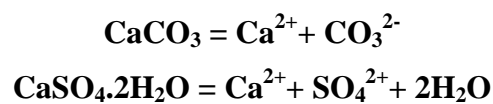
Les bicarbonates dans les eaux dans la région d'étude présentent des teneurs dépassant les normes de potabilité (**30 mg/L**), mais sans une grande augmentation le long de sens d'écoulement ; voir une moyenne de **124,73 mg/L** dans cette région.

Tableau V.6 : Variations des concentrations des bicarbonates.

Moyenne	124,73
Max	183
Min	100

V.2.7- Le calcium Ca²⁺ (mg/L) :

La présence des ions Ca²⁺ dans les eaux est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) ainsi que les formations gypseuses (CaSO₄) selon les équations suivantes :



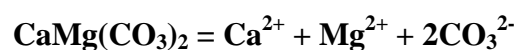
Les eaux (Tableau V.7) présentent des teneurs supérieures à **49 mg/L**. voir des teneures extrêmes (>**645,28mg/L**),

Tableau V.7 : Variations des concentrations du calcium.

Moyenne	244,85
Max	645,28
Min	49

V.2.8- Le magnésium Mg²⁺ (mg/L) :

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



Les concentrations moyennes observées (Tableau V.8), sont proches des valeurs naturelles, cette élément présente une augmentation remarquable en fonction du sens d'écoulement des eaux dans cette aquifère.

Tableau V.8: Variations des concentrations du magnésium.

Moyenne	424,26
Max	703
Min	194,56

V.2.9- Le sodium Na⁺ (mg/L) :

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de l'Halite. En effet, le sodium, de même que pour les chlorures, affiche des teneurs élevées dans les eaux du Mio-Pliocène, avec des valeurs maximales de plus de **1200 mg/L**. Cet élément lui aussi présente une évolution remarquable.

Tableau V.9 : Variations des concentrations du sodium.

Moyenne	657,62
Max	1255
Min	335

V.2.10- Le potassium K⁺ (mg/L) :

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



Les teneurs en potassium observées dans les eaux (Tableau V.10) dévoilent des valeurs relativement élevées, en dépassant les normes (**12 mg/L**), mais contrairement aux autres éléments, le potassium ne présente aucune évolution remarquable.

Tableau V.10 : Variations des concentrations du potassium.

Moyenne	34,52
Max	55
Min	20

V.3-Hydrochimie et évolution géochimique des eaux :

V.3 .1- Les paramètres physiques (CE, pH et T°) :

Les valeurs de la conductivité électrique montrent de fortes amplitudes et s'avèrent caractéristiques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène, au niveau de la région d'étude montrent une augmentation remarquable (de 3600 à 8670 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), cette valeurs est dépassent les normes. Les valeurs du pH et de la température restent proches des normes et aucun forage ne montre des anomalies.

V.3 .2- Les anions majeurs :

Les anions majeurs montrent un excès par rapport aux normes (Fig V.1), pour les sulfates, l'augmentation globale des concentrations le long des sens d'écoulement des eaux est un peu remarquable, avec quelque valeur extrême pour les points T35 (Sidi Slimane), T24 (Tebesbest), T17 (Nezla) par rapport à la moyenne des autres forages.

Pour les Chlorure, on a enregistrées des concentrations élevées au niveau de la région d'étude, il y'a une augmentation très remarquable des valeurs le long des sens d'écoulement des eaux de la nappe.

Les concentrations en bicarbonates sont également au-delà des normes (>30 mg/L), toutes les valeurs enregistrées dépassent les 100 mg/L est presque constantes et ne présentent pas de variation remarquable.

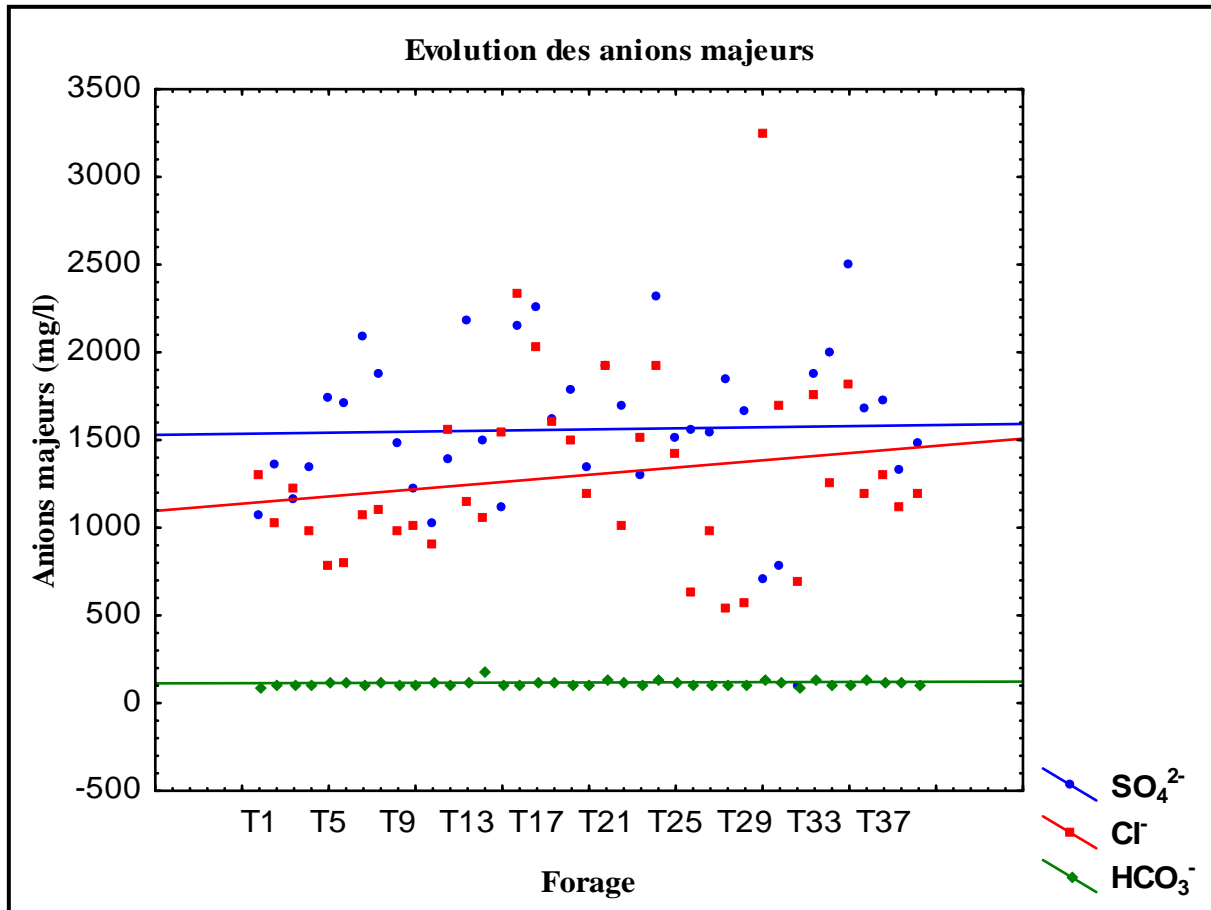


Figure V.1: Evolution des anions majeurs.

V.3 .3 -Les cations majeurs :

Pour les cations majeurs, la dominance du sodium est nette, les valeurs enregistrées (Fig V.2) montrent des concentrations élevées, parfois fortes (> 1200 mg/L) au niveau du point T16 (Nezla).

Pour le calcium on a remarque une chute de concentration le long des sens d'écoulement. pour explique une hypothèse que ce cette élément participe des précipitations de quelque minéraux carbonate ou cette élément se substituée conter le magnésium en une épointille d'échange de basse favoriser par la présence d'argiles.mes pour le magnésium on a présenté une augmentation remarquable en fonction du sens d'écoulement par la précipitation des formations évaporitiques.

Contrairement les teneurs en potassium paraissent au-delà des normes (12 mg/L), mais sans présenter de remarquable évolution.

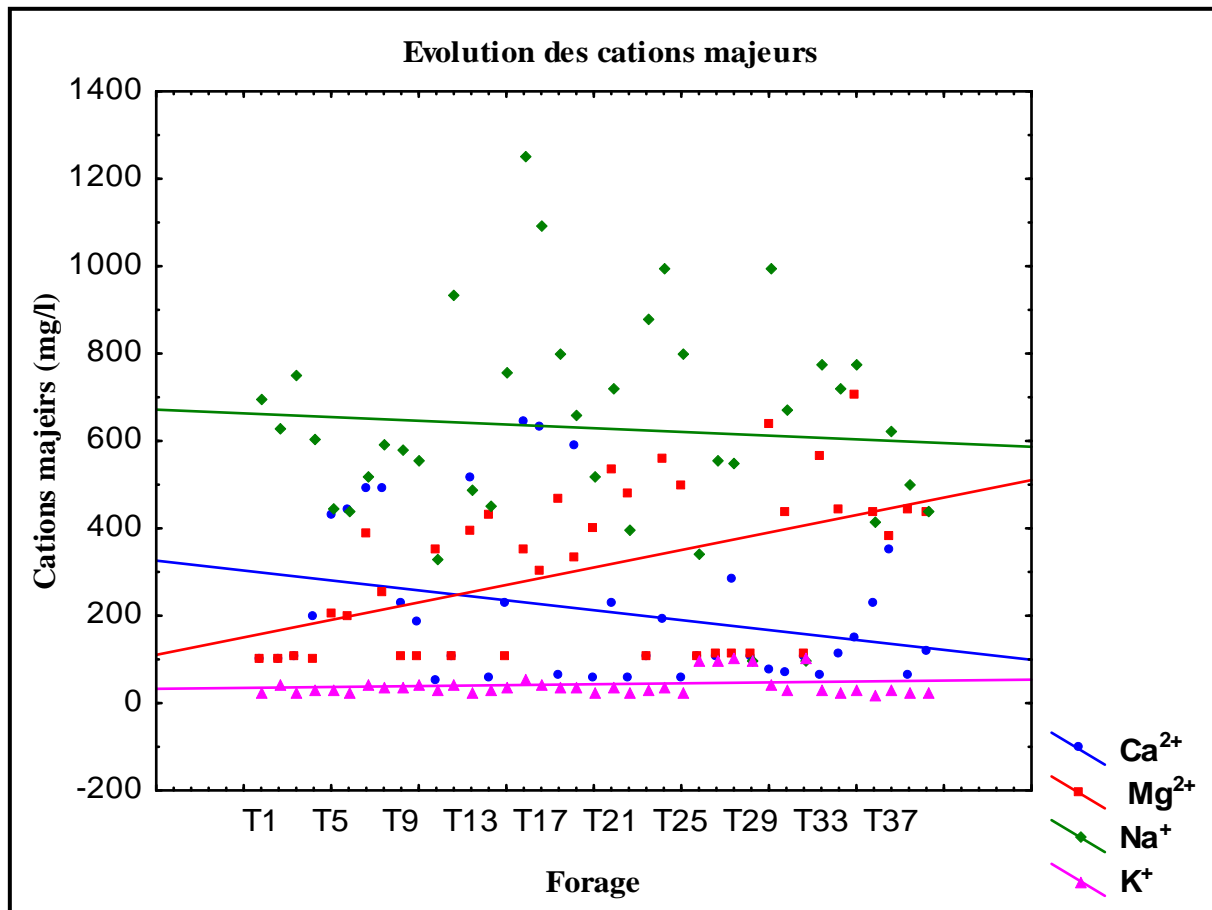


Figure V.2: Evolution des cations majeurs.

V.4- Faciès chimiques des eaux :

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 intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

Selon le diagramme de Piper (Figure V.3), le faciès chimique des eaux du Mio-Pliocène de notre région d'étude est chloruré et sulfaté sodique ou calcique ou magnésienne.

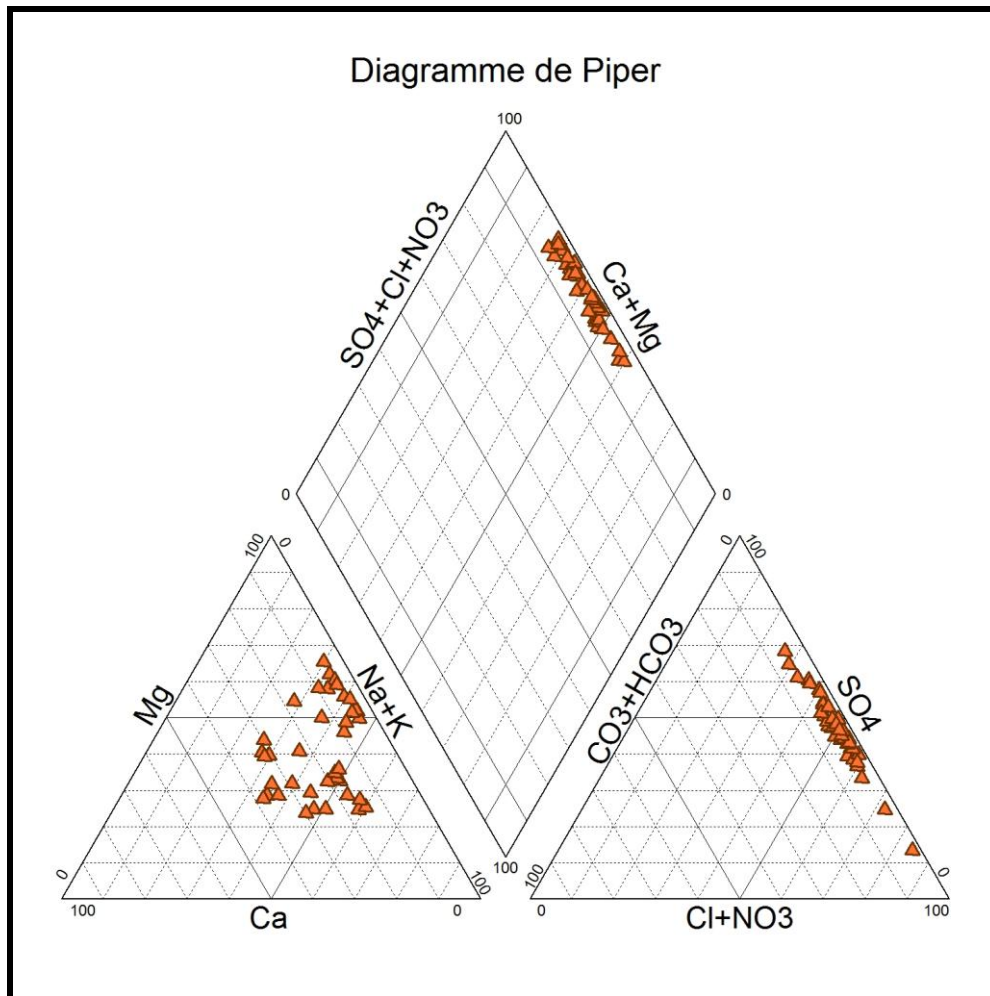


Figure V.3 : Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de la région de Touggourt.

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.

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, on obtient les différents faciès chimiques des eaux étudiées.

Étant donné que la lithologie de leurs niveaux aquifères est riche en éléments évaporitiques (Cl^- , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , et Ca^{2+}), les eaux souterraines du Sahara se trouvent dominées, exclusivement, par les faciès chlorurés et/ou sulfatés : ($r \text{Cl} > r \text{SO}_4 > r \text{HCO}_3$ et/ou $r \text{SO}_4 > r \text{Cl} > r \text{HCO}_3$), quand aux anions. Alors que pour les cations, il n'y a pas de cation dominant. Divers processus hydrogéochimiques peuvent intervenir, pour rendre les eaux, tantôt sodiques, tantôt calciques et parfois magnésiennes, en modifiant ainsi le faciès chimique des eaux dans une même nappe.

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 diagrammes binaires par les rapports

caractéristiques ; rNa^+ / rCa^{2+} versus rSO_4^{2-} / rCl^- (Fig. V.4, 5 et 6), puis rNa^+ / rMg^{2+} versus rSO_4^{2-} / rCl^- pour expliquer l'évolution des faciès géochimiques rencontrés dans le diagramme de Piper.

Le rapport rSO_4 / rCl (Fig. V.4, 5 et 6) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en ion sulfate, par contre, si ce rapport est inférieur à 1, cela indique un enrichissement en ion chlore, alors que le rapport rNa / rCa (Figure V.4) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en sodium, ou inférieur à 1, indique un enrichissement en calcium.

Pour nos échantillons, le faciès dominant est celui sulfaté sodique et calcique, mais ce faciès évolue le long du sens d'écoulement des eaux vers le Chloruré sodique et calcique, ce qui traduit l'influence nette de la matrice halite avec $r = 0.81$ (Fig V.8) sur la matrice gypse, où $r = 0.52$ (Fig V.7). Cependant, le rapport rNa / rCa est, également, supérieur à 1, dans la plupart des cas, indiquant l'influence de la matrice halite sur la matrice calcaire. Mais en observant toujours des faciès à dominance calcique (Fig V.4), qui peut être expliqué par la dissolution de la matrice gypse $CaSO_4$, et des faciès à dominance magnésienne (Fig V.5) (HOUARI, 2012).

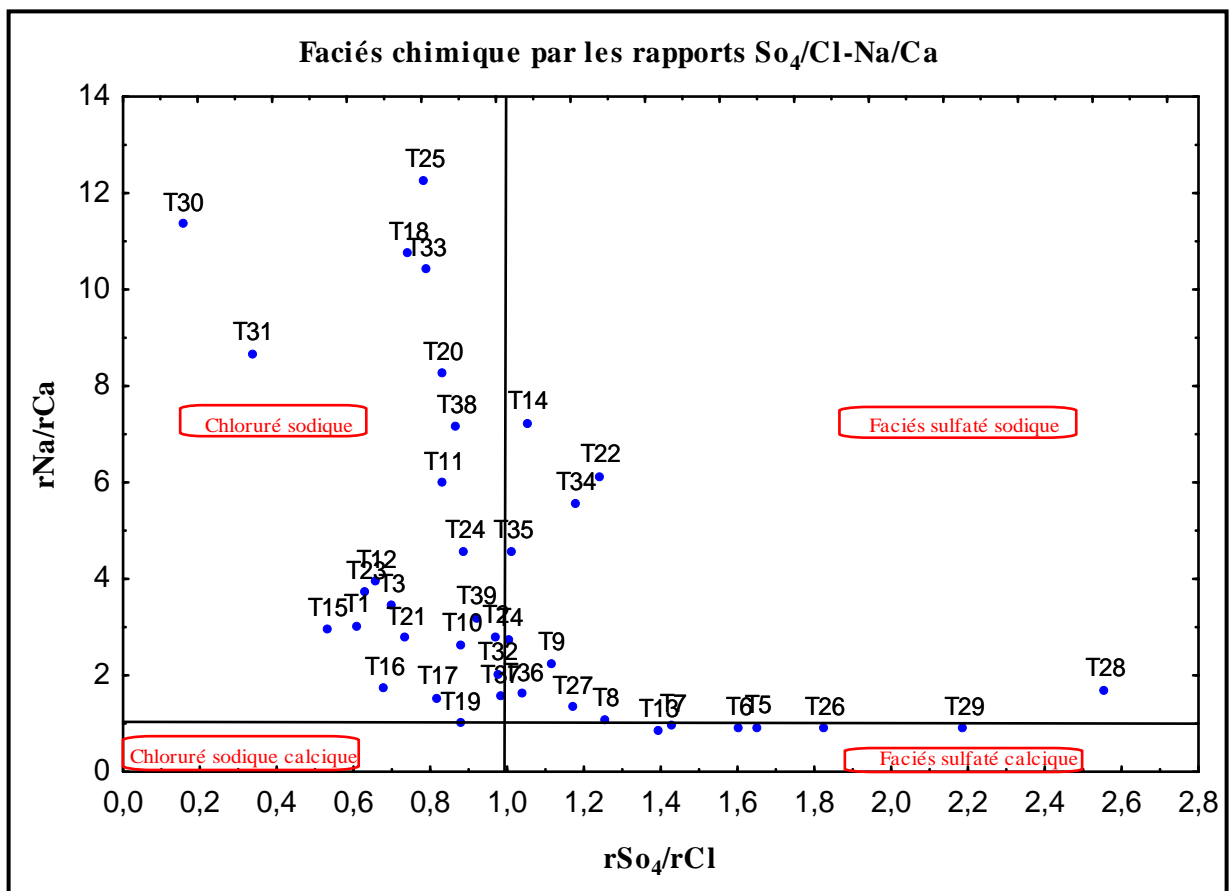


Figure V.4 : La relation Na/Ca vs SO_4/Cl .

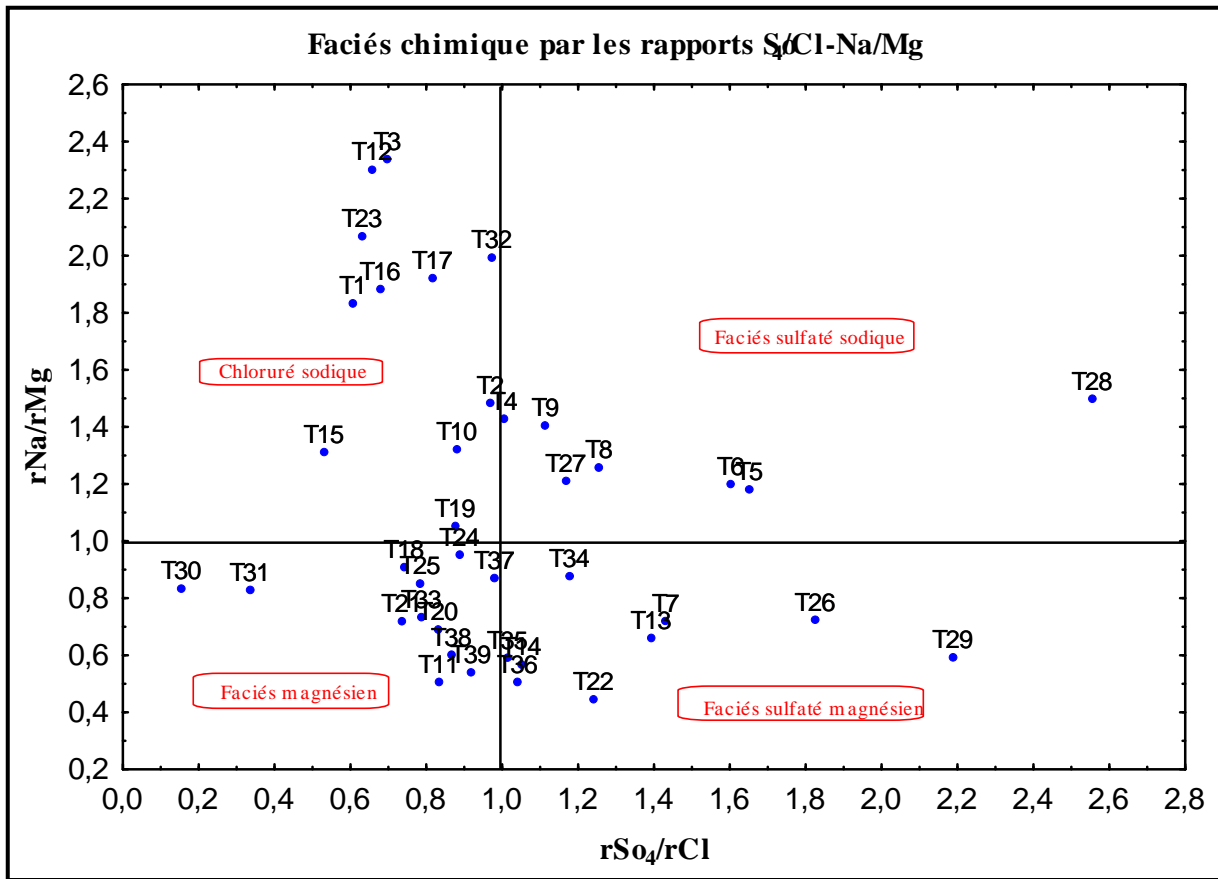


Figure V.5: La relation Na/Mg vs SO_4/Cl .

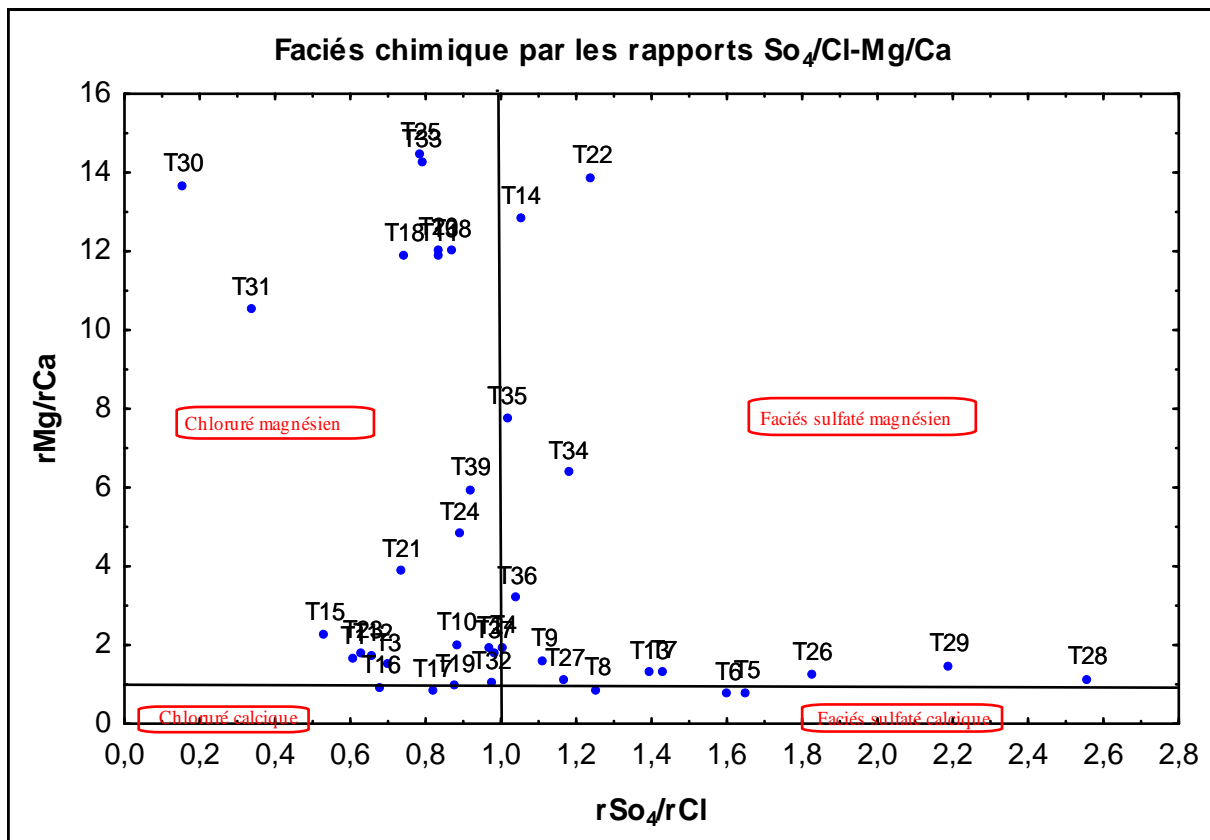


Figure V.6 : La relation Mg/Ca vs SO_4/Cl .

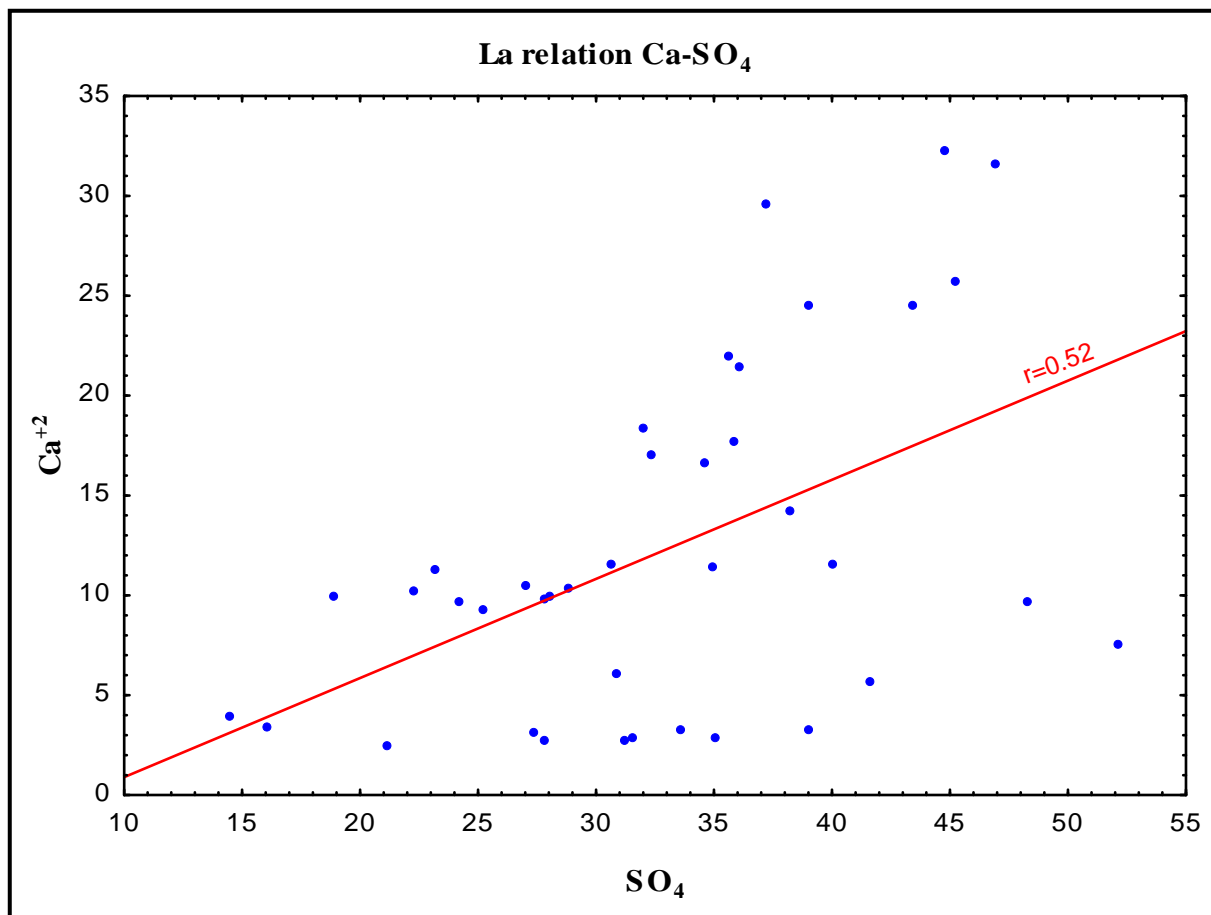


Figure V.7: La relation Ca vs SO₄.

V.5 - Origine des éléments chimiques :

V.5.1- Origine des chlorures et du sodium :

Le graphique (Figure V.8) montre un alignement des points. Le sodium et les chlorures doivent avoir la même origine ; en l'occurrence, la dissolution de la halite.

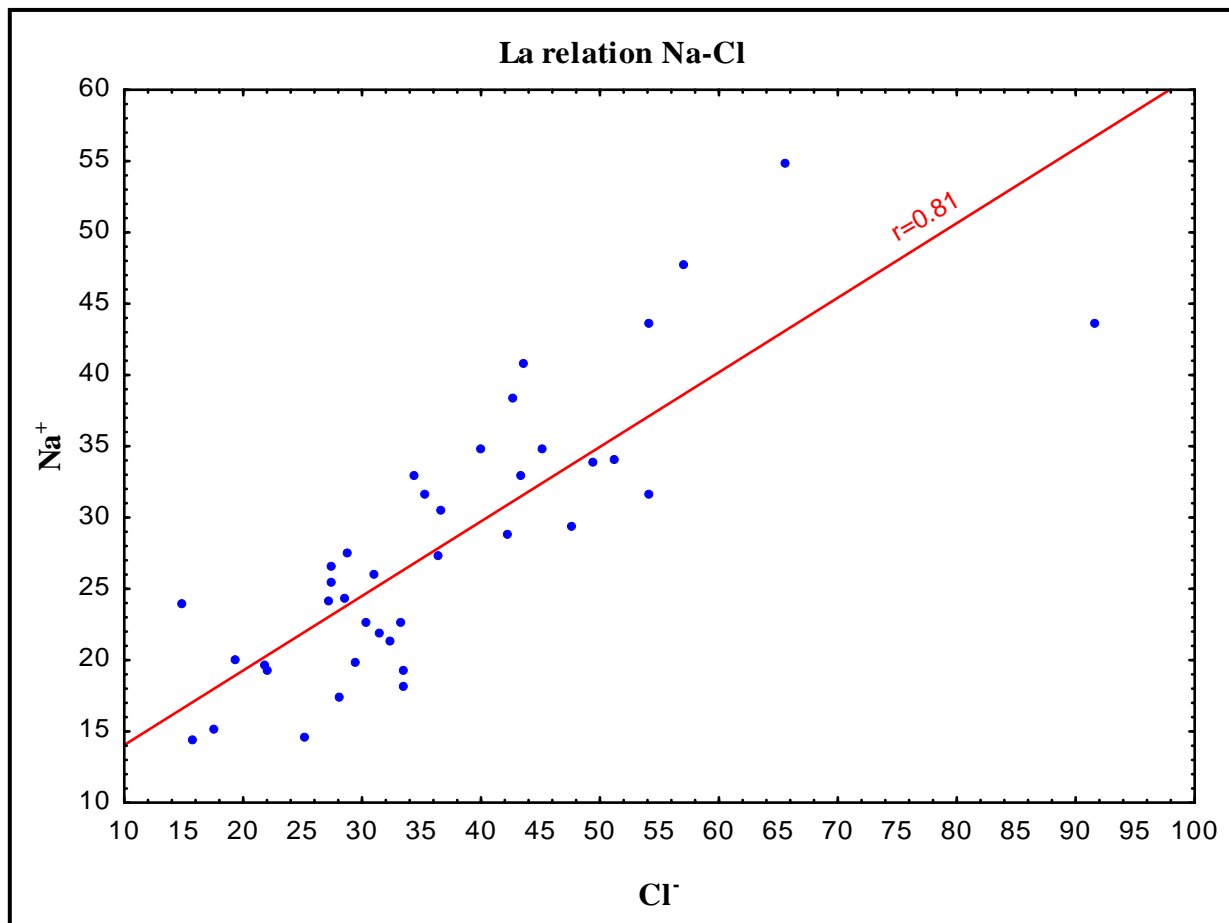


Figure V.8 : La relation Na vs Cl.

V.5.2- Origine des sulfates, du magnésium et du calcium :

Pour les sulfates, les roches évaporitiques (gypse, anhydrite, epsomite ... etc.) sont, sans doute, à l'origine de cet élément dans les eaux de notre région d'étude, mais pour le magnésium, les carbonates contribuent aussi à son enrichissement dans les eaux. L'origine du calcium est en majorité, la dissolution des roches gypseuses par simple lessivage, ou des roches calcaires par l'attaque par le CO₂ dissous (acide carbonique). Dans l'eau, il peut être échangé, sous certaines conditions, contre le sodium des roches traversées (argile). Une substitution entre magnésium et calcium dans les eaux est aussi possible. (Schoeller, 1963). Il participe aux phases de précipitations avec les bicarbonates dans l'aragonite et la calcite.

Le diagramme dans la (Fig V.9) montre que la totalité des points sont en excès par rapport aux bicarbonates. Le calcium dissout dans l'eau doit évoluer donc avec un autre élément supposé être le sulfate.

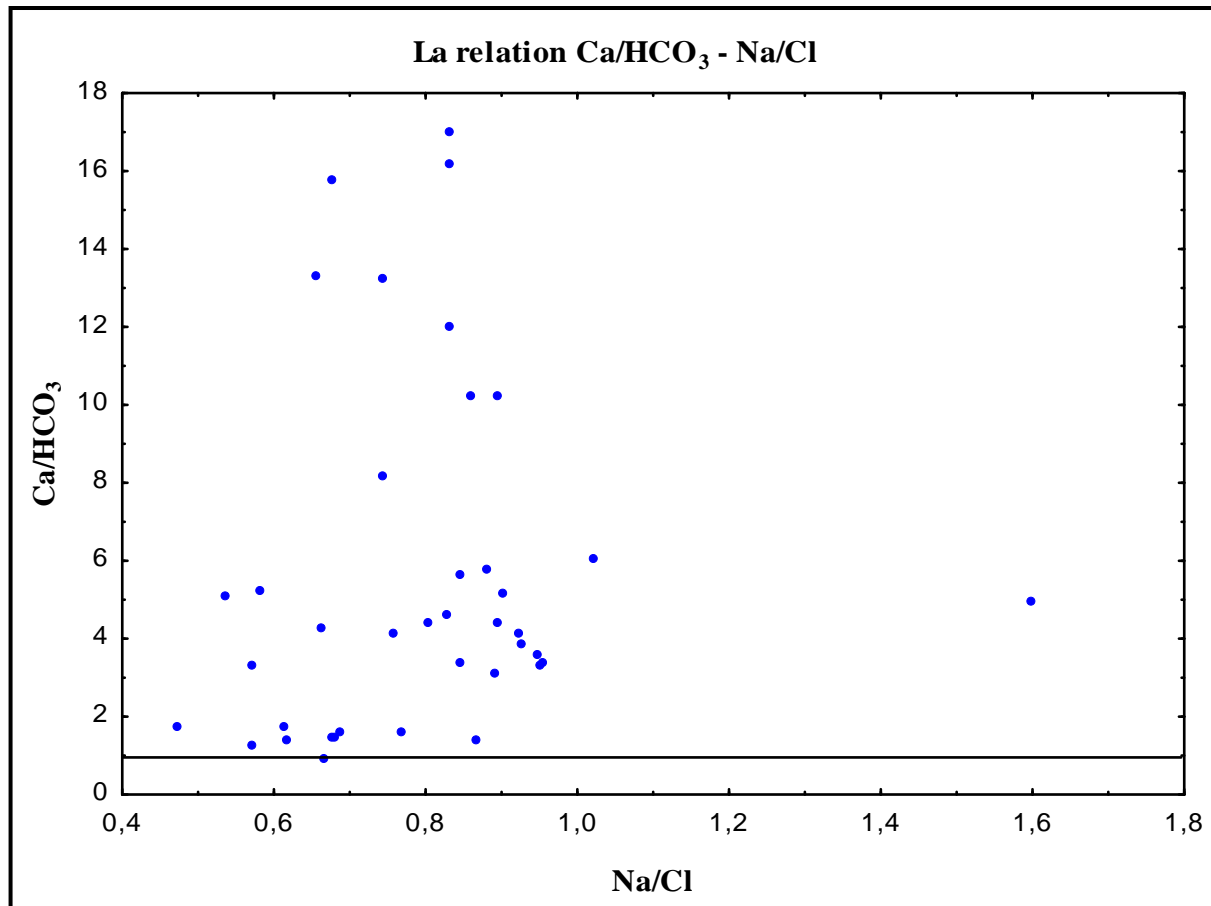


Figure V.9 : La relation Ca/HCO₃ vs Na/Cl

Dans la figure (Fig V.10), il semble que les ions calcium présents dans les eaux évoluent mieux avec les sulfates qu'avec les bicarbonates, ce qui favorise un peu l'influence des évaporites par rapport aux bicarbonates sur le chimisme des eaux étudiées.

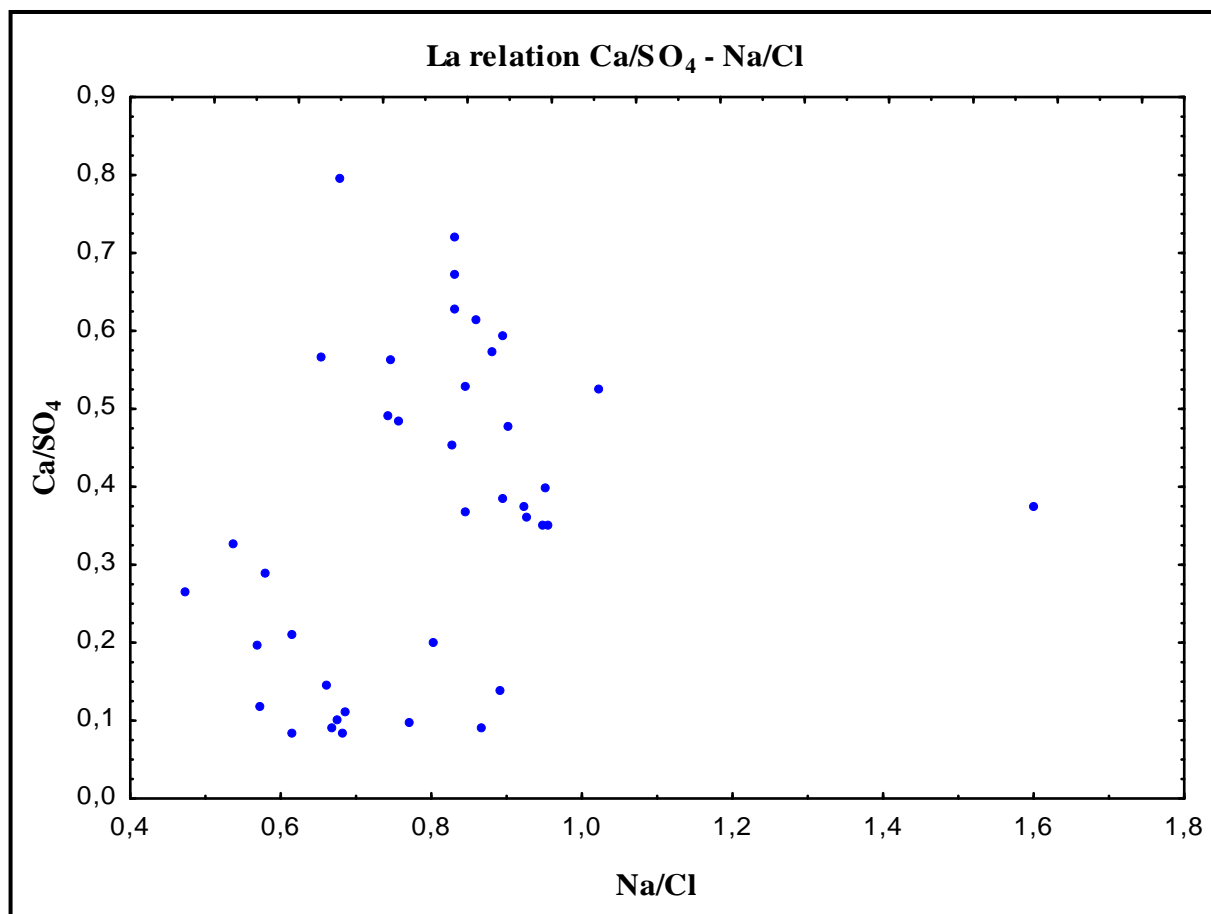


Figure V .10 : La relation Ca/SO₄ vs Na/Cl.

Le diagramme (Fig V.11) montre que les quantités en réaction de l'ion magnésium dépassent de loin celles des bicarbonates, mais le nuage de points paraît qu'il présente une certaine relation entre ces deux éléments. Ceci donc n'exclut pas la liaison du magnésium avec les bicarbonates et confirme que son origine n'est pas seulement évaporitiques.

Pour la relation Mg/SO₄ vs Na/Cl (Fig V12), le magnésium évolue mieux avec les sulfates plutôt qu'avec les bicarbonates. Son origine est plus reliée aux formations évaporitiques.

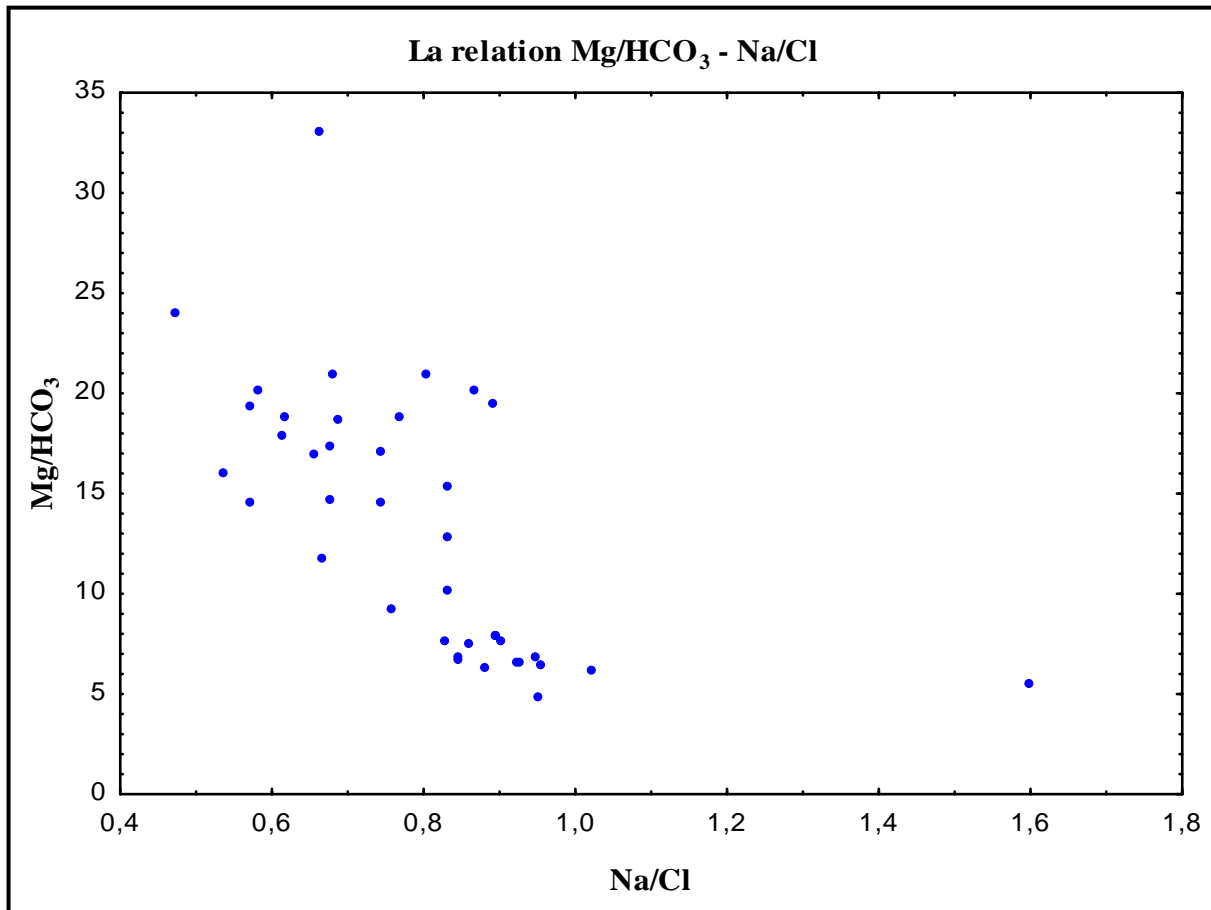


Figure V11: La relation Mg/HCO₃ vs Na/Cl.

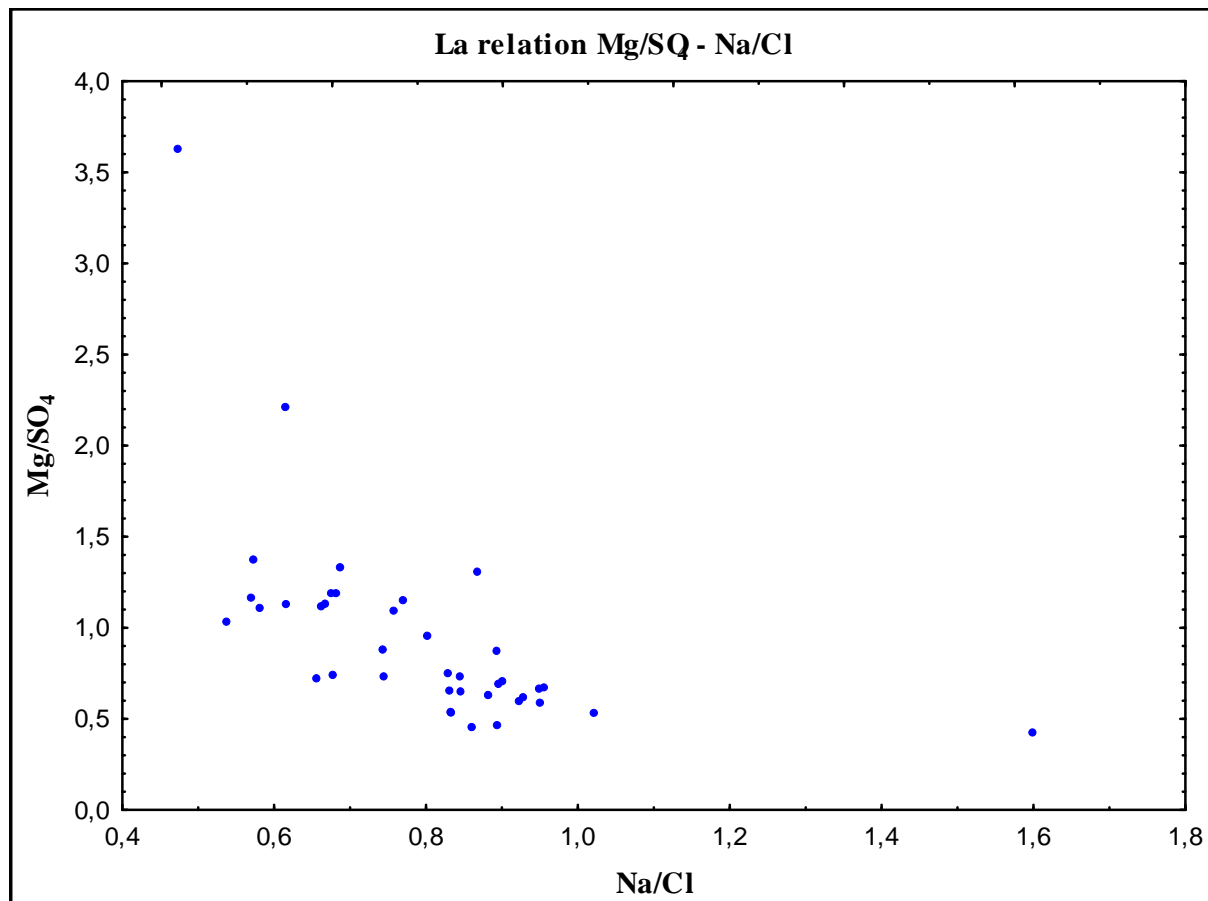


Figure V.12 : La relation Mg/SO₄ vs Na/Cl

V.5.3 - Origine du potassium et des bicarbonates :

Les valeurs de potassium dans les eaux étudiées n'évoluent pas le long du sens d'écoulement, mais c'est bien de montrer que son origine ne peut pas être liée seulement à la dissolution de la sylvite (KCl) et des argiles potassiques, mais aussi à l'infiltration des eaux d'irrigation chargées en potassium provenant des engrais du type (NPK).

Pour les bicarbonates, et par leur faible vitesse d'évolution dans les eaux, on peut confirmer que leur origine est due essentiellement aux formations carbonatées ayant de faibles degrés de solubilité.

V.6- Conclusion :

Les eaux du Mio-Pliocène, en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une minéralisation excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées, oscillant dans la plupart des cas, entre 3600 et 8670 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Des teneurs notables et variables en éléments minéraux ont été observées. En effet, les concentrations en sodium, en chlorure, en calcium et en sulfate sont bien corrélées. 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

Conclusion générale

La région de Touggourt qui constitue notre zone d'étude représente la partie Nord du Sahara septentrional algérien. Cette région renferme d'énormes quantités en eaux souterraines, elle est caractérisée par un climat désertique hyper aride avec des températures extrêmes en été (plus de 50 °C) et des précipitations faibles.

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 hydrogéologique, le Complexe Terminal (CT) s'étale sur une surface de 350 000 km² et couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sa puissance moyenne est de 300 m environ.

Les eaux du CT, en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une minéralisation également excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées, oscillant dans la plupart des cas, entre 3600 et 8670 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Les évaporites gouvernent la minéralisation excessive des eaux de la nappe des sables. En effet, nous assistons à une corrélation Halite/Gypse très importante, avec une influence de la matrice Halite, avec $r(\text{Na} : \text{Cl}) = 0.81$, sur la matrice Gypse. Le rapport $r(\text{Ca} : \text{SO}_4) = 0.52$, demeure en nette position de sous saturation, malgré l'augmentation conjointe des teneurs en sodium et en sulfates ; ce qui explique la prédominance du faciès chloruré sodique. Cependant, le départ du calcium par précipitation des carbonates, et conduit à l'apparition d'un faciès sulfaté sodique, et /ou un échange de base, au détriment d'un faciès Sulfaté calcique.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

ANRH (2004) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la Wilaya de Ouargla. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ouargla, Algérie.

BALLAIS J.L. (2010): Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas Sahara Algérien. Géographie physique et environnement. Vol IV, 127 p.

BEL F. & CUCHE D. (1969) : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.

BEL F. & DERMAGNE F. (1966) : Etude géologique du Continental Terminal, ANRH Alger, Algérie, 22p.

BOUCHAHEM N. et al (2008) : Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. LA HOUILLE BLANCHE 2008.

BUSSON G. (1972) : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.

CORNET A. (1964) : Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. SNED, Alger Algérie, 572p.

DUBIEF J. (1953) : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p.

DUBIEF J. (1963) : Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Ins. Rech.Sahar, 2275p.

EDMUNDS W.M. et al (2002) : Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry, elsevier (2003).

FABRE J. (1976) : Introduction à la géologie du Sahara Algérien. SNED, Alger Algérie, 422p.

GOUSCOV N. (1952) : Le problème hydrogéologique du bassin artésien de l'Oued Rhir. In «La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie». XIXème congrès géologique international T.II, 16p.

GUENDOUZ A. (1985) : Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional (Algérie). Thèse 3^{ème} cycle. Université de Paris-Sud, 243p.

GUENDOUZ A. et al (2003) : Hydrogéochimical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogéology Journal (2003).

HOUARI I M, 2012 : Contribution a l'étude de l'évolution géochimique des eaux de la nappe du Complexe terminal du Sahara Septentrional. Mémoire de magistère, université d'Ouargla, 85p.

Helal Fayçal et Ourihane Dalila, 2004 : Etude Hydrogéologique du Continentale Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt Aspect hydro-chimique et problèmes technique posés .Mémoire d'ingénieur. Université des sciences et la Technologie Houari Boumediene.

HAMDI-AÏSSA B. (2001), Le fonctionnement actuel et passé de sol du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Thèse de Doctorat en pédologie. I.N.A Paris Grignon, 275p.

KILIAN C. (1931) : Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.

MARGAT J. (1990) : Les gisements d'eau souterraine. La Recherche, 596 p.

MOULLA A.S et al (2002) : Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eaux souterraines transfrontalières en Algérie. Atelier international sur la gestion partagée des ressources des systèmes aquifères en Afrique. PHI, UNESCO, Tripoli, Libye, 02-04 juin 2002.

NESSON C. (1978) : L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, (ed. CNRS), pp 7-100, Paris.

NEZLI I. (2009) : Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, université de Biskra, 117p.

OMS (2006) : Organisation Mondiale de la Santé. Directives de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 2^e ed. Volume 2, pp 272-279.

OSS (2003 a et b) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

OULD BABA SY M. (2005) : Recharge et paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, 261p.

RODIER J. (2009) : L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, DUNOD, France, 1526p.

SCHOELLER H. (1963) : Recherche sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Thèse Doctorat Es-Sciences, Lyon.

SONATRACH et SCHLUMBERGER (1990) : Géologie de l'Algérie. Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement, 93p.

UNESCO (1972) : Projet ERESS; Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

WEC (2007) : La géologie pétrolière de l'Algérie. In Sonatrach – Schlumberger Well Evaluation Conference - Algérie 2007, p. 1.6 – 1.8, Édité par Schlumberger, 2007.

Keddam.S et Taabli.H (2017) : Influence de la lithologie sur la composition chimique des eaux de la nappe de Moi-pliocène dans la région de Djamaa. Mémoire de Master Université Ouargla.

Résumé

Les ressources en eaux souterraines dans le Sahara Septentrional sont représentées par deux grands systèmes aquifères superposés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Les eaux issues de ces nappes aquifères posent de sérieux problèmes de qualité physico-chimique, elles sont fortement minéralisées et très dures.

Le présent travail a pour objectif de décrire l'évolution géochimique des eaux de la nappe des sables (Mio-Pliocène) du 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.

Les résultats obtenus montrent que le chimisme est gouverné essentiellement par la dissolution des formations évaporitiques qui confère aux eaux une minéralisation excessive, de fortes concentrations en sulfates, chlorures et en sodium.

Mots clés : Touggourt, hydrochimie, nappe des sables, Mio-Pliocène, Sahara Septentrional Complexe Terminal.

ملخص

تتمثل مخزونات المياه الجوفية على مستوى الصحراء الشمالية في نظامين طبقيين متراكبتين : المتداخل القاري والمركب النهائي. تعرف مياه هاذين النظامين برداءة نوعيتها الكيميائية والتي تتميز بتراكيز معدنية عالية وفساوة كبيرة.

يهدف هذا العمل الى متابعة التطور الجيوكيميائي لمياه الطبقة الرملية للميولبوسان المنتمية لنظام المركب النهائي بمنطقة تقرت, وذلك بالبحث عن العلاقة الموجودة بين التركيبة الكيميائية للمياه والطبيعة الليتولوجية للصخور التي تحتويها.

النتائج المحصل عليها تبين بأن ذوبان المعادن التبخرية هو المتحكم الرئيسي في التركيبة الكيميائية للمياه من خلال منحها معدنية عالية تتجلى من خلال التراكيز العالية للسلفات, الكلوريد, والصوديوم.

الكلمات الدالة: تقرت , كيمياء المياه, الطبقة الرملية , ميولبوسان, الصحراء الشمالية, المركب النهائي.

Abstract

The groundwater resources in the Northern Sahara are represented by two superimposed major aquifer systems: the Continental Intercalaire (CI) and the Complexe Terminal (CT). The waters of these aquifers pose a serious physical and chemical quality problem, they are highly mineralized and very hard.

The present work aims to describe the water's geochemical evolution of sand groundwater (Mio-Pliocene) of the Complex Terminal in the Touggourt area, by the research of the relationship between water's chemical composition and lithology of aquifer formations through. The results obtained show that the water's chemistry is essentially governed by the dissolution of evaporite formations which gives to waters an excessive mineralization expressed by high concentrations of sulfates, chlorides and sodium.

Key words: Touggourt, hydrochemistry, sands groundwater, Mio-Pliocene, the Northern Sahara Complexe Terminal.