

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

Etude Hydrochimique Des Eaux De La Nappe Du Complexe

Terminal De La Cuvette D'Ouargla

Présenté par

BENZOUADA Djaafar & BOUSSAID Taha

Soutenu publiquement

Le 21 / 06 /2018

Devant le jury :

Mme. HADJ SAID Samia
Mr. HOUARI Idir Menad
Mr. BOUSELSAL Boualem

Pr. M.A.A
M.C.A
Président
Encadreur
Examineur

UKM Ouargla
UKM Ouargla
UKM Ouargla

2017/2018



Dédicace

On dédie ce modeste travail à :

*Nos mères sources de tendresse et d'amour de soutien
tout le long de nos vies scolaires, qui sont la raison de
notre existence dans cette vie.*

*Nos pères qui nous a toujours soutenus et qui ont fait tout
leur possible pour nous aider.*

Nos frères et sœurs.

Nos tantes et oncles ainsi que nos cousins et cousines.

Toutes nos familles.

Tous nos amis (es).

*Tous nos collègues de la promotion de Master qui nous
ont aidés à compléter de loin ou de près ce modeste
mémoire.*

Hydrogéologie 2017/2018.

A tous ceux qui nous ont aidés.

Djaafar & Taha

Remerciements

Nous exprimons toute notre gratitude et sincère dévouement à Dieu Le Tout puissant qui grâce à son aide nous avons terminé ce modeste travail.

Nous tenons à remercier avec gratitude notre encadreur Houari Idir Menad, de nous avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de nous avoir conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils et nous remercions aussi tous les membres de jury (Mme.zeddouri et Ms. Bouselsal)

Sans oublier nos familles pour le soutien exemplaire moral et matériel continu tout au long de notre cycle universitaire.

Nous remercions vivement l'ensemble du personnel du département de géologie

Table des matières

Introduction générale.....		1
 Chapitre I: Cadre physique 		
I.1	Introduction.....	2
I.2	Situation Géographique.....	2
I.3	Géomorphologie.....	4
I.4	Contexte Climatique.....	5
I.4.1	Température.....	5
I.4.2	Précipitation.....	5
I.4.3	Vitesse du vent	6
I.4.4	Durée d'insolation	7
I.4.5	L'évaporation	7
I.5	Conclusion.....	8
 Chapitre II : Contexte géologique 		
II.1	Introduction.....	10
II.2	Cadre géologique régional	10
II.3	Cadre géologique local	15
II.3.1	Affleurements	15
II.3.2	Lithostratigraphie	15
II.4	Conclusion	19
 Chapitre III : Contexte hydrogéologique 		
III.1	Introduction.....	20
III.2	Les aquifères dans la région d'étude.....	21
III.2.1	Le Continental intercalaire	22
III.2.2	Le Complexe Terminal (CT).....	24
III.2.2.1	Géométrie du CT	26
III.2.2.2	Piézométrie du CT	27
III.2.2.3	Recharge et conditions de recharge du CT.....	28
III.3	Les aquifères utiles dans la région de Ouargla.....	29
III.4	Conclusion.....	29
 Chapitre IV : Matériels et méthodes 		
IV.1	Introduction.....	31
IV.2	Echantillons d'eaux	31
IV.3	Outil informatique.....	32
IV.3.1	Statistica	32
IV.3.2	Diagramme	32
IV.3.3	Surfer	32

IV.4	Conclusion.....	32
------	-----------------	----

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1	Introduction.....	33
V.2	Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux.....	33
V.2.1	Le potentiel hydrogène (pH).....	34
V.2.2	La conductivité électrique CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).....	34
V.2.3	Les sulfates SO_4^{2-} (mg/l).....	34
V.2.4	Les chlorures Cl^- (mg/l).....	35
V.2.5	Les bicarbonates HCO_3^- (mg/l).....	36
V.2.6	Le calcium Ca^{2+} (mg/l).....	36
V.2.7	Le magnésium Mg^{2+} (mg/l).....	37
V.2.8	Le sodium Na^+ (mg/l).....	37
V.2.9	Le potassium K^+ (mg/l).....	38
V.3	Faciès chimiques des eaux	38
V.4	Origine des éléments chimiques	46
V.4.1	Origine des chlorures et du sodium.....	46
V.4.2	Origine des sulfates, du magnésium et du calcium.....	46
V.4.3	Origine du potassium et des bicarbonates.....	52
V.5	Conclusion.....	52
	Conclusion générale.....	55

Liste des figures et des photos

Chapitre I: Cadre physique

Figure I.1	Carte de situation géographique de cuvette Ouargla (Bellaoueur, 2008).....	3
Figure I.2	Relief géologique de la région d'Ouargla (BG, 2004).....	4
Figure I.3	Températures moyennes mensuelles (C°), Station d'Ouargla (1994-2015).....	5
Figure I.4	Répartition annuelle des pluies, Station d'Ouargla (1994-2015).....	6
Figure I.5	Vitesse du vent en (m/s), Station d'Ouargla (1994-2015).....	6
Figure I.6	Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures, Station d'Ouargla.....	7
Figure I.7	Evaporation moyenne mensuelle en (mm).....	8

Chapitre II : Contexte géologique

Figure II.1	Carte géologique régionale (OSS, 2003).....	10
Figure II.2	Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-Est Septentrional (Sonatrach et Schlumberger, 1990).....	14
Figure II.3	Carte géologique locale (BG, 2004).....	15
Figure II.4	Colonne stratigraphique du forage J 10-583 (El Hadeb).....	18

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

Figure III.1	Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972).....	21
Figure III.2	Délimitation du "SASS" (OSS, 2003).....	22
Figure III.3	Carte piézométrique déréférence du "CI" (OSS, 2003).....	24
Figure III.4	Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....	26
Figure III.5	Carte des épaisseurs de CT (OSS, 2003).....	26
Figure III.6	Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003).....	28
Figure III.7	Récapitulatif des différentes nappes aquifères de la basse Vallée de l'Oued Mya (ANRH, 2004).....	29

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Figure IV.1	Carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau.....	31
-------------	----------------------------------------------------------------	----

Chapitre V : Résultats et discussion

Figure V.1	Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de la région d'Ouargla.....	39
Figure V.2	Faciès chimiques des eaux du Sénonien de la région d'Ouargla.....	40
Figure V.3	La relation Na/Ca vs SO ₄ / Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	41
Figure V.4	La relation Na/Ca vs SO ₄ / Cl (Nappe de Sénonien).....	42
Figure V.5	La relation Na/Mg vs SO ₄ / Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	42
Figure V.6	La relation Na/Mg vs SO ₄ / Cl (Nappe de Sénonien).....	43
Figure V.7	La relation Mg/Ca vs SO ₄ / Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	43
Figure V.8	La relation Mg/Ca vs SO ₄ / Cl (Nappe de Sénonien).....	44
Figure V.9	La relation Ca vs SO ₄ (Nappe de Mio-Pliocène).....	44
Figure V.10	La relation Ca vs SO ₄ (Nappe de Sénonien).....	45
Figure V.11	La relation Cl vs Na (Nappe de Mio-Pliocène).....	45

Figure V.12	La relation Cl vs Na (Nappe de Sénonien).....	46
Figure V.13	La relation Ca/HCO ₃ vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	47
Figure V.14	La relation Ca/HCO ₃ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien).....	48
Figure V.15	La relation Ca/SO ₄ vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	49
Figure V.16	La relation Ca/SO ₄ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien).....	49
Figure V.17	La relation Mg/HCO ₃ vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	50
Figure V.18	La relation Mg/HCO ₃ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien).....	51
Figure V.19	La relation Mg/SO ₄ vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	51
Figure V.20	La relation Mg/SO ₄ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien).....	52

Liste des tableaux

Chapitre I: Cadre physique

Tableau I.1	Température moyenne mensuelle (°c), période (1994-2015)	5
Tableau I.2	Précipitations moyenne mensuelle (mm), période (1994-2015).	5
Tableau I.3	vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s), période 1994 – 2015.....	6
Tableau I.4	Durée moyenne mensuelle d’insolation en h/j, de la période 1994-2015.....	7
Tableau I.5	Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période 1994-2015.....	8

Chapitre V : Résultats et discussion

Tableau V.1	Variations du pH.....	34
Tableau V.2	Variations des conductivités électriques.....	34
Tableau V.3	Variations des concentrations des sulfates.....	35
Tableau V.4	Variations des concentrations des chlorures.....	35
Tableau V.5	Variations des concentrations des bicarbonates.....	36
Tableau V.6	Variations des concentrations du calcium.....	37
Tableau V.7	Variations des concentrations du magnésium.....	37
Tableau V.8	Variations des concentrations du sodium.....	38
Tableau V.9	Variations des concentrations du potassium.....	38

Liste des abréviations

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
BG	Bonnard & Gardel (Bureau d'études suisse)
CHA	Classification Hiérarchique Ascendante
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
MP	Mio-Pliocène
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONM	Office National de Météorologie
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
SASS	Système Aquifère du Sahara Septentrional
S	Sénonien

Introduction générale

Introduction Générale

La région d'Ouargla se situe à 800 Km au Sud-est de la capital Alger. Cette région fait partie du Sahara algérien qui se caractérise par sa richesse en hydrocarbures et en eaux. Elle se renferme deux grands systèmes aquifères à savoir : le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI). Ce système aquifère couvre une surface de 700 000 Km².des multiple études universitaires, d'articles scientifiques et de rapports techniques, ont été fait sur ces aquifères. Entre autres, des études ont porté sur la reconnaissance géologique (Bel et Dermagne, 1966 ; Busson, 1966 ; 1970 ; 1971 ; Fabre, 1976), et hydrogéologique (Cornet, 1964 ; Bel et Cuhe, 1969 ; 1970, Castany, 1982) du système aquifère du Sahara septentrional. D'autres travaux ont évaluée les potentialités hydriques du système, tout en proposant divers scénarios de son exploitation à moyen et à long terme (UNESCO, 1972, 1972 ; Nesson, 1978 ; BRL-BNEDER, 1999 ; OSS, 2003).

Ces ressources sont usitées pour divers besoins des habitants et pour des fins agricoles et industriels. Le complexe Terminal (CT) est le plus exploité dans la région d'Ouargla. Il est caractérisé par des eaux fortement minéralisées et d'une salinité excessive.

Notre contribution a pour objectif de se focaliser sur les caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe de Complexe Terminal (Mio-Pliocène et Sénonien) de la cuvette d'Ouargla, et pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons développés les chapitres suivants :

Le premier chapitre : Cadre physique de la zone d'étude.

Le deuxième chapitre Contexte géologique.

Le troisième chapitre : Contexte Hydrogéologique.

Le quatrième chapitre : Matériel et méthodes

Le cinquième chapitre : Résultats et discussions.

Et on a terminé avec une conclusion

Chapitre I

Cadre physique

I.1- Introduction

Dans ce chapitre ; nous présentons un aperçu sur le cadre physique de la zone d'étude en particulier sa situation géographique et son contexte climatique.

Ce dernier est un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Pour nous présentons le contexte climatique de la région d'Ouargla, nous basons sur une synthèse des données disponibles entre 1993 et 2014. Ces données ont été fournies par l'office national de météo (ONM) en 2014.

I.2- Situation Géographique:

La ville de Ouargla se situe dans une dépression (cuvette), elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khouiled.

Cette dépression ou cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880): $X = 710\ 000$; $Y = 3\ 530\ 000$ et $X = 730\ 000$; $Y = 3\ 600\ 000$

Elle présente une superficie totale de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ de 55 km orientée Sud-ouest / Nord-est et limitée:

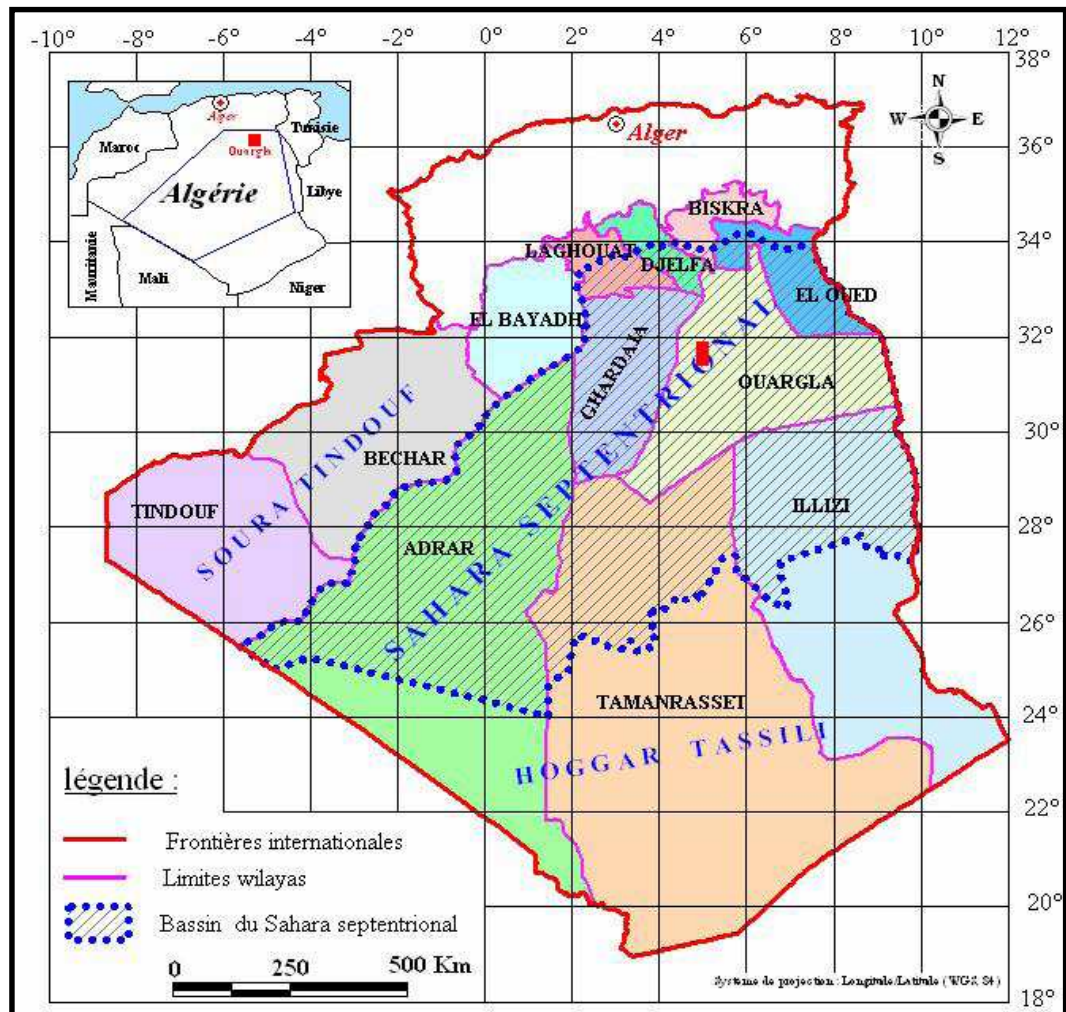


Fig. I.1: Carte de situation géographique de cuvette Ouargla (Bellaoueur, 2008)

- Au Nord par sebkhet Safioune
A l'Est par les Ergs de Touil et Arifdji.
- Au Sud par les dunes de Sedrata.
- A l'Ouest par le versant et la dorsale de M'Zab (Fig. I.2)

I.3-Géomorphologie

La géomorphologie de la région d'étude est constituée des éléments suivants :

- La hamada (plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses) Mio-pliocène et plioquaternaire : formation continentale détritique qui forme des plateaux dont l'altitude est de 200 m en moyenne.
- Les formations sableuses : composées de dunes et de cordons d'erg.
- Les étendues alluviales correspondant au lit d'oued mya selon un axe SW-NE.
- Les sebkhas : ceux sont des dépressions qui servent d'exutoire de la nappe phréatique. La plus grande est la sebkha safioune à l'extrémité nord, c'est aussi le point le plus bas de la région.

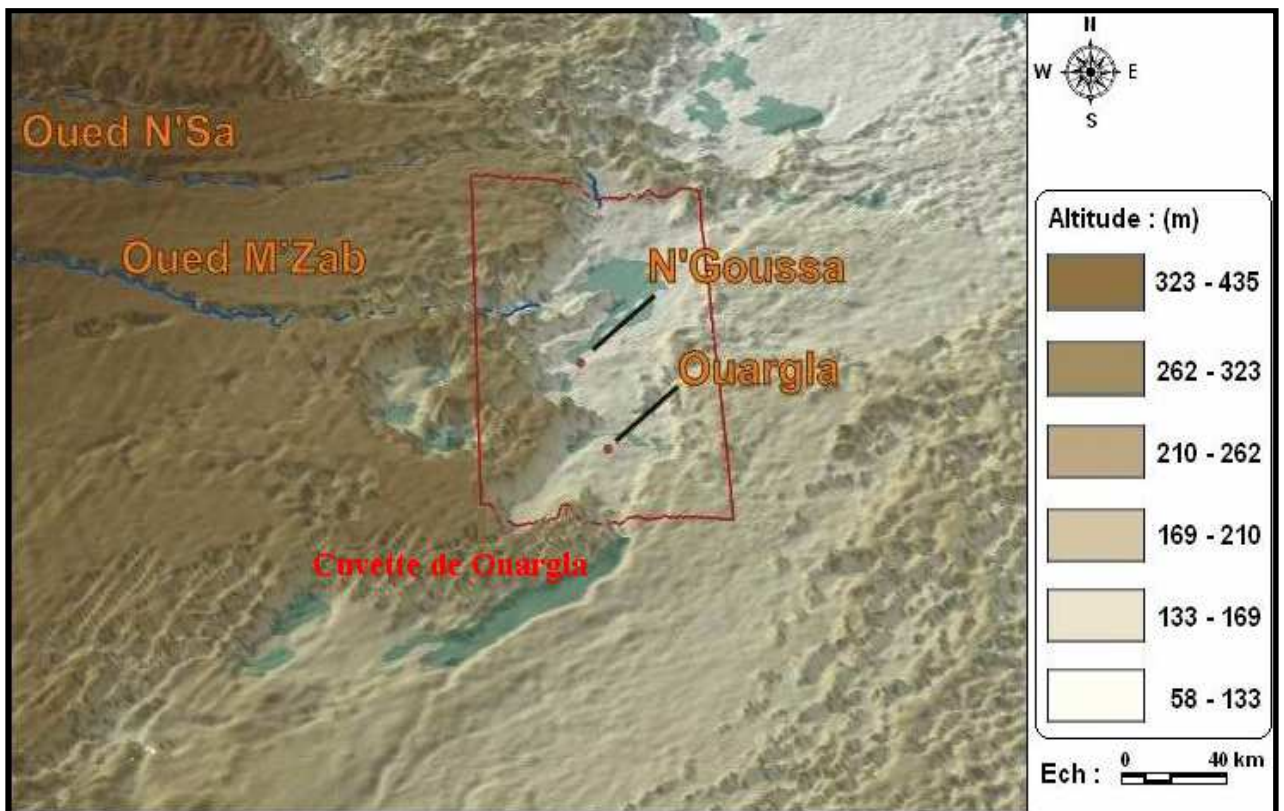


Fig I.2: Relief géologique de la région d'Ouargla (BG, 2004)

I.4-Contexte Climatique

I.4.1-Température

Les températures moyennes mensuelles (°C) de la période (1993-2014) montre que le climat de la région de Ouargla est type aride saharien, les températures sont très élevées en été, la moyenne des mois les plus chauds (Juillet et Aout) dépasse les 35°C et celle du mois le plus froid (Janvier) d'ordre 12.33°C

Tableau .01: Température moyenne mensuelle (°c), période (1993-2014)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juil	Aout
Moy	34,35	25,10	16,44	12,88	12,33	14,80	18,16	23,69	28,04	32,65	35,76	35,23

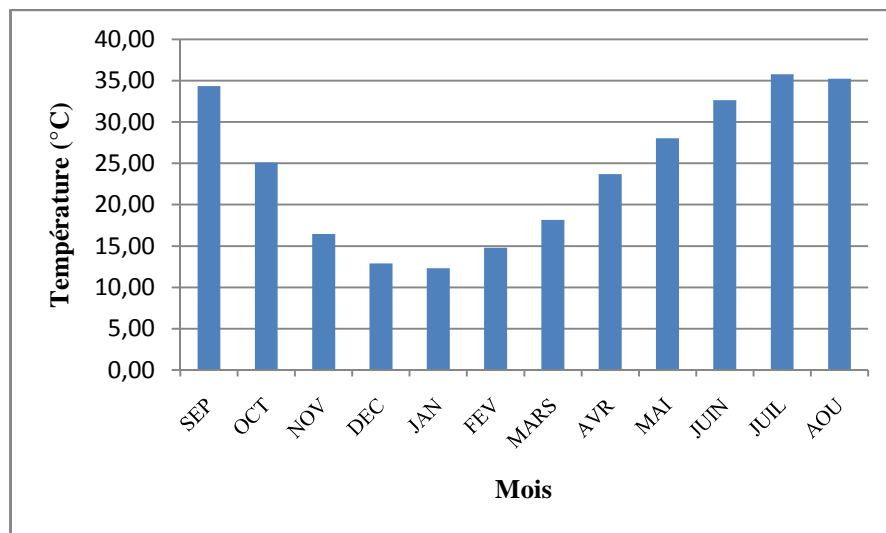


Fig I.3: Températures moyennes mensuelles (C°), Station d'Ouargla (1993-2014)

I.4.2- Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 39.65 mm, janvier est le mois le plus pluvieux avec 7.00 mm, juillet sont les plus secs avec 0,17 mm.

Tableau. 2 : Précipitations moyenne mensuelle (mm), période (1993-2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	juil	Aout
Moy	3,91	5,90	5,63	3,70	7,00	1,18	5,59	1,28	3,01	0,45	0,17	0,89

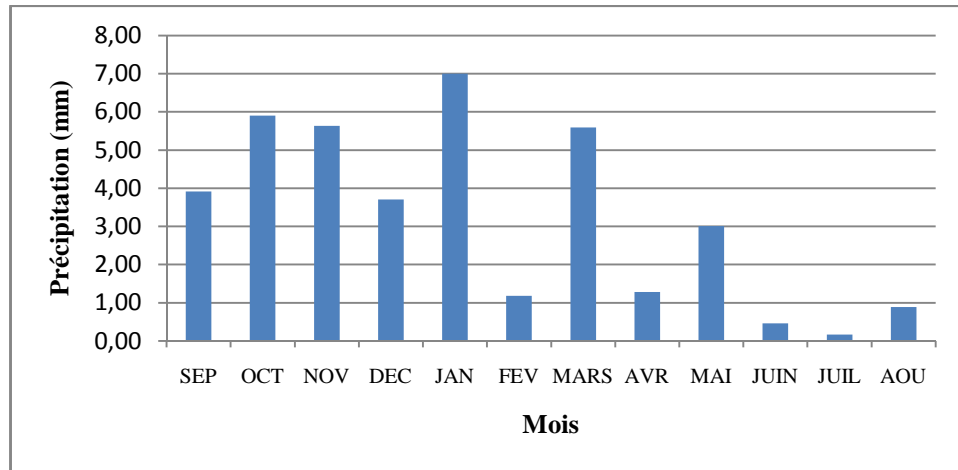


Fig I.4: Répartition annuelle des pluies, Station d'Ouargla (1993-2014)

I.4.3- Vitesse du vent

Dans la région d'Ouargla les vents soufflent du Nord-est et du Sud-ouest. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest, tandis qu'au printemps sont les vents du Nord-est et de l'Ouest dominant, en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud-ouest.

Les vitesses de vent sont forte sur toute la période estivale (Avril) avec un maximum entre le mois d'Avril et Mai.

Tableau.3: vitesse moyenne mensuelle des vents (km/h), période 1993 – 2014.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moy	19.3	15.9	13.8	14.0	14.4	16.3	16.5	20.9	20.0	16.9	18.1	16.7

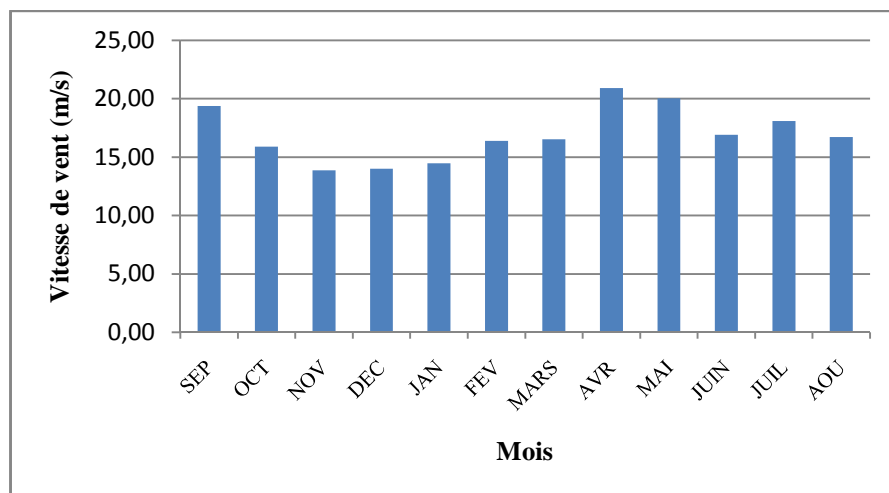


Fig I.5: Vitesse du vent en (km/h), Station d'Ouargla (1993-2014)

I.4.4- Durée d'insolation

Dans La région d'Ouargla le maximum quantité de lumière solaire très forte est atteint au mois de Juin avec une durée moyenne de 189,7 heures, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 116,00 heure.

Tableau.4: Durée moyenne mensuelle d'insolation en h, de la période 1993-2014.

Mois	Sep.	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moy	154,1	149,4	126,7	116,0	140,9	139,1	138,6	161,6	167,1	164,4	189,7	188,4

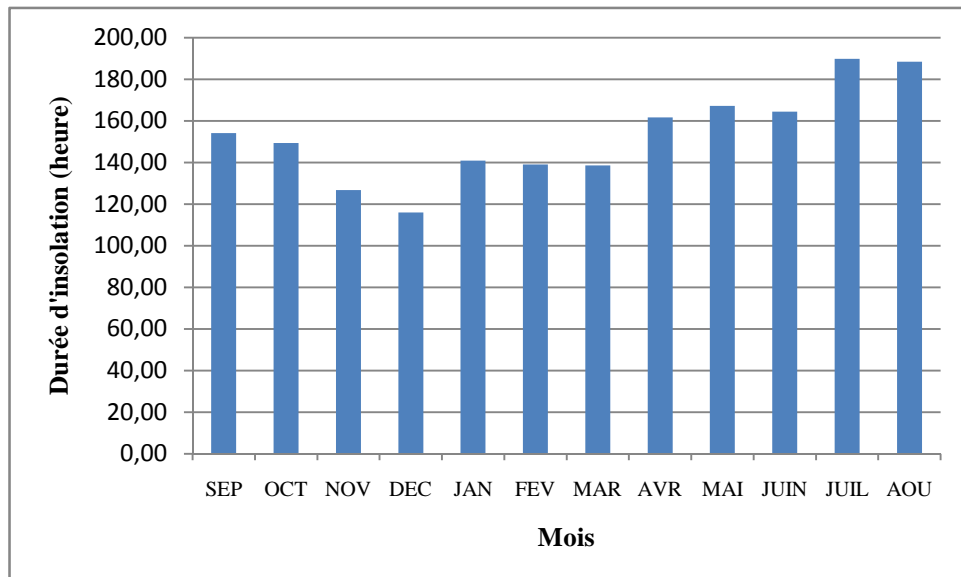


Fig I.6: Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures, Station d'Ouargla (1993-2014)

I.4.5- L'évaporation

L'évaporation est un phénomène physique, qui augmente avec la température, la sècheresse et l'agitation de l'air. Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur à l'atmosphère sous des conditions climatiques et physiographiques. Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, ...etc.

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique) on distingue alors l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol et l'évapotranspiration réelle (E.T.R) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée.

Tableau.5 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période 1993-2014.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moy	280,1	196,0	110,2	88,9	86,6	120,9	174,2	246,8	300,2	367,	417,6	396,7

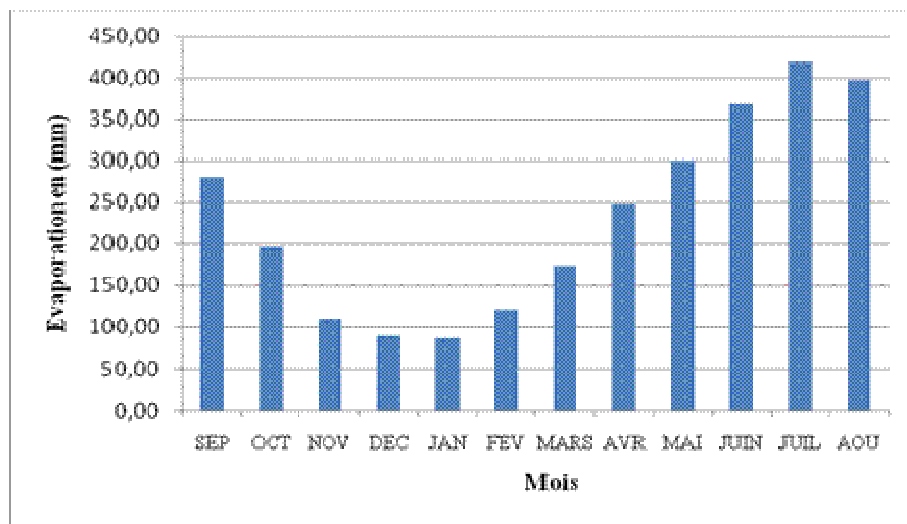


Fig I.7 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm)

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 417.66 mm au mois de juillet et de 88.98 mm au mois de Décembre, soit 254.62 mm moyenne annuelle. Elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines.

I.5-Conclusion

La région d'Ouargla est située dans la partie sud du pays à 800 Km du la Capital Alger, Elle présente une superficie totale de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ de 55 km orientée Sud-ouest / Nord-est et limitée:

La zone d'étude fait partie du Bas Sahara, se présente en cuvette synclinale dissymétrique. Elle est caractérisée par un remplissage sédimentaire constitué d'une alternance de terrains perméables et imperméables. Ces terrains perméables représentent le réservoir hydrique dont le complexe terminal est l'objet de la présente étude.

Le climat de la région de Ouargla est du type hyper – aride marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Les précipitations ne dépassent pas les 7 mm, enregistrées au mois de Janvier et Mars et Mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région. Les vents sont forte de direction SW-NE.

Chapitre II

Contexte géologique

II.1- Introduction:

Dans ce deuxième chapitre, nous allons exposer une synthèse des travaux des nombreux auteurs qui ont publié des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire de la Sahara septentrional, que par des chercheurs universitaires, parmi eux nous citons les plus célèbres: G. Busson; 1970, J.Fabre;1976, G. Conrad; 1969.

II.2- Cadre géologique régional:

La région d'Ouargla fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord-est septentrional (Fig. II.1), dont les grands traits de la géologie sont:

- Au sud de l'accident Sud atlasique, le bouclier précambrien formé de terrains éruptifs, plissés et métamorphisés surmonté par des milliers de mètres de sédiments allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire.
- Le Paléozoïque du Sahara correspond à des dépôts de climat désertique périglaciaire.

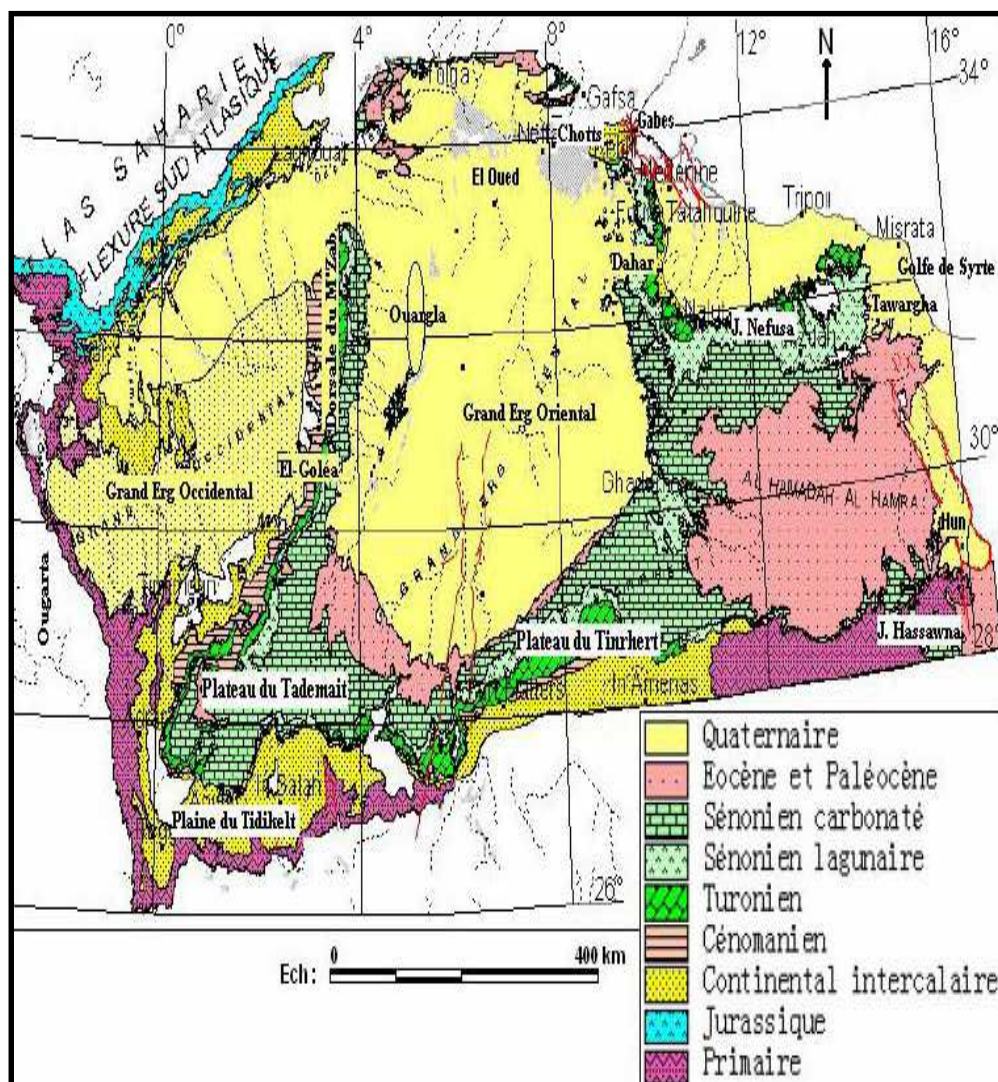


Fig. II.1: Carte géologique régionale (OSS, 2003)

Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis. Les mouvements hercyniens du Périmo-Carbonifère, vont provoquer l'érosion du bouclier. Il s'installe alors une grande période continentale avec pénéplanation post-hercynienne pendant le Trias et le Jurassique et formation d'un manteau de grès, de sable et d'argile, qui va constituer le "Continental Intercalaire".

- Le Trias: Busson (1972) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias.

Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être: salifères, argilo-gréseuses ou carbonatées. L'épaisseur de ces différentes formations varie principalement là où s'intercalent des bancs salifères. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180 m). Elle diminue dans les zones des hauts-fonds (Hassi Messaoud et R. El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (700 m au Nord-Est de Ghadamès), il atteint 1300 m à Hassi Messaoud.

- Le Jurassique: Le Jurassique inférieur (Lias et Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argile auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et d'argiles avec des bancs d'anhydrite. Par contre, le Jurassique moyen est caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du Grand Erg Oriental et les dépôts y sont épais. Le Jurassique supérieur (Malm) est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud.

Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Hoggar), (Busson, 1972).

- Le Crétacé: L'étude des données des sondages qu'a effectué Busson (1972) a permis de préciser la succession lithologique au cours du Crétacé. Il est constitué par des couches terrigènes Fulvio-deltaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend, en partant des formations les plus anciennes:
 - ❖ Le Néocomien: comprend dans le bas Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles.

- ❖ Le Barrémien: caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le bas Sahara. Ces formations se présentent sous forme des grés fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-est du Sahara algérien.
- ❖ L'Aptien: c'est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du bas Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignites (sédimentation lagunaire).
- ❖ L'Albien: il est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens. On remarque que le changement de régime sédimentaire et l'arrivée en masse des sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien et au cours de l'Albien, (Fabre, 1976).
- ❖ Le Cénomaniens: il est formé par une alternance de bancs de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et évaporites (anhydrite ou sel), son faciès varie:
 - Au Sud de Ouargla, les argiles et les évaporites dominent.
 - Au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomies sont majoritaires.
 - De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le bas Sahara).
 - La présence de nombreux banc d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuche, 1969).
 - Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le bas Sahara.
 - Le Cénomaniens supérieur y est calcaire, (Busson, 1972).
- ❖ Le Turonien: Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord:
 - Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux.
 - Entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement calcaire.
 - Au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaro-marneux.
 Son épaisseur moyenne varie entre 50 à 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse les 300 m (Bel et Cuche, 1969).
- ❖ Le Sénonien: Il s'individualise en deux faciès:
 - Le Sénonien inférieur (Sénonien salifère et anhydritique) à sédimentation lagunaire caractérisée par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable, (Busson, 1972).

- Le Sénonien supérieur (Sénonien carbonaté) se présente par des formations carbonatées perméables.
- ❖ L'Eocène: On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique, à la base:

- L'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argile et même d'anhydrite et de sel. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situant dans la zone du bas Sahara.

Au sommet:

- L'Eocène évaporitique 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).

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien, (Busson, 1972).

- ❖ Le Mio-Plio-Quaternaire: Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le bas Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre dans la région des Chotts algéro-tunisiens quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région d'Oued Righ, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'Oued Righ). L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes et des chotts, (Busson, 1972).

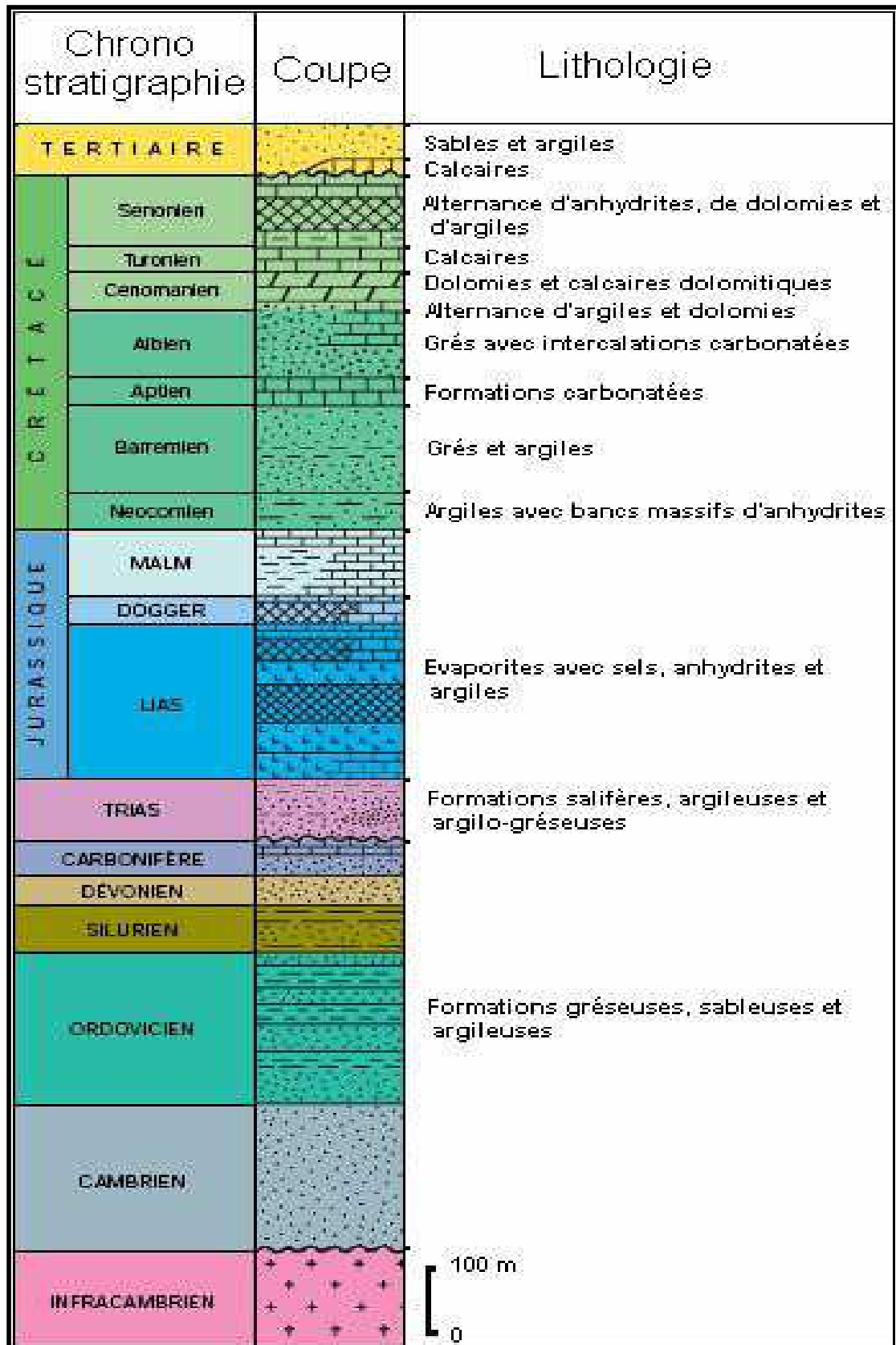


Fig. II.2: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-est Septentrional (Sonatrach et Schlumberger, 1990)

II.3- Cadre géologique local :

Dans la région d'Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes), (Fig. II.3).

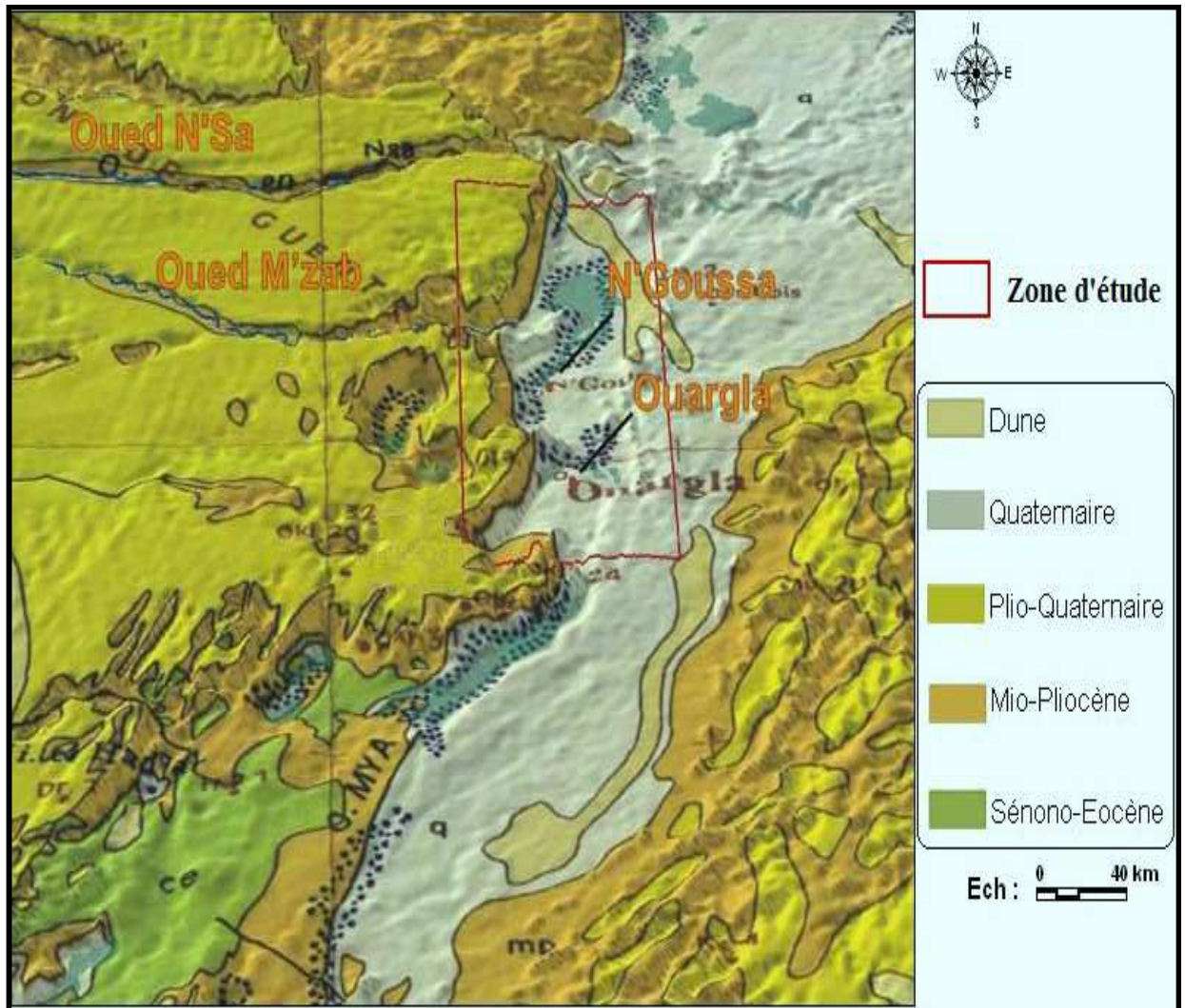


Fig. II.3: Carte géologique locale (BG, 2004)

II.3.1- Litho stratigraphie:

- ❖ Le Barrémien: Capté à partir de 1500 m environ. Il présente une alternance de grès et d'argile, avec des intercalations calcaro-dolomitiques.
- ❖ L'Aptien: Il est constitué par la "barre aptienne" dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, grises, vertes, brunes ou blanches et de dolomies cristallines. Son épaisseur est variable, généralement inférieure à 50 m.

- ❖ L'Albien: Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire, se sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (> 400 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90 %) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois des intercalations de sables grossiers à limons argileux ou carbonatés. On note des passées d'argiles brunes-rougeâtres, elles sont même pélitiques et sableuses dans les puits les plus septentrionaux.
- ❖ Le Vraconien: L'intercalation albo-cénomaniennne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les sables de l'Albien et les marnes du Cénomaniennne, il est formé de:
 - Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont de 50 à 100 m.
 - Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.
- ❖ Le Cénomaniennne: Il est formé de deux séries: (inférieure et supérieure):
 - La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brunes-rougeâtres ou grises-verdâtres, son épaisseur varie entre 60 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.
 - La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite et de quelques intercalations dolomitiques, son épaisseur est de l'ordre de 70 m.
- ❖ Le Turonien: Il se présente sous forme d'une dalle "barre turonienne" ayant une épaisseur régulière de l'ordre de 70 m. Il s'agit d'une formation essentiellement calcaire; calcaires poreux blancs, parfois grisâtres, pulvérulent, quelques fois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique.
- ❖ Le Sénonien: Il est constitué de deux formations lithologiques superposées:
 - Le Sénonien lagunaire à la base qui est constitué par une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomies, d'argile et de sel. Les proportions de varient d'un point à un autre:
 - ✓ L'anhydrite forme des bancs dont l'épaisseur peut atteindre 250 m.
 - ✓ La dolomie constitue parfois des barres plus importantes (≈ 60 m).
 - ✓ Les niveaux d'argile et de marne ne dépassant généralement pas 120 m d'épaisseur.

- Le Sénonien carbonaté au sommet (200 m environ); calcaire blanc, tendre à moyennement dure, par fois crayeux à vacuolaire avec passées de marne dolomitique grise tendre à pâteuse.
- ❖ Le Sénono-Eocène: Il est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 et 200 m. Il s'agit de calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaire ou crayeux ou plus carrément argileux.
- ❖ Le Mio-Pliocène: Il correspond au Continental Terminal tel qu'il a été défini par C.Kilian (1931). C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles, qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénono-Eocène.

On distingue quatre niveaux différents dans la région de Ouargla, se sont de bas en haut:

- Un dépôt argileux peu épais (< 10 m) recouvrant dans la partie centrale de la cuvette et suivant une bande Nord-Sud le Sénono-Eocène.
- Un niveau gréso-sableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais (> 30 m) et le plus constant.
- Un niveau argilo-sableux dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche n'apparaît que dans certains endroits.
- Un niveau très épais (\approx 30 m) dans la zone des chotts, à sommet affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne).
- ❖ Le Quaternaire: A la base, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Le niveau le plus superficiel est constitué de sables éoliens parfois gypseux et de produit de remaniement des terrains du Mio- Pliocène. Les sondages superficiels effectués dans différentes localités de la cuvette, ont permis de rencontrer les ensembles suivants:
 - Sur les plateaux, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération des grès à sable rouge du Mio-Pliocène, c'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région, à 10 m de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.
 - Sur les Chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux. De 10 à 20 cm de profondeur, on trouve un encroûtement gypseux

pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement

gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. Plus en dessous un tuf présente une teneur de gypse décroissante.

Les Sebkhass sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.

Les dunes sont formées des sable éoliens d'origine gréseux provenant de la Hamada mio-pliocène. Elles existent dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhass et sur les versants rocheux.

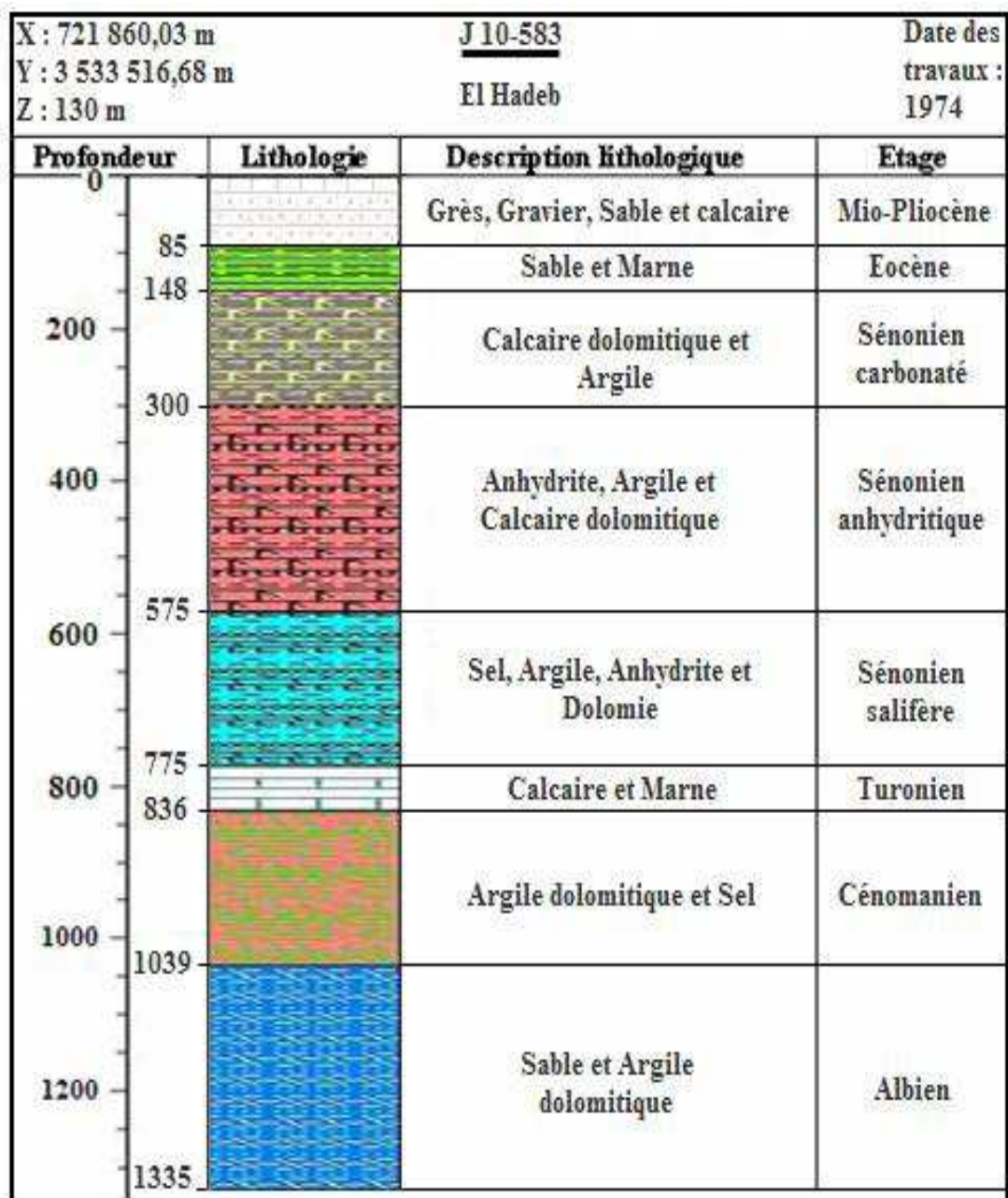


Fig. II.4 : Colonne stratigraphique du forage J 10-583 (El Hadeb)

II.4- Conclusion

Notre zone d'étude appartient au Sahara Nord-est septentrional algérien, géologiquement, elle est formée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé des roches éruptives et métamorphiques, surmonté par des milliers de mètres de couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire.

Dans cette partie du Sahara algérien, trois formations géologiques contiennent les nappes d'eau du SASS ; l'Albien gréseux et sableux (CI), le Sénonien lagunaire et carbonaté et le Mio-Pliocène sableux et argileux.

Chapitre III

Contexte hydrogéologique

III.1- Introduction:

Dans ce chapitre nous allons sur Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), ce système s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Lybie.

Ce bassin renferme une série des 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 1 000 000 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie (Fig. III.2), sa réserve est estimée à 31.000×10^9 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 d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (Cornet, 1964).

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.1) 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).

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 cénomanienne.

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, 1970), (Fabre, 1976).

Et comme notre étude s'intéresse beaucoup plus à la nappe du Complexe Terminal, on ne veut pas discuter sur ce dernier plus que le Continental Intercalaire dans ce chapitre.

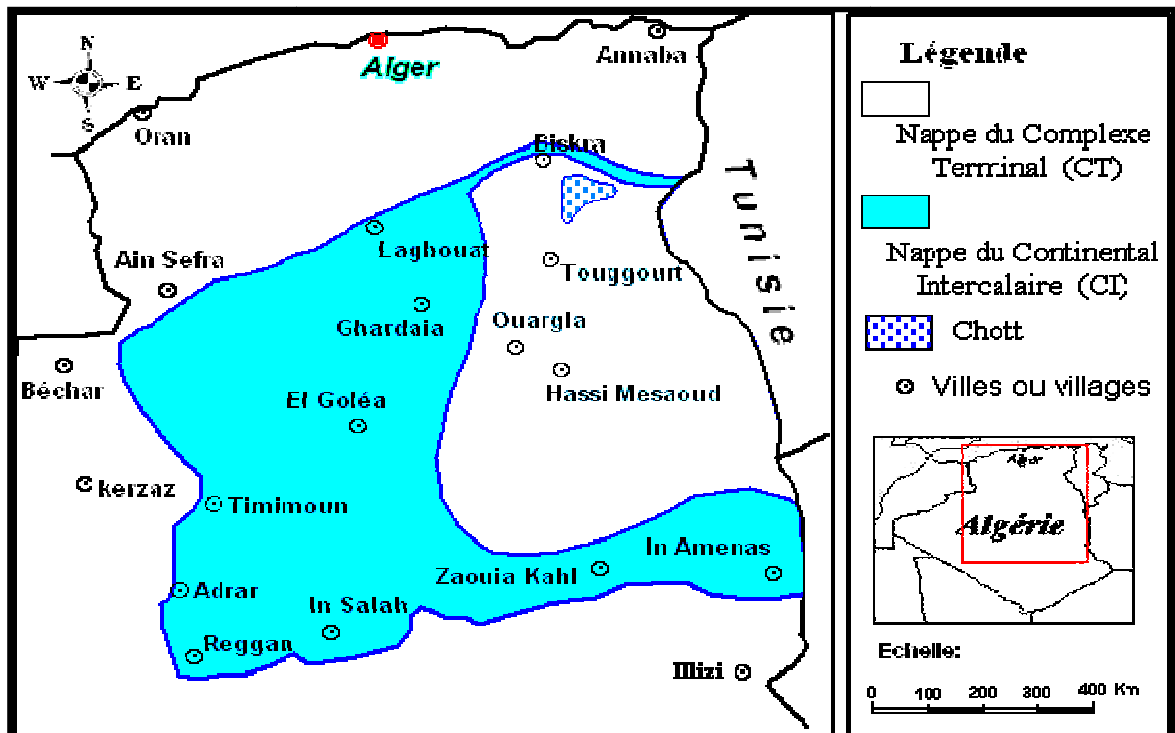


Fig.III.1. Délimitation du "SASS"(OSS, 2003)

III.2. Les aquifères dans la région d'étude:

La région d'étude renferme un système d'aquifères qui surmonte une nappe phréatique et renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra (Ould Baba Sy, 2005).

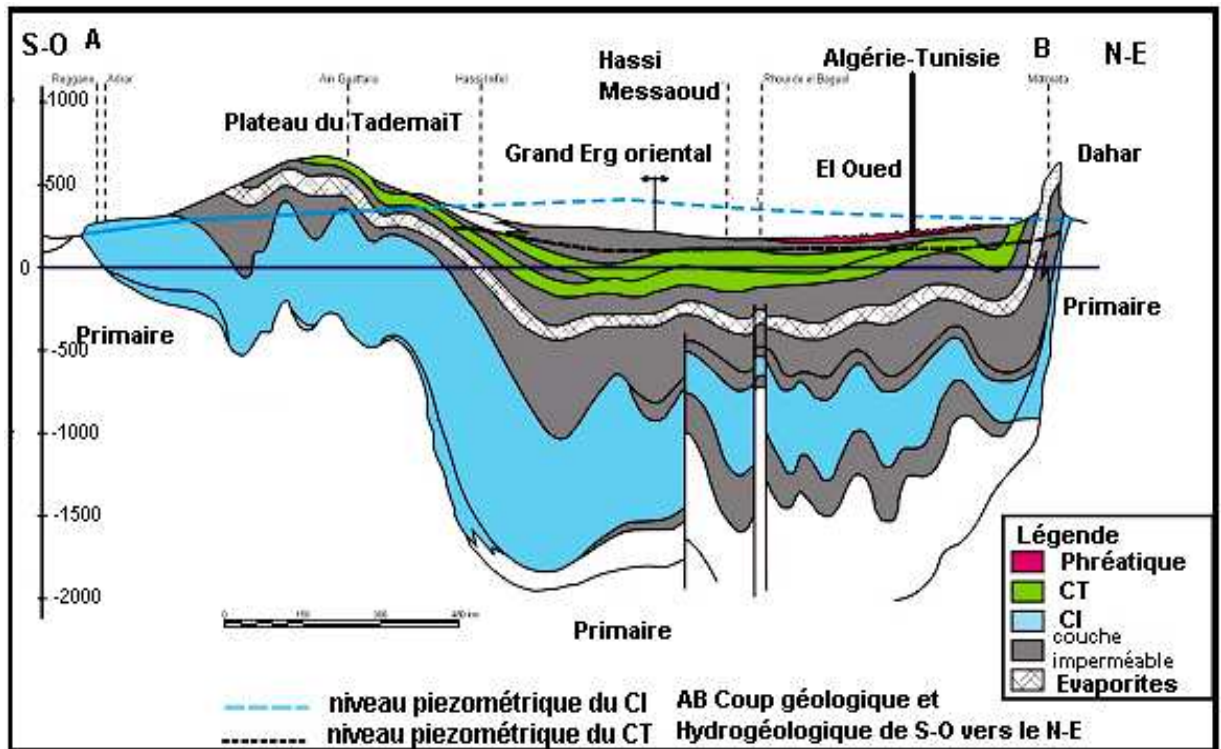


Fig. III.2 : Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972)

III.2.1 Le Continental intercalaire :

Le continental intercalaire est un aquifère transfrontalier partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne s'étend sur environ 600 000 Km², renfermant d'importantes quantités d'eau estimées à 60 000 milliards de m³. Dans la région d'Ouargla la nappe est située à plus de 1000 m de profondeur, cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du «Continental Intercalaire ». Le terme de continental intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marins.

Le continental intercalaire est limité au nord par l'Atlas saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar- Regagne et au Sud par l'axe Regagne Ain Amenas (figure III.3). A l'Est, il se prolonge au-delà des frontières algéro-libyenne et algéro-tunisienne, il est partagé par la dorsale de M'Zab en deux bassins: le bassin occidental et oriental

A la périphérie du Sahara, le continental intercalaire se termine en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Le CI n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile. Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalaire, on distingue :

- Les grés, quand les couches renferment moins de 10% d'argiles.
- des grés argileux, s'il y a de 10 à 50% d'argiles,
- des argiles, quand il y a plus de 50% d'argiles.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara, Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. A l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression d'oued Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas saharien. (belaid 2014)

L'essentiel des réserves de cet énorme réservoir correspond à l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à 400 hm³/an, s'effectue :

- De façon directe par infiltration des ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment aux piedmonts de l'Atlas Saharien (au Nord-Ouest), dans le massif du Dahar (Tunisie), éventuellement sur les rebords ouest (Touat et Gourara) et au Sud du plateau du Tademaït (Tidikelt), ainsi que sur le rebord sud du plateau du Tinhert et sa prolongation en Libye.
- De façon indirecte dans le Grand Erg Occidental à travers les sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs, ainsi que par apport latéral ou drainance en provenance du puissant aquifère paléozoïque dans la partie libyenne du réservoir (Bellaoueur 2008).

L'écoulement de cette nappe se produit :

- Dans le sens Nord-Sud (concernant le sous-bassin du Grand Erg Occidental), c'est-à-dire : du piedmont de l'Atlas Saharien vers les zones d'affleurement (et d'exutoire) des rebords du plateau de Tademaït à l'Ouest.
- Dans le sens Sud-Nord (concernant le sous-bassin du Grand Erg Oriental), c'est-à-dire : du rebord sud du plateau du Tinhert vers les golfes de Syrte et de Gabès;
- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien (golfe de Gabès).

C'est la dorsale du M'Zab qui sépare l'écoulement dans les sous-bassins Occidental et Oriental en ces deux directions distinctes précitées (N-S et S-N).

Les zones exutoires, suggérées par les points d'aboutissement des lignes de courant dessinées sur la carte piézométrique sont :

- Les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït qui constituent une zone d'exutoire naturel importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt.
- Les remontées verticales à la faveur de la faille d'El Hamma dans la zone du Chott Fedjaj.
- L'exutoire libyen du Golfe de Syrte, qui se manifeste en surface par les sources de Aïn Tawargha.(OSS, 2003).

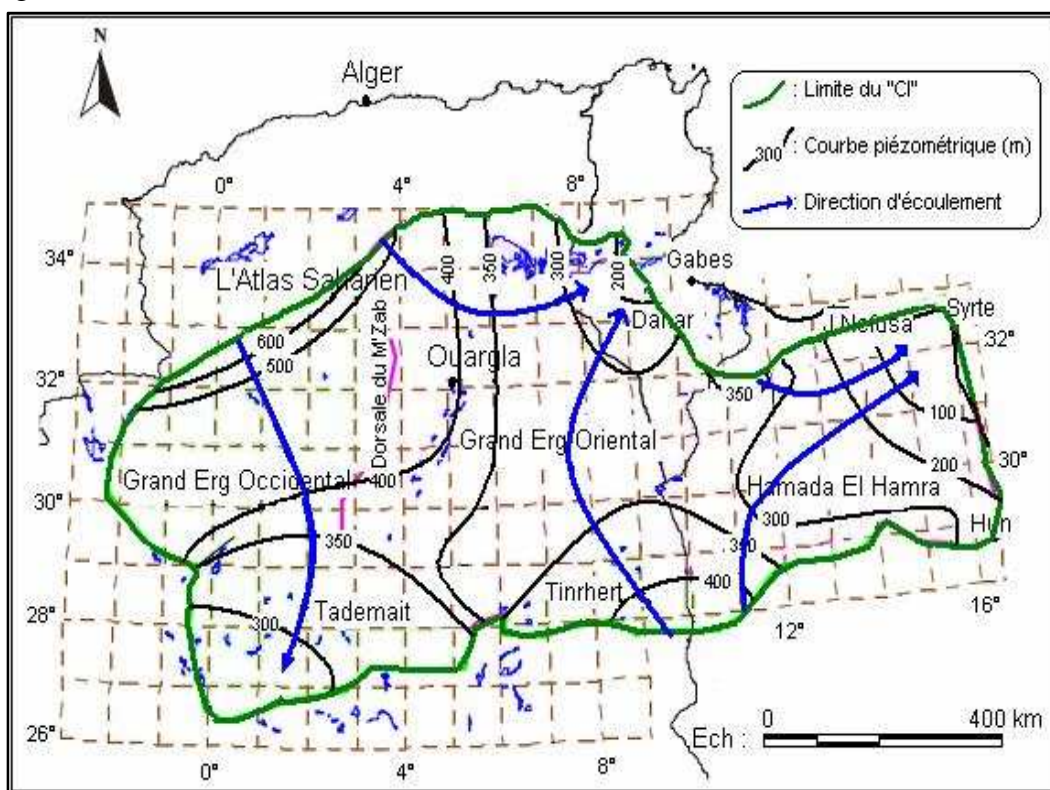


Fig.III.3. Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

III.2.2- Le Complexe Terminal (CT):

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le CI. Néanmoins, il couvre une grande partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sur environ 350 000 km². Sa profondeur oscille entre 100 et plus de 500m et son épaisseur, en moyenne de 220 m. Sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (CT) les formations les plus récentes, déposées au bas Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux, d'âge et de lithologie différents, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables. Ce sont:

- Au sommet, le Complexe Terminal, constitué par les sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance, pratiquement la totalité de l'Erg oriental depuis la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar tunisien à l'Est. L'épaisseur de l'aquifère des sables du Mio-Pliocène est de 50 à 100 m en moyenne. Elle est minimale dans la région de Hassi-Messaoud (30 m) et augmente vers le Sud (400 m), et le Nord où elle peut atteindre 600 m.
- Les formations carbonatées du Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du bassin oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne Djemaa-Tozeur.
- Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne du réservoir carbonaté est de 100 à 200 m, augmentent vers le Nord où elle atteint 500 m sous le Chott Melghir et 600 m dans la fosse atlasique.
- Le substratum du complexe aquifère et d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus ou moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.
- La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie sud. Sa porosité dépend de la lithologie. Elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-Pliocène et à 20% dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur.
- L'écoulement se fait du Sud vers le Nord. Il converge des zones d'alimentation vers les chotts Merouane et Melghir, ainsi que vers l'exutoire souterrain du golfe de Gabes.
- L'alimentation se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellement apportées par les oueds qui descendent les reliefs de bordure. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre du Grand Erg oriental. (mission V qualité des eaux final1, 2006).

III.2.2.1- Géométrie du CT:

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 Tinrherth et de Tademaït.
- A l'Ouest, sur la dorsale de M'zab.

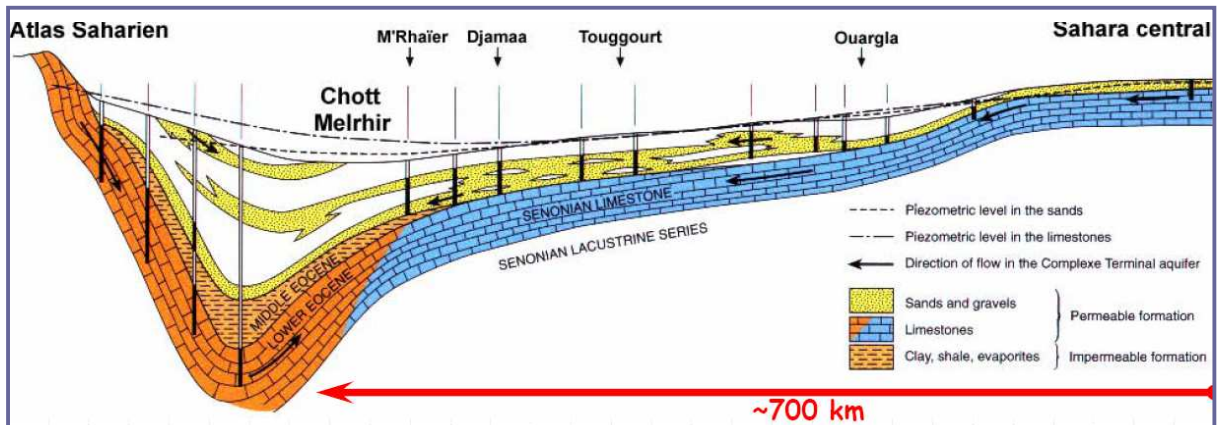


Fig. III.4 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

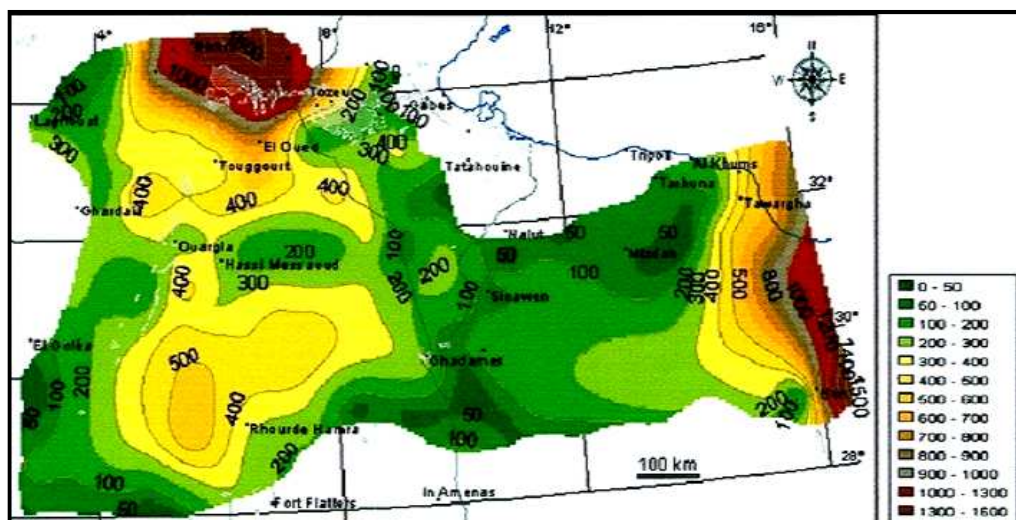


Fig.III.5: Carte des épaisseurs de CT (OSS, 2003)

III.2.2.2- Piézométrie du CT:

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 Cuhe, (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 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:

- A partir de la dorsale de 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, se 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.

- 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).

III. 3- Les aquifères utiles dans la région d'Ouargla:

Trois aquifères utiles existent dans le sous-sol de la région de Ouargla, de bas en haut nous avons: (fig.III.8).

- Les grès et les argiles sableuses du CI, c'est la nappe dite "Albienne".
- Les calcaires de la nappe du Sénono-Eocène carbonatés.
- L'ensemble détritique (sables et argiles) des formations continentales de la nappe du Mio-Pliocène.

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie
Quaternaire	Nappe phréatique		20m		
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Mio-Pliocène	
		Impermeable		Eocène évaporitique	
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Eocène carbonaté	
		Impermeable	700m	Sénonien carbonaté	
		Nappe du turonien	Turonien		
Secondaire	Crétacé	Impermeable	1000m	Cénomaniens	
		Nappe du Continental Intercalaire	2000m	Albien	
		Nappe de l'Albien		Aptien Barrémien	

Fig. III.7: Récapitulatif des différentes nappes aquifères de la basse Vallée de l'Oued Mya (ANRH, 2004)

III.4- 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 exister lorsque certaines conditions climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables) se réunissent.

Dans notre zone d'étude (Ouargla) 3 aquifères utiles sont:

- Les grès et les argiles sableuses du CI, c'est la nappe dite "Albienne".
- Les calcaires de la nappe du Sénono-Eocène carbonatés.
- L'ensemble détritique (sables et argiles) des formations continentales de la nappe du Mio-Pliocène.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV.1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes de notre travail commençant par les emplacements des forages dont on dispose des inventaires d'analyses physicochimiques des eaux fournis par l'ANRH. Des logiciels vont être employés pour les graphique, la cartographique et hydrochimique des paramètres physicochimiques et en tirer des renseignements particuliers.

IV.2 - Echantillonnage d'eaux

Trente (30) échantillons d'eau de la nappe des sables du Mio-Pliocène et de la nappe du Sénonien nous ont été fournis par l'ANRH (2015), couvrant le long de notre zone d'étude, leur emplacement sont indiqués sur la carte ci-dessous (Figure IV.1).

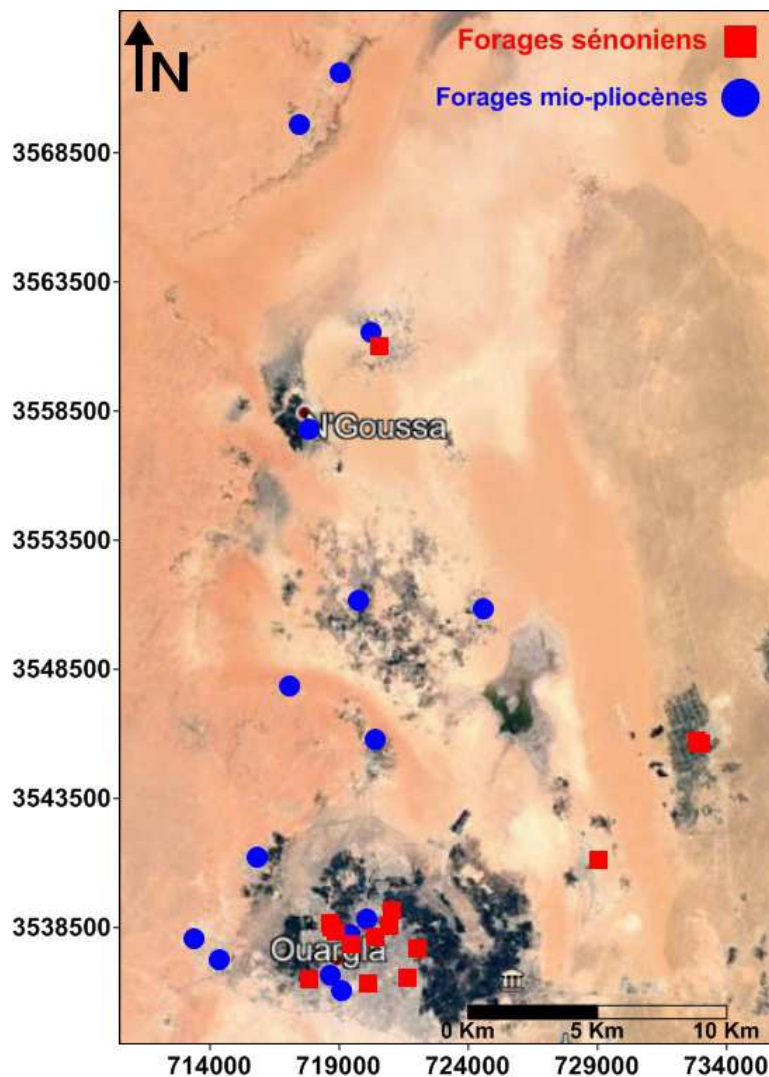


Fig IV.1 : Carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau

IV.3- Traitement des données d'analyse physico-chimique des eaux de CT

IV.3.1- Statistica V.10

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 l'écart type. Une méthode de classification hiérarchique ascendante (CHA), 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 V5.8

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 V.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 les aquifères du Mio-Pliocène et du Sénonien de la cuvette de Ouargla, nous avons repéré dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région. Des inventaires d'analyses fournis par l'ANRH ont été exploités et ont porté sur un certain nombre de paramètres physicochimiques. Des programmes informatiques ont été utilisés pour représenter graphiquement les paramètres sus indiqués et en tirer des renseignements particuliers.

Chapitre V

V.1- Introduction

Dans le présent chapitre notre intérêt se focalise sur l'interprétation des résultats obtenus en utilisant des approches diverses ; modélisation statistique et graphique afin de mettre en évidence la corrélation entre la composition chimique des eaux et la lithologie de ces formations.

Selon les études antérieures (Guendouz et al, 2003 ; Bouchahem et al, 2008 ; Nezli, 2009) 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 de Ouargla est de l'ordre de 20,5° à 28,6° 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 ($\text{pH} < 8,3$), 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...). En effet, les eaux lors de leur écoulement, à partir des zones d'alimentation, vers l'exutoire, se chargent, de plus en plus, par les éléments : Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+} , et acquièrent, par conséquent, un faciès anionique, exclusivement, chloruré et/ou sulfaté. (Houari, 2012).

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

Des concentrations, relativement, élevées en nitrates (35 mg.l^{-1} , en moyenne), attestent l'enrichissement par l'azote végétal à partir des zones de recharge, et indiquent, que les conditions aérobies sont maintenues.

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 chaque nappe : (Mp1, Mp2, Mp3 ... etc.) pour la nappe du Mio-pliocène, (S1, S2, S3 ... etc.) pour la nappe du sénonien.

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 la zone d'étude.

Tableau V.1 : Variations du pH.

Mio-pliocène	Moyenne	7.76
	Max	7.88
	Min	7.6
	Ecart-type	0.08

Sénonien	Moyenne	7.77
	Max	7.88
	Min	7.66
	Ecart-type	0.064

V.2.2- La conductivité électrique CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)

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 $\mu\text{S.Cm}^{-1}$.

Les conductivités (Tableau V.2) des eaux dépassent les normes ($>1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$) de potabilité de l'OMS (normes mises à jour en 2006), voir supérieure à $4000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ pour la nappe du Mio-pliocène et du Sénonien, voir une moyenne supérieure à $3000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ pour les deux nappes.

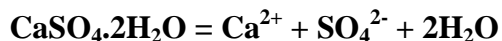
Tableau V.2 : Variations des conductivités électriques.

Mio-Pliocène	Moyenne	3578.29
	Max	4734.6
	Min	2583.6
	Ecart-type	669.63

Sénonien	Moyenne	3431.9
	Max	4919.8
	Min	2741.6
	Ecart-type	665.97

V.2.3- Les sulfates SO_4^{2-} (mg/l)

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



Les concentrations des sulfates observées (Tableau V.3) dépassent les normes (500 mg/l), elles atteignent des concentrations fortes (1450 mg/l pour Mio-pliocene , 1781.25 mg/l pour Sénonien) .

Tableau V.3 : Variations des concentrations des sulfates.

Mio-Pliocène	Moyenne	993.33
	Max	1450
	Min	687.5
	Ecart-type	194.79

Sénonien	Moyenne	980.86
	Max	1781.25
	Min	775
	Ecart-type	245.02

V.2.4- Les chlorures Cl^- (mg/l)

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



Cet élément présente des concentrations très élevées (> 1200 mg/l pour les deux nappes), (Tableau V.4).

Tableau V.4 : Variations des concentrations des chlorures.

Mio-Pliocène	Moyenne	726.58
	Max	1210
	Min	405
	Ecart-type	256.82

Sénonien	Moyenne	645.78
	Max	1325
	Min	435
	Ecart-type	231.04

V.2.5- 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 du CT de la région du Ouargla présentent des teneurs inférieures à les normes de potabilité (300 mg/l), voir une moyenne de 97.80 mg/l pour Mio-pliocène et de 89.5 pour Sénonien.

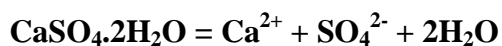
Tableau V.5 : Variations des concentrations des bicarbonates.

Mio-Pliocène	Moyenne	97.80
	Max	132
	Min	61
	Ecart-type	18.44

Sénonien	Moyenne	89.50
	Max	146
	Min	10
	Ecart-type	36.96

V.2.6- Le calcium Ca^{2+} (mg/l)

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 :



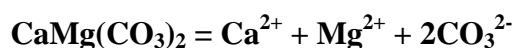
Les eaux (Tableau V.6) présentent des teneurs supérieures à 200 mg/l. voir des teneurs extrêmes (> 300 mg/l) pour le eux cas.

Tableau V.6: Variations des concentrations du calcium.

Mio-Pliocène	Moyenne	165	Sénonien	Moyenne	160
	Max	345		Max	361.70
	Min	255.70		Min	231.64
	Ecart-type	61.28		Ecart-type	65.02

V.2.7- Le magnésium Mg^{2+} (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.7), sont proches des valeurs naturelles.

Tableau V.7 : Variations des concentrations du magnésium.

Mio-Pliocène	Moyenne	99.83	Sénonien	Moyenne	37
	Max	197.11		Max	192
	Min	136.90		Min	116.15
	Ecart-type	30.50		Ecart-type	37.31

V.2.8- 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 600mg/l pour les deux nappes.

Tableau V.8 : Variations des concentrations du sodium.

Mio-Piocène	Moyenne	261.3	Sénomien	Moyenne	265
	Max	680		Max	705
	Min	431.39		Min	424.34
	Ecart-type	117.58		Ecart-type	131.66

V.2.9- 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.9) dévoilent des valeurs relativement élevées, en dépassant les normes (12 mg/l), mais contrairement aux autres éléments.

Tableau V.9: Variations des concentrations du potassium.

Mio-Piocène	Moyenne	13	Sénomien	Moyenne	16
	Max	37.5		Max	37.50
	Min	21.35		Min	20.51
	Ecart-type	7.67		Ecart-type	6.50

V.3- 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.1 et V.2), le faciès chimique des eaux du Mio-Pliocène et Sénonien de notre région d'étude montre la présence de deux familles :

La première est celle caractérisée par le faciès sulfaté sodique, calcique ou magnésien.

La deuxième est celle caractérisée par le faciès chloruré sodique, calcique ou magnésien.

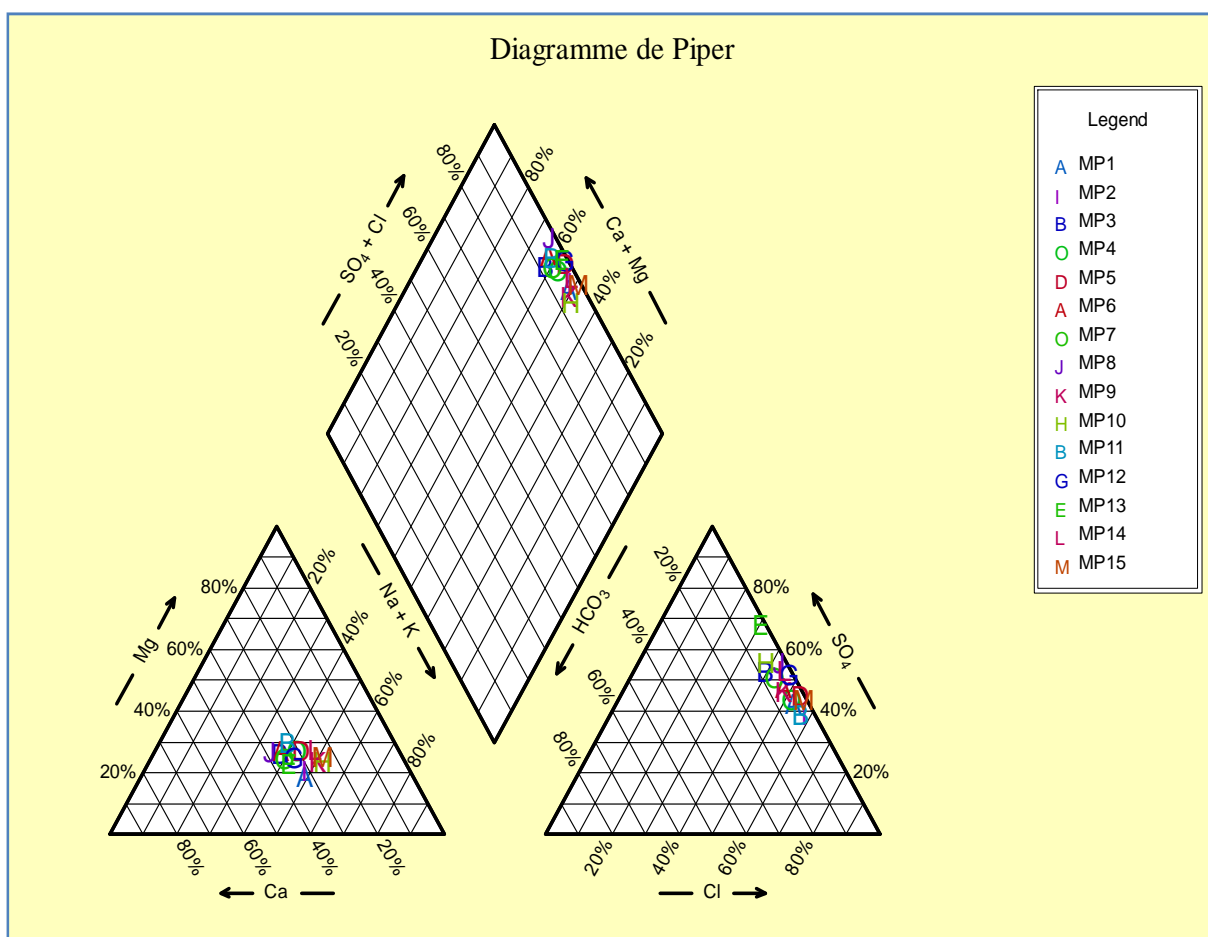


Fig V.1 : Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de la région d'Ouargla

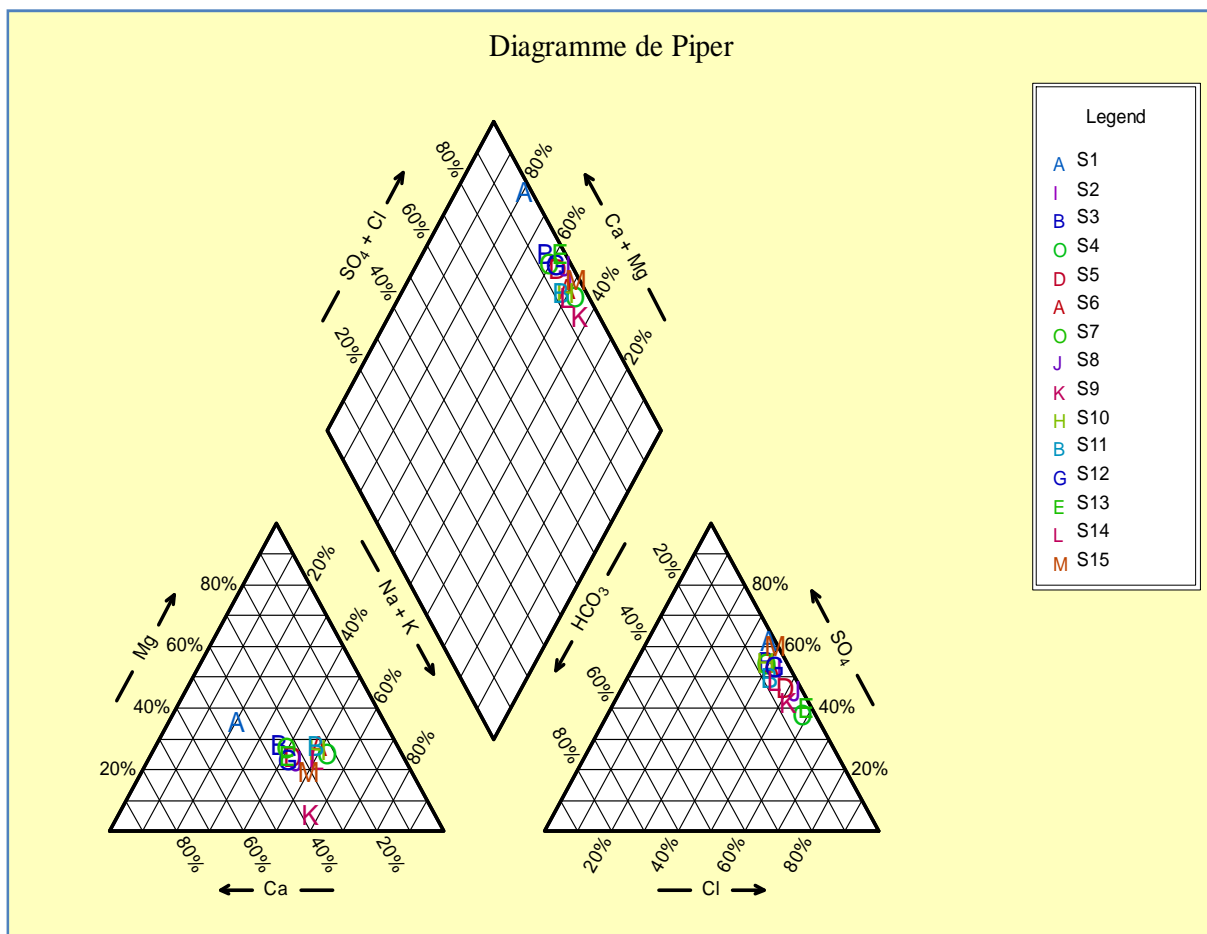


Fig V.2 : Faciès chimiques des eaux du Sénonien de la région d'Ouargla

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 : r : est la quantité en réaction de l'ion considéré en meq.l^{-1} ; c : la concentration totale.

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 $r\text{Na}^+ / r\text{Ca}^{2+}$ 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.

Le rapport $r\text{SO}_4 / r\text{Cl}$ (Figure V.3, Figure V.4, Figure V.5, Figure V.6, Figure V.7 et Figure V.8) 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 $r\text{Na} / r\text{Ca}$ (Figure V.3 et V.4) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en sodium, ou inférieur à 1, indique un enrichissement en calcium. Ce qui traduit l'influence de la matrice gypse avec $r = 0.72$ (Figure V.9) $r = 0.73$ (Figure V.10) sur la matrice halite, où $r = 0.85$ (Figure V.11) $r = 0.88$ (Figure V.12) Cependant, le rapport $r\text{Na} / r\text{Ca}$ est, également, supérieur à 1, dans la plupart des cas, indiquant l'influence de la matrice halite sur la matrice calcaire. Mais en observent toujours des faciès à dominance calcique (Figure V.3), c'est le cas des forages, Mp8 qui peut être expliqué par la dissolution de la matrice gypse CaSO_4 .

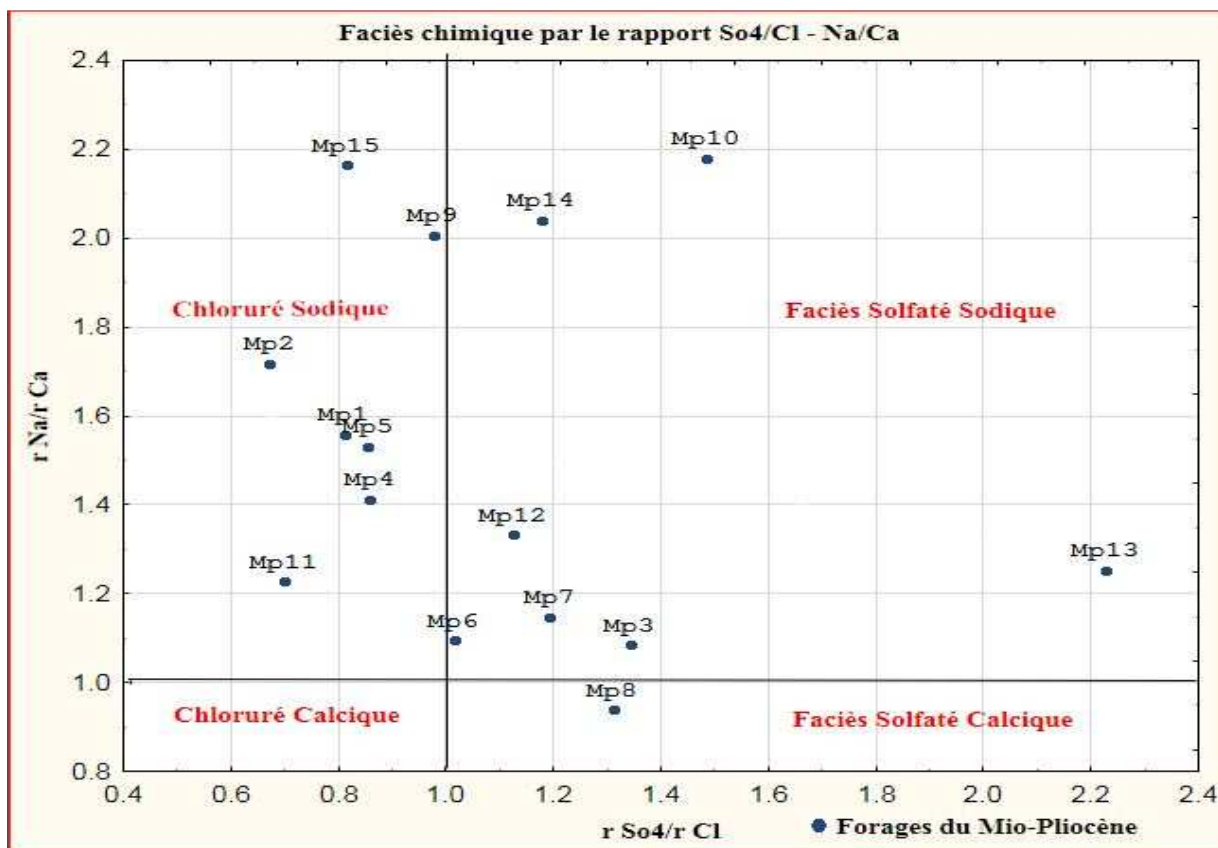


Fig V.3 : La relation Na/Ca vs SO_4 / Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

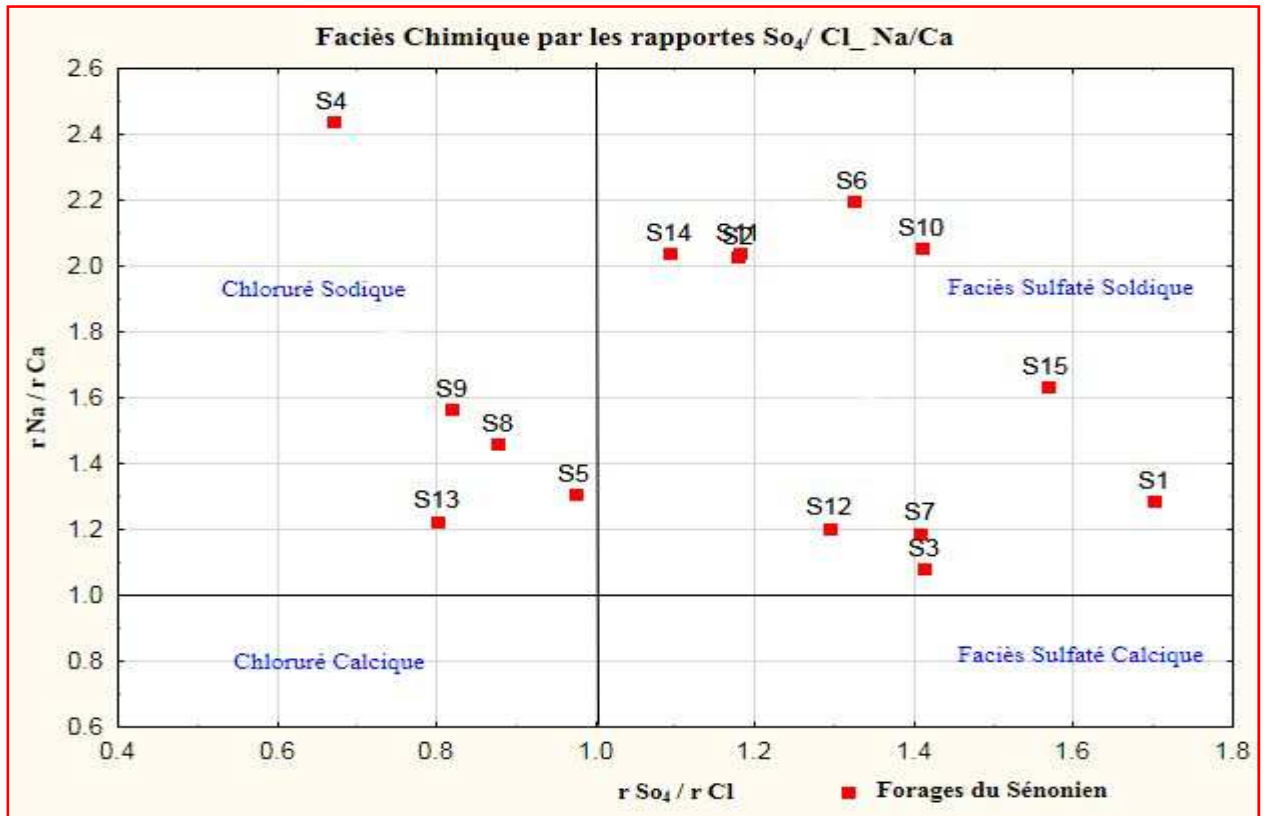


Fig V.4 : La relation Na/Ca vs SO_4/Cl (Nappe de Sénonien)

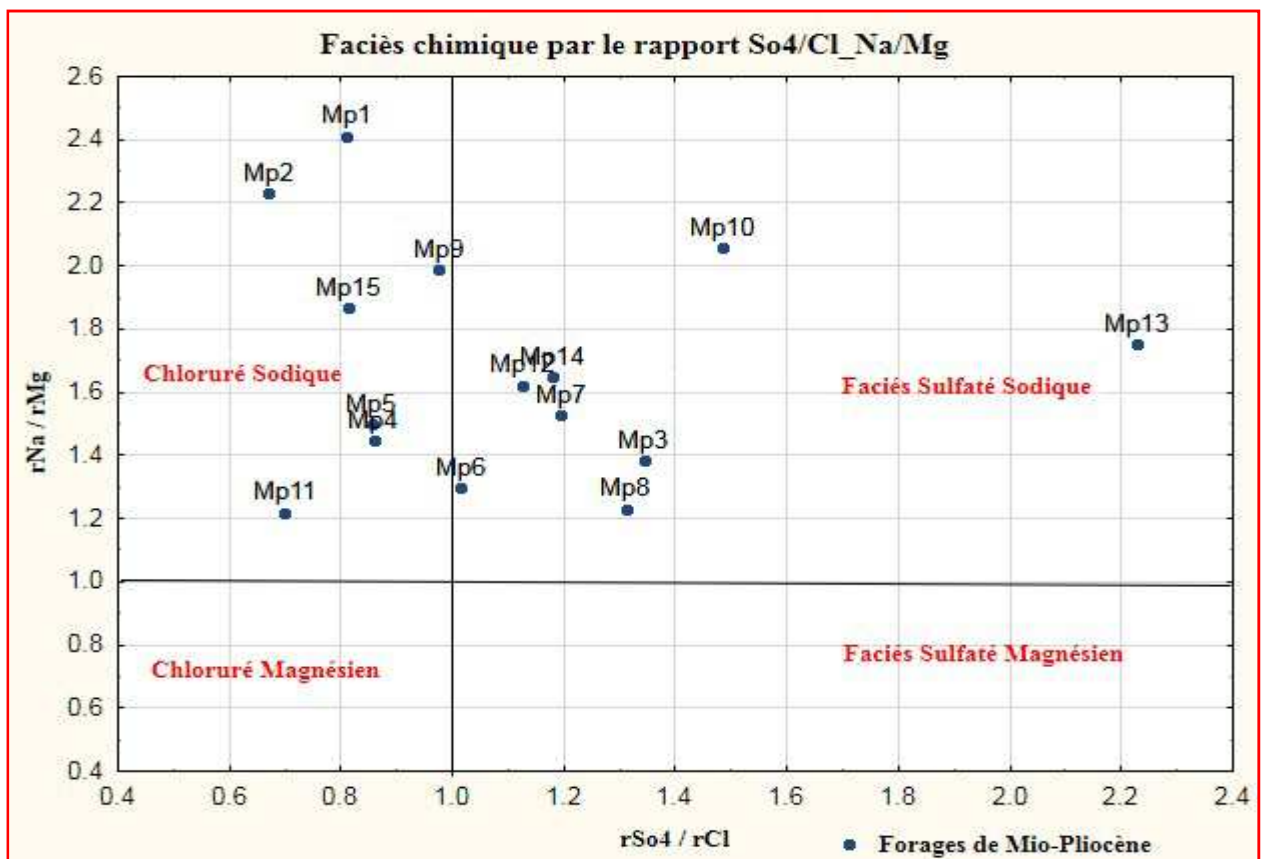


Fig V.5 : La relation Na/Mg vs SO_4/Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

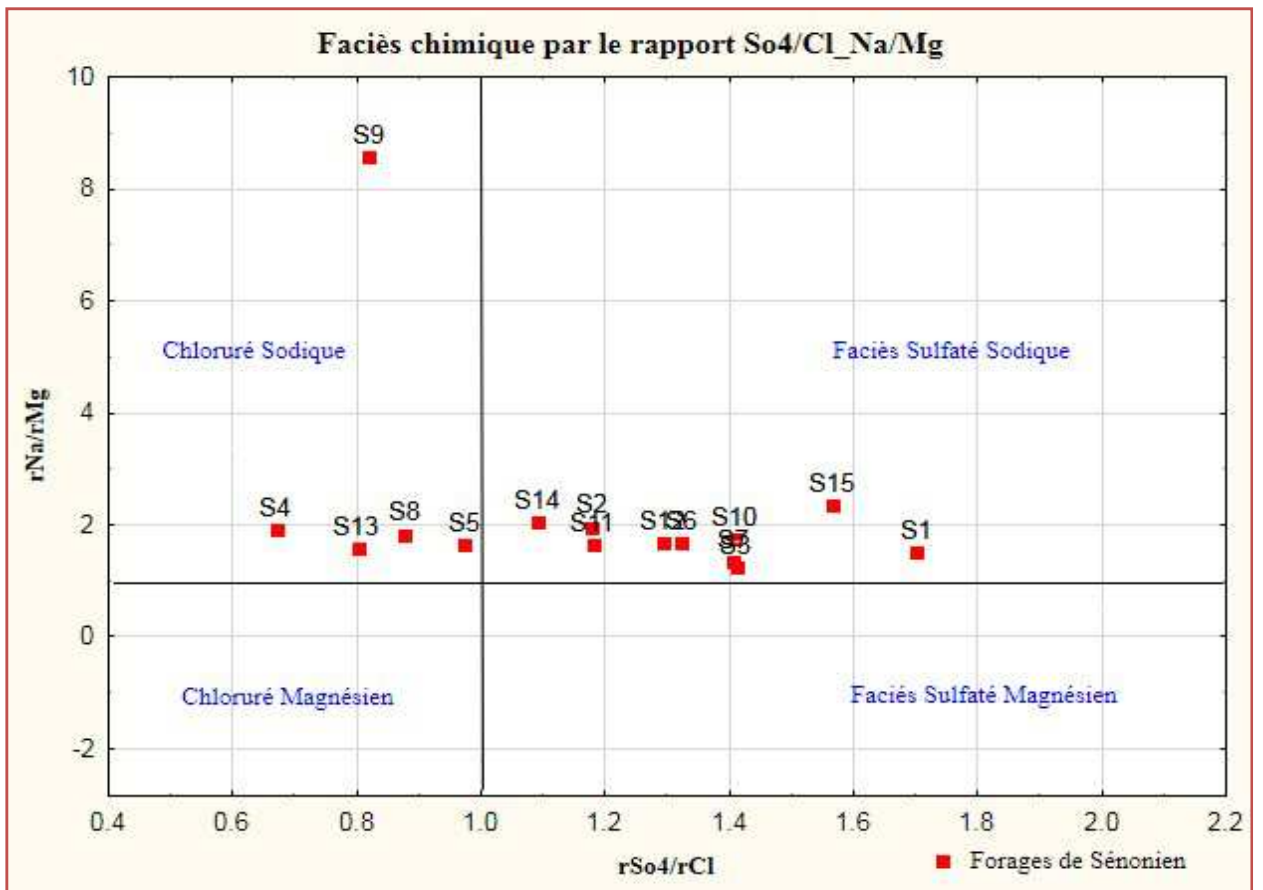


Fig V.6 : La relation Na/Mg vs SO₄/ Cl(Nappe de Sénonien)

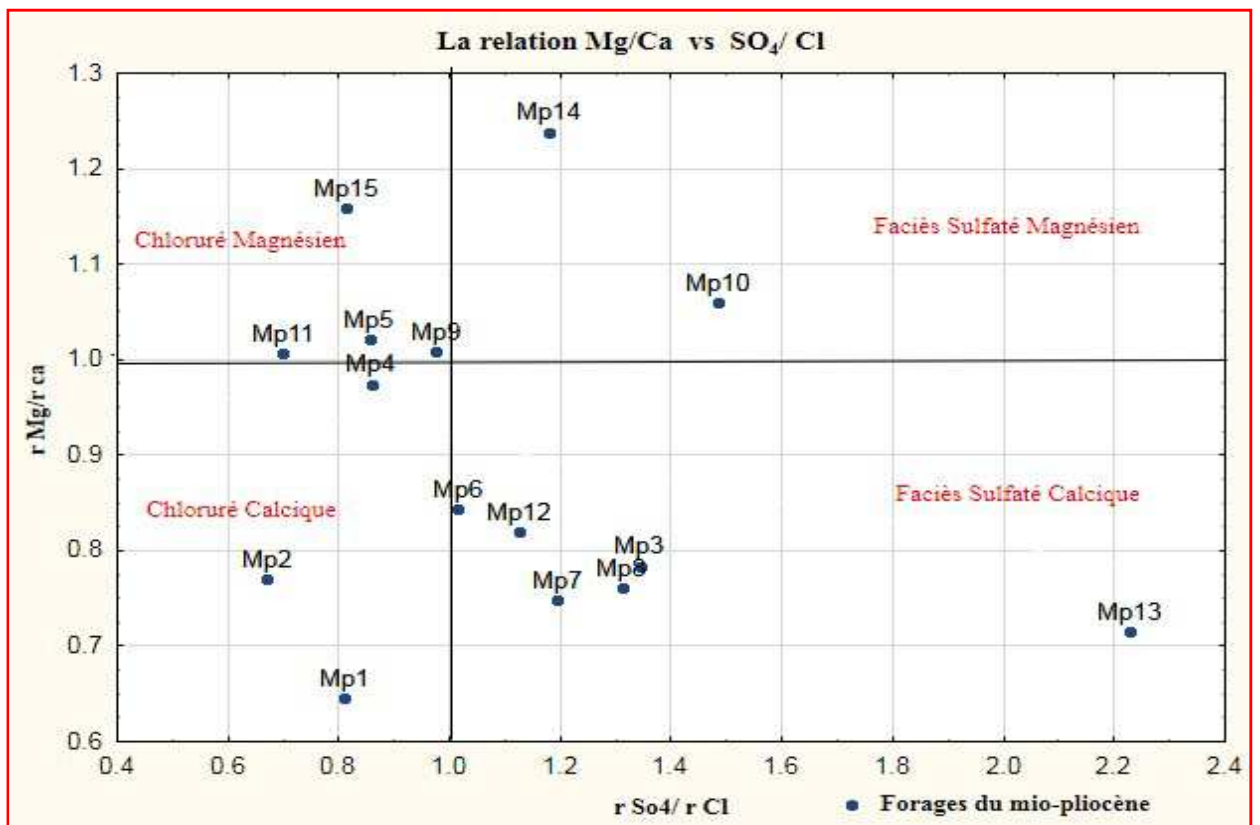


Fig V.7 : La relation Mg/Ca vs SO₄/ Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

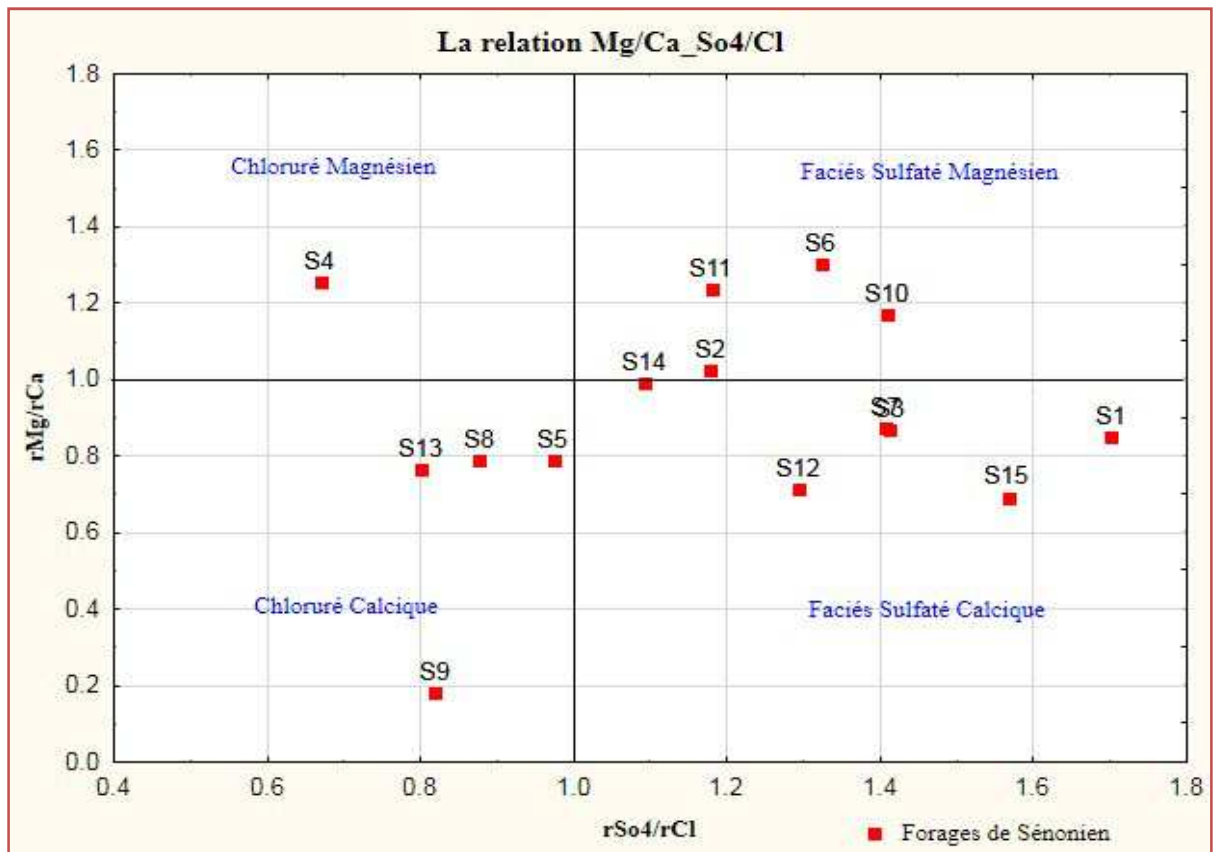


Fig V.8 : La relation Mg/Ca vs SO₄/ Cl (Nappe de Sénonien)

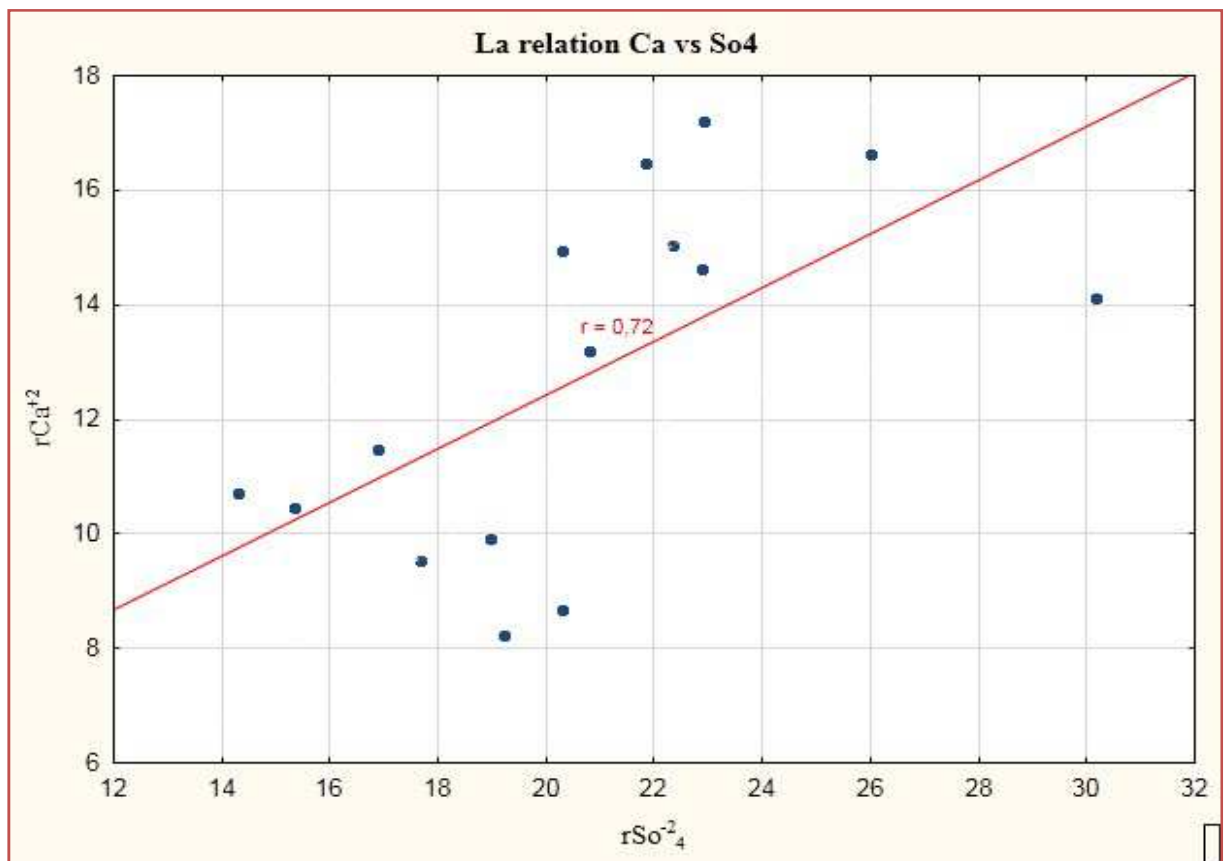


Fig V.9 : La relation Ca vs SO₄ (Nappe de Mio-Pliocène)

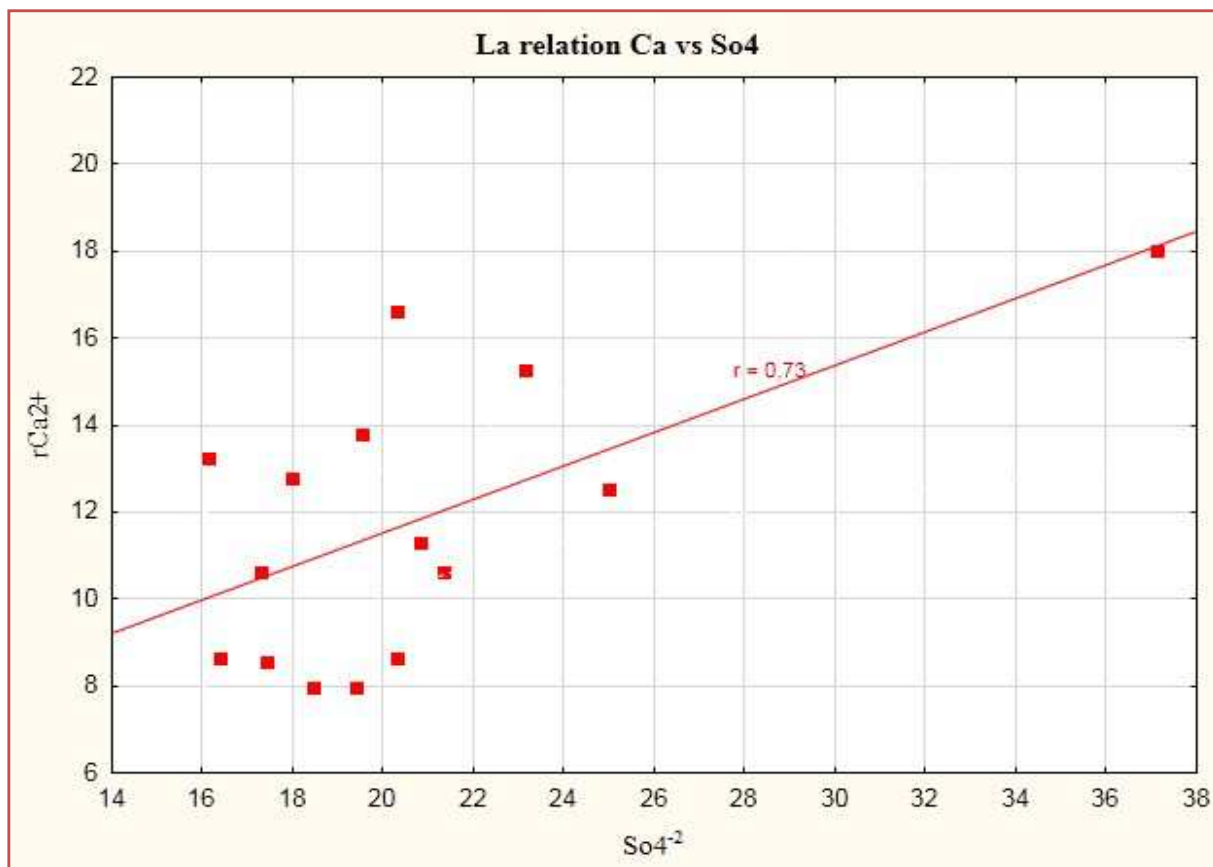


Fig V.10 : La relation Ca vs SO_4 (Nappe de Sénonien)

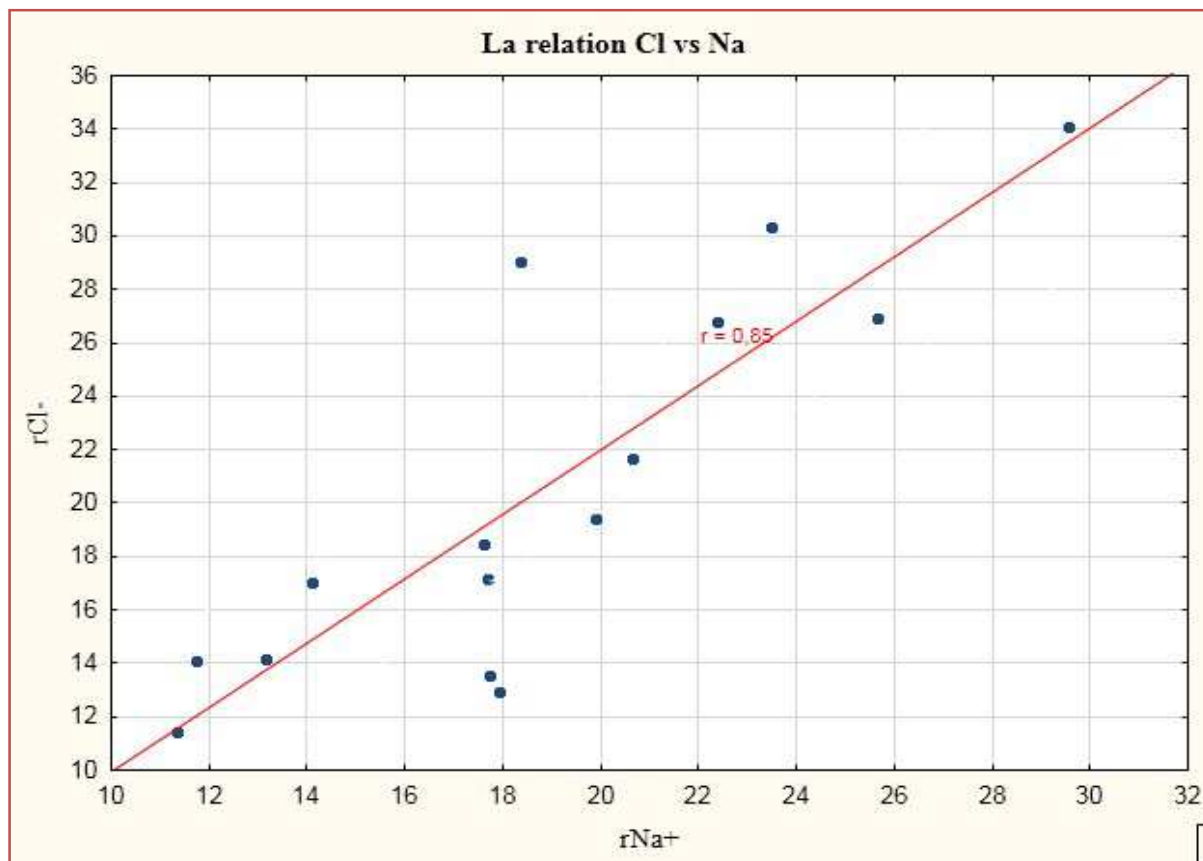


Fig V.11 : La relation Cl vs Na (Nappe de Mio-Pliocène)

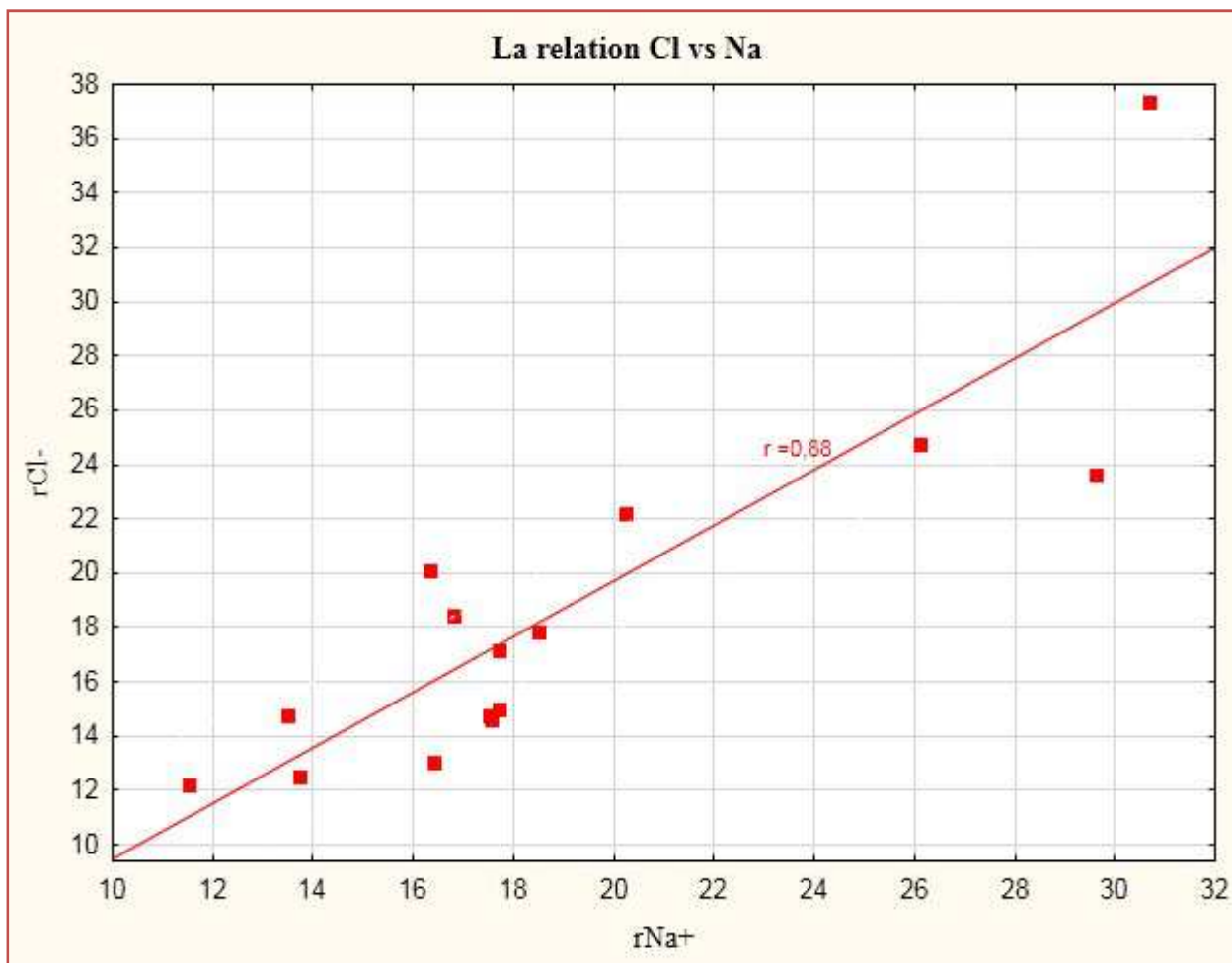


Fig V.12 : La relation Cl vs Na (Nappe de Sénonien)

V.4- Origine des éléments chimiques

V.4-1-Origine des chlorures et du sodium

Le graphique (Figure V.11, V.12) montre un alignement des points. Le sodium et les chlorures doivent avoir la même origine, en l'occurrence, la dissolution de l'halite. Cette dernière reste le sel principal qui génère le sodium et les chlorures dans les eaux étudiées.

V.4. 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 CO_2 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 figure (Figure V.15, V.16) 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.

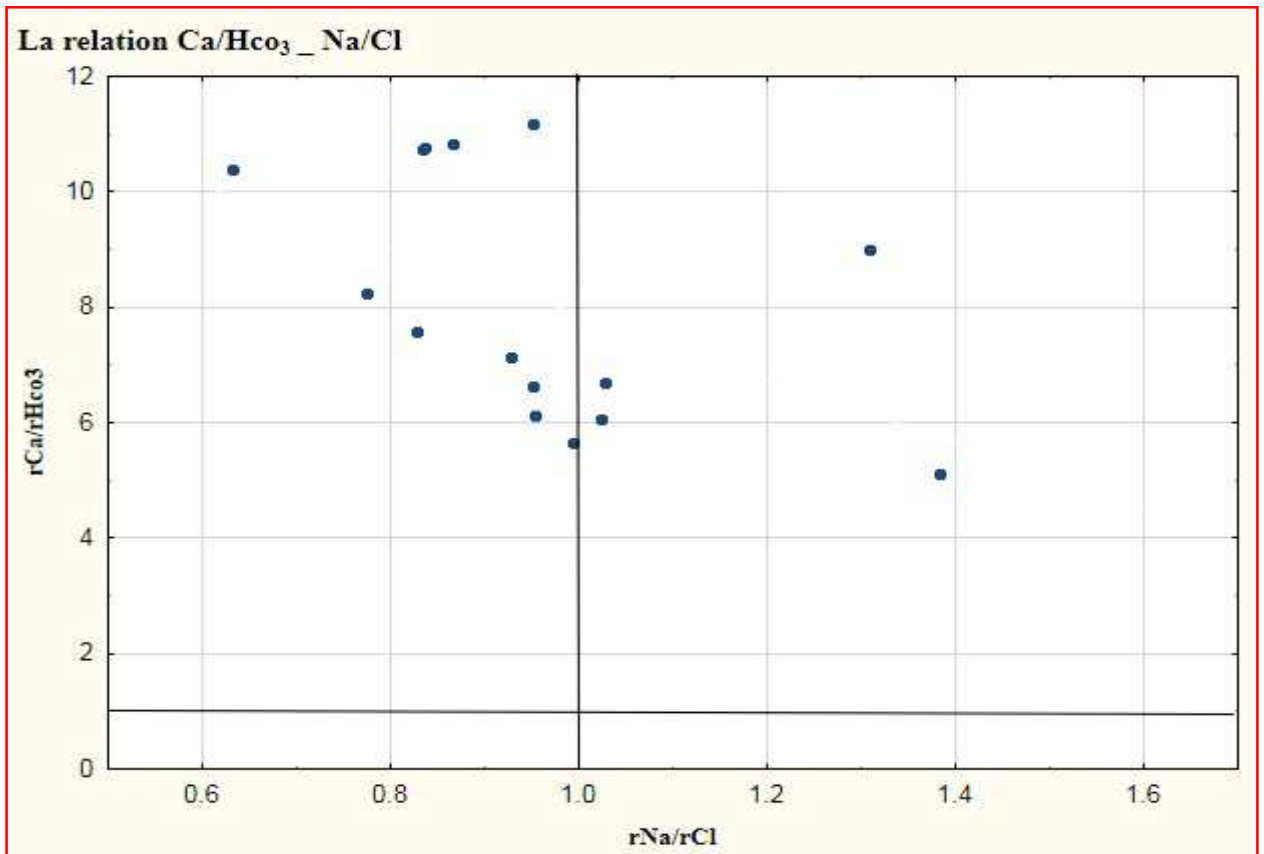


Fig V.13 : La relation Ca/HCO_3 vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

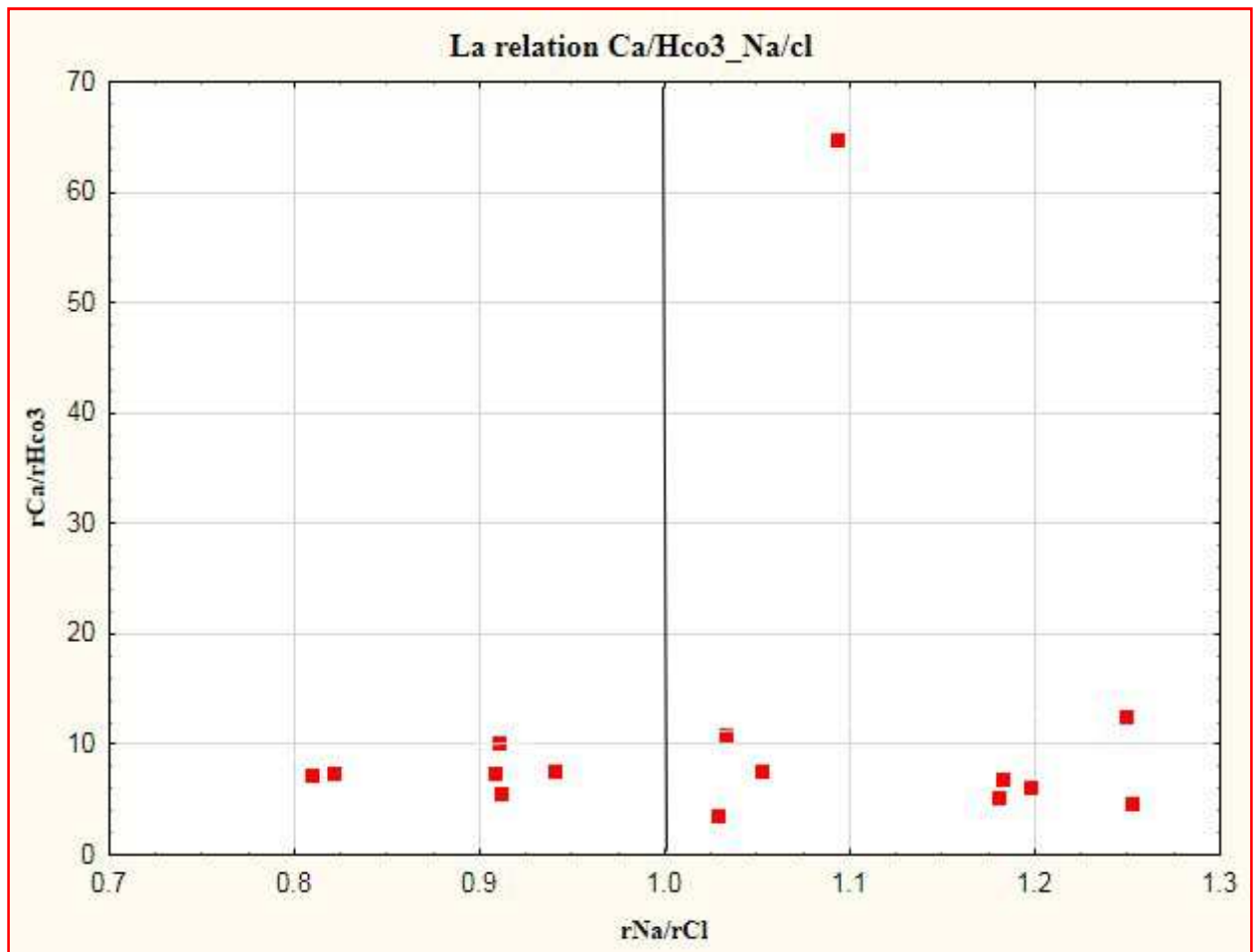


Fig V.14 : La relation Ca/HCO₃ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien)

Dans la figure (Figure V.17, Figure V.18) et contrairement à la précédente, il semble que les ions calcium présents dans les eaux évoluent avec les sulfates. Ce qui confirme que les bicarbonates n'influence pas le chimisme des eaux étudiées. Les sources génératrices de HCO₃ sont très faibles ou que les sels des bicarbonates sont sursaturés et se trouvent en phase solide.

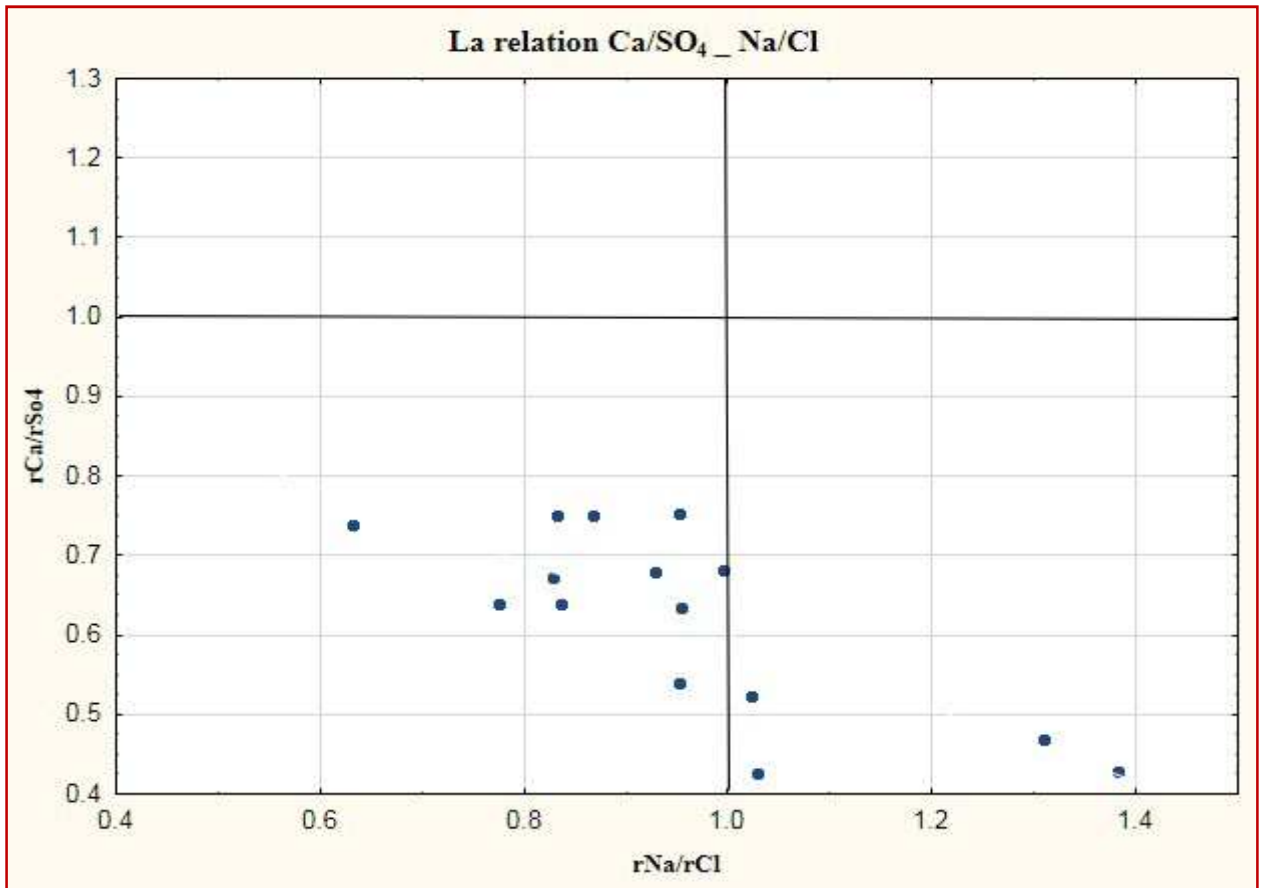


Fig V.15 : La relation Ca/SO₄ vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

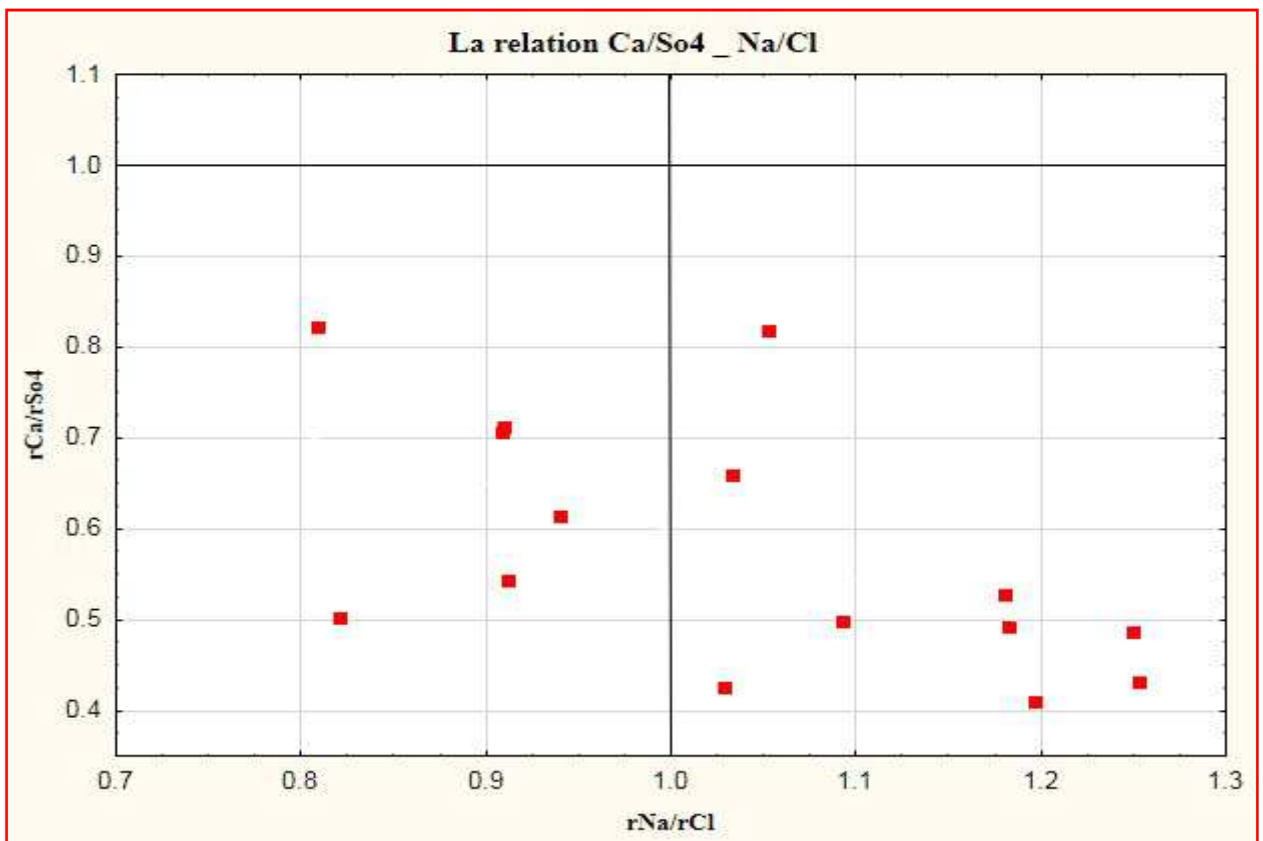


Fig V.16 : La relation Ca/SO₄ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien)

Le diagramme (Figures V.19 et V.20) 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/SO_4 vs Na/Cl (Figures V.21 et V.22), le magnésium évolue mieux avec les sulfates plutôt qu'avec les bicarbonates. Son origine est plus reliée aux formations évaporitiques.

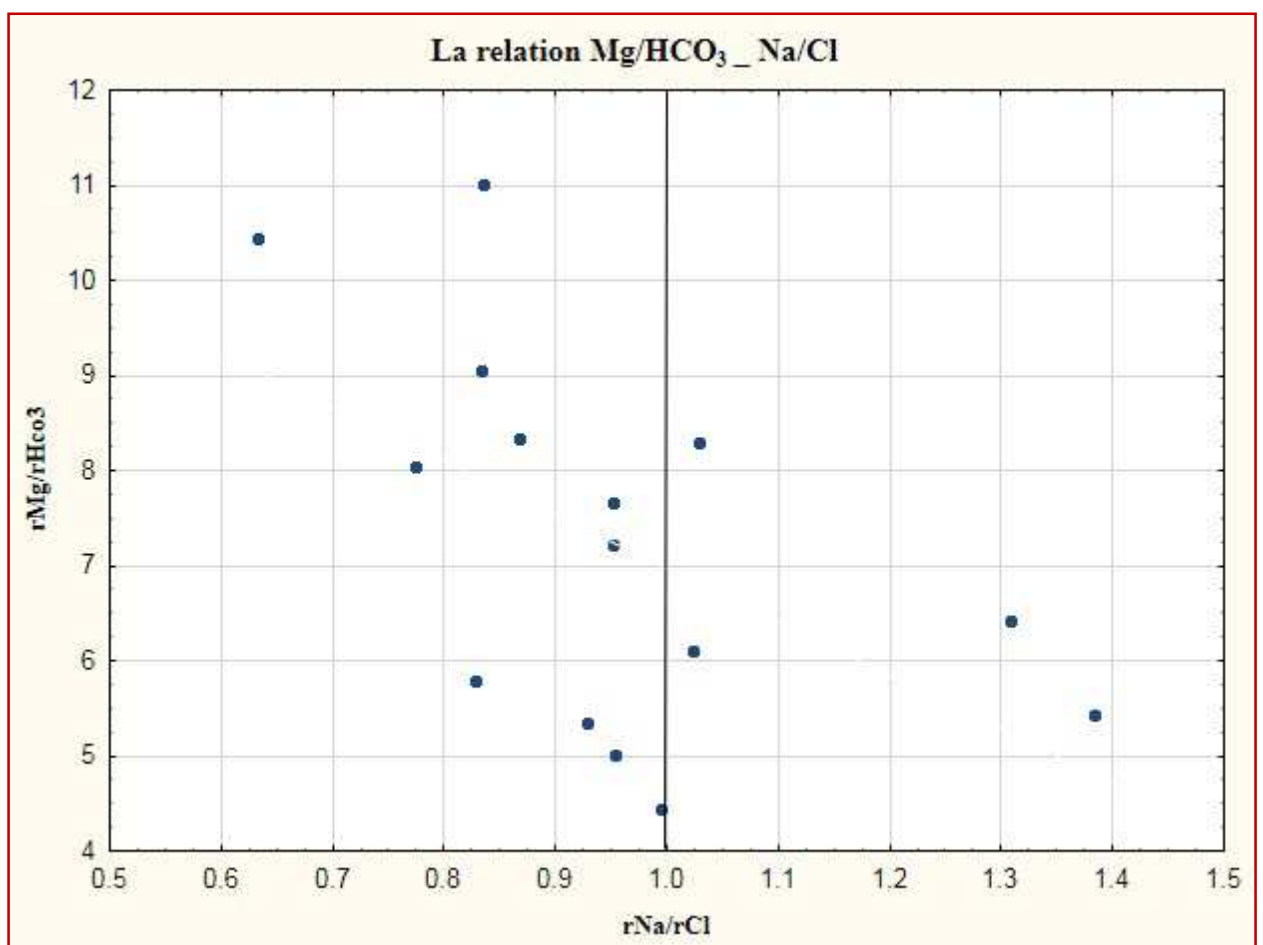


Fig V.17 : La relation Mg/HCO_3 vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

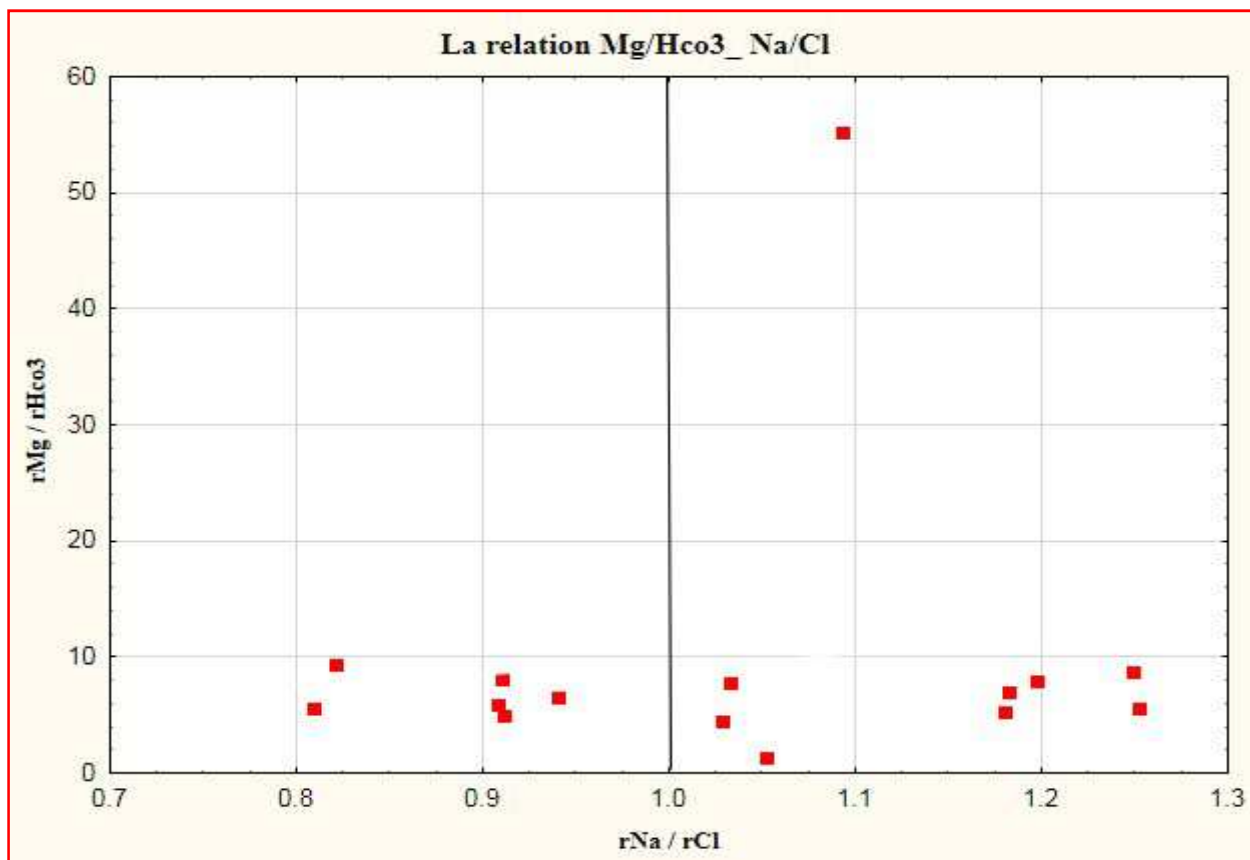


Fig V.18 : La relation Mg/HCO₃ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien)

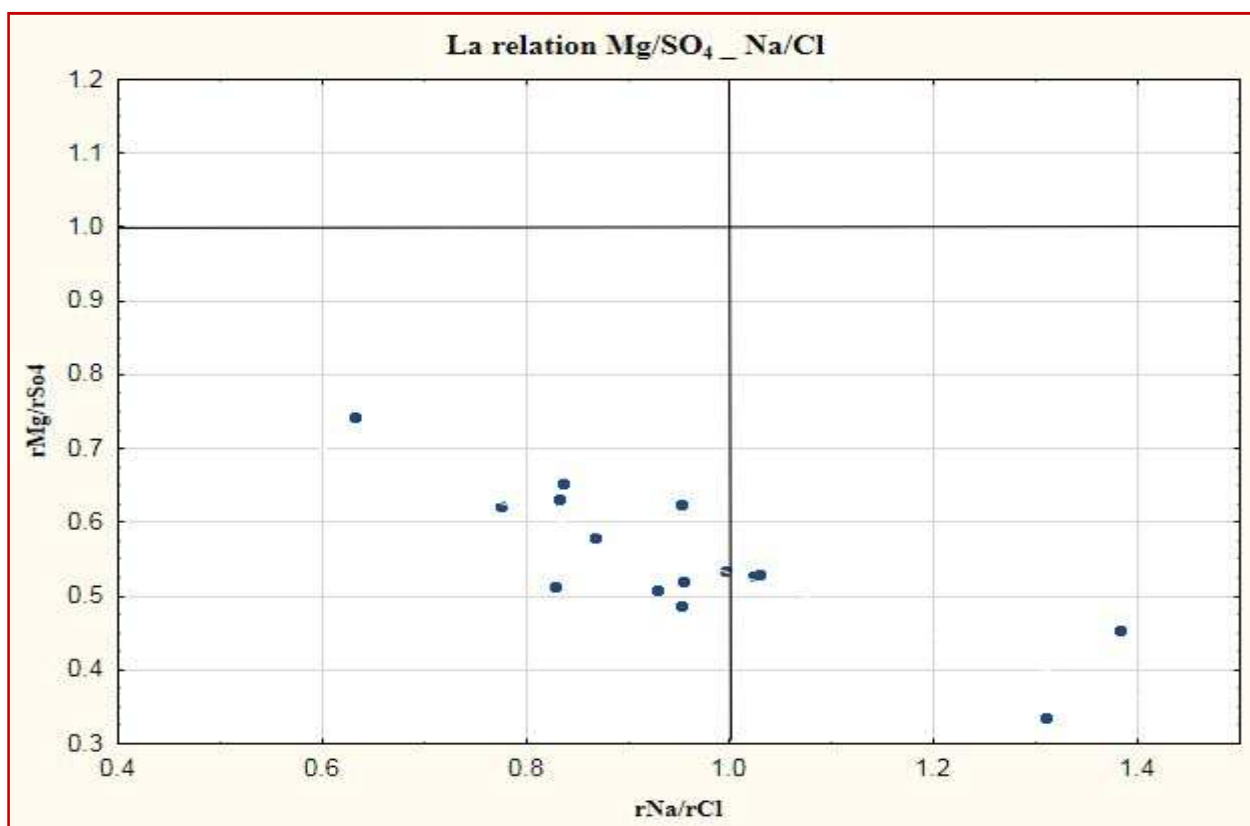


Fig V.19 : La relation Mg/SO₄ vs Na/Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

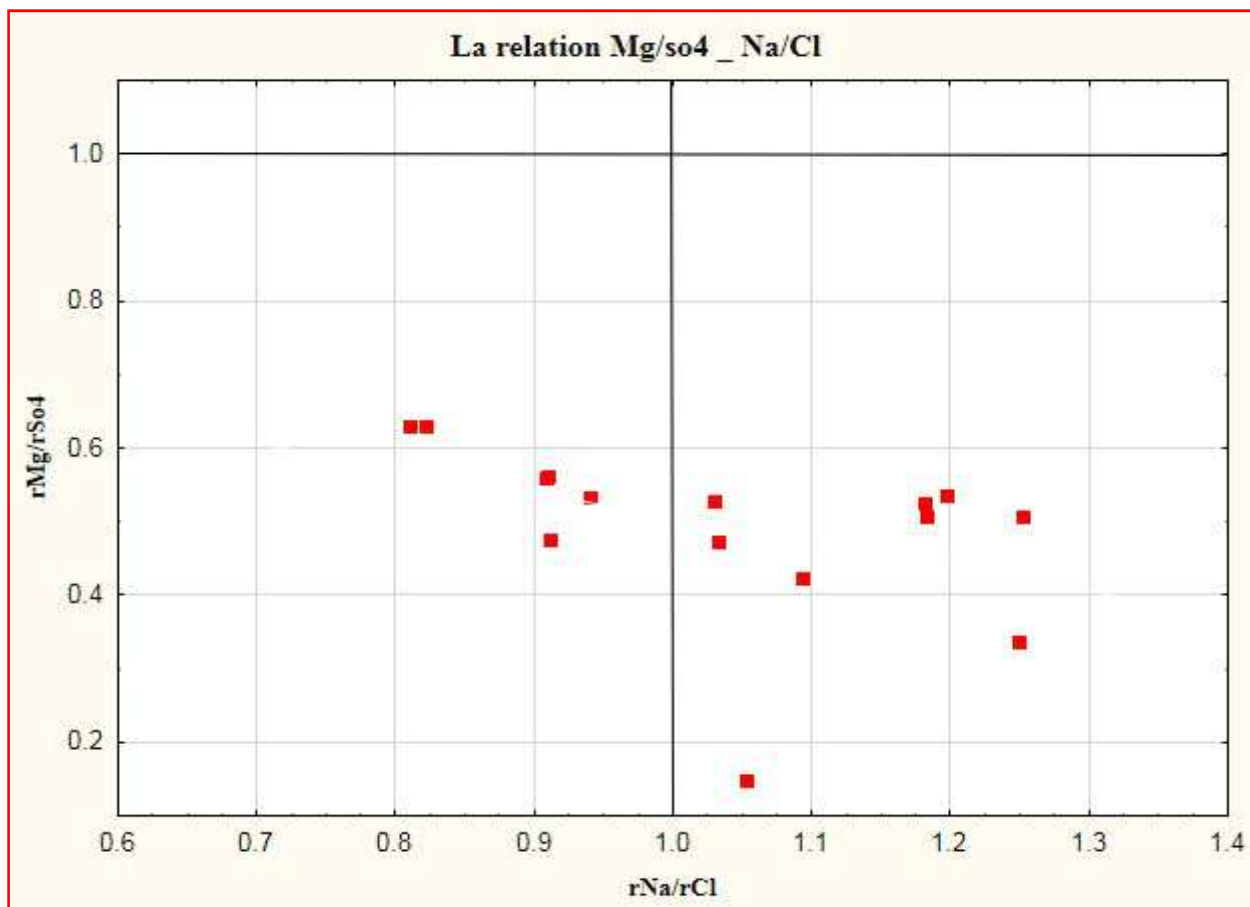


Fig V.20 : La relation Mg/SO₄ vs Na/Cl (Nappe de Sénonien)

V.4.3- Origine du potassium et des bicarbonates

Les valeurs de potassium dans les eaux étudiées n'évoluent pas, 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.

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.5- Conclusion

Les eaux du Complexe Terminal (Mio-Pliocène et sénonien) sont en contact avec une lithologie riche en évaporites en amont, et en argiles en aval révèlent une minéralisation excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées, oscillant dans la plupart des cas, entre 3431.9 et 4919.8 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,

En effet, les concentrations en sodium, en chlorure, en calcium et en sulfate sont bien

corrélées (Ca vs SO₄ : r = 0,72 et 0.73), (Na vs Cl : r = 0,85 et 0.88).

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

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 40 °C) et des précipitations faibles, inférieures à l'évaporation potentielle annuelle, mais peuvent contribuer quand même à une certaine recharge des nappes lorsque certaines conditions s'y prêtent : climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables). Cependant, ces précipitations demeurent négligeables par rapport à l'exploitation excessive des nappes souterraines. Du fait de la rareté de ces précipitations, l'écoulement des Oueds de la région reste irrégulier. La topographie est relativement plane, le paysage général se manifeste par des dunes de sable, des regs, des hamadas et des chotts et sebkhas.

Du point de vue géologique, notre région est composée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé des roches éruptives et métamorphiques, surmonté par des milliers de mètres de couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire, géostructuralement, le Mio-Pliocène n'est pas affecté par des accidents tectoniques à l'instar du reste de la série sédimentaire sous-jacente du Sahara septentrional, la lithologie 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.

Le faciès chimique des eaux de la nappe du Complexe Terminal au niveau de notre zone d'étude (Ouargla) est chloruré ou sulfaté, indiquant l'influence de la matrice halite et la matrice gypse.

Les eaux de la nappe du CT de notre zone d'étude sont en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une forte minéralisation exprimées par des valeurs de conductivité électrique très élevées (4919.8 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), et les concentrations en éléments chimiques dépassent les normes de l'OMS.

*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.

BELLAOUEUR.A.(2008) : étude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara nord-est septentrional - Algérie) .mémoire de majester , université de Batna.,147p.

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

BG (2004) : Projet de protection de la cuvette d’Ouargla contre la remontée des eaux, études de reconnaissance et rapports internes.

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. (1970) : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

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.

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

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) : Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogeology Journal (2003).

HOUARI I M. et SALMI M. (2009) : Reconnaissance géologique des formations aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Région de Ouargla), mémoire d’ingénieur, université de Ouargla, 81p.

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 majester , université d’ Ouargla.,88p.

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

MISSION V: qualité des eaux final1, 2006.

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.

ONM (2015) : Bulletin climatologique de la station d'Ouargla. Service archives. Ouargla, Algérie.

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.

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).

Etude Hydrochimique Des Eaux De La Nappe Du Complexe Terminal De La Cuvette D'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 est une étude hydrochimique des eaux de la nappe des sables (Mio-Pliocène) et la nappe des calcaires du sénonien du Complexe Terminal dans la région d'Ouargla, par l'étude de la composition chimique des eaux par rapport 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: Ouargla, hydrochimé, Complex terminal, Mio-Pliocène, Sénonien, évaporites.

دراسة هيدروكيميائية لمياه طبقة المركب النهائي في منطقة ورقلة

ملخص: تتمثل مخزونات المياه الجوفية على مستوى الصحراء الشمالية في نظامين طبقيين متراكبين: المتداخل القاري والمركب النهائي. تعرف مياه هاذين النظامين برداءة نوعيتها الكيميائية والتي تتميز بتراكيز معدنية عالية وقساوة كبيرة. يهدف هذا العمل إلى دراسة هيدروكيميائية لمياه طبقتي الميوليبوسان والسينونيان المنتميتين لنظام مياه المركب النهائي في منطقة ورقلة، وذلك بدراسة طبيعة التركيبة الكيميائية للمياه مقارنة بالطبيعة الليتولوجية للصخور التي تحتويها. النتائج المحصل عليها تبين بأن ذوبان الفلزات التبخرية هو المتحكم الرئيسي في التركيبة الكيميائية للمياه من خلال منحها تراكيب عالية تتجلى من خلال التراكيز العالية للسلفات، الكلورير والصوديوم.

الكلمات الدالة: ورقلة، دراسة هيدروكيميائية، المركب النهائي، ميوليبوسان، سينونيان، متبخرات

Hydrochemical study of waters of the complex terminal groundwater in Ouargla

Abstract: The groundwater resources in the Northern Sahara are represented by two superimposed major aquifer systems: the Continental Intercalaire (CI) and the Complex Terminal (CT). The waters of those aquifers pose serious physical and chemical quality problems; they are highly mineralized and very hard. The present work aims to describe the water's by hydrochemical study of groundwater (Mio-Pliocene and senonien) of the Complex Terminal, by the study of water's chemical composition compared to the lithology of aquifer formations through. The results obtained show that the water's chemistry is essentially governed by the dissolution of evaporate formations which gives to waters an excessive mineralization expressed by high concentrations of sulfates, chlorides and sodium.

Key words: Ouargla, hydrochemical study, Terminal complex, Mio-Pliocene, Senonien , Evaporates.