

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 hydrogéochimique comparative entre les eaux de la nappe du
Moi-Pliocène et celle du Sénonien dans la cuvette de Ouargla*

Présenté par

**BENNAHIA ABDERRAHMANE
BOULFOUL ABD ESLAM
GASMI BOUBAKEUR**

Soutenu publiquement

Devant le jury :

Président :	GUERRADI Houcine	M.A.A	Univ. Ouargla
Promoteur :	HOUARI Idir Menad	M.C.B	Univ. Ouargla
Examineur :	BOUSELSAL Boualem	M.C.A	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2020/2021



Dédicaces

*Je dédie cet humble travail
Qui m'a appris l'abnégation et la détermination et
L'esprit de sacrifice pour ma chère mère
Pour ceux qui m'ont inculqué le sens de la raison et de la connaissance
Fabrication,
A mon cher père.*

Toute la famille Bennahia, petits et grands

A tous mes collègues : Tout le monde par nom


*A mes amis Mahmoud, Boubaker, Qussy, Al-Hafid, Miftah, Nabil,
Abdel Latif, Ahmed.*

*A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin
A tous ceux que j'aime et qui m'aime.*

A mon Mon encadreur : Mr Houari IdirMenad

Mes camarades des promotions de fin de Cycle Hydrogéologie

Abderrahmane





Dédicaces

Je dédie ce modeste mémoire à :

Les êtres les plus chers du monde, ma mère Zakia et mon père Abd Elhak

Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu.

Mon frère : Fouad.

Mes sœurs : Fatima, Ilham, Chaima

Toute la famille Boulfoul

Mes amis : Rachid, Nasro, Nassar, Tarak, Abdou, Adel, Mustapha, Hamza

Mon encadreur : Mr Houari IdirMenad

Mes camarades des promotions de fin de Cycle Hydrogéologie

Abd Eslam



Dédicaces

Je dédie cet humble travail.

A mes chers parents qui m'ont permis d'atteindre ce niveau grâce à leurs conseils, leur affection et leurs encouragements, et à

Mes frères et sœurs.

Pour toute la famille Gasimi


A mes chers professeurs qui m'ont guidé et conseillé dans ma progression académique, et à mes chers amis : Youssef, Abdo, Al-Hafiz, Nabil, Miftah, Abd al-

Hadi, Jaber. Oussama. Ahmed

A mon Mon encadreur : Mr Houari IdirMenad

Mes camarades des promotions de fin de Cycle Hydrogéologie

Boubaker



Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier mon DIEU, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur Mr :Houari IdirMenadpour m'avoir orienté tout au long de ce travail, pour sa compréhension, sa patience, sa compétence et ces remarques qui m'ont été précieuses.

Aussi, je tiens à remercier le service de l'ANRHde Ouargla et la station de météo qui m'ont beaucoup aidé à réaliser mon travail dans de bonnes conditions.

*Je présente mes chaleureux remerciements aux enseignants du département **de Géologie** pour leurs aides et orientations durant ma formation.*

Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Enfin, je remercie les membres du jury Mr : bouselsal boualem Mr : Guerradi Hocine qui ont acceptés d'évaluer ce travail.

Abderrahmane et Abd eslam et Boubaker

Table des matières

Introduction générale :..... 1

Chapitre I : Généralité

I Introduction :..... 3

I.2 Situation géographique de la région d'étude:..... 3

I.3 Régime Climatique :..... 4

I.4 Réseau hydrographique :..... 4

I.4.1 Oued N'sa et Oued M'zab:..... 4

I.4.2 Oued Mya:..... 5

I.5 Topographie et composition géomorphologique :..... 5

I.5.1 La hamada :..... 6

I.5.2 Glacis :..... 6

I.5.3 Sebkha :..... 6

I.5.4 Chott :..... 6

I.5.5 Grand Erg Oriental :..... 6

I.5.6 Vallée: 6

I.5.7 Plaines :..... 6

I.6 Conclusion :..... 7

Chapitre II : Contexte géologique

II.1 Introduction:..... 8

II.2 Affleurements géologiques :..... 8

II.2.1 géologique régional :..... 8

II.2.1.1 Le Trias :..... 9

II.2.1.2 Le Jurassique :..... 9

II.2.1.3 Crétacé:..... 9

II.2.2 géologique local :..... 13

II.3. Lithostratigraphie :..... 13

II.3.1 Le Barrémien :..... 13

II.3.2 L'Aptien :..... 13

II.3.3 L'Albien:..... 14

II.3.4 Le Vraconien :..... 14

II.3.5 Le Cénomaniens :..... 14

II.3.6 Le Turonien :..... 14

II.3.7	Le Sénonien :.....	14
II.3.8	Le Sénono-Eocène :.....	15
II.3.9	Le Mio-Pliocène :.....	15
II.3.10	Le Quaternaire :.....	15
II.4	Tectonique régionale:.....	17
II.5	Paléogéographie :.....	17
II.6	Conclusion :.....	18

Chapitre III : Contexte hydrogéologie

III.1	Introduction :.....	19
III.2	Contexte hydrogéologique régional :.....	19
III.2.1	Le Continental Intercalaire :.....	19
III.2.1.1	Piézométrie du "CI" :.....	20
III.2.2	Le Complexe Terminal :.....	21
III.2.2.1	Piézométrie du "CT":.....	22
III.3	Cadre hydrogéologique local :.....	23
III.3.1	Les nappes du continental intercalaire :.....	24
a	La nappe de l'Albien:.....	24
III.3.2	Les nappes du complexe terminal :.....	24
a	La nappe du Sénono-Eocène :.....	24
b	La nappe des sables du Mio-Pliocène :.....	24
c	La nappe superficielle ou phréatique :.....	24
III.4	Gestion et exploitation :.....	25
III.4.1	Le Continental Intercalaire :.....	25
III.4.2	Le Complexe Terminal :.....	26
III.5	Conclusion :.....	26

Chapitre IV : Méthodologie de travail

IV.1	Introduction :.....	27
IV.2	Échantillons d'eaux :.....	27
IV.3	Analyses des paramètres physico-chimiques :.....	28
IV.3.1	Dosage gravimétrique des ions sulfates :.....	29
IV.3.2	Émission de flamme :.....	30
IV.3.3	La titrimétrie :.....	31

IV.3.4	Détermination du Chlorure par titrage poten-tiomètrique appareille type Metrohm :.....	31
IV.3.5	Mode opératoire :.....	32
IV.4	Outil informatique :.....	33
IV.4.1	Statistica :.....	33
IV.4.2	Diagramme :.....	33
IV.4.3	Surfer :.....	34
IV.4.4	Phreeqc :.....	34
IV.5	Conclusion:.....	34

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1	Introduction :.....	35
V.2	Résultats d'analyses physico-chimiques :.....	35
V.2.1	Le potentiel hydrogène (pH) :.....	35
V.2.2	La conductivité électrique CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) :.....	35
V.2.3	Les sulfates SO_4^{2-} (mg/l) :.....	36
V.2.4	Les chlorures Cl^- :.....	36
V.2.5	Les bicarbonates HCO_3^- (mg/l) :.....	36
V.2.6	Les nitrates NO_3^- (mg/l) :.....	36
V.2.7	Le calcium Ca^{2+} (mg/l) :.....	37
V.2.8	Le magnésium Mg^{2+} (mg/l) :.....	37
V.2.9	Le sodium Na^+ (mg/l) :.....	37
V.2.10	Le potassium K^+ (mg/l) :.....	37
V.2.11	Matrice de corrélation:.....	38
V.3	Faciès chimique des eaux :.....	39
V.3.1	Par le diagramme de Piper :.....	39
V.3.2	Par la classification de Stabler :.....	40
V.4	Origine des éléments chimiques :.....	44
V.4.1	Origine des chlorures et du sodium :.....	44
V.4.2	Origine des calciums du sulfate, et du magnésium :.....	46
V.4.3	Origine du potassium et des bicarbonates :.....	49
V.5	Equilibres sels/solutions des eaux :.....	49
V.5.1	Evolution des indices de saturation vis-à-vis des minéraux prépondérants:.....	49
V.5.2	Les relations indices de saturation vs minéraux prépondérants:.....	52
V.5.2.1	Les relations indices de saturation vs minéraux évaporitiques:.....	52

V.5.2.2	Les relations indices de saturation vs minéraux carbonatés:.....	54
V.6	Échanges de base:.....	55
V.7	Conclusion:.....	59
	Conclusion Générale :.....	60

Liste des figures et des tables

Chapitre I: Généralité

Fig I.1	Carte de situation géographique de la wilaya de Ouargla.....	3
Fig I.2	Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2010).....	5
Fig I.3	Coupe géomorphologique schématique de la cuvette de Ouargla.....	7

Chapitre II: Contexte géologique

Fig.II.1	Carte géologique régionale (OSS, 2003).....	8
Fig II.2	Colon de stratigraphique synthétique.....	12
Fig II.3	Carte géologique locale (BG, 2004).....	14
Fig.II.4	Colonne stratigraphique synthétique de la région de Ouargla (ANRH, 2004 modifié par HOUARI et SALMI, 2009).....	16

III: Contexte hydrogéologique

Fig III.1	Cadre général du système aquifère post-paléozoïque du Sahara.....	19
Fig.III.2	Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).....	21
Fig III	Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).....	23

Chapitre IV: Méthodologie de travail

Fig IV.1	Carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau.....	27
Fig.IV.2	Multi-paramètre a paillasse Metrohm.....	28
Fig.IV.3	Multiparamètre PH et cond Hanna HI 9829.....	28
Fig.IV.4	Appareil à filtration sous vide en verre par raccord rodé.....	29
Fig.IV.5	Principe Emission de flamme (lois de Berr-Lambert).....	30
Fig.IV.6	spectrophotomètres à émission de flamme type JENWAY PFP7.....	31
Fig.IV.7	Potentiomètre auto matique type Metrohm.....	32
Fig.IV.8	Evolution du potentiel en fonction du volume ajouté de nitrate.....	33

Chapitre V: Résultats et discussion

Fig V.1	Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de la région d'Ouargla.....	40
---------	---	----

Fig V.2	Faciès chimiques des eaux du Sénonien de la région d'Ouargla.....	40
Fig V.3	La relation Na/Ca vs SO ₄ / Cl (Nappe de Mio-Pliocène).....	41
Fig V.4	La relation Na/Ca vs SO ₄ / Cl (Nappe de Sénonien).....	42
Fig V.5	Faciès chimiques par la relation SO ₄ /Cl vs Na/Mg (Nappe de Mio-Pliocène)	42
Fig V.6	Faciès chimiques par la relation SO ₄ /Cl vs Na/Mg (Nappe de Sénonien).....	43
Fig V.7	Faciès chimiques par la relation SO ₄ /Cl vs Mg/Ca (Nappe de Mio-Pliocène)	43
Fig V.8	Faciès chimiques par la relation SO ₄ /Cl vs Mg/Ca (Nappe de Sénonien).....	44
Fig V.9	La relation rNa vs rCl nappe Moi-Pliocène.....	45
FigV.10	La relation rNa vs rCl nappe Sénonien.....	45
FigV.11	La relation rNa vs rSO ₄ nappe Moi-Pliocène.....	46
FigV.12	La relation Ca vs SO ₄ (Nappe de Mio-Pliocène).....	57
FigV.13	La relation Ca vs SO ₄ (Nappe de Sénonien).....	47
FigV.14	La relation rMg vs rSO ₄ (Nappe de Mio-Pliocène).....	48
FigV.15	La relation rMg vs rSO ₄ (Nappe de Sénonien).....	48
FigV.16	Evolution des indices de saturation vis-à-vis de l'Anhydrite, Gypse et Halite et Epsomite (de la nappe Mio-Pliocène)	50
FigV.17	Evolution des indices de saturation vis-à-vis de l'Anhydrite, Gypse et.....	50
FigV.18	Evolution des indices de saturation vis-à-vis de la Calcite, de la magnésite de l'Aragonite et de la Dolomite (de la nappe du Mio-Pliocène).....	51
FigV.19	Evolution des indices de saturation vis-à-vis de la Calcite, de la magnésite de l'Aragonite et de la Dolomite (de la nappe du Sénonien).....	52
FigV.20	La relation Ca+SO ₄ vs IS Anhydrite et IS Gypse.....	53
FigV.21	La relation Mg+SO ₄ vs IS Epsomite.....	53
FigV.22	La relation Na+Cl vs IS Halite.....	54
FigV.23	La relation Ca+HCO ₃ vs IS Aragonite et IS Calcite.....	54
FigV.24	La relation Mg+HCO ₃ vs IS Magnésite.....	55
FigV.25	La relation Ca+Mg+HCO ₃ vs IS Dolomite.....	55
FigV.27	Evolution des indices d'échanges de base (Nappe de Mio- Pliocène).....	56
FigV.28	Evolution des indices d'échanges de base (Nappe de Sénonien).....	57
FigV.29	La relation entre (Ca+Mg-HCO ₃ -SO ₄) vs (Na+K-Cl). (Nappe de Moi-Pliocène).....	58
FigV.30	La relation entre (Ca+Mg-HCO ₃ -SO ₄) vs (Na+K-Cl) (Nappe de Sénonien)..	58

Chapitre III: Contexte hydrogéologique

Tab.01	Aquifères du CI et CT à Ouargla (ANRH, 2004.....	23
--------	--	----

Chapitre V: Résultats et discussion

Tab I	Paramètres physiques et éléments chimiques.....	38
Tab II	Matrice de corrélation des éléments chimiques. (Nappe Mio-pliocene).....	39
Tab III	Matrice de corrélation des éléments chimiques (Nappe Sénonien).....	39

Introduction Générale

Introduction générale :

Notre région d'étude fait partie du Sahara algérien qui se caractérise par sa richesse en hydrocarbures et en eaux. Le désert du Sahara en Algérie est l'un des plus grands déserts du monde. Son sous-sol cache une immense réserve d'eau souterraine appelée SASS, cette réserve est estimée à 31 000 109 de mètres cubes, mais malheureusement, ces énormes quantités d'eau douces posent un problème de qualité. En effet, ces eaux sont très minéralisées et très dures car elles ont un temps de séjour long et sont en contact permanent avec des formations sédimentaires riches en évaporites et carbonates. Par conséquent, en fait, comprendre la composition chimique de ces eaux est devenu un enjeu important et vitale pour la protection et la gestion de ces ressources. Dans le sud algérien, la mise en valeur de ces impressionnantes réserves est encore limitée en raison des problèmes connexes, d'un accès difficile aux aquifères et d'une qualité physico-chimique médiocre. Le bassin oriental du Sahara septentrional algérien est particulièrement concerné par ces problèmes.

Notre travail est une contribution à l'étude des aspects se rapportant à la géochimie des eaux et à la minéralogie des formations aquifères du Complexe Terminal (Mio-Pliocène et Sénonien) de la cuvette de Ouargla, pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons développés les chapitres suivants :

Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude :

Dans le premier, dit Généralités, on a présenté la situation géographique, puis, on a donné un aperçu sur le réseau hydrographique drainant la région et les différentes unités géomorphologiques fréquemment rencontrées dans les régions sahariennes, ensuite,

Chapitre II : Contexte géologique :

On a exposé dans ce chapitre, la synthèse des travaux antérieurs portants sur les caractéristiques géologiques et lithologiques des aquifères et du sous-sol de la région d'étude, afin de déterminer la relation existante 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 du Complexe Terminal de notre zone d'étude en se basant sur les

travaux portés dans ce sens dans le but d'exploiter ces reconnaissances dans l'interprétation des résultats obtenus

Chapitre IV : Matériel et méthodes :

Dans ce chapitre, nous allons exposer 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 : Généralité

I.1- Introduction :

Au niveau de ce chapitre, on va présenter notre zone d'étude, en donnant ses principales composantes géographique, climatique, hydrographiques, topographiques et géomorphologique.

I.2- Situation géographique de la région d'étude :

La ville de Ouargla se situe dans une dépression (cuvette), au Sud-est de l'Algérie, 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) :

$X = 710\ 000$; $Y = 3\ 530\ 000$

$X = 730\ 000$; $Y = 3\ 600\ 000$

Elle présente une superficie totale de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ de 55 km (Fig. I. 1) orientée Sud-ouest / Nord-est et limitée :

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued.
- A l'Ouest, par Ghardaïa.
- A l'Est, par la Tunisie.
- Au Sud, par Illizi et Tamanrasset.

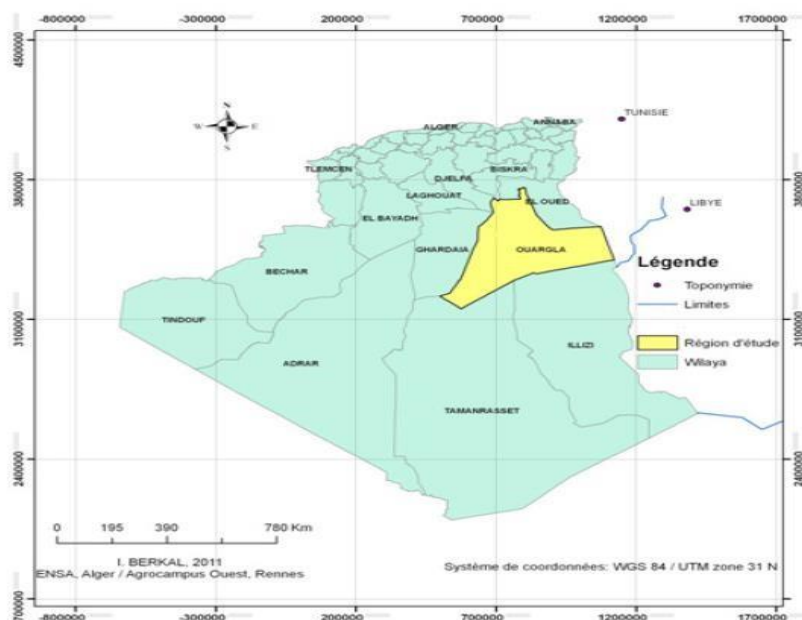


Fig I.1 : Carte de situation géographique de la wilaya de Ouargla (I. berkale.2011 en Idder et all 2014).

I.3- Régime Climatique :

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), (ONM, 2017).

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 guère 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. (Ould Baba Sy, 2005).

I.4- Réseau hydrographique :

L'hydrographie de la cuvette de Ouargla se caractérise par son endoréisme (Dubief, 1953). Différents bassins versants (M'zab, Mya, N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à sebkhet Safioune au Nord de la cuvette de Ouargla. Le ruissellement est en fait insignifiant, (Hamdi-Aïssa, 2001).

I.4.1- Oued N'sa et Oued M'zab :

A l'inverse de l'Oued Mya qui est considéré comme fossile, ces deux Oueds sont fonctionnels, ils peuvent avoir une ou deux crues par an ils n'atteignent la cuvette de Ouargla que lorsque la crue est importante. Ils drainent le versant des piedmonts Sud Est de l'Atlas saharien (la dorsale mozabite) ; ils coulent donc de l'Ouest vers l'Est – Sud-Est jusqu'à sebkhet Safioune. Les alluvions de Oued N'sa ferment la vallée au Nord de sebkhet Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie Est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le Nord / Est ; en direction de Touggourt et Chott Melrhir. Celles de l'Oued M'zab atteignent sebkhet Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'Oued N'sa semblent plus fréquentes. Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l'Oued Mya n'a été drainée par des cours d'eau qu'à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique car certains gisements reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand épisode pluvial contemporain à la glaciation de Würm.

I.4.2- Oued Mya :

Il draine le versant Nord-Est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued Mya est en forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-Est, il s'étend sur 19 800 Km². Le cours fossile de l'Oued Mya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 Km environ du point extrême atteint par les dernières crues. Au Nord de Ouargla, la vallée n'est plus discernable. Si l'on admet cependant que l'Oued Mya quaternaire se jetait le chott Melrhir actuel, sa longueur devait atteindre 900 Km, (Dubief, 1953). Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'Oued Mya n'a pas pu qu'épisodiquement de couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse. Actuellement, les grandes crues de l'Oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont de Ouargla.

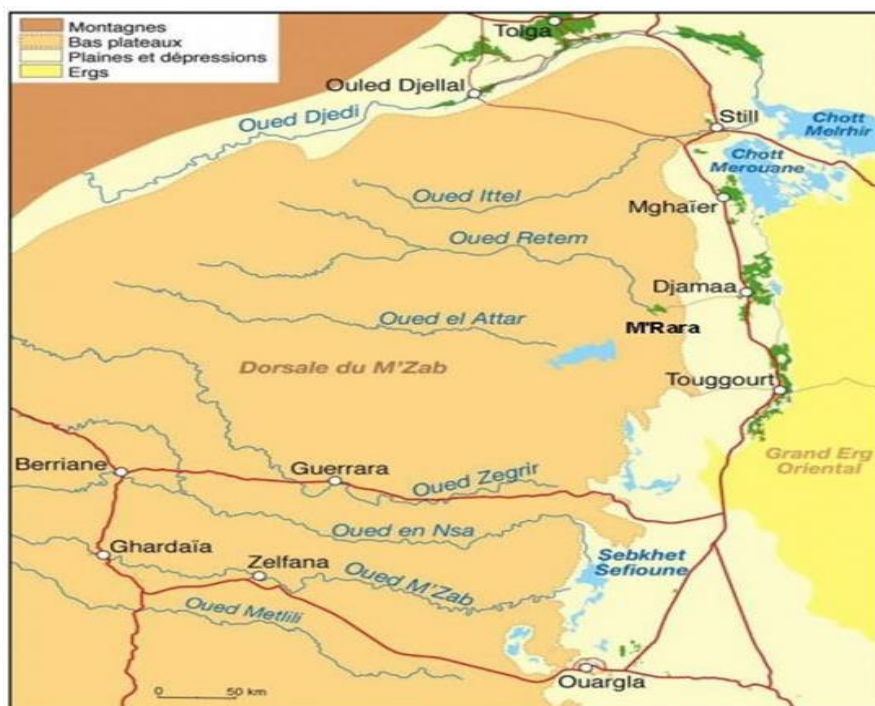


Fig. I. 2 : Réseau hydrographique dans la région d'étude (Ballais, 2010)

I.5- Topographie et composition géomorphologique :

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

I.5.1-La hamada :

(Plateau ou affleurement de grandes dalles rocheuses) C'est une formation continentale détritique qui forme un plateau dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé laissant que quelques buttes témoins appelées "goures".

I.5.2-Glacis :

Sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude.

I.5.3-Sebkha :

Est une dépression naturelle est l'alimentée généralement par le ruissellement originaire de terrains salés. Elle et se dessèche entièrement pendant la saison sèche, sa surface se recouvrant alors d'une couche de chlorure de sodium contenant le plus souvent du gypse et parfois d'autres évaporites.

I.5.4-Chott :

Est une dépression souvent plus étendue dans laquelle aboutissent les eaux de drainage, et peut être partiellement ou totalement desséchée pendant la saison sèche.

I.5.5-Grand Erg Oriental :

Dunes de sables peuvent atteindre les 200 m et qui s'étend sur environ 2/3 du territoire de la région.

I.5.6-Vallée :

Elle est représentée par la vallée fossile d'Oued Mya.

I.5.7-Plaines :

Elles sont réduites et rencontrées à la limite occidentale de la région. Elles s'étendent du Nord au Sud.

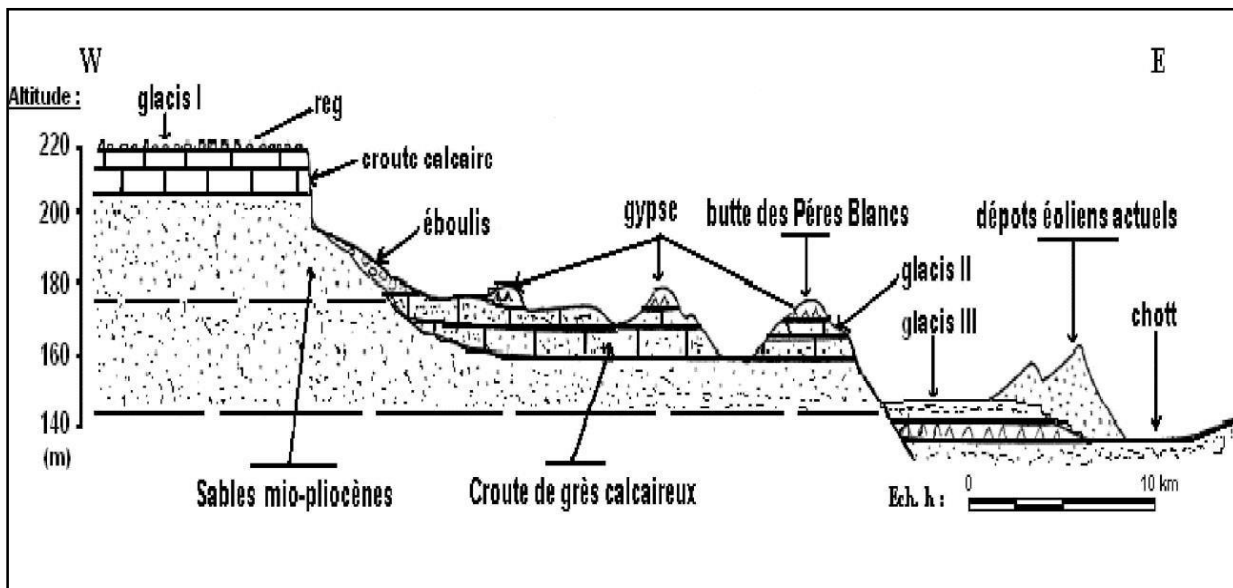


Fig I.3 : Coupe géomorphologique schématique de la cuvette de Ouargla (Lelièvre, 1969)

I.6- Conclusion :

Le climat du Sahara algérien se caractérise par une intense sécheresse avec un taux d'humidité très faible. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25°C, avec des étés chauds et des hivers rigoureux. Les températures extrêmes sont de plus de 50°C en été.

Le réseau hydrographique est caractérisé par trois Oueds principaux constituent la région d'étude :

- ❖ Oued Mya
- ❖ Oued N'sa
- ❖ Oued M'zab

Les principales unités géomorphologiques caractérisant la région d'étude sont :

- ❖ La hamada
- ❖ Glacis
- ❖ Sebka
- ❖ Chott
- ❖ Grand Oriental
- ❖ Vallée
- ❖ Plaines

Chapiter 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-Affleurements géologiques :

II.2-1-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.

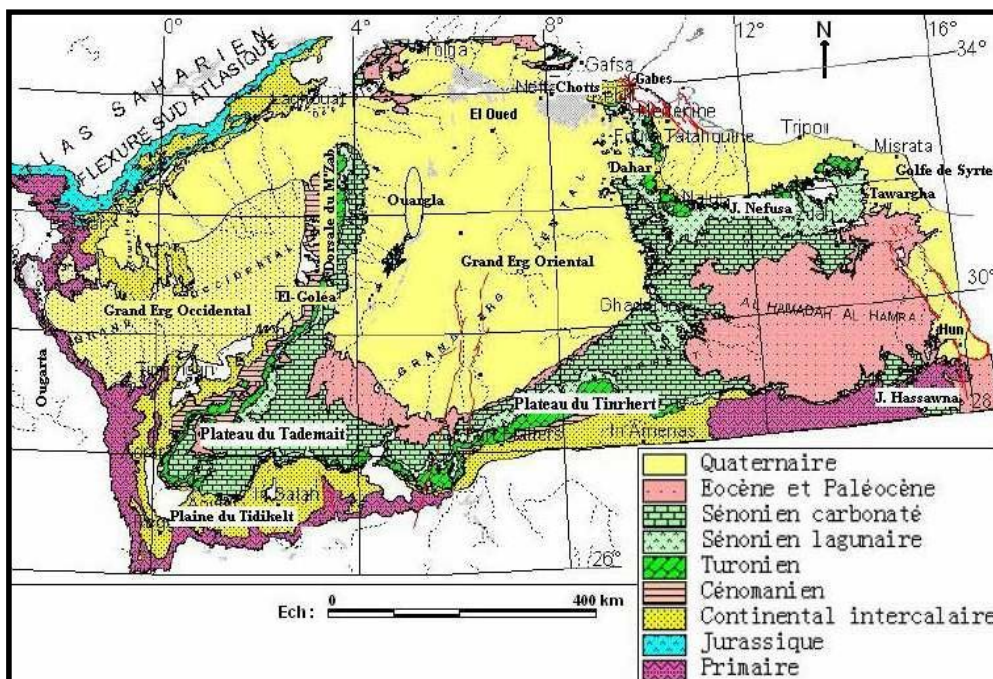


Fig. II. 1 : Carte géologique régionale (OSS, 2003)

Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis. Les mouvements hercyniens du Pérmo-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".

II.2-1.1-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.

II.2-1.2-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).

II.2-1.3-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

II.2-1.3.1-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.

II.2-1.3.2-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.

II.2-1.3.3-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).

II.2-1.3.4-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).

II.2-1.3.5-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 bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuhe, 1969).
- Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le bas Sahara.
- Le Cénomaniens supérieur y est calcaire, (Busson, 1972).

II.2-1.3.6-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).

II.2-1.3.7-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.

II.2-1.3.8-L'Eocène :

On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique, à la base :

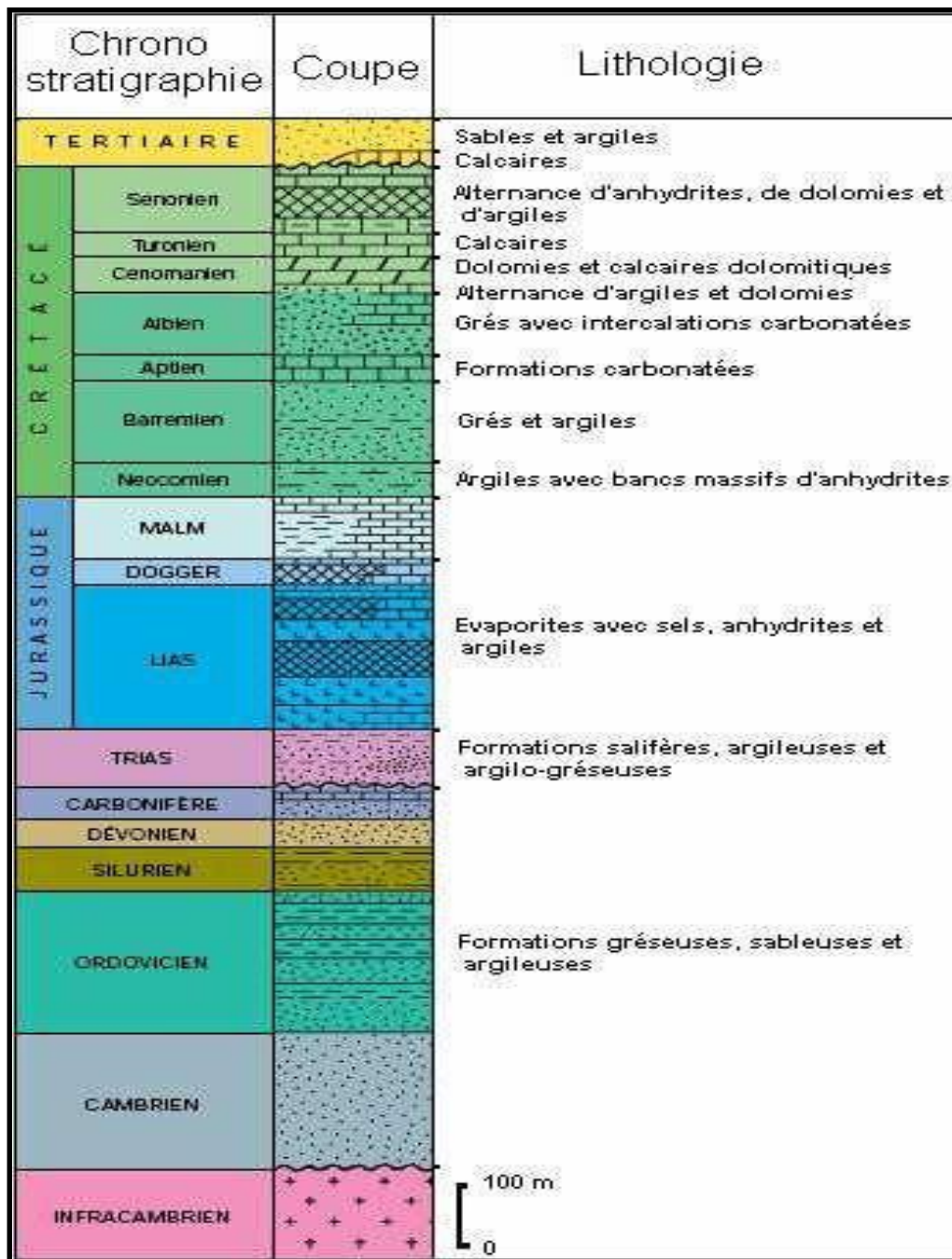
- L'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argile et même d'anhydrite et de sel. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situant dans la zone du bas Sahara. Quant au sommet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

II.2-1.3.9-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).

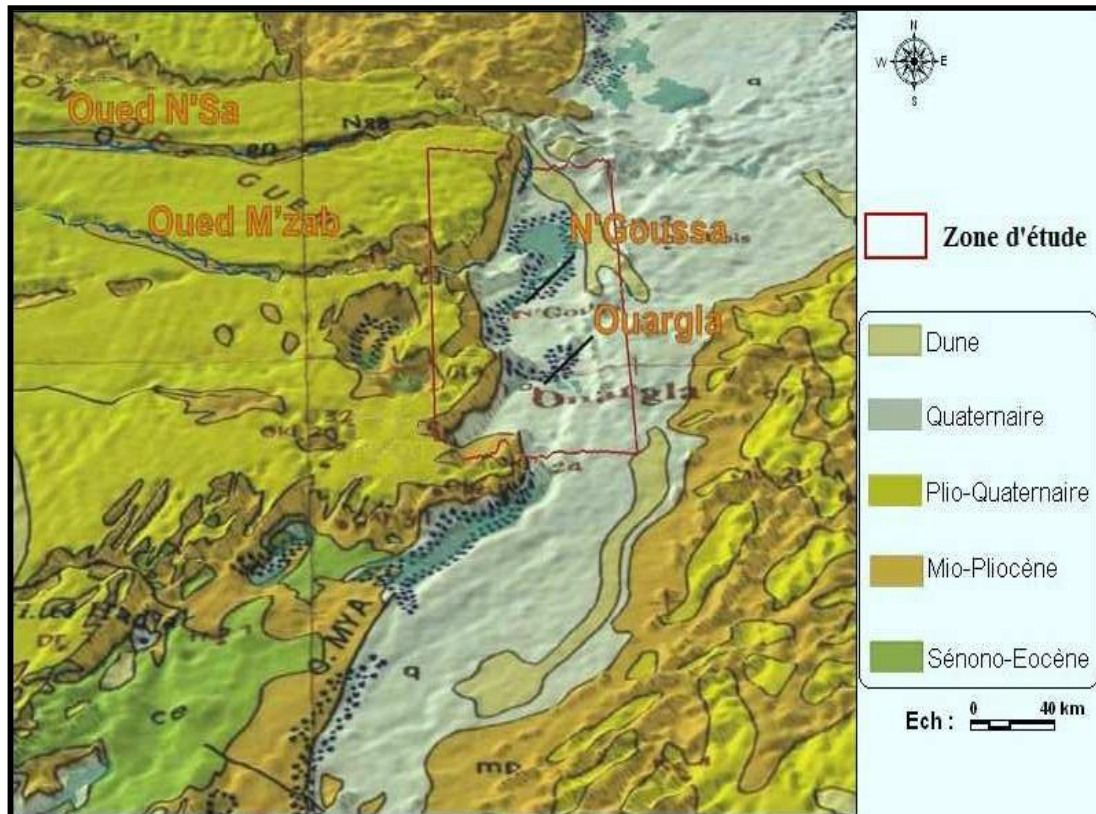


FigII.2 : Colon de stratigraphique synthétique

Du Sahara Nord-est Septentrional (Sonatrach et Schlumberger, 1990)

II.2.2- 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), (FigII.3).



FigII.3 : Carte géologique locale (BG, 2004)

II.3-Lithostratigraphie :

II.3.1-Le Barrémien :

Capté à partir de 1500 m environ. Il présente une alternance de grès et d'argile, avec des intercalations calcaro-dolomitiques.

II.3.2-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 inférieur à 50 m.

II.3.3-L'Albien :

Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire, ce 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.

II.3.4-Le Vraconien :

L'intercalation albo-cénomaniennne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les sables de l'Albien et les marnes du Cénomanienn, 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.

II.3.5-Le Cénomanienn :

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.

II.3.6-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.

II.3.7-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, parfois crayeux à vacuolaire avec passées de marne Dolomitique grise tendre à pâteuse.

II.3.8-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.

II.3.9-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 (≈ 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).

II.3.10-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 gypsosiliceux. De 10 à 20 cm de profondeur, on trouve une croûtement 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 sables éoliens d'origine gréseux provenant de la Hamada miopliocène. Elles existent dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhass et sur les versants rocheux.

Ere	Etages		Prof	Chronostratigraphie	
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE		10m	Sables	
				Argiles	
				Évaporites	
				Sables	
	ÉOCÈNE	Mio-pliocène		180m	Argiles
					Gravier
					Grès
					Argiles
					Argiles Lagunaires
					Dolomies
MÉSOZOÏQUE	CRÉTACE	Sénonien	280m	Calcaires	
		Carbonaté	500m	Evaporites	
		Sénonien	900m	Anhydrite	
		Lagunaire		Sel massif	
		Turonien		Argiles	
		Marnes			
		Céronanien	1000m	Calcaire marneux	
		Vraconien	1200m	Dolomies	
				Argiles	
		Albien	1280m	Anhydrite	
				Marnes	
				Argile et dolomie	
Sables					
Aptien	1500m	Grès			
		Argile sableuse			
		Dolomies			
Barrémien	1550m	Sables			
		Et			
		Grès			

Fig. II.4: Colonne stratigraphique synthétique de la région de Ouargla (ANRH, 2004 modifié par HOUARI et SALMI, 2009)

II.4- Tectonique régionale :

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.

La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contrecoups sur la plateforme saharienne :

- Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur qui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès, (Fabre, 1976).
- 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. (Fabre, 1976).

II.5-Paléogéographie :

La vallée de l'O. Mya s'inscrit dans une vaste cuvette sédimentaire occupant, dès le Secondaire, l'emplacement de l'actuel Sahara nord-oriental.

En effet, des mouvements verticaux d'ensemble ont affecté le socle précambrien et primaire et provoqué notamment "l'effondrement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant sensiblement par le tronçon supérieur de la vallée de l'O. Mya ". La base est formée de dépôts marins du Primaire et le toit d'argiles marines du Cénomaniens. En effet, au Crétacé supérieur, la mer a envahi le Nord du Sahara dont le lent affaissement se poursuivait.

Les dépôts du Sénonien supérieur, constitués à Ouargla par des calcaires et des marnes, atteignent une épaisseur de 200 m.

Cette puissante série avait été d'abord attribuée au Turonien car on estimait à l'époque que la région de Ouargla, exhaussée à l'Oligocène post-lutécien, avait subi une érosion active faisant

disparaître la couche des calcaires éocènes et que le Sénonien se réduisait à des bancs de calcaires épais de 160 à 200 m recouverts en discordance par les dépôts continentaux du Pontien.

C'est à cette même époque que le mouvement de subsidence continu depuis le début de Secondaire, marque un arrêt qui permet le comblement définitif de la cuvette, c'est-à-dire : sur les calcaires et les marnes du Sénonien supérieur ou de l'Éocène moyen, s'est déposée une formation continentale formée principalement de sables qui se sont "déposés et consolidés sous climat semi-aride chaud au Pontien ou au Pliocène inférieur".

Que ce soit par érosion fluviale ou par déflation éolienne, les couches supérieures de la série tertiaire ont disparu du fossé et le remblaiement quaternaire de sables éoliens vient reposer en discordance et irrégulièrement dans la cuvette sur les séries moyennes du Continental Terminal.

II.6-Conclusion :

Notre zone d'étude appartient au Sahara Nord-Est septentrional algérien, géologiquement, elle est formée 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.

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 : hydrologique

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).

III.2-Contexte hydrogéologique régional :

Dans le bassin du Sahara septentrional, il existe des formations aquifères vorables à la circulation souterraine des eaux. Il s'agit du système aquifère du Sahara septentrional (SASS, 2003), qui englobe le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. Sa surface est d'environ 1.000.000 Km², partagée entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Ses réserves sont estimées à 31.000×10⁹ m³.

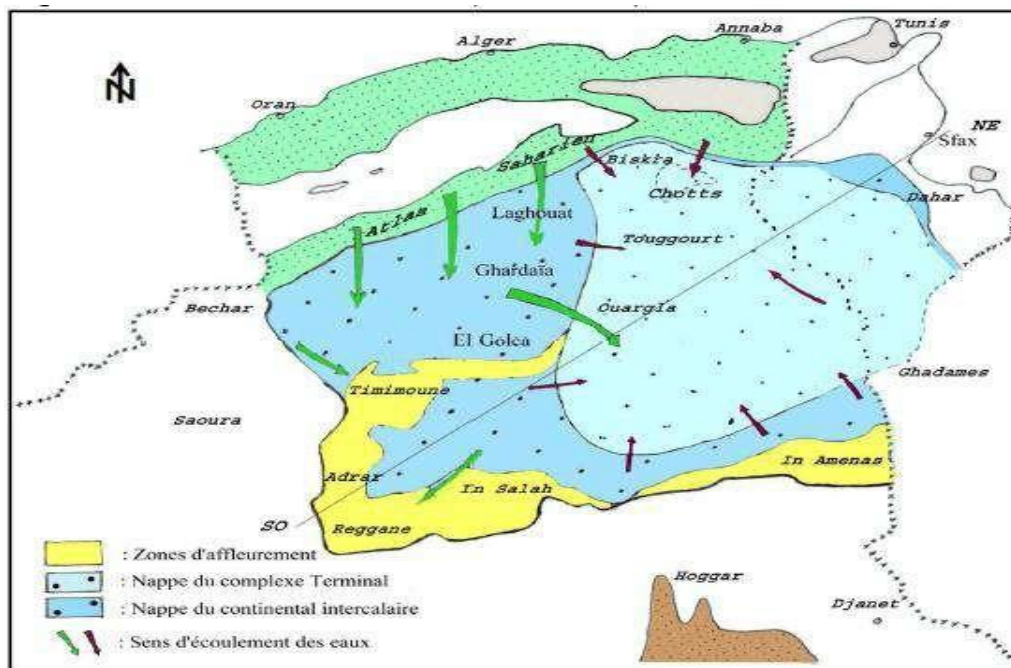


Fig III.1: Cadre général du système aquifère post-paléozoïque du Sahara.

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 Km, renfermant d'importantes quantités d'eau estimées à 30 000 milliards de m³ ERESS, (1972) OSS, (2003). 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 », qui est la plus exploitée. 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.

III.2.1.1-Piézométrie du "CI" :

Pour élaborer la carte piézométrique du "CI", les données publiées dans les études précédentes (ex : ERESS, 1972), ont été mises à contribution. Nous utiliserons la carte piézométrique du "CI", élaborée dans le cadre du projet SASS (OSS, 2003a et b) (**Fig. III.2**).

Cette carte définit l'écoulement de la nappe à l'état « naturel », peu ou pas influencé par pompage.

L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement. Il s'agit :

- Du piémont sud atlasique au Nord et Nord-Ouest ;
- Du Tinrhert au Sud ;
- Du Dahar à l'Est.

L'essentiel des réserves de cet énorme réservoir correspond à de 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 Tinrhert 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.

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 Tinrhert 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).

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 Ain Tawargha.

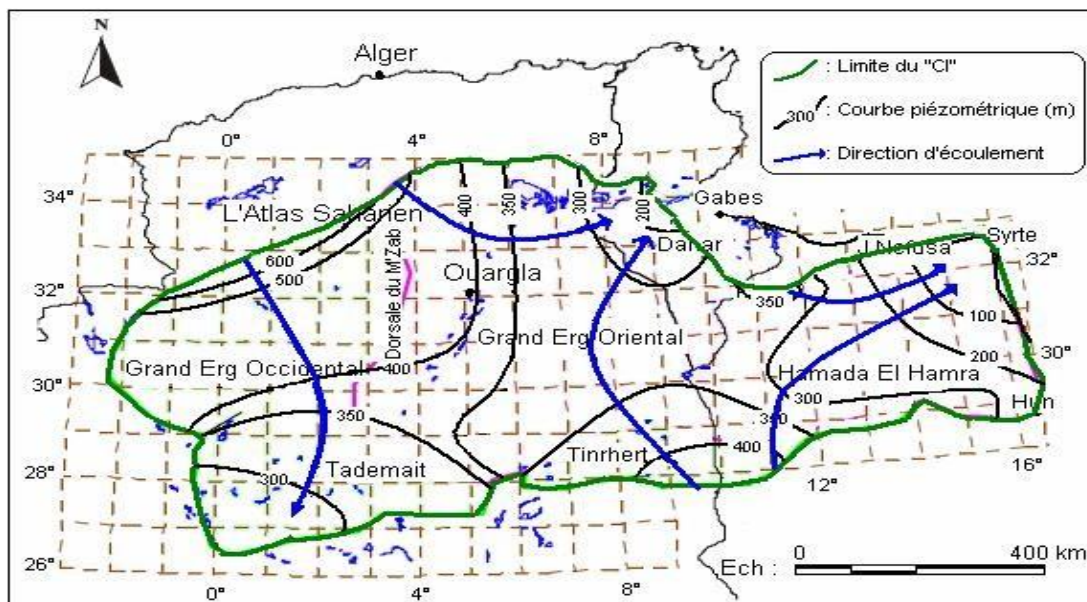


Fig. III.2: Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

III.2.2-Le Complexe Terminal :

Kilian, 1922, désigne par le Continental Terminal les formations continentales sableuses et argileuses du Mio-pliocène. Pour Bel et Dermagne (1966), ce terme représentait toute la série allant du Cénomaniens au Mio-Piocène. Il s'agit d'une même unité hydrogéologique multicouches (Bel et Cuche, 1969 ; UNESCO, 1972 ; OSS, 2003). Au Bas-Sahara, le Turonien, le Sénonien, l'Eocène, le MioPliocène et le Quaternaire sont les dernières formations déposées. Elles sont le siège de trois aquifères Selon (Cornet, 1964 ; UNESCO, 1972, 1972).

Les zones d'alimentation du Continental Terminal sont : l'Atlas saharien au Nord-Ouest, le Dahar à l'Est, le Jbel Nafusa au Nord-Est et le Tinrhert au Sud (OSS (2003a et b), Bel et Cuche

(1969), le Projet UNESCO, 1972 (1972c), Levassor (1975), Pallas (1978), Srivastava (1981), et Mamou (1990). Les zones d'exutoires sont principalement les Chotts algéro (OSS (2003a et b).

III.2.2.1- 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 Cuche (1969) et le Projet ERESS (1972) (**Fig.III.3**).

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (O. Rhir 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 au Nord-Ouest.
- ❖ Le Dahar à l'Est.
- ❖ Le Tinrhert au Sud.
- ❖ Les monts du M'Zab.

Les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surfaces 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).

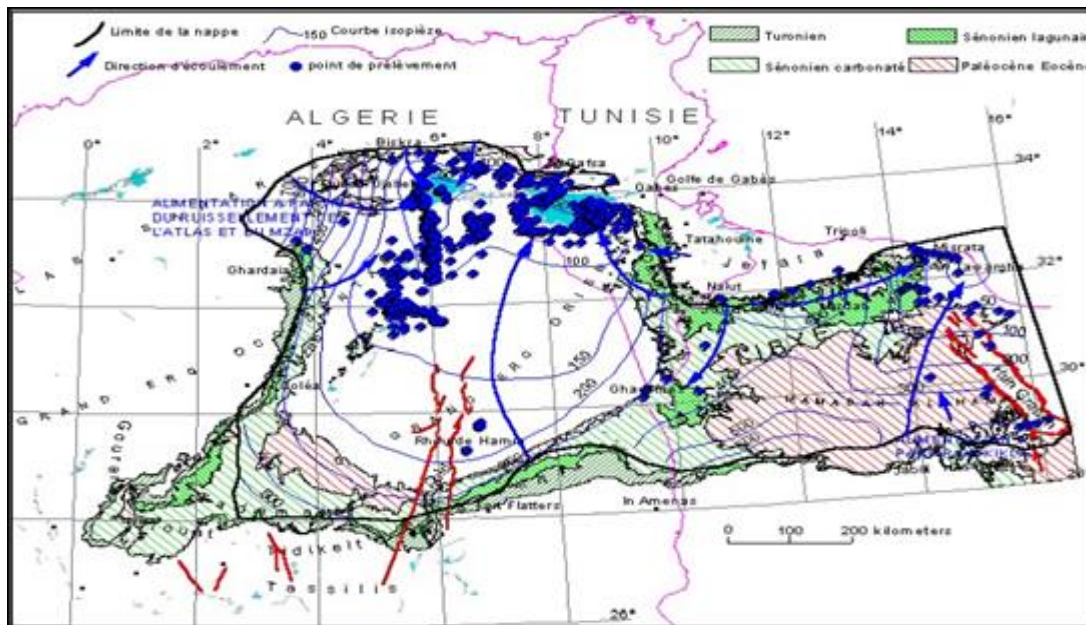


Fig.III.3 : Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003)

III.3-Cadre hydrogéologique local :

Au niveau de Ouargla, les aquifères utilisables à des fins urbaines et agricoles, sont illustrés sur le tableau (Tab.01)

- La nappe dite de L'Albien dans les grès et argiles sableuses du CI.
-
- La nappe des calcaires au niveau du Sénono-Eocène.
- La nappe des sables dans les dépôts détritiques du Mio-Piocène.
- La nappe libre (phréatique) contenue par les sables fins argileux et gypseux du Quaternaire.

Tab.01 : Aquifères du CI et CT à Ouargla (ANRH, 2004)

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		Sénonien lagunaire	
Secondaire	Nappe du Continental Intercalaire	Impermeable	1100m	Turonien	
				Cénomaniens	
				Vraconien	
		Nappe de l'Albien		2000m	Albien
				Aptien	
				Barrémien	

III.3.1-Les nappes du continental intercalaire :**a- La nappe de l'Albien:**

Elle est constituée de grès fins, gris, à ciment argileux, parfois dolomitiques, avec intercalation de marnes dolomitiques et d'argiles sableuses. Elle est rencontrée à une profondeur allant de 1100 m à 1400 m, avec une épaisseur utile d'environ 640 m. cette nappe jaillissante est exploitée par des forages destinés à l'alimentation en eau potable.

III.3.2-Les nappes du complexe terminal :**a- La nappe du Sénono-Eocène :**

Très coquilliers, gris jaunâtre, à intercalations de marnes blanches et dolomitiques, ses eaux sont également exploitées essentiellement pour l'alimentation en eau potable. Elle se situe entre 120 m et 200 m de profondeur. Formée de calcaire poreux à silex.

b- La nappe des sables du Moi-Pliocène :

Cette nappe est constituée de sables fins à grossiers, parfois graveleux, à intercalation de calcaires blanc, tendres et de marnes sableuses, d'argiles sableuses rose et passées de grès et de gypses. Elle est située à une profondeur allant de 20 m à 100 m. Son exploitation remonte à longtemps par des puits traditionnels. Actuellement, elle est exploitée pour l'irrigation des palmeraies et des cultures sus- jacentes par le biais de plusieurs centaines de forages.

c- La nappe superficielle ou phréatique :

Omniprésente à l'échelle de la région, son épaisseur varie de 1 m à 8 m. son substratum est un niveau imperméable étanche occupant tout le fond de la vallée d'Ouargla. Sa frange capillaire surgit souvent à la surface du sol sous forme de chotts. Elle est relativement profonde au niveau des hautes altitudes (Ergs), et moins profonde à proximité des palmeraies irriguées. Le sens de l'écoulement principal des eaux de la nappe phréatique suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est à dire du Sud vers le Nord (Nezli, 2008).

Les eaux de rejets urbains et agricoles (palmeraies) maintiennent des niveaux piézométriques très élevées par rapport à la topographie, se traduisant par une remontée de la nappe en surface (Lelièvre, 1969 ; Idder, 1998 ; BG, 2004 ; Nezli, 2004 ; Nezli, 2007).

La lithologie des formations qui la constituent est connue grâce aux sondages (piézomètres), de 6 m à 10 m de profondeurs, qui la traversent. Au Sud de Ouargla la nappe est constituée de sable fin à moyen, rarement grossier, argileux. Vers le Nord, N'Goussa et Sebkhet Safioune, les sables

sont riches en gypse et deviennent dominants à Sebket Safioune.

La continuité lithologique entre les sables mio-pliocènes et quaternaires suggère que les deux formations constituent pratiquement le même aquifère (Nezli, 2008).

La présente étude traite des eaux libres du chott de Ain El Beida qui sont en relation directe avec la nappe phréatique. Le bilan hydrique est un des éléments clé de raisonnement pour la compréhension du cycle géochimique de ces eaux. C'est pour cela qu'on va présenter la synthèse des résultats des études récentes du bilan hydrique de cette nappe.

III.4-Gestion et exploitation :

III.4.1- Le Continental Intercalaire :

L'exploitation du "CI" s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït dès le vingtième siècle.

Leur débit total, connu au travers des campagnes de mesures effectuées en 1932, 1950 et 1960, est resté invariable jusqu'aux années 1970, il est de l'ordre de 3,6m³/s.

Les premiers forages artésiens ont été d'autre part réalisés vers la fin du siècle dernier (El Golea et Aïn Salah), mais leur débit est resté faible (250-300 l/s) jusqu'aux années 1950. La réalisation des premiers grands forages (Zelfana, Guerrara, Ouargla et O.Rhir) a ensuite rapidement porté le débit exhauré à 3m³/s (1970).

Actuellement, le débit total exploité (Algérie et Tunisie) au travers de quelques 1 200 forages, atteint 19m³/s, soit 600 hm³/an.

L'artésianisme a régressé dans les régions fortement exploitées (10 à 50 m de baisse entre 1950 et l'actuel, peut-être jusqu'à 100 m à Touggourt) mais reste important dans tout le secteur central du bassin, où il dépasse 150 m, et atteint encore 200 m localement (BRL, 1999).

La simulation Zéro du SASS, basée sur la poursuite des prélèvements actuels, sans aucune augmentation, indique que les rabattements augmenteront d'une cinquantaine de mètres en 2050 à Ouargla par rapport à l'état en 2000. Ces rabattements supplémentaires produiront une diminution des débits artésiens de l'ordre de 25 % sur les forages existants.

L'hypothèse faible d'augmentation des prélèvements, c'est-à-dire : "Répartition allégée de l'augmentation des prélèvements dans les zones sensibles (ex : 3m³/s à O.Rhir) et les reportant sur des zones moins sensibles (ex: 5,15m³/s à Touat)", provoquerait des rabattements très importants, faisant disparaître l'artésianisme de tout le Bas Sahara et les profondeurs de pompage seraient de l'ordre de 100 m en 2050.

D'après ces simulations et pour éviter un tel scénario catastrophique, le développement des prélèvements devrait s'effectuer hors du bassin artésien, dans les zones de nappe libre encore peu exploitées et peu connues, notamment le Grand Erg Occidental. Des champs captants de l'ordre du 1m³/s pourraient y être développés.

III.4.2- Le Complexe Terminal :

Prélèvements actuels y constitue un danger potentiel majeur » (OSS, 2003). Ces baisses ont pour conséquence que de nouvelles ressources devront être substituées à celles actuellement exploitées et que pour le moins le niveau des pompes devra être abaissé dans les forages, lorsque cela sera possible, sinon de nouveaux forages plus profonds devront être réalisés. Les hauteurs de refoulement et les coûts de production vont augmenter autant pour l'AEP que pour l'irrigation.

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

La formation du "CI" est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche dont la profondeur atteint localement 2000m et dont la puissance varie entre 200 et 400 m, à Ouargla, il est exploité entre 1150 m et 1350m de profondeur.

Les formations du "CT" sont très hétérogènes, elles englobent localement les assises perméables du Sénonien calcaire et du MioPliocène.

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

Chapitre IV : méthodologie de travail

VI.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 le graphique, la cartographique et hydrochimique des paramètres physicochimiques et en tirer des renseignements particuliers.

IV.2- Échantillons d'eaux :

Trente- deux (32) échantillons d'eau, 20 de la nappe des sables du Mio-Pliocène et 12 de la nappe du Sénonien nous ont été fournis par l'ANRH (2019), couvrant le long de notre zone d'étude, leur emplacement sont indiqués sur la carte ci-dessous (Fig IV.1)

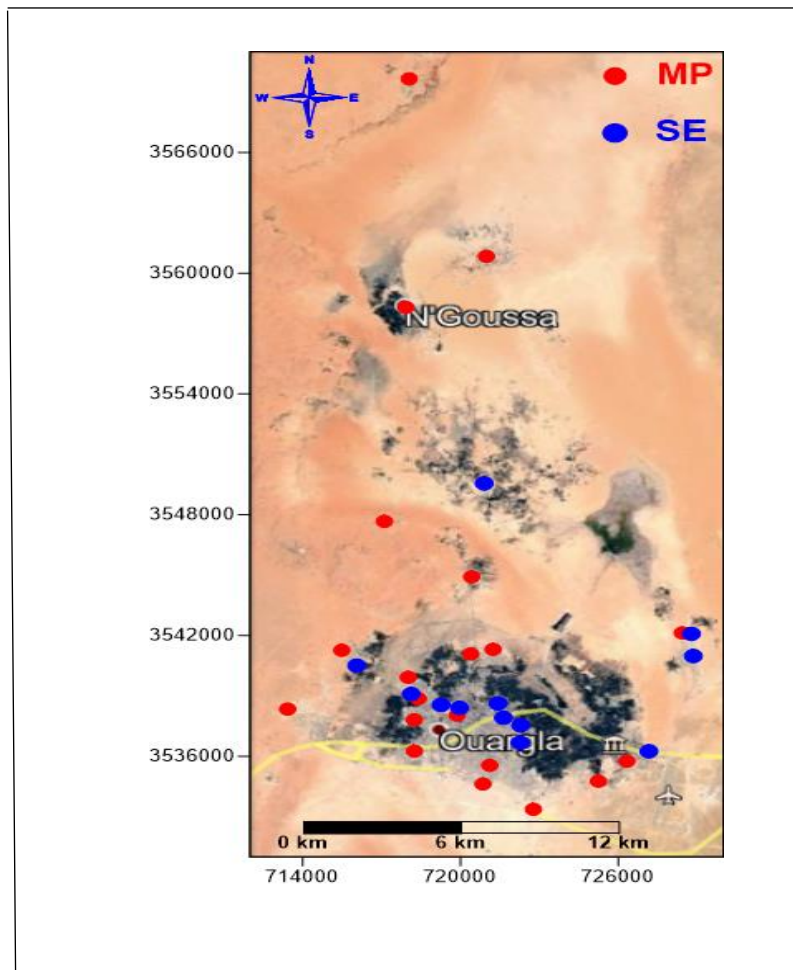


Fig IV.1: Carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau

IV.3-Analyses des paramètres physico-chimiques :

Les analyses dites de routine comprennent les mesures des variables suivantes d'eau sub-surface (nappe superficielle) et de l'eau des forages la mesure in-situ sur terrain de température en °C, le pH, l'oxygène dissous (O₂) en mg/l, la conductivité en mS/cm (μ S/m) se fait par multi-paramètre de terrain à sonde électronique. Les multi-paramètres sont des appareils permettant la mesure de différents paramètres chimiques comme la mesure de pH ou de conductivité. L'appareil change de mode en fonction de la sonde qui lui est connectée. Compact et portable, cet appareil permet des mesures rapides et fiables, en laboratoire comme à l'extérieur. Deux appareils sont utilisés multi-paramètre PH et cond Hanna HI 9829 (Fig IV.2) et

(Fig. IV.3) mais pour les eaux de forage une seule campagne a été réalisée afin de voir le chimisme de nappe exploité dans notre zone d'étude. Les variables de routine sont mesurées à généralement entre 10h00 -13h00 sur notre site d'étude.

Le niveau d'eau dans les puits et les piézomètres étaient mesurés à l'aide d'une sonde électrique du niveau piézométrique, laquelle émet un signal acoustique au contact de l'eau. Les mesures des paramètres sont effectuées avec des sondes électroniques appropriées pour chacun des paramètres.



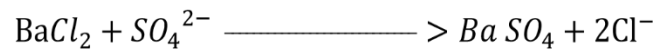
**Fig. IV.2 Multi-paramètre a paillasse
Metrohm.**



**Fig.IV. 3 Multiparamèter PH et
cond Hanna HI 9829.**

IV.3.1-Dosage gravimétrique des ions sulfates :

La gravimétrie par précipitation est une méthode d'analyse quantitative qui permet de séparer les ions d'une solution grâce à une réaction de précipitation. L'espèce chimique qu'on ajoute pour induire la réaction de précipitation, est appelé précipitant ou réactif de précipitation. Le précipité formé est ensuite séparé des autres composants liquides par opération de filtration à l'aide d'un appareil à filtration sous vide (Fig. IV.4), et on utilise la masse de ce solide, ainsi que l'équation bilan de la réaction, pour calculer la quantité ou la concentration en composés ioniques dans la solution. Le dosage gravimétrique des ions sulfates (SO_4^{2-}) a lieu après acidification, chauffage et ajout d'un excès d'une solution de chlorure de baryum ($BaCl_2$) selon la réaction suivante :



La masse de sulfate de baryum précipité permet de calculer le taux en sulfate dans l'échantillon analysé. La teneur en sulfate, exprimée en $g L^{-1}$ est donnée par la relation suivante :

$$[SO_4^{2-}] = \frac{M_{BaSO_4} \times M_{SO_4^{2-}}}{M_{BaSO_4} \times V_p} \times 1000$$

V_p : Volume de la prise d'essai (en ml) M_{BaSO_4}

: masse de $BaSO_4$ formé.



Fig.IV.4 Appareil à filtration sous vide en verre par raccord rodé.

IV.3.2-Émission de flamme :

L'émission de flamme est principalement une méthode d'analyse quantitative. La pratique de cette méthode, on réalise une courbe d'étalonnage avec une gamme étalon ou l'intensité émise est proportionnelle à la concentration (Fig IV.5). Pour les concentrations faibles (quelques mg/l en général), l'absorbance est proportionnelle à la concentration si la loi de Beer-Lambert est on obtient une droite. En revanche, pour les concentrations plus élevées les cas des eaux salé des chotts et les sebkhas. On procédera à des dilutions suffisantes pour travailler dans le domaine linéaire ou quasi-linéaire. Par un calcul très simple qui sera développé, on remonte facilement à la concentration initiale de l'élément ou le niveau de notre échantillon. Il faut cependant se trouver dans le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert pour obtenir des résultats précis.

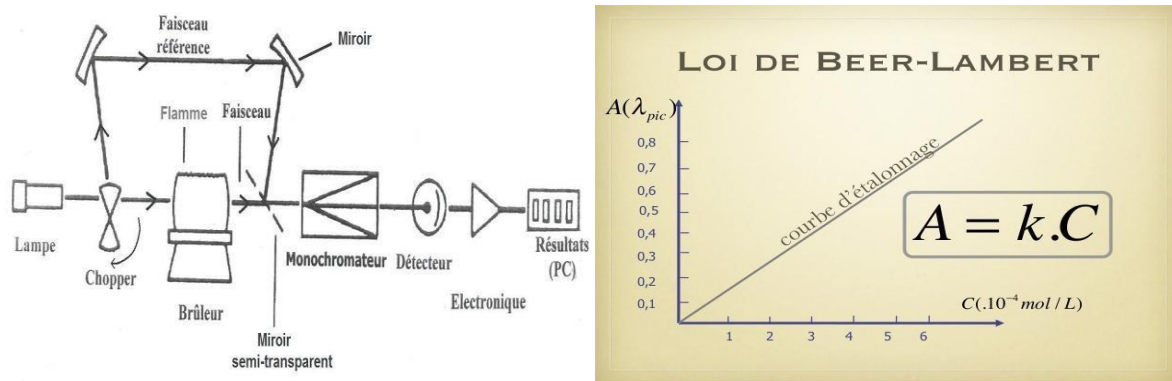


Fig. IV. 5 Principe Emission de flamme (lois de Berr-Lambert).

Le sodium Na^+ , Calcium Ca^+ et le potassium K^+ : sont analysés par le photomètre à flamme, de marque Sherwood flamme photomètre. Photomètres de flamme Modèle JENWAY PFP7 voir (Fig. IV.6) de précision : < 0.2 ppms.



Fig. IV. 6 spectrophotomètres à émission de flamme type JENWAY PFP7.

IV.3.3- La titrimétrie :

La titrimétrie c'est l'opération qui consiste à déterminer la concentration d'une espèce chimique (Mg et HCO_3) en solution à l'aide d'une transformation chimique.

Avant le titrage, les réactifs sont séparés en deux solutions. Dans l'une des deux se trouve l'espèce dont la concentration est inconnue, il s'agit de la solution titrée. Dans l'autre se trouve un réactif dont la concentration est parfaitement connue, il s'agit de la solution titrante. Lors du titrage, on ajoute progressivement l'une des solutions à l'autre. Pour cela, on place un volume parfaitement connu d'une des solutions dans un bécher. L'autre solution est mise dans une burette graduée qui permet d'en ajouter un volume mesurable dans le bécher.

En outre, on dispose une agitation magnétique pour la solution de bécher afin qu'elle soit toujours homogène. En général, la solution titrée est placée dans le bécher et la solution titrant dans la burette. Les bicarbonates HCO_3^- , ainsi que le magnésium ont été dosés par la méthode de titrimétrie.

IV.3.4- Détermination du Chlorure par titrage poten-tiométrique appareille type Metrohm :

La Potentiomètre est une méthode électrochimique permettant la mesure de la force électromotrice d'une pile formée d'une électrode spécifique et d'une électrode de référence plongée dans une solution à doser [49].

Le titrage poten-tiométrique est suivi par mesurant l'évolution du potentiel en fonction du volume ajouté du titrant à l'aide d'un appareil à programme pour titration (nitrate d'argent $AgNO_3$) (Fig. IV.7) et (Fig. IV.8).

Ce potentiel est directement lié à la concentration en Cl^- qui varie au cours de la réaction suivante :

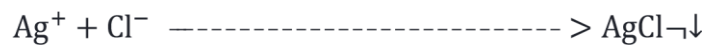


Fig. IV.7 Potentiomètre automatique type Metrohm.

IV.3.5-Mode opératoire :

- On prend un volume V_p de solution (dilution 200) On y ajoute 2 mL de HNO_3 (2M).
- On complète avec l'eau distillée jusqu'à émergence de l'électrode.
- La concentration en ions Cl^- est donnée directement par l'appareil de mesure

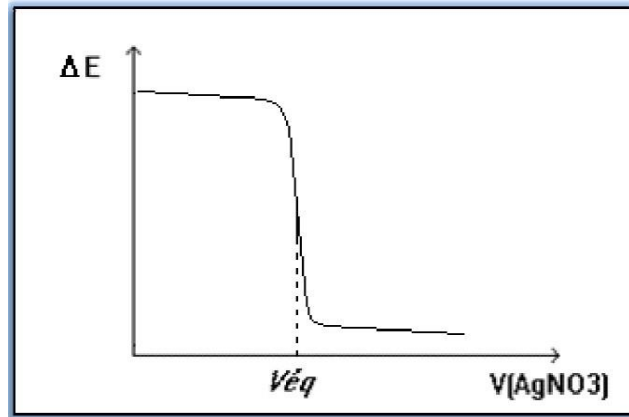


Fig. IV. 8 Evolution du potentiel en fonction du volume ajouté de nitrate.

IV.4- Outil informatique :

IV.4.1- Statistica :

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 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.4.2- Diagramme :

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.4.3- Surfer :

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.4.4-Phreeqc :

L'étude géochimique a été effectuée par simulation à l'évaporation naturelle (température de l'échantillon), en utilisant le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqc.v.3. Le calcul de l'indice de saturation ($IS = \log(Q) / \log(Kps)$) des minéraux dissous dans l'eau a été mené en utilisant la loi de Debye-Hückel, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.

IV.5- 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 : Résultats et discussion

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 ; Edmunds et al, 2003 ; Nezli et al, 2007 ; Bouchahem et al, 2008 ; Nezli, 2009 ; Nezli et al, 2009 ; Abid et al, 2012 ; Houari, 2012 ; Houari et al, 2017 ; Houari et al, 2018 ; Sail et al, 2019 ; Hadj Ammar et al, 2020 Houari ;2009) effectuées sur les eaux de la nappe du CT à l'échelle locale et régionale des localités du bassin oriental du Sahara. La température des eaux du Mio-Pliocène est de l'ordre de 21° à 28° C, ces variations ne sont pas contrôlées par la profondeur, mais plutôt par la température de l'air et les saisons.

Les eaux sont très dures, et affichent des minéralisations excessives, exprimées par des conductivités électriques très élevées, les concentrations en éléments chimiques sont fortes et dépassent les normes, elles 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.

V.2- Résultats d'analyses physico-chimiques :

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 I) paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins dans toutes les régions avec de faibles écarts types.

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

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 I**) dépassent les normes de l'OMS (500 mg/l), elles atteignent des concentrations fortes (1413 mg/l pour Mio-pliocène, 1175 mg/l pour Sénonien).

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 (> 1000 mg/l pour les deux nappes), (**Tableau I**).

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 aux normes de potabilité (300 mg/l), voir une moyenne de 153.418 mg/l pour Mio- pliocène et de 57.329 pour Sénonien.

V.2.6- Les nitrates NO_3^- (mg/l) :

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, et c'est la forme la plus soluble de ce dernier, les teneurs en nitrates observées (**Tableau I**), sont relativement moyennes,

quelques fois, elles dépassent les normes (50 mg/l) ce qui laisse penser à l'infiltration de l'azote végétal à partir des zones d'infiltrations des eaux d'irrigation.

V.2.7- Le calcium Ca^{2+} (mg/l) :

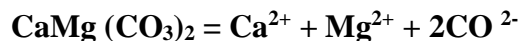
La présence des ions Ca^{2+} dans les eaux est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) ainsi que les formations gypseuses (CaSO_4) selon les équations suivantes:



Les eaux (Tableau I) présentent des teneurs supérieures à 200 mg/l. voir des teneurs extrêmes (> 270 mg/l) pour le eux cas.

V.2.8- 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 (**Tab I**), sont proches des valeurs naturelles.

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 650 mg/l.

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 I) dévoilent des valeurs relativement élevées, en dépassant les normes (12 mg/l), mais contrairement aux autres éléments, le potassium ne présente pas de grande évolution.

Tab I - Paramètres physiques et éléments chimiques

	Mio-Pliocène			Sénonien		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
<i>pH</i>	8.3	7.98	8.64	8.40	8.08	8.61
<i>CE (μS/cm)</i>	3251.7	1986	4862	3659.5	2483	5299
<i>SO₄²⁻ (mg/l)</i>	860.2	438	1413	904.91	600	1175
<i>Cl⁻ (mg/l)</i>	564.3	325	1050	679.16	410	1200
<i>HCO₃⁻ (mg/l)</i>	153.41	153.418	204.35	157.32	82.35	201.3
<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>	22.17	0	48.5	14.79	2	33.5
<i>Ca²⁺ (mg/l)</i>	184.62	112.5	287.5	213.29	157.5	340
<i>Mg²⁺ (mg/l)</i>	139.52	74.2	184.5	156.60	96	256
<i>Na⁺ (mg/l)</i>	347.52	200	605	412.5	237.5	625
<i>K⁺ (mg/l)</i>	17.4	10	32.5	20.95	13	33

V.2.11- Matrice de corrélation

Le but de cette analyse est de trouver des tendances chimiques dans ces eaux, pour les variables, ces tendances sont en fait une manière de traiter les origines, ces tendances reflètent des catégories de minéralisation spécifiques.

On remarque une dépendance étroite entre quelques paramètres (Ca, Mg, Na, SO₄, Cl). Cette relation se traduit par les coefficients de corrélation se rapprochant de "1" (**Tab II, III**). Les liens significatifs peuvent être probablement attribués à des origines communes de ces éléments.

Tabl II : Matrice de corrélation des éléments chimiques. (Nappe Mio-pliocene)

Variable	CE ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Co3 (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
CE ($\mu\text{S/cm}$)	1.00										
pH	1.00	1.00									
Co3(mg/l)	0.24	0.24	1.00								
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	0.40	0.40	0.05	1.00							
Cl ⁻ (mg/l)	0.03	0.03	0.36	0.59	1.00						
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-0.35	-0.35	-0.06	0.03	-0.18	1.00					
NO ₃ ⁻ (mg/l)	-0.06	-0.06	-0.21	0.11	-0.34	0.35	1.00				
Ca ²⁺ (mg/l)	0.34	0.34	0.25	0.90	0.80	-0.10	-0.14	1.00			
Mg ²⁺ (mg/l)	0.26	0.26	0.39	0.63	0.79	-0.07	-0.30	0.74	1.00		
Na ⁺ (mg/l)	0.11	0.11	0.26	0.76	0.94	-0.09	-0.21	0.85	0.75	1.00	
K ⁺ (mg/l)	0.05	0.05	0.35	0.51	0.93	-0.31	-0.46	0.72	0.75	0.87	1.00

Tab III : Matrice de corrélation des éléments chimiques (Nappe Sénonien)

Variable	CE ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Co3 (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
CE ($\mu\text{S/cm}$)	1.00										
pH	0.90	1.00									
Co3(mg/l)	1.00	0.90	1.00								
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	-0.05	-0.25	-0.05	1.00							
Cl ⁻ (mg/l)	0.04	-0.19	0.04	0.91	1.00						
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	0.01	-0.14	0.01	0.45	0.36	1.00					
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.22	0.35	0.22	-0.20	-0.41	-0.53	1.00				
Ca ²⁺ (mg/l)	-0.27	-0.62	-0.27	0.66	0.68	0.44	-0.39	1.00			
Mg ²⁺ (mg/l)	-0.02	-0.15	-0.02	0.85	0.91	0.26	-0.38	0.47	1.00		
Na ⁺ (mg/l)	0.11	-0.14	0.11	0.91	0.96	0.36	-0.34	0.67	0.85	1.00	
K ⁺ (mg/l)	0.26	0.03	0.26	0.74	0.92	0.34	-0.46	0.52	0.83	0.92	1.00

V.3- Faciès chimique des eaux :

V.3.1-Par le diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique..

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point 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 (**Fig V.1,2**), le faciès chimique des eaux du Mio- Pliocène et Sénonien de notre région d'étude montre la présence de quatre familles :

- ✓ La première est celle caractérisée par le faciès chloruré calcique ou magnésien.
- ✓ La deuxième est celle caractérisée par le faciès sulfaté calcique ou magnésien.
- ✓ La troisième est celle caractérisée par le faciès chloruré sodique.
- ✓ La quatrième est celle caractérisée par le faciès sulfaté sodique.

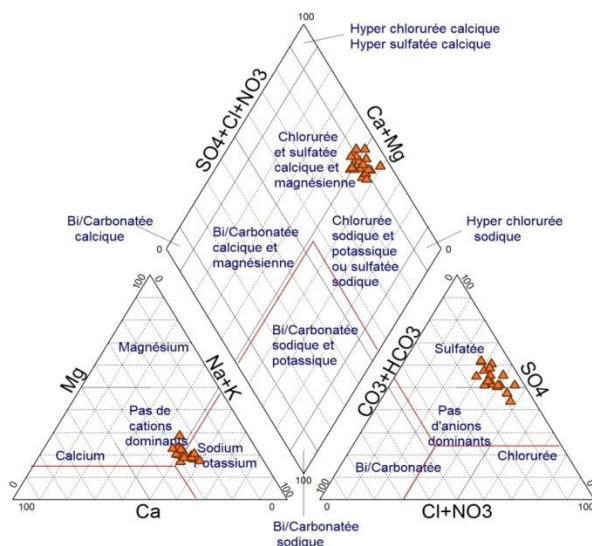


Fig V.1: Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène

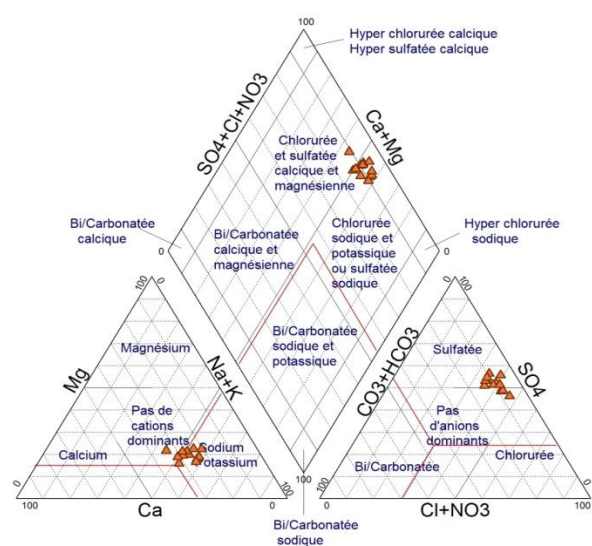


Fig V.2: Faciès chimiques des eaux du Sénonien

V.3.2-Par la classification de Stabler

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 : ($\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ et/ou $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$), quant 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.

Le rapport SO_4/Cl (**Fig V.3, 4, 5, 6, 7 et 8**) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en ion sulfate, d'une part. Autre, si ce rapport est inférieur à 1, cela indique un enrichissement en ions chlore, tandis que le rapport Na/Ca (**Fig. V.3 et V4**) montre toutes les valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en sodium, à la fois dans le Mio-Pliocène et Sénonien.

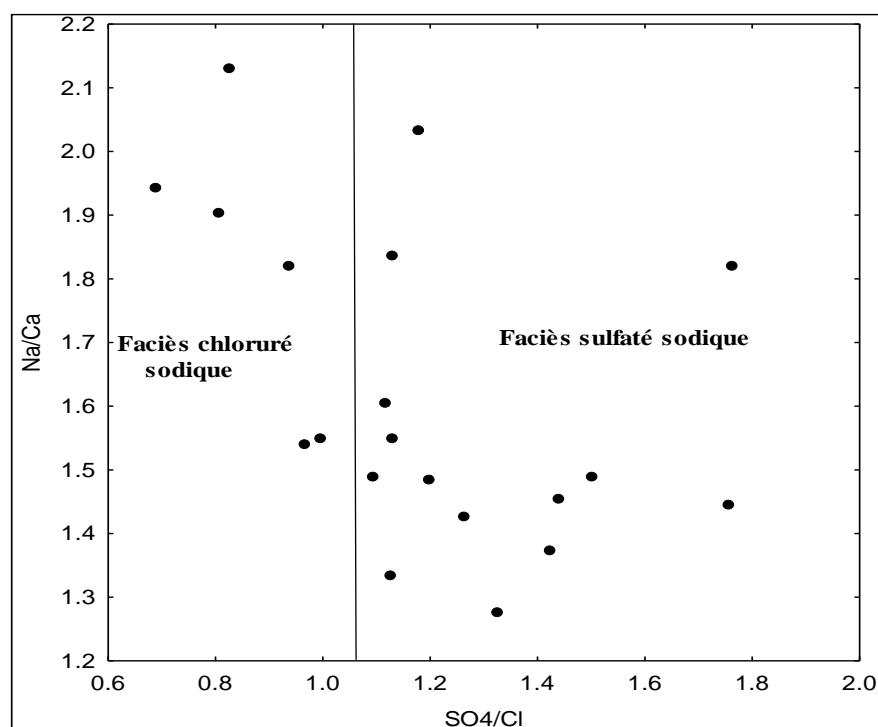


Fig V.3 : La relation Na/Ca vs SO4/ Cl (Nappe de Mio-Pliocène)

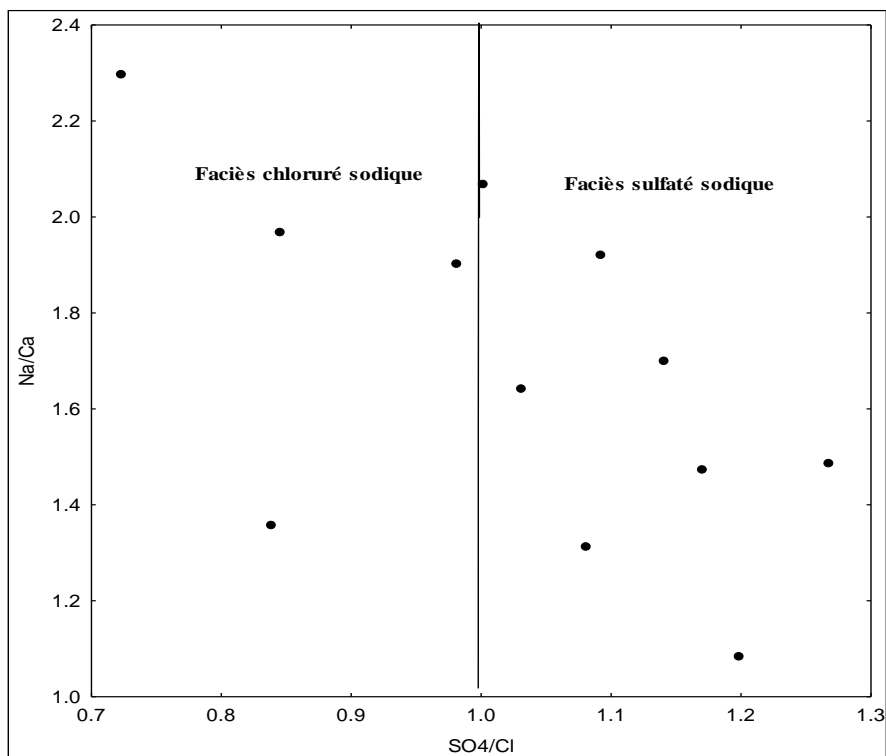


Fig V.4 : La relation Na/Ca vs SO₄/ Cl (Nappe de Sénonien)

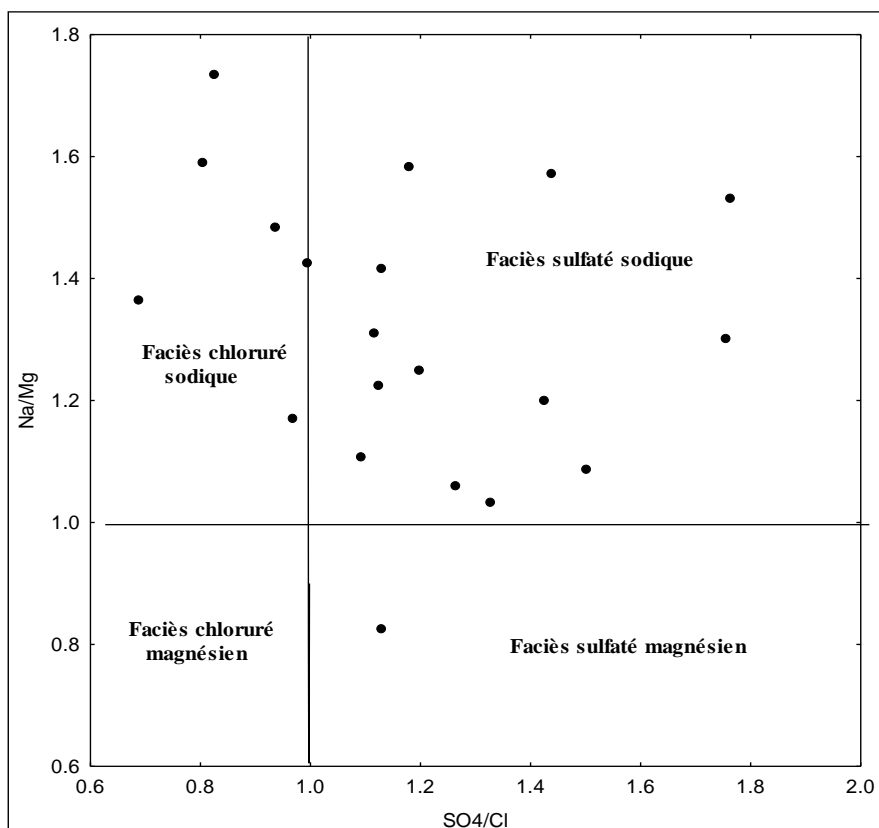


Fig V.5 : Faciès chimiques par la relation SO₄/Cl vs Na/Mg (Nappe de Mio-Pliocène)

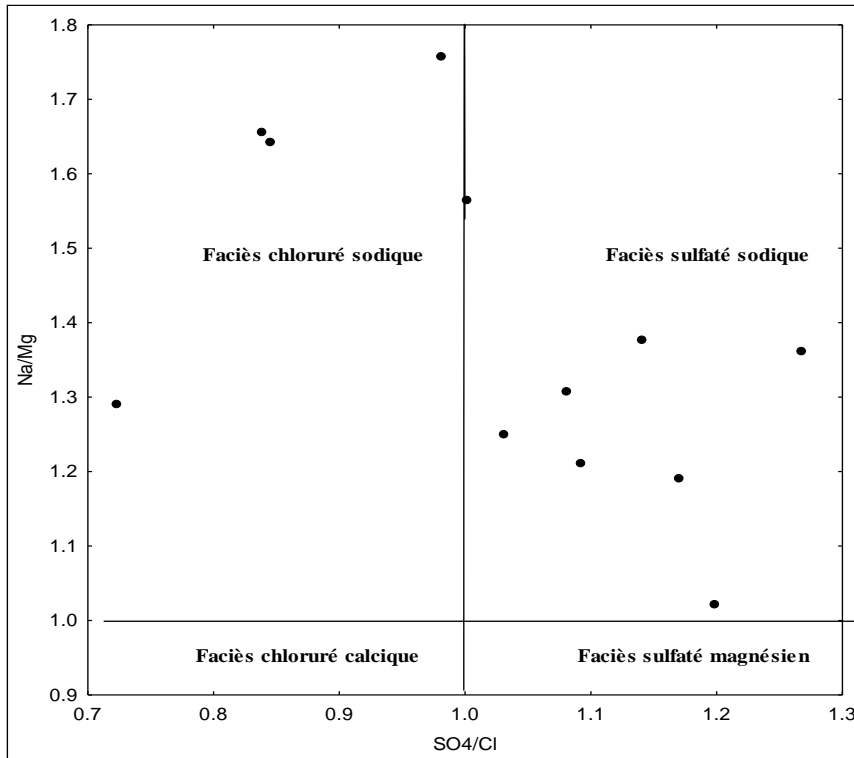


Fig V.6 : Faciès chimiques par la relation SO4/Cl vs Na/Mg (Nappe de Sénonien)

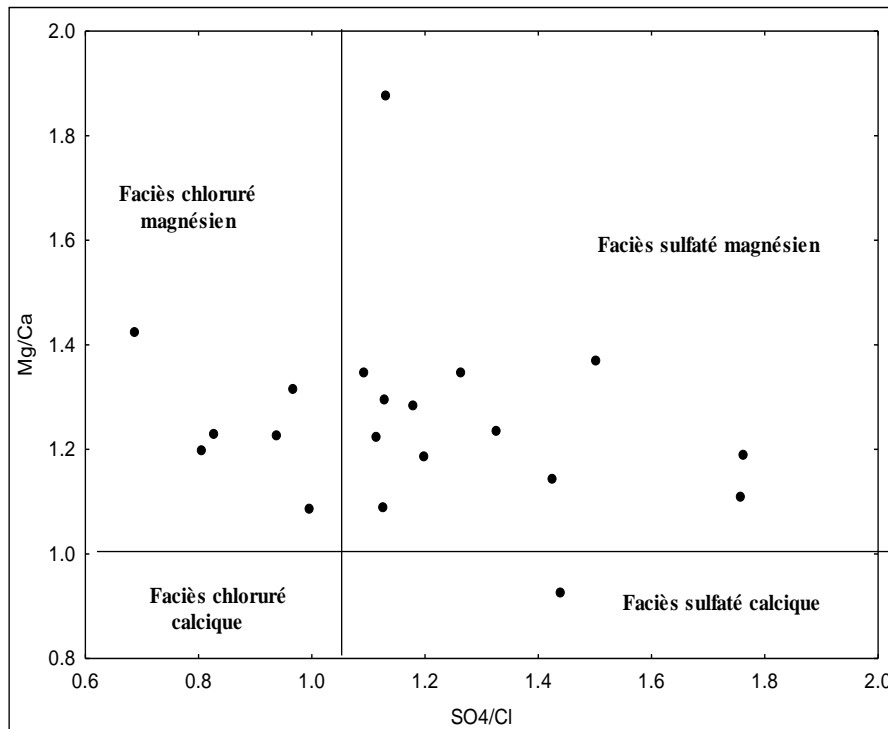


Fig V.7 : Faciès chimiques par la relation SO4/Cl vs Mg/Ca (Nappe de Mio-Pliocène)

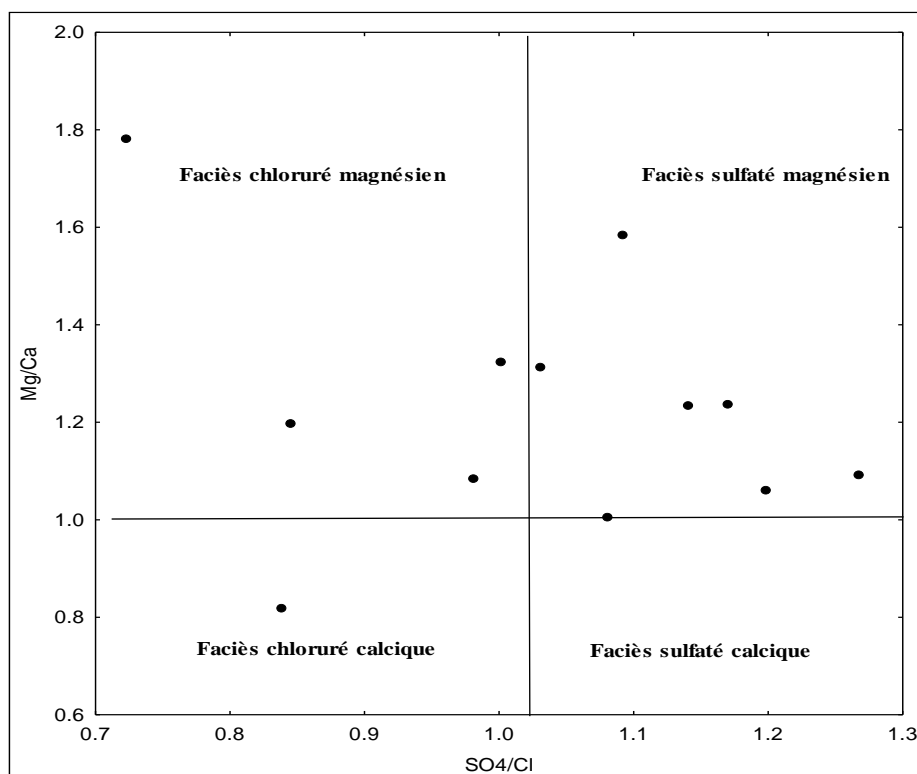


Fig V.8 : Faciès chimiques par la relation SO₄/Cl vs Mg/Ca (Nappe de Sénonien)

Le rapport Na/Mg et Mg/Ca (**Fig V.5,6,7, et 8**) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en sodium, ou inférieur à 1, indique un enrichissement en magnésium, la dominance du faciès sulfaté sodique est nettement remarquable.

V.4 - Origine des éléments chimiques :

V.4.1- Origine des chlorures et du sodium :

Les graphiques (**Fig V.9, 10**) montrent un alignement des points, avec un coefficient de corrélation $r = 0.93$, 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.

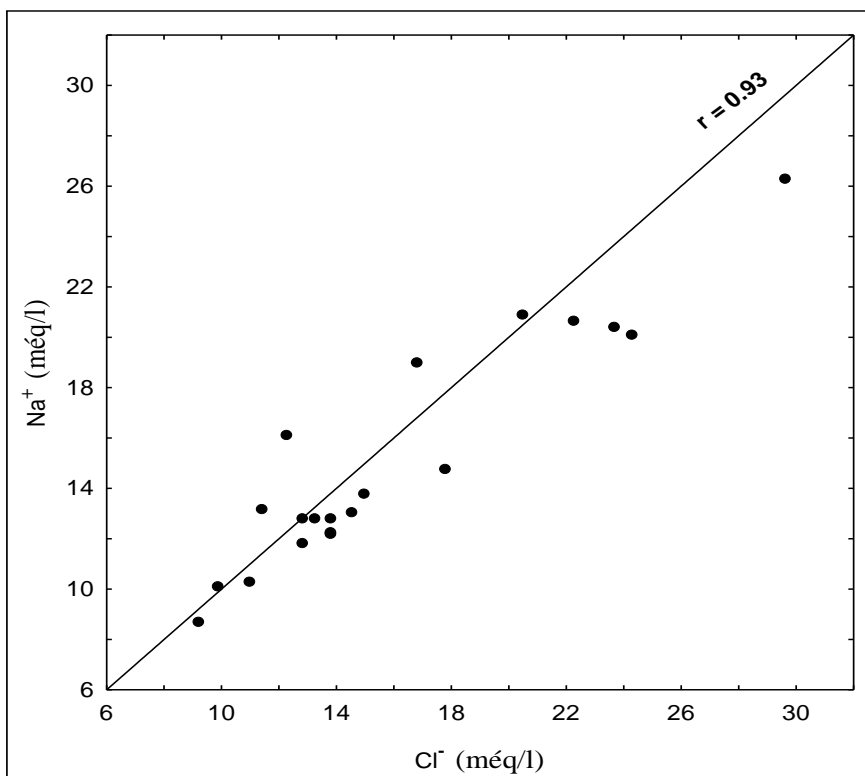


Fig V.9 : La relation rNa vs rCl nappe Moi-Pliocène

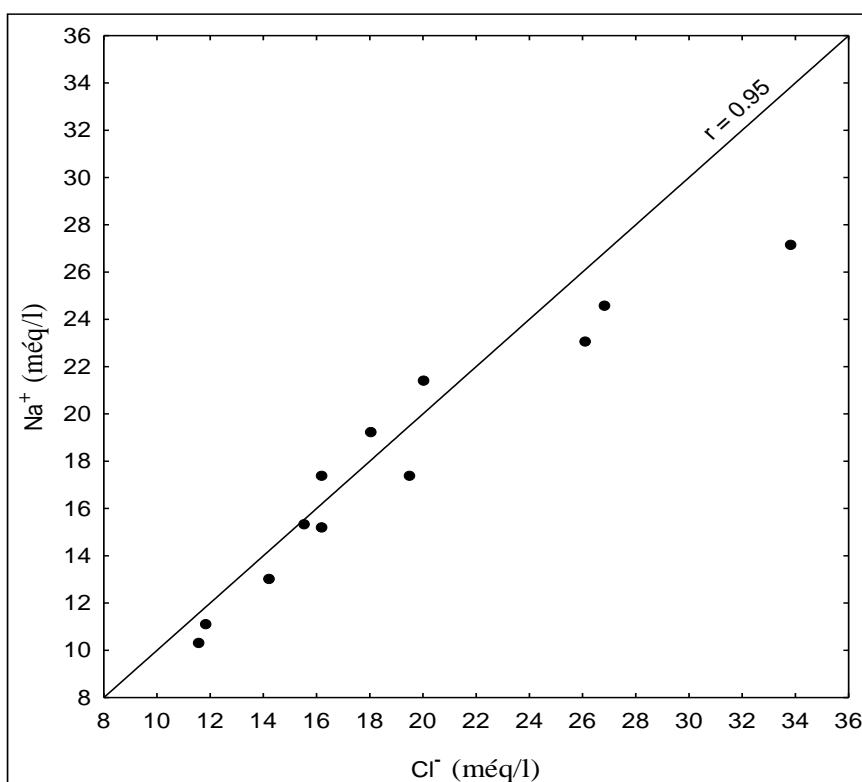


Fig V.10 : La relation rNa vs rCl nappe Sénonien

V.4.2- Origine des calciums du sulfate, et du magnésium :

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.

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.

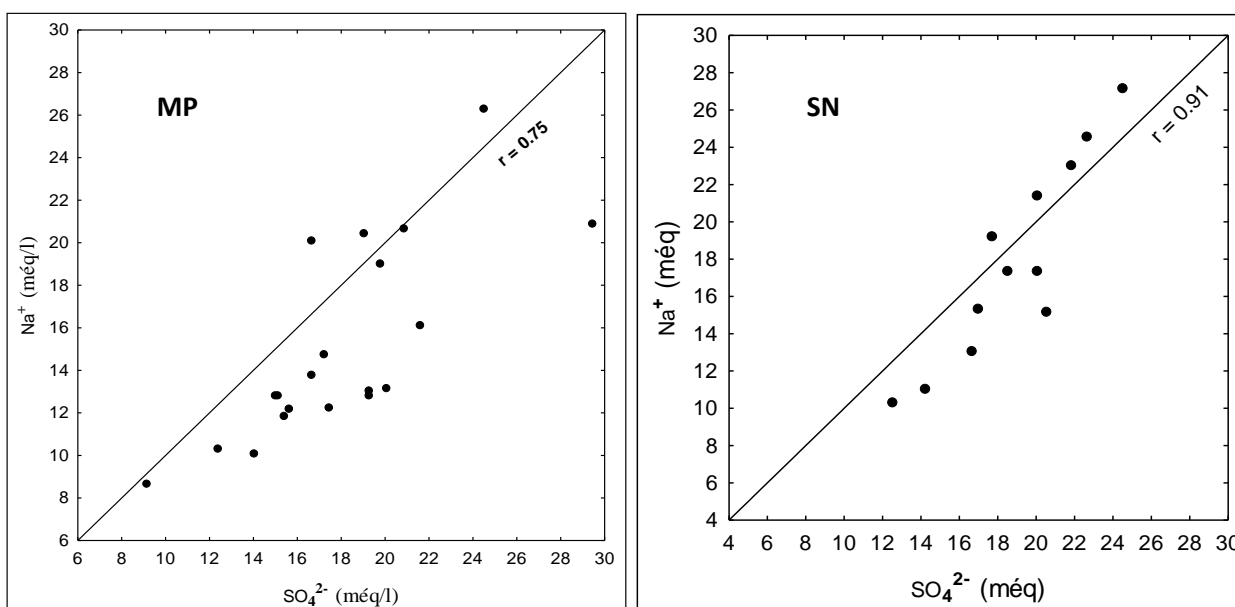


Fig V.11 : La relation rNa vs rSO4

Le graphique (**Fig. V.11**) montre l'alignement des points. Ceci indique une bonne corrélation entre le sulfate et le sodium, ce qui prouve qu'ils ont la même origine. Dans l'eau étudiée, il peut s'agir de Thénardite ou de Mirabilite.

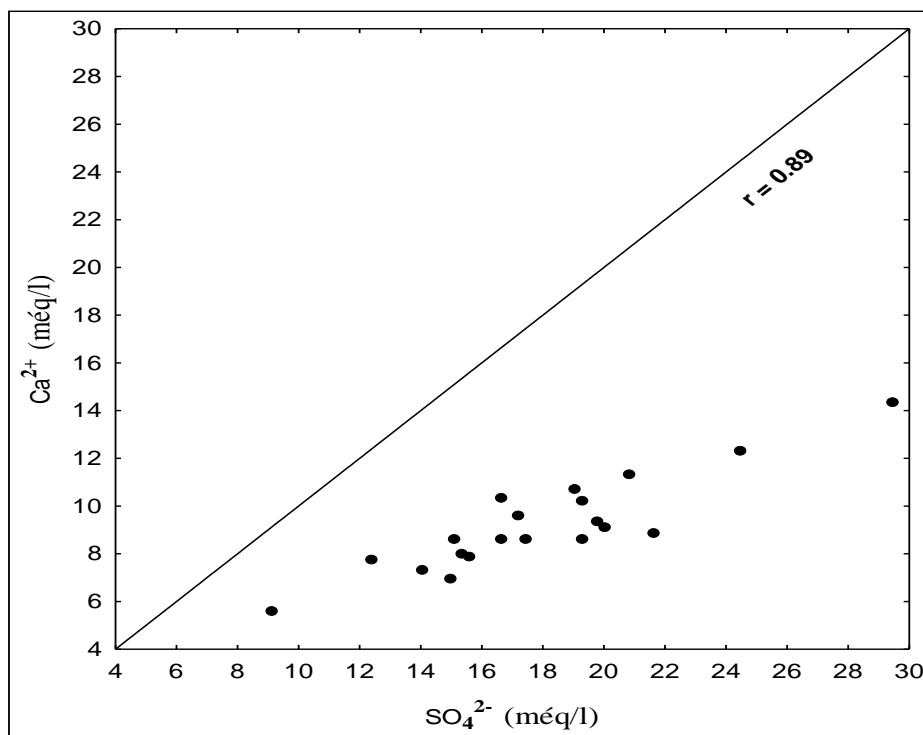


Fig V.12 : La relation Ca vs SO4 (Nappe de Mio-Pliocène)

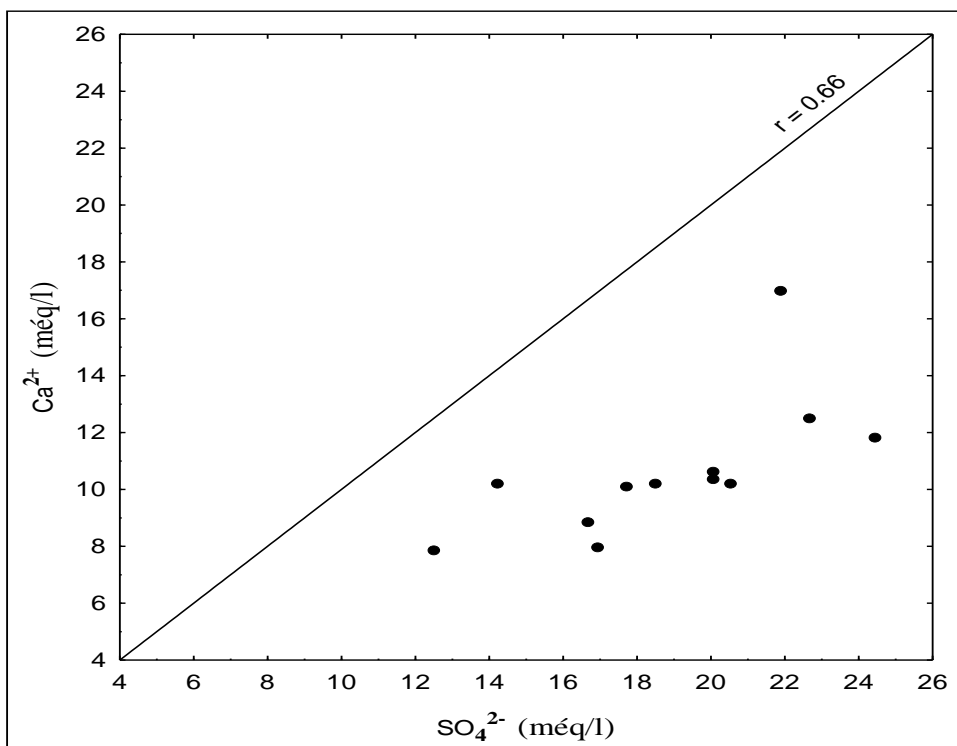


Fig V.13 : La relation Ca vs SO4 (Nappe de Sénonien)

La figure (Fig V.12. 13) montre que la plupart des points sont en excès en sulfates par rapport au calcium, avec un coefficient de corrélation de 0.89 et 0.66, ce qui indique que le calcium

dans nos eaux peut avoir une autre origine à part les gypses et les anhydrites, cette origine peut être carbonatée.

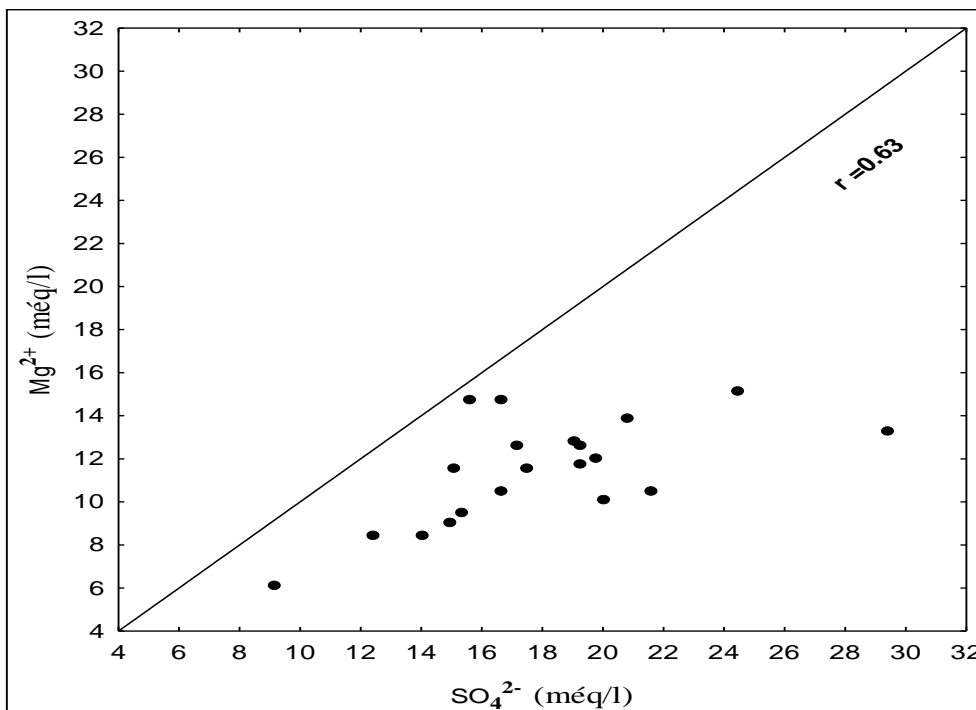


Fig V.14: La relation rMg vs rSO4(Nappe de Mio-Pliocène)

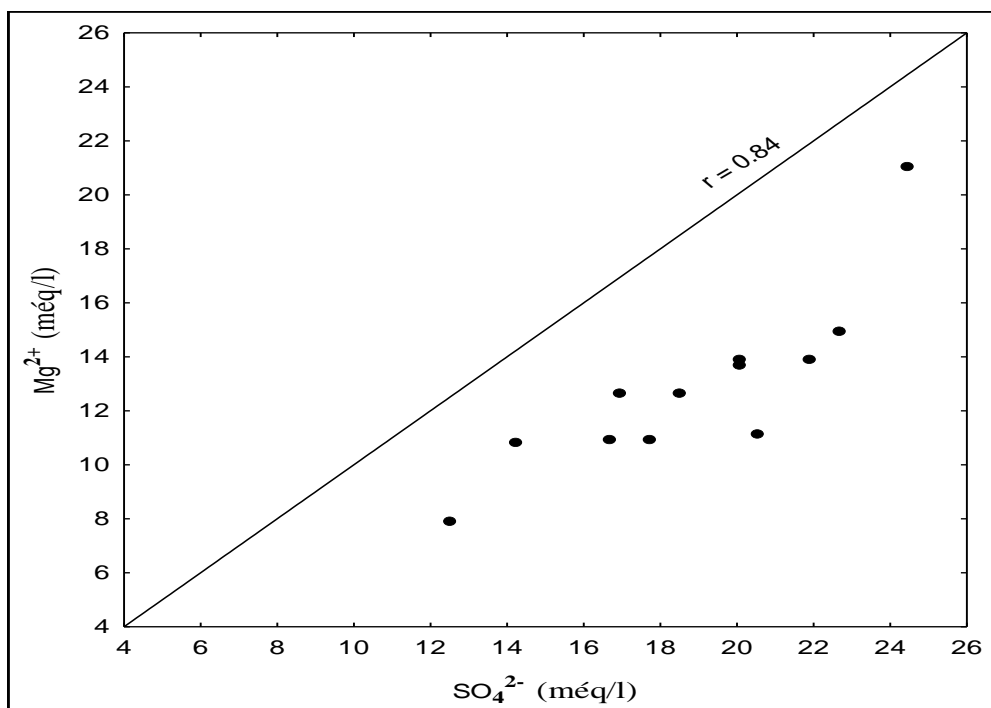


Fig V. 15 : La relation rMg vs rSO4 (Nappe de Sénonien)

La figure (**Fig V.14, 15**) montre que la plupart des points sont en excès en sulfates par rapport au magnésium, avec un coefficient de corrélation de 0.63 en Mio-Pliocène et 0.84 en Sénonien, ce qui indique que le Sulfate dans nos eaux peut avoir une autre origine.

V.4.3- Origine du potassium et des bicarbonates :

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.

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.

V.5-Equilibres sels/solutions des eaux :

V.5 .1- Evolution des indices de saturation vis-à-vis des minéraux prépondérants

A l'aide du modèle thermodynamique Phreeqi.v.3, nous avons calculé l'indice de saturation des eaux souterraines des principaux minéraux ($IS = \log(Q) / \log(Kps)$). L'indice de saturation fait de l'étude de l'évolution chimique de l'eau une relation fonctionnelle entre son état d'équilibre (ou déséquilibré) et les minéraux primaires et nouveaux de la roche réservoir (Maliki, 1993).

Comme pour les éléments chimiques majeurs, les indices de saturation des minéraux prépondérants (évaporites et carbonates) évoluent le long des sens d'écoulement des eaux de la nappe du Mio-Pliocène et Sénonien de notre région d'étude.

Pour les évaporites, nous avons choisi le gypse, l'epsomite, l'anhydrite et l'halite. Les graphiques ci-dessous (**Fig. V.16, 17**) indiquent que l'eau de tous les échantillons de puits est presque saturée en gypse et en anhydrite et insaturée en halite et en epsomite.

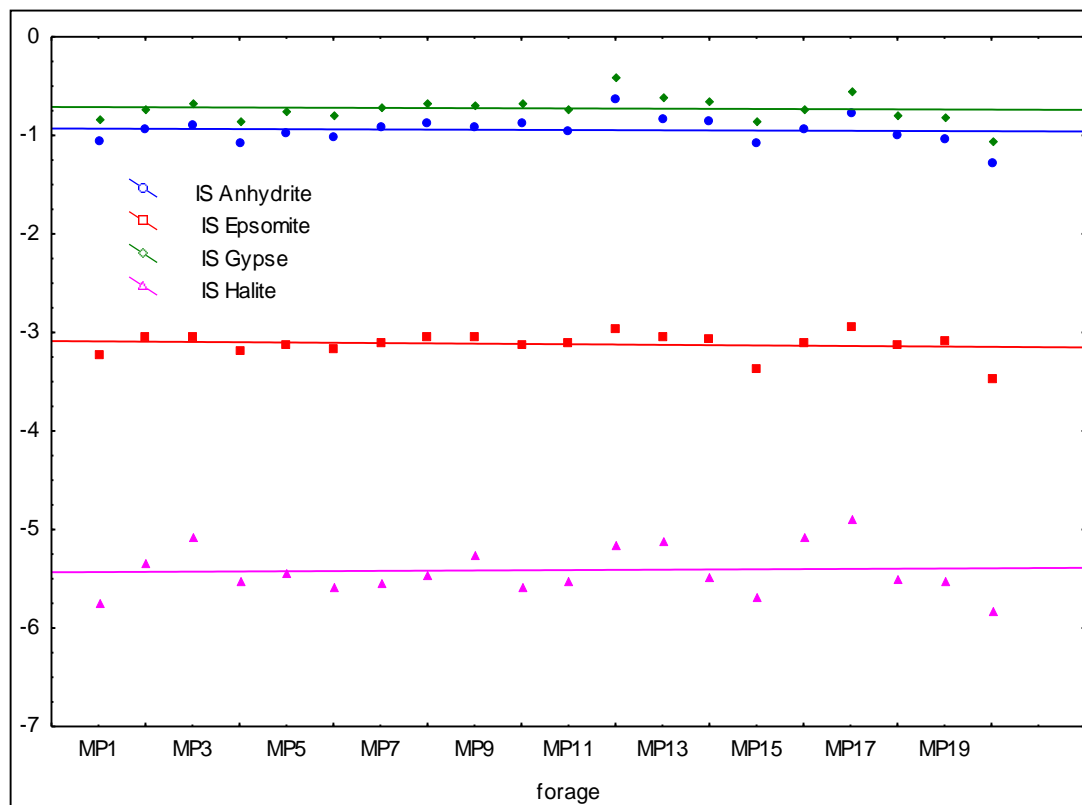


Fig V.16 : Evolution des indices de saturation vis-à-vis de l'Anhydrite, Gypse et Halite et Epsomite (de la nappe Mio-Pliocène)

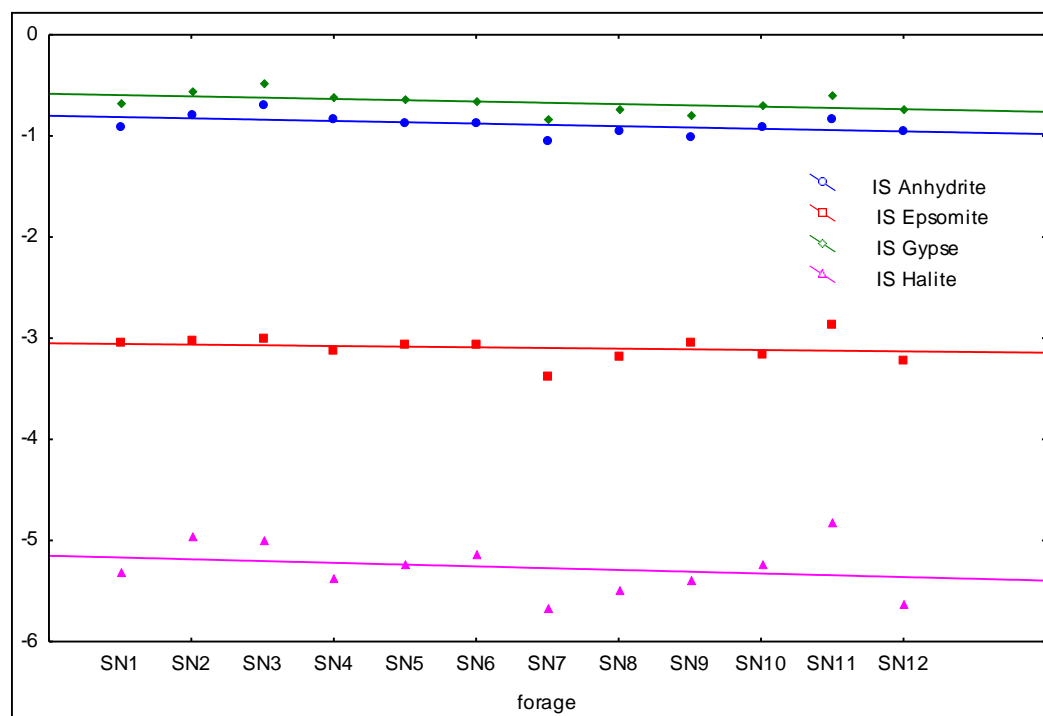


Fig V.17 : Evolution des indices de saturation vis-à-vis de l'Anhydrite, Gypse et Halite et Epsomite (de la nappe Sénonien)

Le graphique précédent montre que l'eau est presque saturée en gypse et en anhydrite et insaturée en halite et en epsomite dans Mio-Pliocène et Sénonien.

Pour le carbonate, la calcite, l'aragonite, les dolomites et le magnésium ont été sélectionnés, les graphiques ci-dessous (**Fig. V.18, 19**) indiquant un équilibre vers la sous-saturation de l'eau des puits échantillonnés par rapport à la calcite, à l'aragonite, et à la magnésite, la sursaturation par rapport aux dolomites, le début du dépôt, et ces indicateurs changent avec la direction de l'écoulement de l'eau.

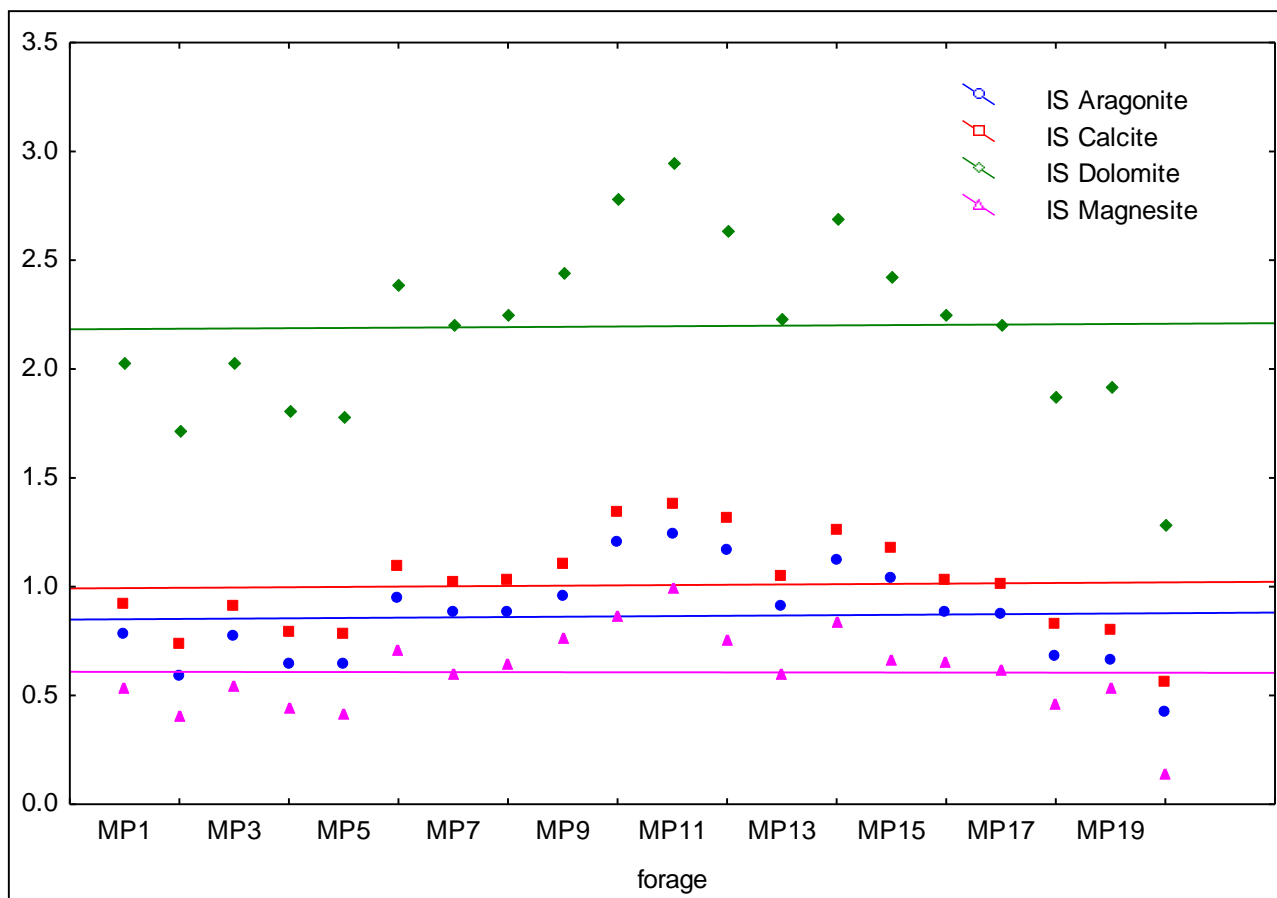


Fig V.18: Evolution des indices de saturation vis-à-vis de la Calcite, de la magnésite de l'Aragonite et de la Dolomite (de la nappe du Mio-Pliocène)

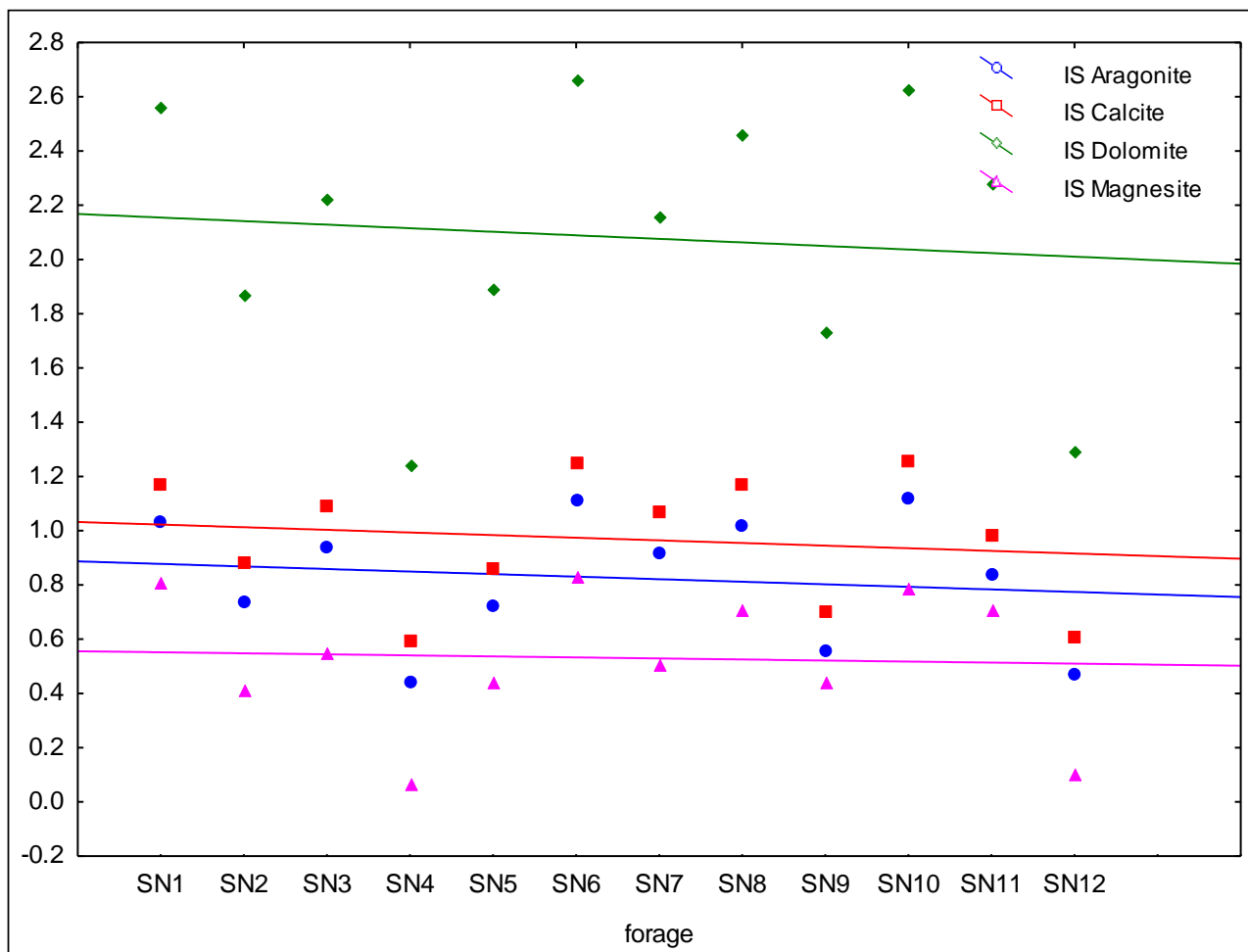


Fig V.19 : Evolution des indices de saturation vis-à-vis de la Calcite, de la magnésite de l'aragonite et de la Dolomite (de la nappe du Sénonien)

V.5.2- Les relations indices de saturation vs minéraux prépondérants

V.5.2.1- Les relations indices de saturation vs minéraux évaporitiques

La figure ci-dessous (**Fig. V.20**) montre des corrélations très significatives entre l'indice de saturation (IS) du gypse avec $(Ca + SO_4)$, avec $r = 0,98$, dans Mio-Pliocène et $r = 0,96$ dans le Sénonien ainsi que l'IS de Epsomite $(Mg + SO_4)$ avec $r = 0,93$ dans le Mio-Pliocène et $r = 0,94$ dans le Sénonien (**Fig.V .21**), Pour l'halite $(Na + Cl)$ avec $r = 0,98$ pour les nappes (**Fig V.22**), cela renforce l'hypothèse de la dissolution de ces minéraux suivant le sens de l'écoulement des eaux souterraines de ces nappes dans la zone d'étude.

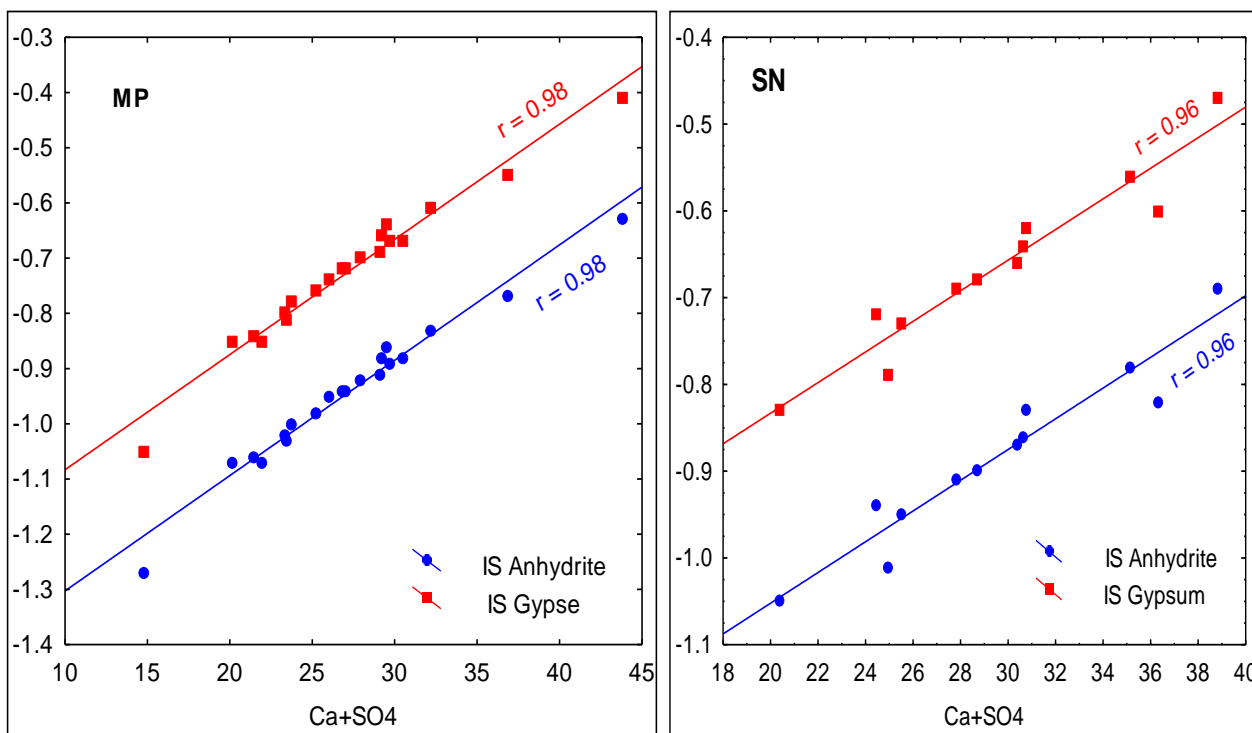


Fig V.20 : La relation Ca+SO4 vs IS Anhydrite et IS Gypse

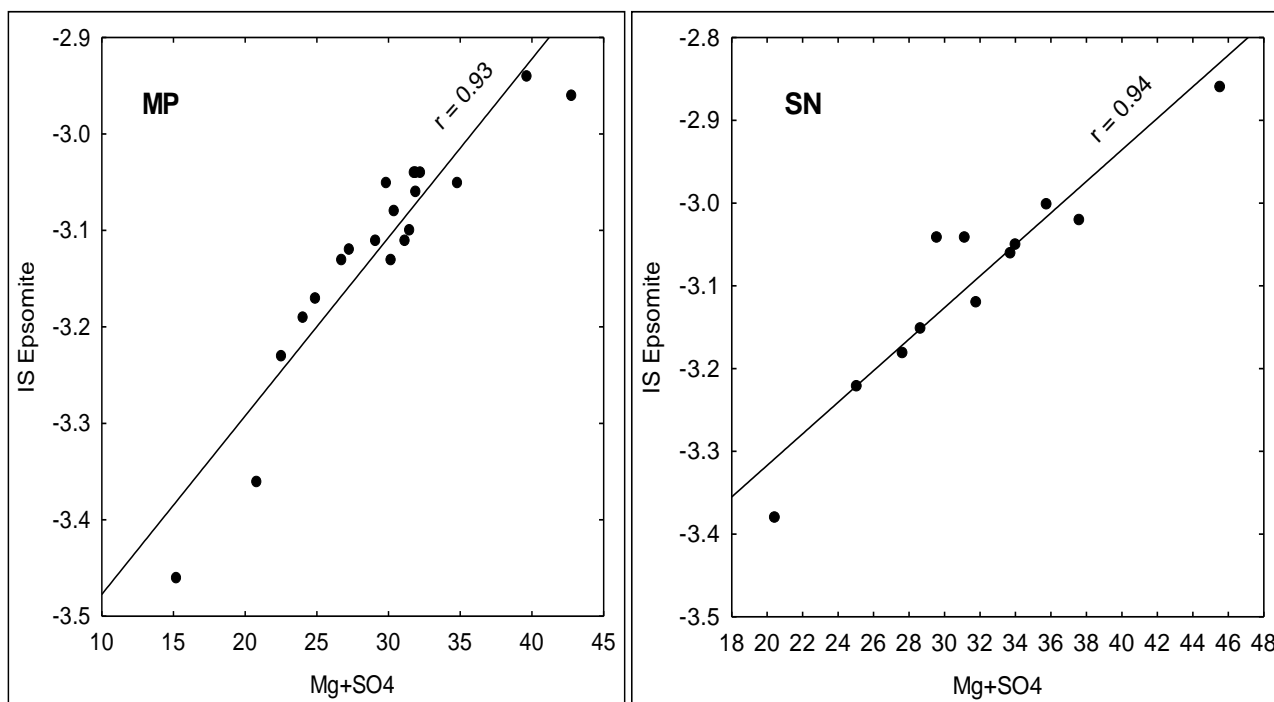


Fig V.21 : La relation Mg+SO4 vs IS Epsomite

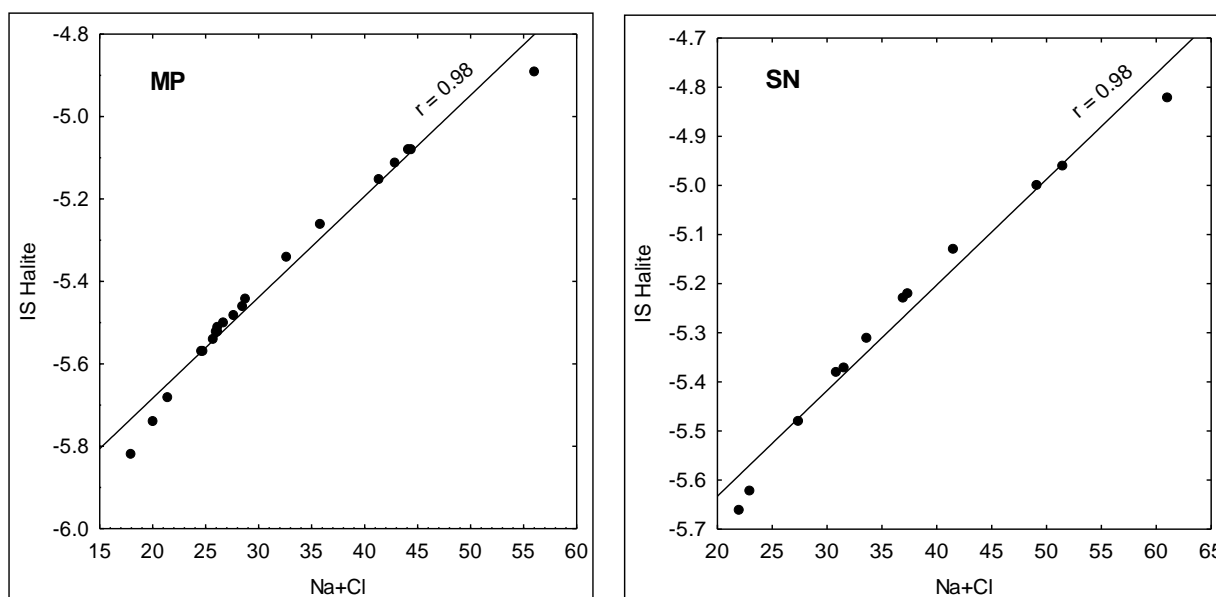


Fig V.22: La relation Na+Cl vs IS Halite

V.5.2.2- Les relations indices de saturation vs minéraux carbonatés

Les indices de saturations des minéraux carbonatés (calcite et aragonite, $\text{Ca}+\text{HCO}_3$ avec $r = 0.49$ pour le Mio-Pliocène et le Sénonien. (Fig V.23), de la dolomite, $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{HCO}_3$, avec $r = 0.39$ pour le Mio-Pliocène et $r = 0.14$ pour le Sénonien (Fig V.24), et de la magnésite, $\text{Mg}+\text{HCO}_3$ avec $r = 0.36$ pour le Mio-Pliocène et $r = 0.27$ pour le Sénonien (Fig V.25), Il ne montre pratiquement aucune corrélation significative, ce qui rend inefficace la contribution des minéraux carbonatés aux concentrations de Ca et de Mg.

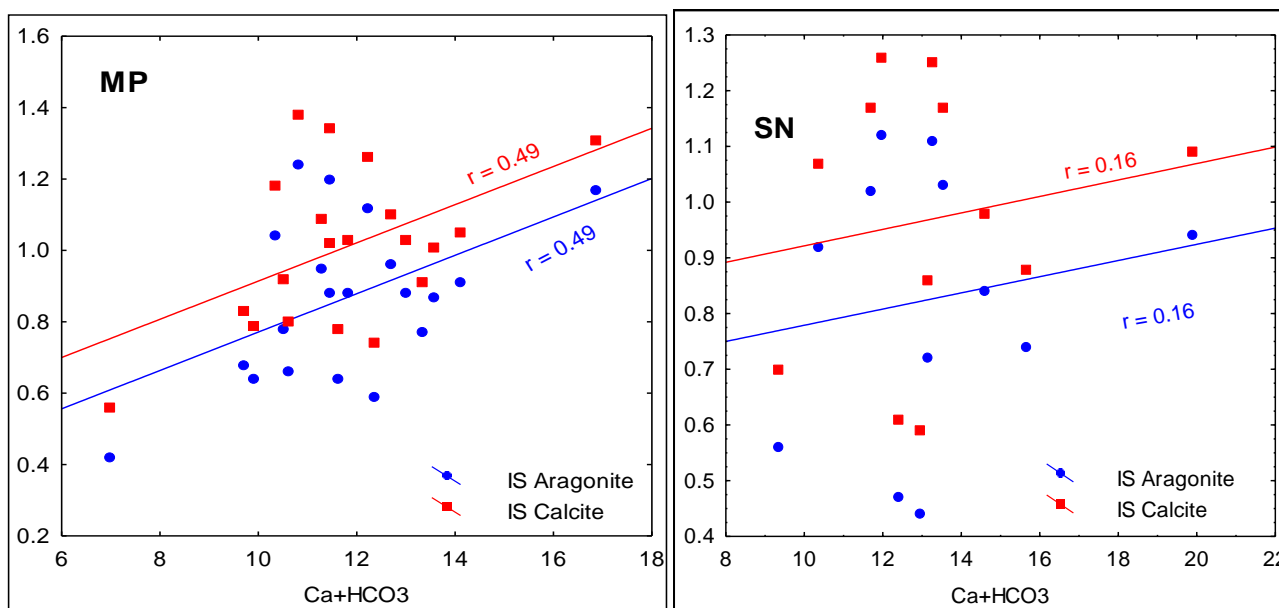


Fig V.23 : La relation Ca+HCO3 vs IS Aragonite et IS Calcite

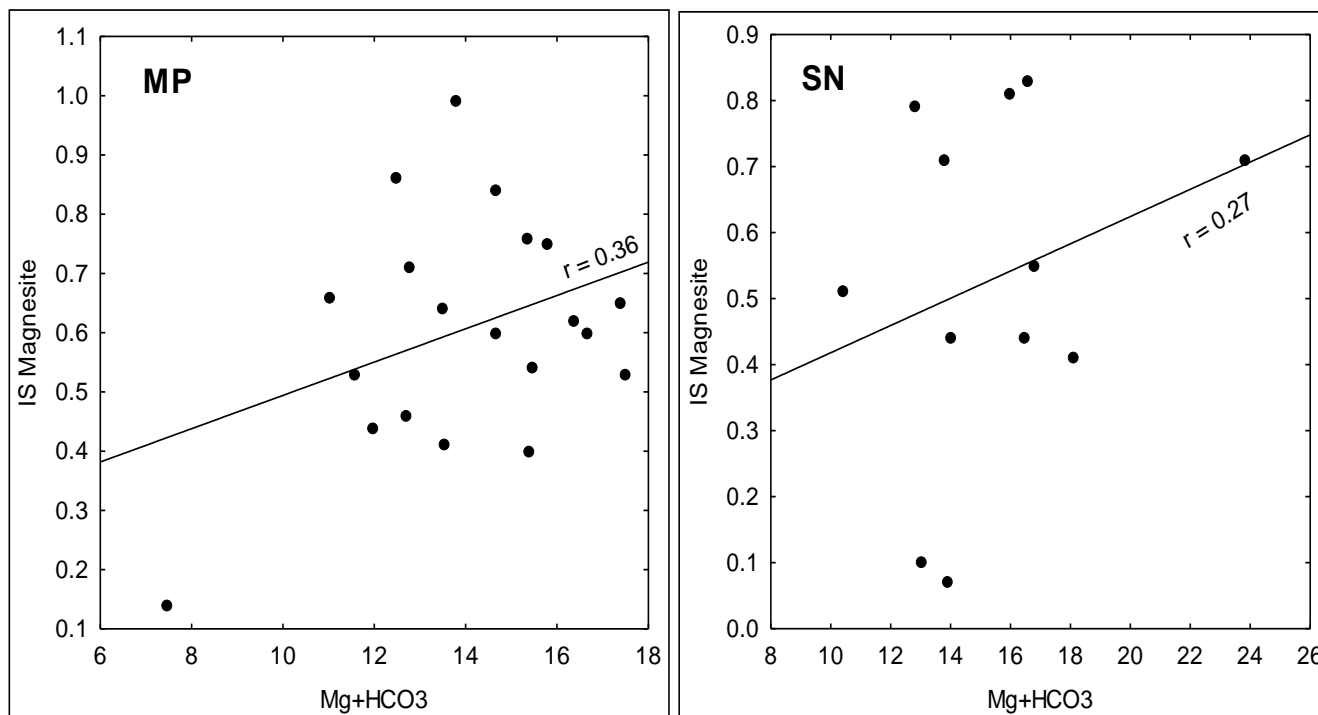


Fig V.24 : La relation Mg+HCO3 vs IS Magnesite

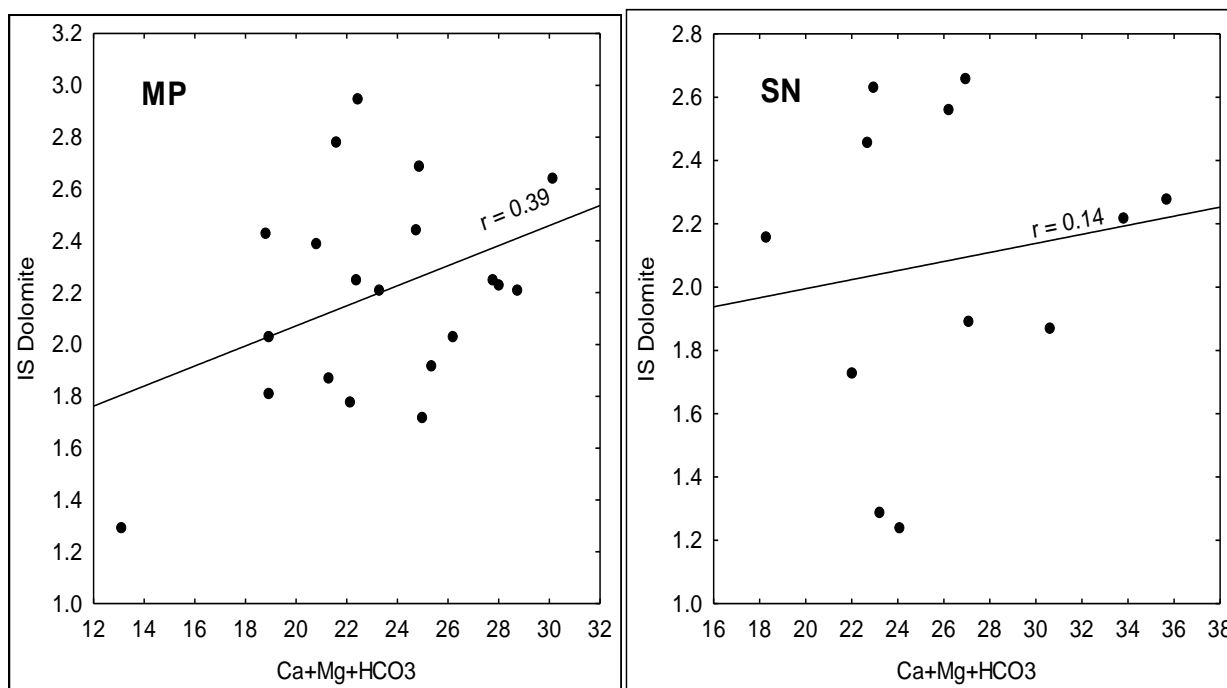


Fig V.25 : La relation Ca+Mg+HCO3 vs IS Dolomite

V.6- Échanges de base

Au cours de leurs trajets, les eaux souterraines sont devenues de plus en plus riches en substances dissoutes. Les substances avec lesquelles elles sont entrées en contact avaient la

caractéristique d'un échange d'ions entre les ions et l'eau. C'est une capacité particulière de l'argile, et ses lamelles sont chargées négativement. est compensée car les cations échangeables (H⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺) échangeables (Schoeller, 1962 ; Droubi, et al, 1976), l'indice d'échange de base (i.e.b), tel que : $i.e.b = (rCl^- - rNa^+ - rK^+) / rCl^-$.

Pour qu'il y ait un échange de base, i.e.b doit être positif, si le rapport est grand, cela signifie que l'échange est grand. (Schoeller, 1962).

A noter que l'indice d'échange alcalin ne correspond pas forcément à un échange alcalin, lorsqu'il est négatif, il correspond au déséquilibre chlore-alcali, qui se caractérise par l'indice : $rCl^- - rNa^+ + rK^+ / rHCO_3^- + rSO_4^{2-} + rNO_3^-$.

En calculant les pourcentages de valeurs , i.e.b positives ou négatives d'environ 33% au Sénonien et 30% au Mio-Pliocène pour les échantillons de valeurs , i.e.b négatives, le reste est positif mais toujours proche de zéro (**Fig. V. 27**).

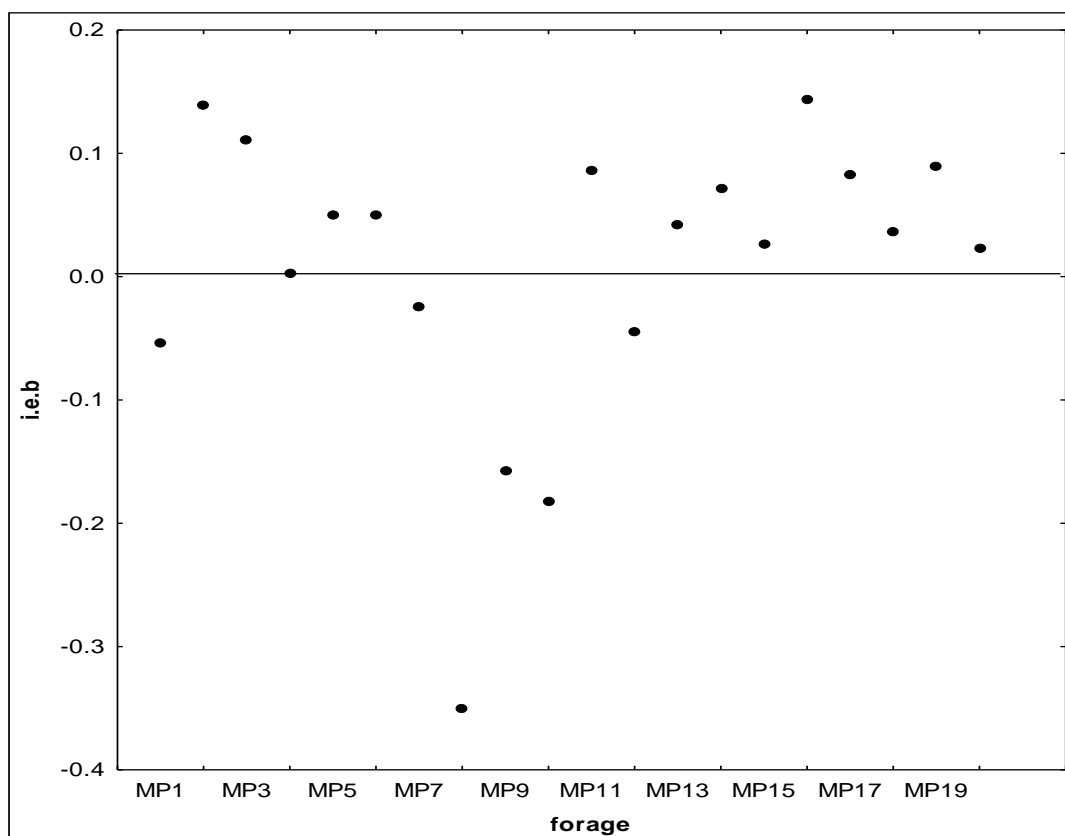


Fig V.27 : Evolution des indices d'échanges de base (Nappe de Mio- Pliocène)

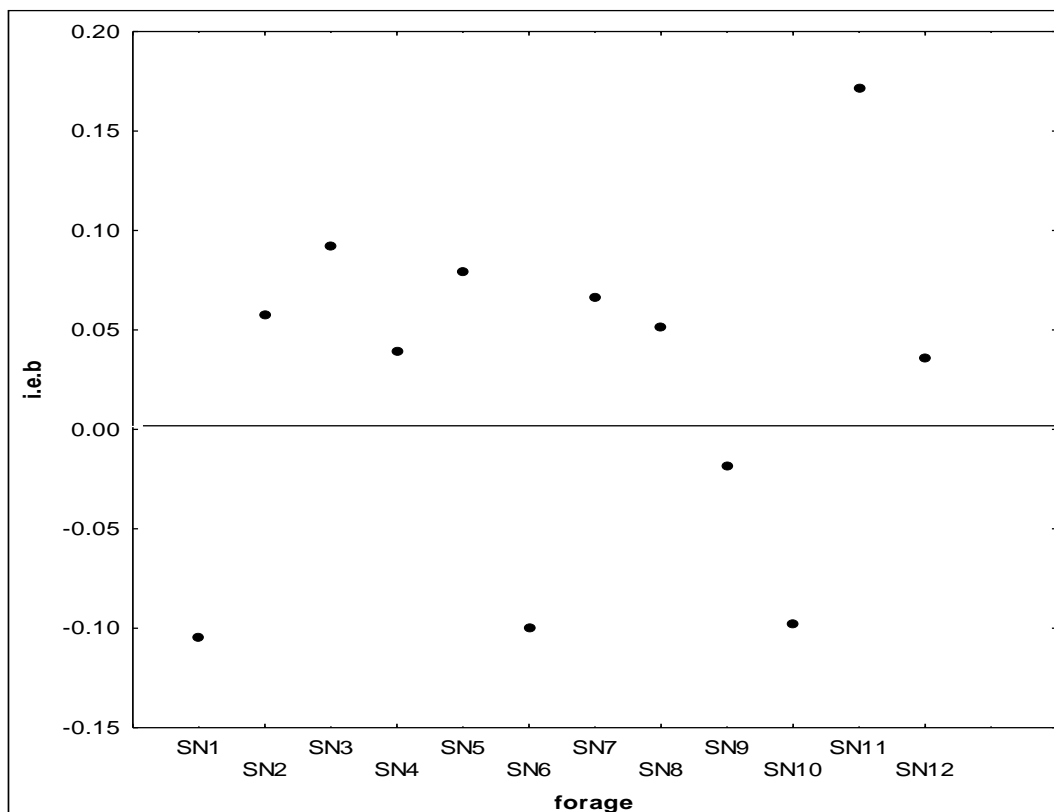


Fig V.27 : Evolution des indices d'échanges de base (Nappe de Sénonien)

Comme le graphique ci-dessous montre (**Fig. V.28**) les échantillons qui ont un excès ou un déficit en (Ca + Mg) ou (Na + K), on constate que la plupart des eaux des échantillons de la région de Ouargla ont un excès de (Ca + Mg.) par rapport à (HCO₃ + SO₄) et un déficit en (Na + K) par rapport aux chlorures (Cl), ce qui indique que la roche qui se caractérise par la prédominance des formations d'évaporites est celle qui contrôle l'enrichissement de l'eau en ces éléments (Ca et Mg), Où les résultats s'appliquent à la fois au Mio-Pliocène et au Sénonien.

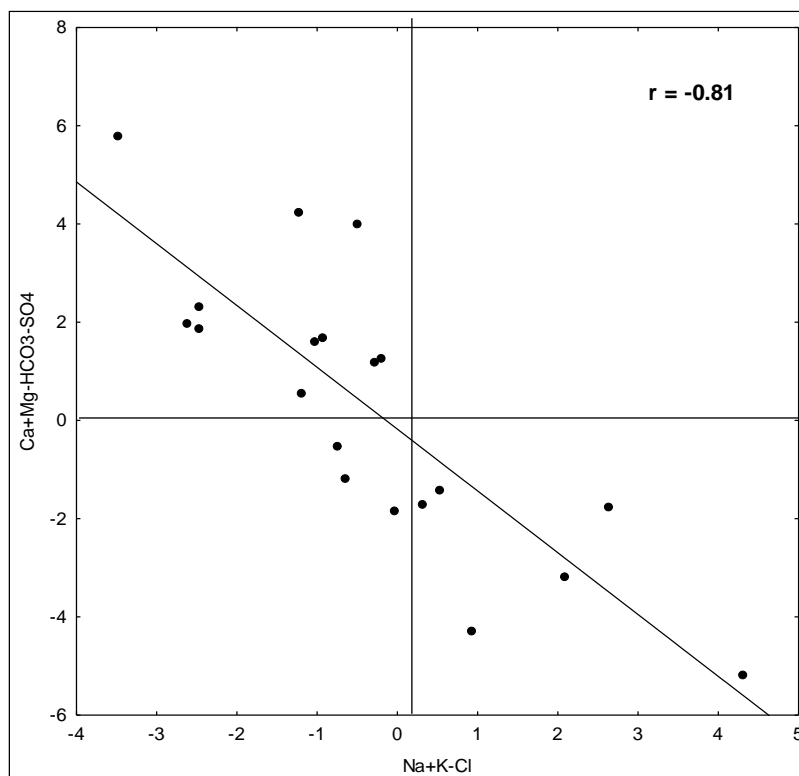


Fig V.28 : La relation entre (Ca+Mg-HCO3-SO4) vs (Na+K-Cl). (Nappe de Moy-Pliocène)

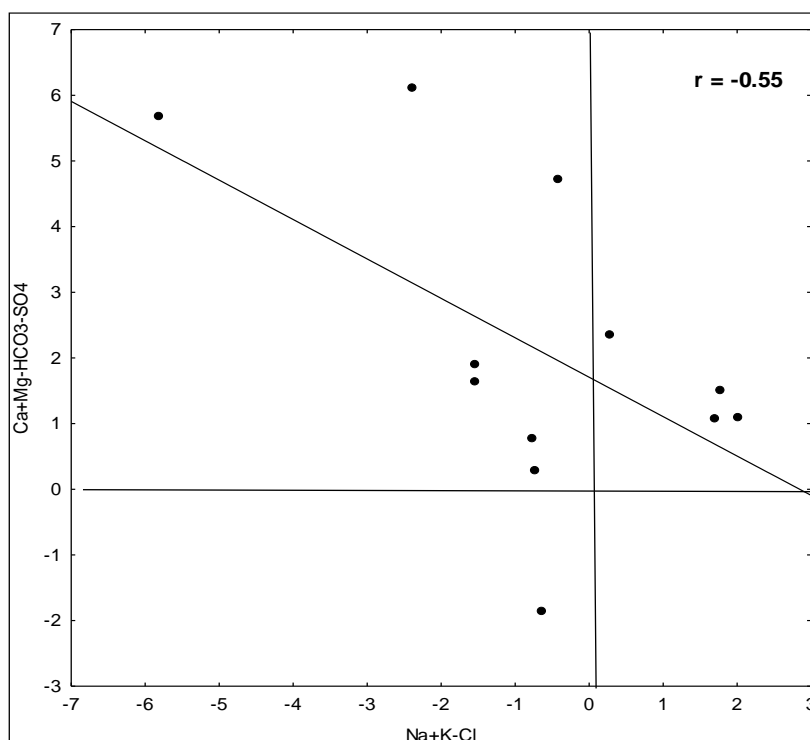


Fig V.28 : La relation entre (Ca+Mg-HCO3-SO4) vs (Na+K-Cl) (Nappe de Sénonien)

V.7- Conclusion

Les eaux Complexe terminales (Mio-Pliocène et Sénonien) après un contact constant avec une substance rocheuse riche en minéraux vaporisés hautement solubles, acquièrent une minéralisation excessive et une très forte dureté, en témoignent les grandes valeurs de conductivité électrique localement jusqu'à 8 000 S cm-1, ainsi que

Des méthodes statistiques peuvent être utilisées pour déterminer la corrélation entre les éléments chimiques et leur comportement lors du traitement des résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau. En effet, les éléments d'évaporation (Cl, Na, SO₄, Mg) et la conductivité électrique CE représentent une corrélation très significative, Ca et K sont relativement faibles. De plus, les bicarbonates se comportent différemment et ne participe pas à l'enrichissement de l'eau ou à la précipitation minérale.

En analysant les corrélations les plus importantes et les plus représentatives, l'étude de certaines relations caractéristiques entre les éléments chimiques peut aider à déterminer l'origine lithologique possible de chaque élément dissous dans l'eau. Cette méthode peut également préciser l'utilisation de Stabler La phase chimique qui existe dans la formule.

Les concentrations de sodium, chlorure, calcium et sulfate sont bonnes Corrélée (Ca vs SO₄ : r = 0,72 et 0,73), (Na vs Cl : r = 0,85 et 0,88). La participation des ions d'évaporation à la minéralisation totale de l'eau peut résulter de la dissolution éventuelle d'halite, de gypse et d'anhydrite.

Le calcul de l'indice d'échange de base de tous les points d'eau échantillonnés montre que l'existence de ce phénomène est très probable car l'argile abondante dans notre zone est le principal facteur de ce phénomène de modification chimique.

conclusion général

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 50 °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, géo-structuralement, 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.

La zone d'étude caractérise par les nappes d'eau souterraines du SASS ; l'Albien gréseux et sableux (CI), le Sénonien lagunaire et carbonaté et le Mio-Pliocène sableux et argileux qui forment ensemble le (CT)

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 exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées (5299 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et les concentrations en éléments chimiques dépassent les normes de l'OMS.

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.

L'analyse des relations entre les éléments chimiques et leurs comportements révélés en utilisant des méthodes statistiques (matrice de corrélation) dans le traitement des résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau, a permis de conclure que les éléments chimiques (Cl, Na, SO₄, Mg) et la

conductivité CE représentent des corrélations très significatif, contrairement aux Ca et K, par ailleurs, les bicarbonates se comportent différemment et ne participent pas à la minéralisation des eaux.

L'étude de certains rapports caractéristiques entre les éléments chimiques peut aider à déterminer l'origine lithologique possible de chaque élément dissous dans l'eau. La méthode de Stabler peut également préciser le faciès chimique qui existe dans l'eau. Par ailleurs, le calcul des indices de saturation des eaux par rapport aux minéraux dominants nous a aider à mettre en évidence les équilibres minéraux/solutions dans les eaux des nappes étudiées, cependant, cette approche à bien déterminer les minéraux susceptibles à se précipiter en première position et ceux qui demeurent en solution jusqu'à la fin du parcours des eaux au niveau des zones d'exutoires (chotts). Le calcul de l'indice d'échange de base de tous les points d'eau échantillonnés a montré que l'existence de ce phénomène est très probable car l'argile abondante dans la lithologie des aquifère de notre zone d'étude est le principal facteur de ce phénomène de modification de chimisme.

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.
- BERKAL.2011 EN IDDER ET AII 2014** : Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité. : L'exemple de l'oasis de Ouargla. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, Volume 27, numéro 2, 2014, p. 155-164
- BEL F. & CUCHE D. (1969)** : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p
- 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
- BG (2004)** : Projet de protection de la cuvette d'Ouargla contre la remontée des eaux, études de reconnaissance et rapports internes.
- 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.
- HOUARI I M. (2020)** : Géochimie et minéralogie des formations et des eaux des nappes du Complexe Terminal du bassin oriental du Sahara septentrional algérien,124p
- FABRE J. (1976)** : Introduction à la géologie du Sahara Algérien. SNED, Alger Algérie, 422p.
- 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 à l'étude de l'évolution géochimique des eaux de la nappe du complexe terminal du Sahara septentrional. Mémoire de majester, université d'Ouargla.,88p.
- UNESCO (1972)** : Projet ERESS ; Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

LELIEVRE. R.F. (1969) : Assainissement de la cuvette d'Ouargla. Ministère des Travaux Publics et de la Construction, rapports Géohydrauliques n°2, 18p ; n° 3, 84p.

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.

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

Etude hydrogéochimique comparative entre les eaux de la nappe du Moi-Pliocène et celle du Sénonien dans la cuvette de 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 contribution à l'étude des aspects se rapportant à l'hydrochimie 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 pour les deux nappes, qui confère aux eaux une minéralisation excessive, de fortes concentrations en sulfates, chlorures et en sodium. La matrice carbonatée de l'aquifère sénonien ne participe pas à l'enrichissement des eaux en minéraux carbonatés.

Mots clés : Ouargla, hydrochimie, Complexe terminale, Mio-Pliocène, Sénonien, évaporites.

دراسة هيدروجيوكيميائية مقارنة بين مياه طبقة المياه الجوفية ميوبليوسان ومياه نهر سينونيان في حوض ورقلة

ملخص: تتمثل مخزونات المياه الجوفية على مستوى الصحراء الشمالية في نظامين طبقيين متراكبين المتداخل القاري و المركب النهائي, تعرف مياه هاذين النظامين برداءة نوعيتها الكيميائية والتي تتميز بتراكيز معدنية عالية و قساوة كبيرة. يهدف هذا العمل الى دراسة هيدروكيميائية لمياه طبقتي الميوبليوسان و السينونيان المنتميتين لنظام مياه المركب النهائي في منطقة ورقلة, وذلك بدراسة طبيعة التركيبة الكيميائية للمياه مقارنة بالطبيعة الليتولوجية للصخور التي تحتويها. النتائج المتحصل 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, الصوديوم.

الكلمات الدالة: ورقلة, دراسة هيدروكيميائية, المركب النهائي , ميوبليوسان , سينونيان , متبخرات .

Comparative hydrogeochemical study between the waters of the Moi-Pliocène aquifer and that of the Sénonien in the ouargla basin

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.