

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -

**FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Hydrogéologie

THEME

*Etude hydrogéochimique des eaux de la nappe du
Continental Intercalaire du bassin oriental du Sahara
Algérien*

Soutenu publiquement par :

BENTEBBA Ouanissa

Devant le jury :

Président :	Mr. Meloueh Walid	M. A. B Univ. Ouargla
Promoteur:	Mr. Nezli Imed Eddine	Professeur Univ. Ouargla
Examineur	.Mr Houari Ider Menad	M. A. A Univ. Ouargla
Co-promoteur	Mme Sahri Laila	M. A. A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de Ma mère.

Mon père.

Mes frères et sœurs (Mourad, Hicham, Nabil, Chahar, Sadak, Hayat,

Samad, Oussama, Abla , Kaouthar, Rawya)

A mes petites nièces Sara, fares, Siradj, Abd Al bari

Tuba, Ritadj ,Aridj ,yasser

Mon encadreur Nezli Imed Eddine

A tous mes Familles Bentebba et Sasoui

Toutes mes amies

Son âme à Dieu et l'âme de repos de mon frère en paix

(Lazhar(Salim))

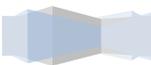
Ouanissa

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU tout puissant, Maître des cieux et de terre, qui m'a permis de mener à bien ce travail.

Nos remerciements très chaleureux vont tout d'abord à :

- ❖ ***Professeur Nezli Imad Eddine , mon Encadreur** qui me a guidé et suivi tout au long de ce travail. Il m'a conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils et de multiples suggestions. Ses critiques fructueuses ont été, pour me, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité j'ai permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.*
- ❖ *Madame Sahri Laila qui m'a guidé et suivi de ce travail. Il me a conseillé, et aussi encouragé.*
- ❖ *Notre remerciement les plus sincères vont aussi à l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H d'Ouargla (Agence Nationale des Ressources Hydraulique).*
- ❖ *Notre remerciement à tout le département science de terre surtout les enseignants qui ont aide à mon mémoire.*
- ❖ *On n'oubliera jamais de me adresser à notre familles pour leur soutien exemplaire moral et matériel continu et immobile.*



Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	(01)
Première partie	
Chapitre I : Cadre Physique de la zone d'étude	
Introduction	(03)
I. Situation Géographique	(03)
I.1.Géomorphologie	(04)
I.2.Climatologie	(04)
2.1-Les précipitations... ..	(04)
2.2-Les températures.....	(04)
2.3-Le vent.....	(05)
2.4-La luminosité.....	(05)
2.5-L'évaporation	(05)
2.6-L'Aridité.....	(05)
II. Géologie régionale et locale.....	(05)
II.1. stratigraphie.....	(05)
Le Trias	(05)
Le Dogger	(05)
Crétace.....	(05)
Le Néocomien.....	(05)
Le Barrémien	(05)
L'Aptien.....	(06)
L'Albien	(06)
Le Vraconien	(06)
Le Cénomanién	(06)
II. 2.Tectonique	(08)
les bassins de la plate forme saharienne.....	(08)
le bassin de Tindouf et Reggan.....	(08)
Bassin de Bechar	(08)
- Bassin del'Ahnet-Timimoun.....	(08)



- Bassin de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya.....	(08)
- La plateforme d'Illizi-Ghadames.....	(08)
B) Les phases Tectonique	(09)
a- La phase panafricaine.	(09)
b- La phase calédonienne	(09)
b-1) La phase distensive du Cambro-ordovicien.....	(09)
b-2) Phase de compression taconique Caradoc	(10)
b-3)Phase calédonienne tardive	(10)
C- La phase hercynienne	(10)
C-1)La phase précoce.....	(10)
C-2)La phase tardive.....	(10)
d- La phase post-hercynienne	(10)
e- La phase Autrichienne	(10)
III. Hydrogéologie Régionale et locale.....	(11)
III.1 continental intercalaire	(12)
III.1.2. Limites et morphologie du continental intercalaire	(12)
III.1.3 La stratigraphie.....	(13)
III.1.4 Les failles.....	(14)
III.1.5Les zones d'alimentation	(16)
III.1.6Les zones exutoires.....	(16)
Conclusion	(18)
Deuxième Partie :Résultats et Discussion	
Chapitre I : Synthèse hydrochimique sur les eaux du CI	
Introduction.....	(20)
I.Les origines des données	(20)
II. Outil informatique	(20)
II.1 AqQA	(20)
II.2Diagramme.....	(20)
II.3Statistica.....	(20)
II.4 Phreeqci,	(21)
III .Les paramètres physico chimiques.....	(21)
III.1.les paramètres physique.....	(21)
III.1.1La température.....	(21)
III.1.2.Le Ph.....	(22)



III.1.3. La conductivité électrique CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).....	(23)
III.2. Les paramètres Chimiques.....	(23)
III.2.1 Les sulfates SO_4^{2-} (mg/l).....	(23)
III.2.2 Les chlorures Cl- (mg/l).....	(24)
III.2.3 Bicarbonates HCO_3^- (mg/l).....	(25)
III.2.4 Le calcium Ca (mg/l).....	(25)
III.2.5 Le magnésium Mg^{2+} (mg/l)	(26)
III.2.6 Le sodium Na^+ (mg/l)	(26)
III.2.7 Le potassium K^+ (mg/l).....	(27)
Conclusion.....	(28)
Chapitre II : Les caractéristiques hydrogéochimiques de la nappe du CI	
Introduction.....	(31)
1. Faciès chimiques des eaux de nappe CI.....	(31)
2. Analyse de la matrice de corrélation	(36)
3. Influence de la température sur la minéralisation des eaux	(37)
4. Influence de la lithologie sur la minéralisation des eaux	(38)
5. Echange de bases.....	(42)
6- Equilibre sels/solution et comportement des ions.....	(43)
Conclusion	(45)
Conclusions générales	(46)
Références bibliographiques.....	(48)



Liste des Figures

- Figure 01 : situation géographique du Sahara Algérien
- Figure 02 : Colonne stratigraphique type du Sahara oriental
- Figure 03 : les bassins de la plate forme saharienne
- Figure 04: Les nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire - Le Complexe Terminal
- Figure 05: Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface Piézométrique du CI
- Figure 06 : Coupe Hydrogéologique du CI et CT
- Figure 07: Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT
- Figure 08: Carte piézométrique de référence du "CI"
- Figure 09 : Diagramme Piper des eaux de la nappe de Continentale Intercalaire
- Figure 10: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du Ghardaia
- Figure 11: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du Ouargla
- Figure 12: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du El Oued
- Figure 13: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du Illizi
- Figure 14: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du Biskra
- Figure 15 : les pourcentages des faciès chimiques
- Figure.16 : la relation entre la température et la conductivité
- Figure .17 : La relation entre la température et K)
- Figure .18: Evolution de la conductivité électrique CE en fonction du rapport $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) / \text{HCO}_3^-$
- Figure .19 : Evolution de la conductivité électrique CE en fonction du rapport $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$
- Figure .20 : La relation entre Na et Cl
- Figure.21 : La relation entre Ca et HCO_3^-
- Figure.22 : La relation entre $[\text{SO}_4^{2-}]$ et $[\text{Ca}^{2+}]$
- Figure .23: La relation entre $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) - (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ et $((\text{Na}^+ + \text{K}^+) - \text{Cl}^-)$ des eaux du CI
- Figure.24 : Evolution des concentrations des éléments majeurs en fonction du facteur de concentration
- Figure 25: Evolution de l'indice de saturation des minéraux en fonction du facteur de concentration



Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les phases tectoniques de la plate-forme saharienne

Tableau 2 : Données générales sur la nappe du Continental Intercalaire (Albien)

Tableau 3 : Variations des Températures selon les wilayas

Tableau. 04 : Variations des PH selon les wilayas

Tableau. 05 : Variations des conductivités électriques selon les wilayas

Tableau. 06 : Classification d'une eau selon sa dureté

Tableau. 07 : Variations des concentrations des sulfates selon les wilayas

Tableau. 08 : Variations des concentrations des chlorures selon les wilayas

Tableau. 09 : Variations des concentrations des bicarbonates selon les wilayas

Tableau. 10 : Variations des concentrations du calcium selon les wilayas

Tableau. 11 : Variations des concentrations du magnésium selon les wilayas

Tableau 12 : Variations des concentrations du sodium selon les wilayas

Tableau 13 : Variations des concentrations du potassium selon les wilayas

Tableau 14 : La matrice de corrélation du nappe CI



LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH, Agence Nationale Des Ressources Hydriques.

CI, Continental Intercalaire.

CT, Complexe Terminal.

OMS, Organisation Mondiale de la Sante.

OSS, Observation du Sahara et du Sahel.

SASS , Système Aquifère du Sahara Septentrional.



Introduction générale

Le Sahara algérien constitue, jusqu'à présent, l'objet de multiples études universitaires, d'articles scientifiques et de rapports techniques. Entre autres, des études ont porté sur la reconnaissance géologique (Bel et Dermagne, 1966 ; Busson, 1966 ; 1970 ; 1971 ; Fabre, 1976), et hydrogéologique (Cornet, 1964 ; Bel et Cuhe, 1969 ; 1970, Castany, 1982) du Système aquifère du Sahara Septentrional. Diverses études ont également porté sur la qualité Physicochimique, et parfois bactériologique, des eaux de ce système aquifère.

Le Sahara renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines, qui ne peuvent être expliquées par le climat actuel qui toujours est différent dans cette zone d'étude, malgré le caractère hyperaride de ce climat, Les ressources en eaux, constituent de deux grandes couches aquifères superposées :

- ☞ les nappes du « Continental Intercalaire ». très profondes dans le bassin nord oriental, et contenant des eaux chaudes et souvent très minéralisées,
- ☞ les nappes du « Complexe Terminal ». moins profondes mais salées.

Ces différentes nappes recèlent des potentialités hydriques importantes, qui sont actuellement abondamment exploitées pour les usages domestiques, industriels et l'irrigation des palmeraies.

L'objectif de ce mémoire est l'évolution hydrogéochimique des eaux du Continentale Intercalaire du Sahara Algérien de l'amont à l'aval.

Afin de répondre à ces préoccupations et d'atteindre nos objectifs, cette étude est fondée sur les axes suivants :

Première partie

Chapitre I : Cadre physique de la zone d'étude

Situation Géographique, géologie régionale et locale, hydrogéologie régionale et local

Deuxième partie : Résultats et discussion

Chapitre II : Synthèse hydrochimique sur les eaux du CI

Chapitre III : Caractéristiques hydrogéochimiques de la nappe du CI



Chapitre I : Cadre Physique sur la zone d'étude

Introduction

Le Sahara renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines qui ne peuvent être expliquées par le climat actuel, ce dernier est toujours différent dans cette zone, dans cette partie on va présenter Géographie, géologie régionale et locale, hydrogéologie régionale et locale de Sahara Algérien , néanmoins on va se focaliser sur le continental intercalaire.

I. Situation Géographique

Le Sahara Algérie est limité au Nord par la flexure sud atlasique, à l'Est par les frontières algero-tunisienne et algero-libyenne, à l'Ouest par les frontières algero-marocaine et algero-mauritanienne et enfin au Sud par Niger et Mali (Figure 01). Il est séparé en ; Sahara septentrional, méridional, central, oriental et occidental.

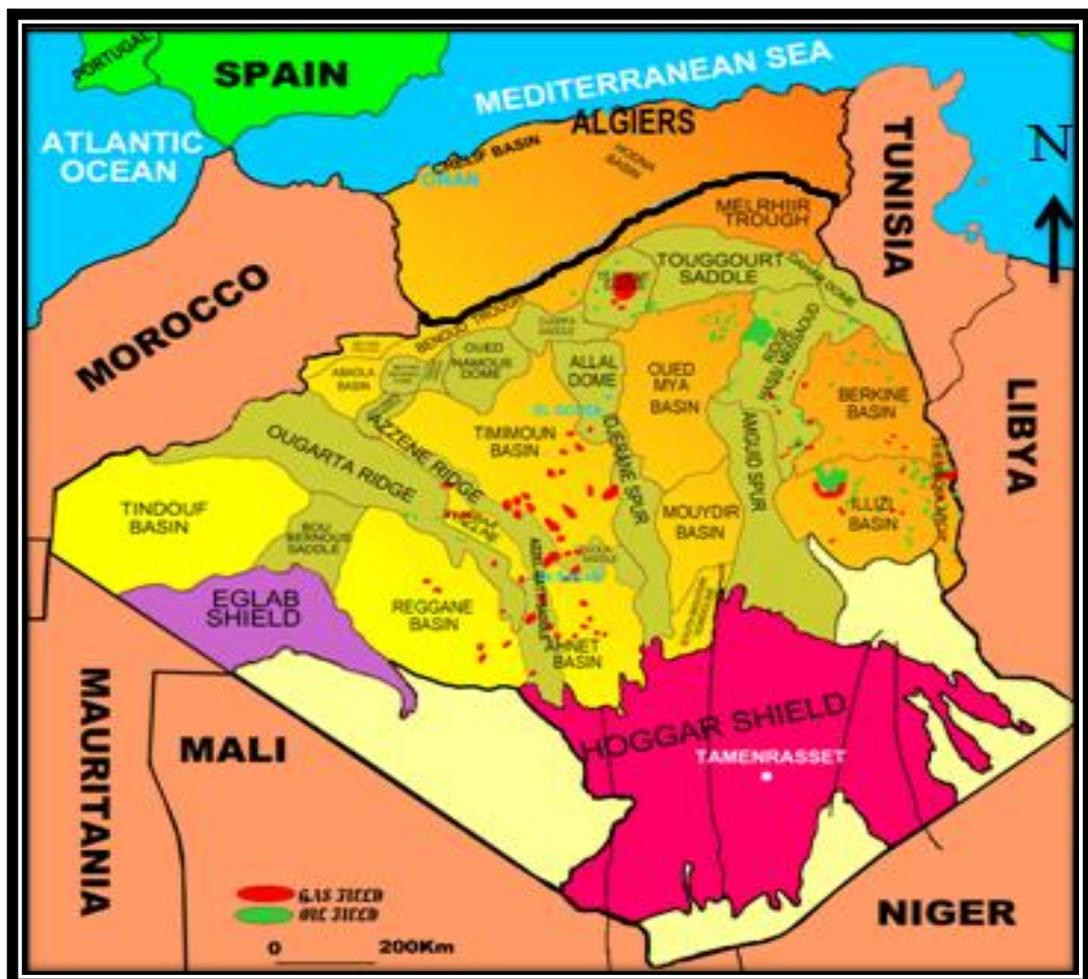


Figure 01 : situation géographique du Sahara Algérien (SONATRACH 2016)

I.1.Géomorphologie et Topographie

Le Sahara est le plus grand des déserts dans le monde, il s'étend sur une superficie plus de deux (2) millions de km². Ou près de 85 % de la superficie de l'Algérie. mais également le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est à dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande âpreté. S'il y est une région du globe, où les formes de relief sont Particulièrement nettes et visibles, c'est bien le Sahara et si les processus morphogénétiques (vent, eau...etc.) à l'œuvre dans ce milieu sont caractéristiques, rien n'est étonnant à ce que les formes qui en résultent le soient aussi. les principaux paysages caractéristiques (Les hamadas, Les regs, Les ergs, Les Sebkhha et les Chott) (Chehema, 2011)

Il est subdivisé en quatre unités hydrogéologiques :

- L'unité de Saoura-Tindouf ;
- L'unité du Chott Melhir ;
- L'unité du Sahara septentrional ;
- L'unité du Hoggar-Tassili (Ouali 2005).

I.2.Climatologie

Le Sahara Algérie est caractérisé par un climat chaud et désert, avec une intense sécheresse donc un taux d'humidité très faible. La diminution des précipitations résulte à cause de l'air marin perd la majorité de sa vapeur humide pendant la transformation en air continental plus frais et plus dense en zones côtières.

I-2-1 Les précipitations

D'après (Ouali 2005) le climat saharien caractérise par une faiblesse de la pluviosité, Les pluies sont des sources officielles du précipitations, elles sont rares et faible importance quantitative, elles sont définies par leurs grandes variabilités, écrivent annuellement près de 200 mm au Nord et 20 mm au Sud; mais sont inférieurs à 100 mm /an sur la plus grande partie du Sahara . Dans le Sahara Centre la pluviosité plus mois par rapport au Sahara septentrionale.

I-2-2 Les températures

Le climat thermique est assez uniforme, entre l'hiver et l'été il ya un grand écart de température, avec des étés chauds et des hivers rigoureux, Les températures extrêmes sont de plus de 50 °C en été .Les températures moyennes annuelles sont élevées dépasser 55° (Ould Baba Sy 2005).

2-3-Le vent

Le domaine saharien est soumis à des vents dont il très sec et permanente II est traduit d'Est en Ouest par les courants marins froids où la bande côtière atlantique.

2-4- La luminosité :

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour) ce désert est avant tout le pays du soleil (DUBIEF, 1959).

2-5- L'évaporation :

L'évaporation ou l'évapotranspiration sont des mécanismes importants de pertes en eau. Elles sont très forte dans le Sahara Algérie, la hauteur moyenne d'eau évaporée annuellement serait de 3 à 5 m.

2-6- L'Aridité :

L'aridité est un terme désignant la sécheresse qualitative ou quantitative d'une région. L'Aridité du Sahara est caractérisée par des périodes de sécheresse prolongées (Ould Baba Sy 2005).

II. Géologie régionale et locale

II.1. stratigraphie

D'après (OSS 2003) La formation géologique distinguée au niveau de la plate forme Saharienne de bas en haut sont :

- **Le Trias** : Trias inférieur argilo-gréseux contenant de l'eau salée saturée ; Trias supérieur évaporitique formé de sel massif d'épaisseur dépasser 1000 m,
- **Jurassique** : constitue de trois étages qui sont :
 - **Le Lias** : marqué par une invasion marine, des dépôts lagunaires mais surtout carbonatés.
 - **Le Dogger** : le faciès carbonaté est prédominant.
 - **Le Malm** : régime marin, dépôts calcaires et lagunaires alternants.
- **Crétace** : constitue par les étages suivantes :
 - **Le Néocomien** : au Nord argileux, au Sud-Est gréseux et envahi d'eau salée.
 - **Le Barrémien** : argilo-gréseux au Nord, gréseux au Sud, contient de l'eau douce. Le Barrémien gréseux marque le premier niveau aquifère d'importance de nappe du CI d'épaisseur 100 m.

- **L'Aptien** : situé entre deux ensembles continentaux du Barrémien et de l'Albien, il correspond à une invasion marine matérialisée par une barre dolomitique de 20 à 30m d'épaisseur.
- **L'Albien** : sédimentation gréseuse plus importante qu'au Barrémien, réservoir douce d'épaisseur 600 m.
- **Le Vraconien** : limité au Nord de la plate-forme, argileux, marque le toit du CI et le rentrée à la sédimentation marine.
- **Le Cénomaniien** : contient d'argiles, marnes et argiles gypseuses. D'épaisseur 400m .(Figure 02)

CHRONO - STRATIGRAPHIE		LITHOLOGIE GENERALE (Boudjema, 1987)	Description (Boudjema, 1987)
NEOGENE	Pliocène		conglomérat
			marne, gypse et grès
	Miocène		gypse, marne, calcaire, et conglomérat
			grès et marne
Paleog.	Oligocène		Discordance Pyrénéenne
	Eocène		calcaire et marne
	Paléocène		
CRETACE	Sénonien		anhydrite, calcaire, dolomie marne et argile
	Turonien		calcaire, dolomie
	Cenomanien		anhydrite, dolomie et marne
	Albien		grès et argile
	Aptien		et dolomie
	Barremien		Discordance Autrichienne
	Néocomien		grès et argile dolomitique
JURASSIQUE	Malm		anhydrite, calcaire, dolomie marne et grès
	Dogger		argile, grès, calcaire et anhydrite
	Lias		sel, anhydrite et argile
TRIAS			grès, argile, sel, et roche volcanique
			Discordance Hercynienne

Figure 02 : Colonne stratigraphique type du Sahara oriental (Boudjema A, 1987)



II. 2.Tectonique

L'Algérie est divisée en deux plaques tectoniques séparées par la faille sud-atlasique. Au Nord se trouve la tectonique alpine et au Sud, la plate-forme saharienne, qui est assez stable, Les massifs yetii- Eglab (Le craton Ouest-africain) à l'ouest, et du Hoggar (La chaîne panafricaine) à l'Est, forment la limite méridionale de Sahara Algérie.

A) Les bassins de la plate forme saharienne :(Figure 03)

la plate forme saharienne comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes. On distingue d'ouest en Est (figure 05) :

- **Bassin Tindouf et Reggane** en bordures Nord et Nord -Est du Bouclier Reguibat où la couverture sédimentaire atteindrait 800 m, dans le bassin de Tindouf et 6500 m dans celui de Reggan.

- **Bassin de Bechar** Il est limité au Nord par le Haut Atlas, au Sud et à l'Ouest par la chaîne de l'Ougarta, avec une couverture sédimentaire de 8000 m en moyenne.

- **Bassin del'Ahnet-Timimoun** limité au Nord par les hauts fonds d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne Ougarta, au Sud par le Bouclier Touareg et à l'Est par la dorsale d'Idjerane-Mzabe, la couverture en moyenne de 4000 m.

- **Bassin de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya :**

limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane-Mzab et à l'Est par la dorsale d'Amguid El Biod, au Sud les sédiments Paléozoïques affleurent dans le Mouydir, Alors qu' au Nord, la dépression d'Aguemour-Oued Mya ; est comblée par une puissante série de 5000 m d'épaisseur.

- **La plateforme d'Illizi-Ghadames**, limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid -Al Biod, et à l'Est par la môle de Tihemboka et les confins Tuniso-Libyens. Dans le bassin de Ghadames, la couverture sédimentaire dépasse 6000 m (Bouznad 2009).

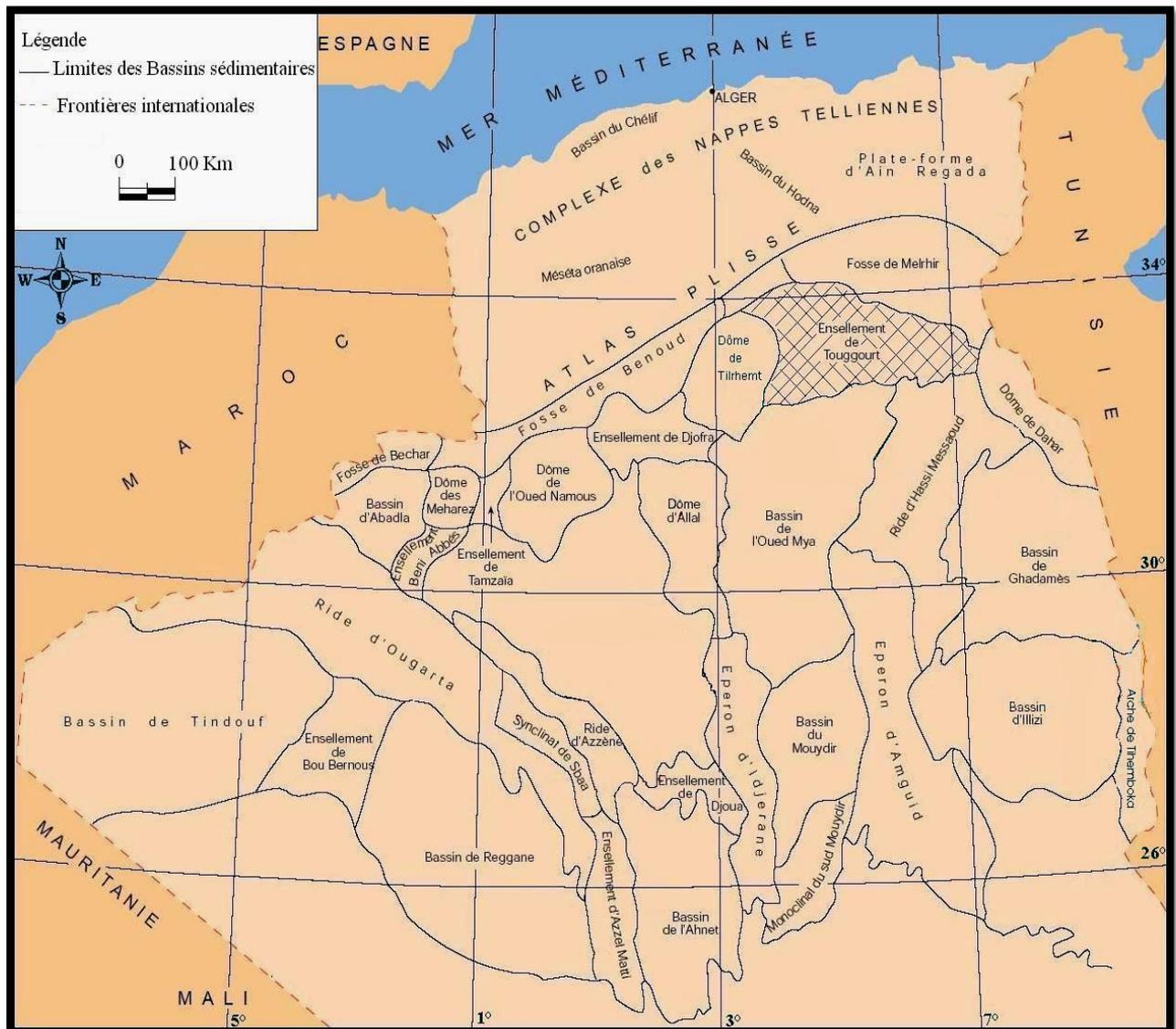


Figure 03 : les bassins de la plate forme saharienne (Bouznad 2009)

B) Les phases Tectonique : Les principales phases tectoniques sont (Tableau 01) :

a) **La phase panafricaine :** Au cours de cette période la collision continentale entre le craton Ouest –africain et le bloc Est –africain provoque les accidents profonds sub méridiens ,

b) **La phase calédonienne :**

b-1) La phase distensive du Cambro-ordovicien

Cette phase est caractérisée par une variation d'épaisseur et de faciès des séries cambro-ordoviciennes et l'évolution importante de roches volcaniques.

b-2) Phase de compression taconique Caradoc : cette situation se matérialise par la formation de plis à axes Nord-Sud le long des accidents majeurs qui sont accompagné par des soulèvements régionaux.

b-3) Phase calédonienne tardive : cette phase est caractérisée par des variations d'épaisseurs et de faciès le long des axes structuraux majeurs

c) La phase hercynienne : La phase hercynienne semble avoir engendré les plus importants mouvements qu'a connu la plate forme saharienne. Elle est à l'origine des principales déformations (failles, flexures, grabens et horsts) Le cycle orogénique hercynien est caractérisé par deux principales phases :

c-1)La phase précoce : Les mouvements précoces sont manifestés par les plis allongés de direction (NWSE) accompagnés par des failles inverses de même direction.

c-2)La phase tardive : Ils sont apparaitrens à la fin du Carbonifère, ils ont provoqué l'arrêt de la sédimentation.

d) La phase post-hercynienne : A la fin du Trias et vers le début du Jurassique la tectonique intensive marque d'autres phases de plissements plus limités ,matérialisée par une variation d'épaisseur et de faciès de part et d'autre des accidents NW-SE, NE-SW et des manifestations volcaniques le long de ces failles.

e) La phase Autrichienne : Au Crétacé inférieur, la phase autrichienne est caractérisé par une tectonique compressive qui est à l'origine d'une reprise des failles inverses préexistantes et la création d'autres failles inverses de direction Nord-Sud. Au Tertiaire, durant le Sénonien et l'Eocène, la phase de compression pyrénéenne réactive les failles de direction NE-SW (Ouali 2005).

Le tableau ci-dessous représenter les phases tectoniques de la plate-forme saharienne.

Tableau 01 : Les phases tectoniques de la plate-forme saharienne (Ouali 2006)

Phases tectoniques	Epoque d'intervention maximale	Types de Failles	Influence sur la Sédimentation
Autrichienne	-	Failles normales N-S	-
Hercynienne majeur	Carbonifère Terminal Failles	Inverses NE-SW	Erosion sur les axes NESW
Hercynienne Précoce	Viséen Failles	Inverses NW- SE	-
Calédonienne	Seluro-Devonien	Failles inverses N-S	Erosion sur les moles sub-méridien
Taconique Failles	Caradoc-Asghilien	inverses N-S	-
Cambro-Ordovicien	Cambro-Ordovicien	Failles normales N-S	Variation d'épaisseur et Volcanisme
Panafricaine	Cambrien	Tectonique cassante NE-SW et NW-SE	Cratonisation du Sahara central

III. Hydrogéologie Régionale et locale

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional indique la superposition de deux principales couches aquifères profondes: la formation du Continental Intercalaire (CI) et celle du Complexe Terminal(CT) (Figure 04). Ce Système recouvre une étendue de plus de un Million de km². Il est constitue un vaste bassin hydrogéologique, Le Système Aquifère Saharien est reconnu et exploité par près de 8800 points d'eau, forages et sources : 3500 au Continental Intercalaire et 5300 au Complexe Terminal (OSS, 2003).



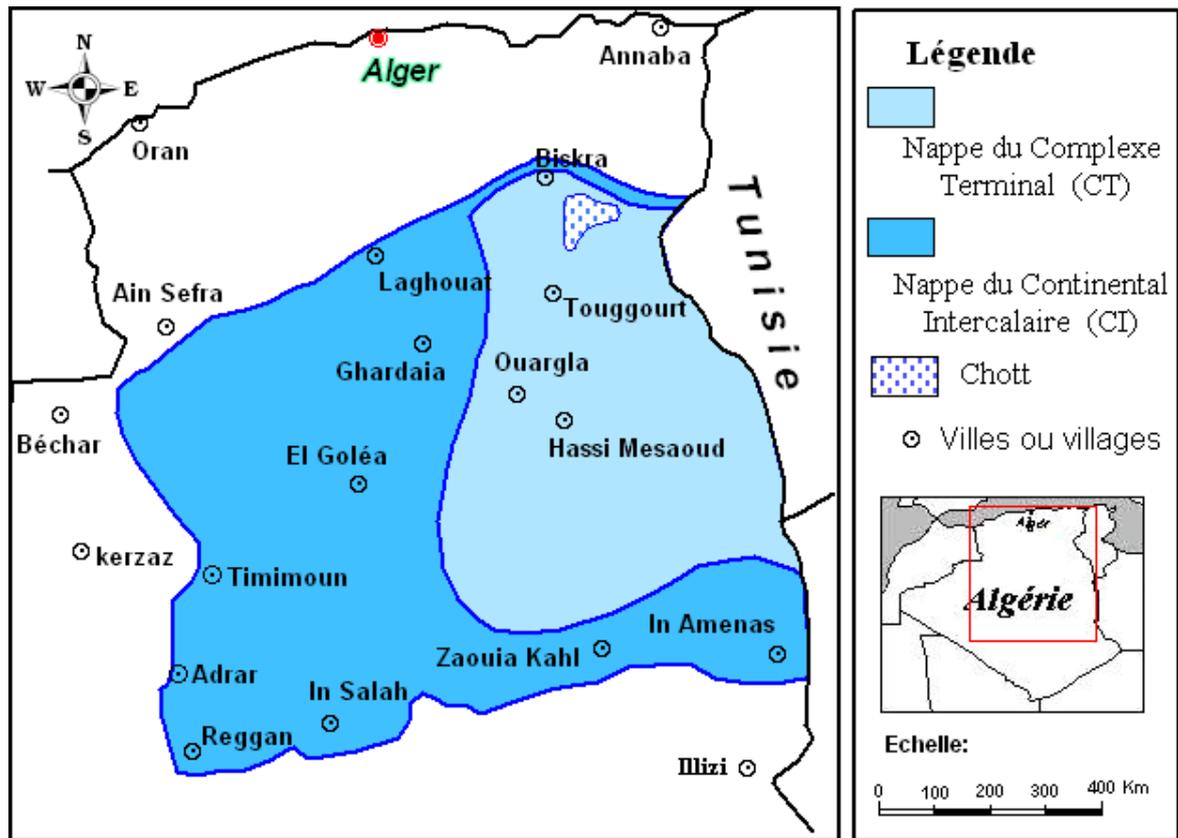


Figure 04: Les nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire - Le Complexe Terminal (UNESCO, 1972)

III.1. Le Continental Intercalaire

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). Il est localisé entre deux cycles Sédimentaires marins : à la base, le cycle Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne, au sommet, le cycle du Crétacé supérieur. La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **3.5x10⁹** milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien » (Helal et Ourihane 2004).

III.1.2. Limites et morphologie du continental intercalaire

Le CI est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar- Régane et au Sud par l'axe Régane- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne. Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins :

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara (Belksir 2009).

- Continentale Intercalaire est comprend une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure par La transgression Cénomaniennne.
- le Continentale Intercalaire, se termine assurément en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, dans la périphérique mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation. (Bouznad 2009)

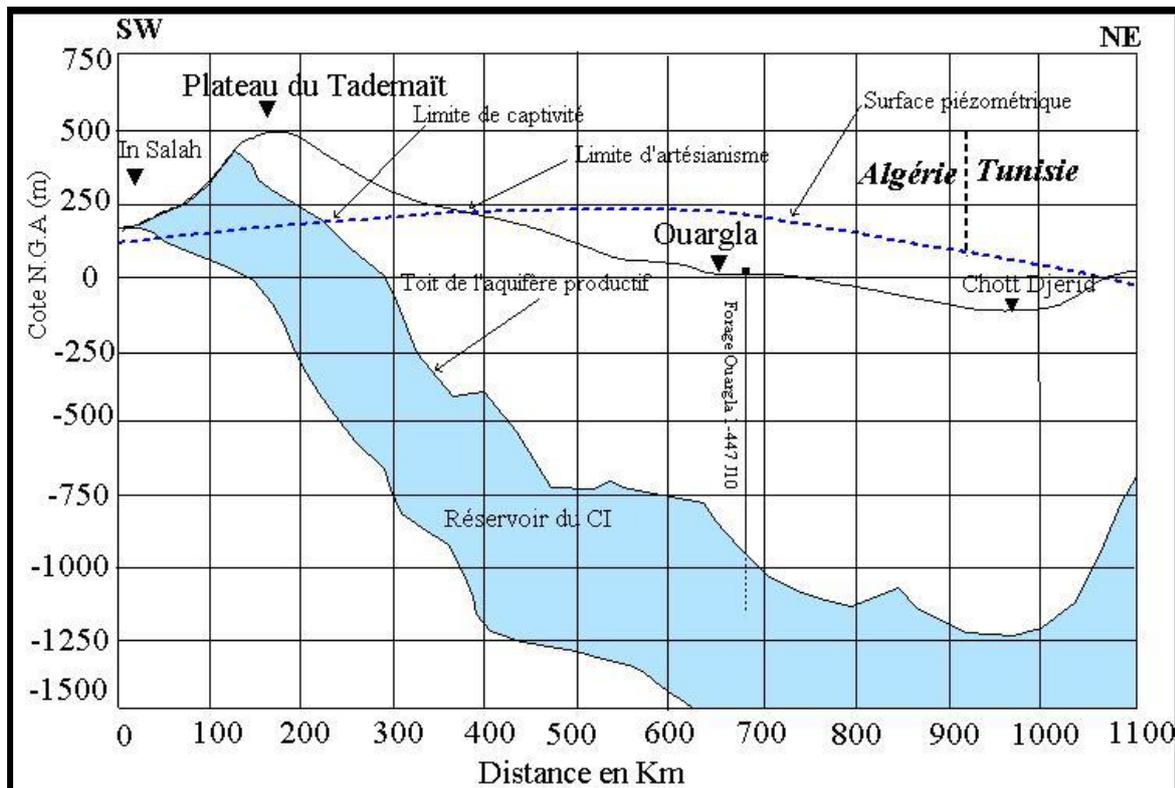


Figure 05: Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface Piézométrique du CI (ERESS 1972)

III.1.3 La stratigraphie

Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et quelque niveau argileux, d'âge Albien et Barrémien. Les grès sont des couches très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz). ces grès sont caractérisées par leur grande porosité qui est notamment plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Les ciments sont le plus souvent calcaires, ils sont parfois siliceux ou argileux (Ouali 2005).

De haut en bas, le CI débute presque toujours au toit de l'Albien. Le mur du CI correspond avec la discordance hercynienne sous les plateaux de Tademaït et du Tinhert. Cette nappe se situe entre 22 et 29% de porosité moyenne (Helal et Ourihane 2004).

III.1.4 Les failles

Les failles de la dorsale d'Amguid-Albirod (Figure 06) sont à l'origine d'une drainance verticale, auparavant notable, des eaux du CI vers la nappe du CT, (Nezli 2009)

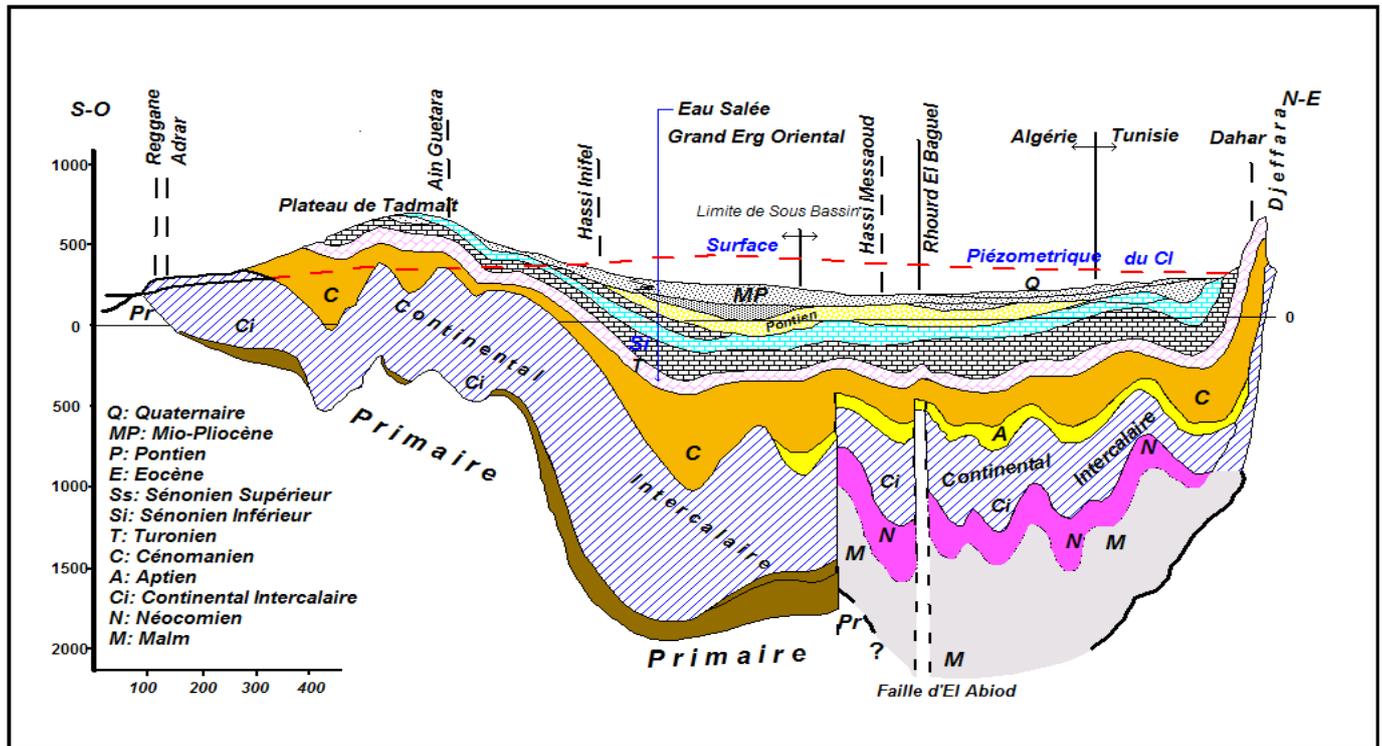


Figure 06 : Coupe Hydrogéologique du CI et CT d'après UNESCO1972

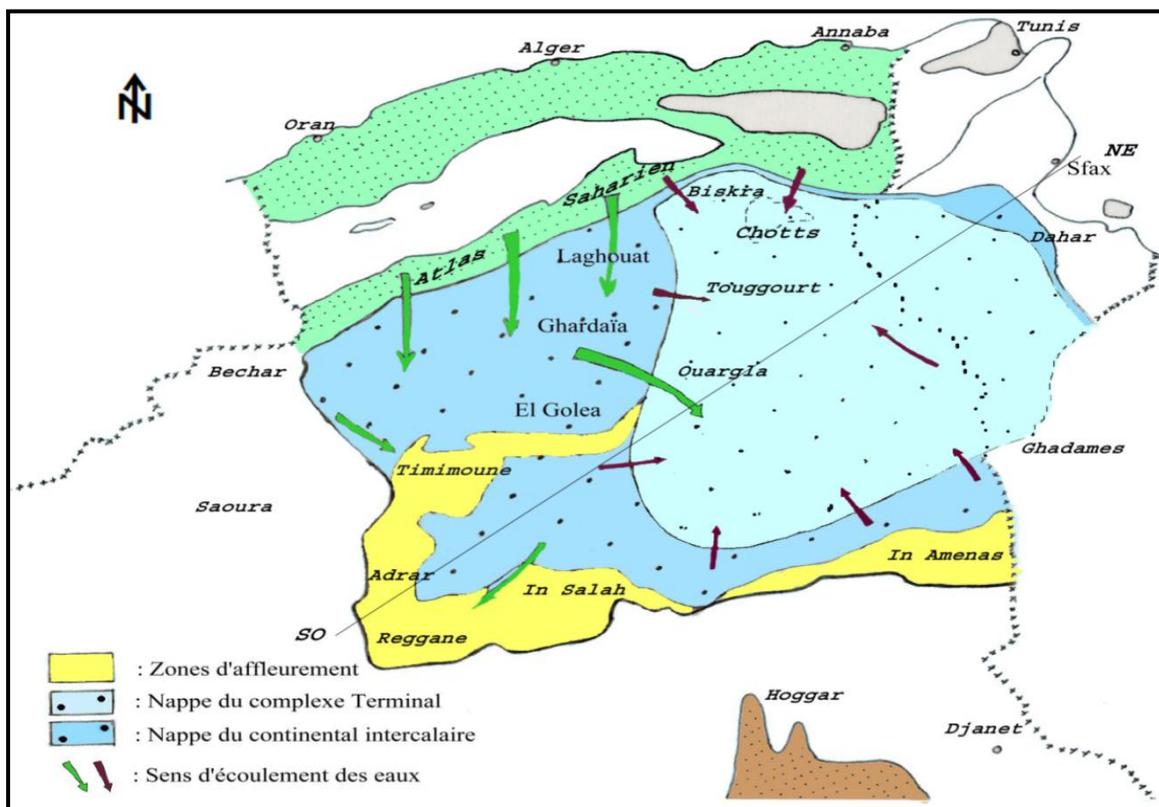
Le CI surmonte directement par les argiles du Cénomanien, leurs formations s'étendent jusqu'en bordure de la plateforme, en une tiare permanente d'El Goléa jusqu'à la limite sud de la Hamada El Hamra . L'observation des affleurements permet donc de définir le Continental Intercalaire comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plateforme saharienne, et l'invasion marine du Crétacé supérieur.

Ces caractéristiques déterminent les limites attribuées à la zone d'étude du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Ces limites, fondées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages, sont :

- Au Nord-Ouest ; le versant Sud de l'Atlas Saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomanien

Chapitre I : Cadre Physique de la zone d'étude

- A l'Ouest Sud-Ouest ; la limite des affleurements Paléozoïques de l'Ougarta, observé par le cours de la Zousfana et de la Saoura.
- Au Sud, la limite d'affleurement du CI sur le Paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des Tassilis et du Djebel Hassaouna.
- Au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'EL Hamma - Médenine.
- Au Nord Est ; les affleurements du Continental Intercalaire sur le Dahar et le Djebel Nefussa.
- A l'Est ; les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au delà du graben de Hun, les eaux du CI deviennent saumâtres : c'est ce passage qui a été adopté comme limite de la zone d'étude de la nappe d'eau douce du CI (OSS, SASS 2002).



III.1.5. Les zone d'alimentation

indiquées par les directions d'écoulement (figure 08). Il s'agit :

- L'infiltration directe des piémonts de l'Atlas Saharien et du massif du Dahar au Nord et Nord-est;
- Des bordures Ouest de la zone du Touat, Gourara (Adrar);
- De Tinherth (Nord d'Illizi) au sud (OSS 2003).

Il existe autre recharge actuelle des nappes se manifeste sur les bordures Nord du bassin saharien lorsque trois conditions sont présentes :

- des précipitations suffisantes ;
- un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans des oueds ;
- l'affleurement de formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères ou en relation directe avec un des aquifères sahariens (Ould Baba Sy 2005).

III.1.6. Les zones exutoires sont constitués par :

- ❖ Au Sud-Ouest, Les foggaras : les bordures occidentales du Tademaït constituent une zone d'exutoire importante (cas du bassin occidental) ;
- ❖ Au Nord-Est : c'est le Golf de Gabes, et se fait par des remontées verticales par faille dans la zone du Chott Fedjej ;
- ❖ Fuite à travers le toit de l'aquifère, une partie par la dorsale d'Amguid el Abiod et une autre partie à travers les Chotts. (Bettahar 2013).

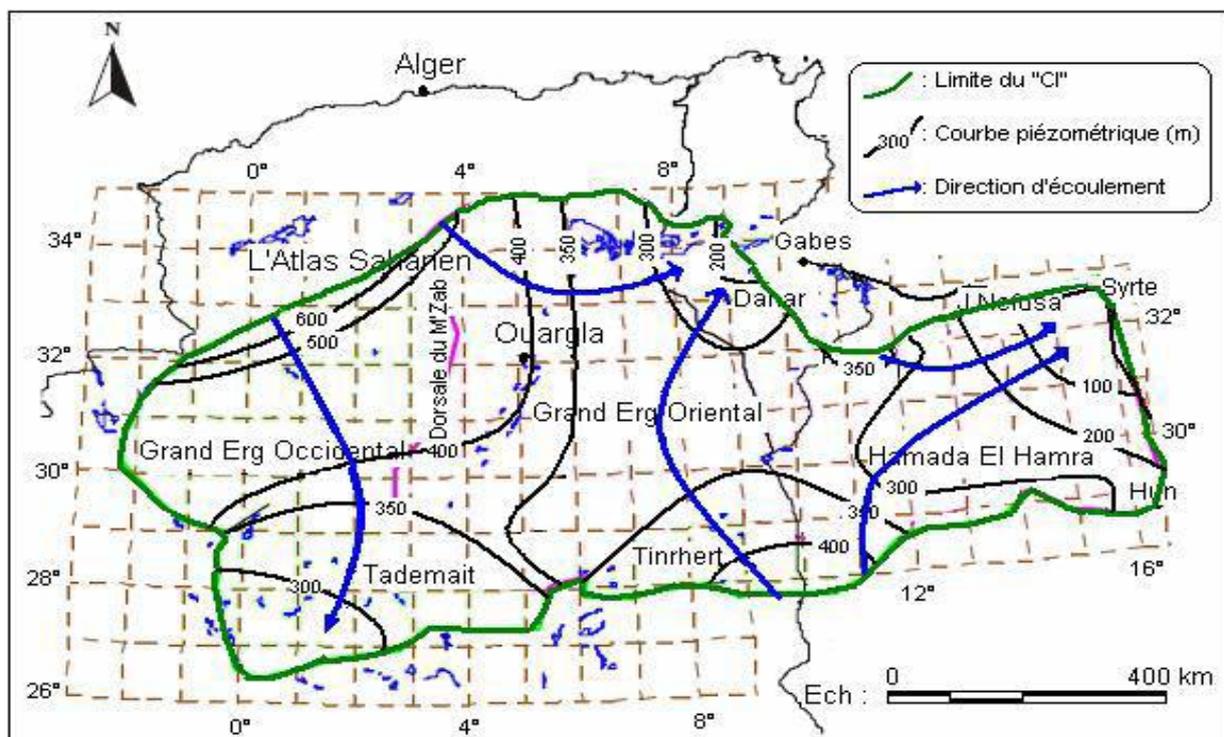


Figure 08: Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).

Tableau 02 : Données générales sur l'aquifère du Continental Intercalaire (Albien) :

Etendue	600 000km ²
Epaisseur totale (m)	50 à 1 000
Profondeur (m)	60 à 2 400
Profondeur au toit (m)	20 à 2 000
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par rapport au sol (m)	artésien (25 bars)
Rabatement par rapport au N.S (m)	artésien
Transmissivité (10 ⁻³ m ² /s)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10 ⁻⁴)	6 à 1200
Alimentation moyenne (Hm ³ /an)	270
Réserve théorique calculée (m ³)	50 000x 10 ⁹
Température (°C)	25 à 70
Salinité des eaux	0.5 à 6 g/l



Conclusion

Le Sahara Algérie est le plus grand des déserts Dans le monde, Il a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et géologiques, malgré le caractère hyperaride du climat. Les formations géologiques distinguées les Ages (**trias, jurassique** : Le Lias- Le Dogger-le Malm, **crétacé** : Le Néocomien- Le Barrémien-L'aptien-L'albien- Le Vraconien- Le Cénomanién) au niveau de la plate forme Saharienne .

En géologie, le Continental Intercalaire désigne les formations continentales qui se sont déposées entre le cycle marin du Paléozoïque clôt par l'orogénèse hercynienne et la transgression marine du Cénomanién. Elle couvre une large période du Trias à l'Albien.

En hydrogéologie la nappe du Continental Intercalaire est plus connue sous la dénomination d'albienne correspond à un niveau plus réduit. Elle est définie par les formations continentales du Crétacé inférieur comprises entre le Néocomien et le Cénomanién qui sont constituées de sables, de grès avec des intercalations d'argiles.

L'alimentation actuelle des nappes effectuées par les conditions : des précipitations insuffisantes, un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans des oueds, l'affleurement de formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères.

Chapitre II : Synthèse Hydrochimique sur les eaux du CI

Introduction

Après l'étude géologique on a une étude hydro chimique pour contrôler l'évolution des eaux du Continentale Intercalaire du Sahara Algérien d'amont à l'aval.

Dans ce chapitre on va synthétiser les données des analyses physico-chimiques des ces eaux du quelque région de Sahara Algérien.

I. Les origines des données

Au niveau de cette étude hydro chimique doit basée essentiellement sur le traitement des données des différents forages (les analyses physico-chimiques) réalisées par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH 2016) dont le but d'établir des diagrammes.

II. Outil informatique

II.1.AqQA : rassemble toutes les mesures qui justifient et documentent les analyses. AQA examine et vérifie l'analyse.

Le but est d'assurer, dans le contexte des analyses en ligne, une garantie de qualité cohérente et la validation des valeurs analytiques mesurées, enregistrées continuellement par des organismes.

II.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. (**Houari 2012**)

II.3.Statistica

Nous nous sommes aidés 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). On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un dendrogramme ou arbre de classification. (Nezli, 2009)

II .4. Phreeqci, (Parkhurst and Appelo, 1999)

L'étude géochimique a été effectuée par simulation à l'évaporation naturelle (température de l'échantillon), en utilisant le logiciel thermodynamique chimique, Phreeqci.v.2.15. 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.

III .Les paramètres physico-chimiques

III.1Les paramètres Physique

III.1.1.La température

La température de l'eau joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux .Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et également de la profondeur des eaux (gradient thermique).

les eaux de l'aquifère du (CI), Les Températures (Tableau 03) des eaux marqué une Température très élevée dans les wilaya du Ouargla et El Oued, et des moindre dans la Wilaya de Ghardaïa, par une bonne Ecarte type .dépassent les normes recommandées par l'OMS (22-25°C)

Tableau 03 : Variations des Températures selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED
MAX	31.6	54.7	55.7
MIN	28.6	37.9	47.5
Moyenne	29.65	48.75	50.4
Ecart -type	1.20623381	5.3396094	3.53333333

III.1.2.Le pH

Ce paramètre est mesuré à l'aide d'un pH mètre, il mesure la concentration en ions H^+ contenu dans l'eau il permet de déduire l'état d'équilibre d'une eau (acidité ou alcalinité de l'eau), déterminer par une échelle à l'ordre 0 à 14. que le pH de neutralité est 7. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, entre autres, la température et l'origine de l'eau.

Les pH des eaux des nappes du **Continental Intercalaire (CI)**, du Complexe Terminal (CT) et phréatiques demeurent homogènes et proches de la neutralité à légèrement alcalins. (Nezli 2009)

Si PH inférieur à 8,3 les eaux ont un caractère alcalin bicarbonaté. (Bouchahm et al, 2008)

Dans les eaux de l'aquifère du Continental intercalaire (CI), Les PH (Tableau 04) des eaux Marqué une faible Ecart type dans les 5 wilayas, et les valeurs moyenne entre (7.34 et 7.93)

Tableau 04 : Variations des PH selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	8.24	8.76	7.60	8.05	8
MIN	7.14	7.38	6.93	7.4	7.9
Moyenne	7.62	7.82	7.34	7.705	7.93333333
Ecart -type	0.39457227	0.39100241	0.24856924	0.26789301	0.05773503



III.1.3. 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 $\mu\text{S.Cm}^{-1}$.

Dans les eaux de l'aquifère du Continental intercalaire (CI), Les conductivités (Tableau 05) des eaux dépassent les normes de potabilité de l'OMS, soit 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Elles présentent une évolution important, soit 1823 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ au niveau du Ghardaïa, 2578 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à Ouargla, 2722 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à El Oued, 4585 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à Illizi et 3508 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ dans la Wilaya du Biskra.

Tableau 05 : Variations des conductivités électriques selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	3148	3148	3045	9374	3816
MIN	327.2	2221	2364	1658	3224
Moyenne	1823.63889	2578.28571	2722.33333	4585.4	3508.33333
Ecart – type	819.83105	248.900015	282.458565	3264.72571	296.935233

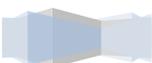
III.2. Les paramètres Chimiques

III.2.1 Les sulfates SO_4^{2-} (mg/l)

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



Les concentrations des sulfates observées (Tableau 06) dépassent les normes de potabilité d'après OMS (500 mg/l), soit 646 mg/l au niveau d'Ouargla, 798 mg/l à El Oued, 972 mg/l à



Illizi et 975 mg/l à Biskra , mais dans la wilaya du Ghardaïa ne dépassent pas les normes sont 457 mg/l.

Tableau 06 : Variations des concentrations des sulfates selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	1169	1169	993	2463	1200
MIN	15	463	630	307.5	815
Moyenne	457.716667	646.890476	798	972.7	975
Ecart - type	298.193946	146.432374	170.387793	908.535607	200.561711

III.2.2.Les chlorures Cl-(mg/l)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de la Halite (4) (NaCl), qui se fait selon la relation suivante :



Les concentrations des sulfates observées (Tableau 07) dépassent les normes de potabilité,

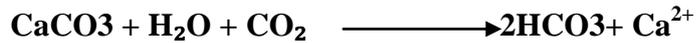
l'O.M.S. recommande une valeur fixée à (250 mg/l), dans la wilaya du Ghardaïa 283 mg/l, au niveau 467 mg/l à Ouargla, 433 mg/l à El Oued, 1326 mg/l à Illizi et 689 mg/l à Biskra.

Tableau 07 : Variations des concentrations des chlorures selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	470	627	480	3850	800
MIN	10	365	390	220	580
Moyenne	283.305556	467.714286	433.333333	1326	689.333333
Ecart- type	156.521295	66.968756	40.1281281	1649.77802	110.00606

III.2.3. Bicarbonates HCO_3^- (mg/l)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et par les eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les bicarbonates présentent des teneurs dépassant les normes de potabilité (30 mg/l) (OMS, 1994), voir (Tableau 08) une moyenne de 144 mg/l à Ghardaïa, 138 mg/l à Ouargla, 119 mg/l à El Oued, 213 mg/l à Illizi et 94 mg/l au niveau de la Wilaya du Biskra.

Tableau 08 : Variations des concentrations des bicarbonates selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	210	174	152	295.9	110
MIN	76.25	67	101	295.9	72
Moyenne	144.091667	138.590476	119.833333	213.52	94.333333
Ecart – type	42.1371906	32.6086847	22.5159203	53.003349	-

III.2.4. Le calcium Ca(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 présentent des teneurs des calciums (Tableau 09) ne dépassent pas le norme 200 mg/l dans les Wilaya du Ghardaïa, Ouargla, et El Oued. Par contre dans les Wilaya du Illizi et Biskra dépassent la valeur, mais pas remarquable 252 mg/l et 214 mg/l.

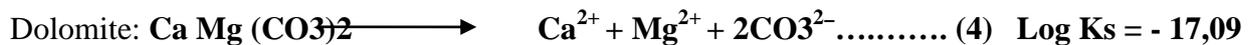
Tableau 09 : Variations des concentrations du calcium selon les wilayas



Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	361	315	275	412.5	256
MIN	23.8	145	121	92.5	172
Moyenne	131.688889	230.722222	188.833333	252	214.666667
Ecart - type	73.5656793	46.519832	58.7959749	153.084604	42.01587

III.2.5. Le magnésium Mg^{2+} (mg/l)

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



Les concentrations moyennes observées (Tableau 10), ne dépassent pas la valeur guide de potabilité (150 mg/l) d'après l'OMS. dans les 5 wilayas .

Tableau 10 : Variations des concentrations du magnésium selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	167.4	255	223	184.3	139
MIN	10.21	70	78	61.4	80
Moyenne	68.6227778	130.218095	148	106.74	110.666667
Ecart – type	27.2380976	60.9777093	71.923165	60.9930107	29.569128

III.2.6. Le sodium Na^+ (mg/l)

L'existence de cet élément est liée principalement par la dissolution d'Halite. selon la relation suivante : $NaCl \longrightarrow Na^+ + Cl^-$



Les teneurs des sodiums (Tableau 11) dépassant les normes de potabilité (200 mg/l), sauf Ghardaïa ne dépassant pas le norme au niveau de 177 mg/l.

Tableau 11 : Variations des concentrations du sodium selon les wilayas

Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	307.5	315	294	2250	416
MIN	10	34.3	184	192.5	30
Moyenne	177.872222	214.380952	216.833333	850	264
Ecart - type	85.0897712	74.5648236	39.4178471	881.506168	205.650188

III.2.7 Le potassium K^+ (mg/l)

Il provient essentiellement des évaporites en l'occurrence la Sylvite (KCl). Il provient aussi de l'altération des argiles potassiques. $KCl \rightleftharpoons K^+ + Cl^-$ avec $\text{Log } K_s = 0,846$

Les concentrations moyennes observées (Tableau 12), dépassent la valeur guide de potabilité de l'O.M.S (12 mg/l), surtout à Biskra il ya une augmentation importante 302 mg/l, par contre voir moyenne de 10 mg/l ne dépassent pas le norme à Ghardaïa.

Tableau 12 : Variations des concentrations du potassium selon les wilayas

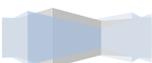
Wilaya	GHARDAIA	OUARGLA	EL OUED	ILLIZI	BISKRA
MAX	19.5	320	50	68	820
MIN	5	10.1	36	38.5	26
Moyenne	10	59.1190476	41.7666667	45.4	302
Ecart - type	4.60201043	85.3518402	4.9041479	13.5157316	448.923156



Conclusion :

Les paramètres physiques mesurés in situ dans les eaux du de la nappe continentale Intercalaire, la température élevée atteindre à 50°C, surtout dans El oued, des pH alcalins à neutres et des conductivités électriques (CE) élevées et variables ;

Les paramètres chimiques, les teneurs en éléments majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ et Mg^{2+}) sont élevées, dépassent les normes de la potabilité (O.M.S) dans les Wilayas (Ghardaïa, Ouargla, El Oued , Iliizi ,Biskra)



Chapitre III. Caractéristiques hydrogéochimiques de la nappe du CI

Introduction

Dans ce partie, nous rapportons les analyses physicochimiques du cinq wilaya (Ghardaïa, Ouargla, El Oued, Illizi, Biskra) notre intérêt se focalise sur l'interprétation de ces analyses, en utilisant des approches diverses ; modélisation statistique, géochimique.

1. Faciès chimiques des eaux de nappe CI

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.

Entre ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est transposée 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.

D'après le diagramme de Piper (figure 09), les eaux de Continentale Intercalaire montrent deux familles de faciès chimique des 5 wilayas :

- une famille chlorurée sodique.
- une famille sulfatée calcique.

Le rapport r_{SO_4}/r_{Cl} (Figure.10) montre des valeurs inférieures à 1, indiquant un enrichissement en ion chlore, et les valeurs supérieures à 1, indiquant un enrichissement en ion sulfate alors que le rapport r_{Ca}/r_{Na} (Figure.11) montre des valeurs inférieures à 1, indiquant un enrichissement en sodium, et les valeurs supérieures à 1, indiquant un enrichissement en ion calcium ce qui traduit l'influence de la matrice Gypse sur la matrice Halite.

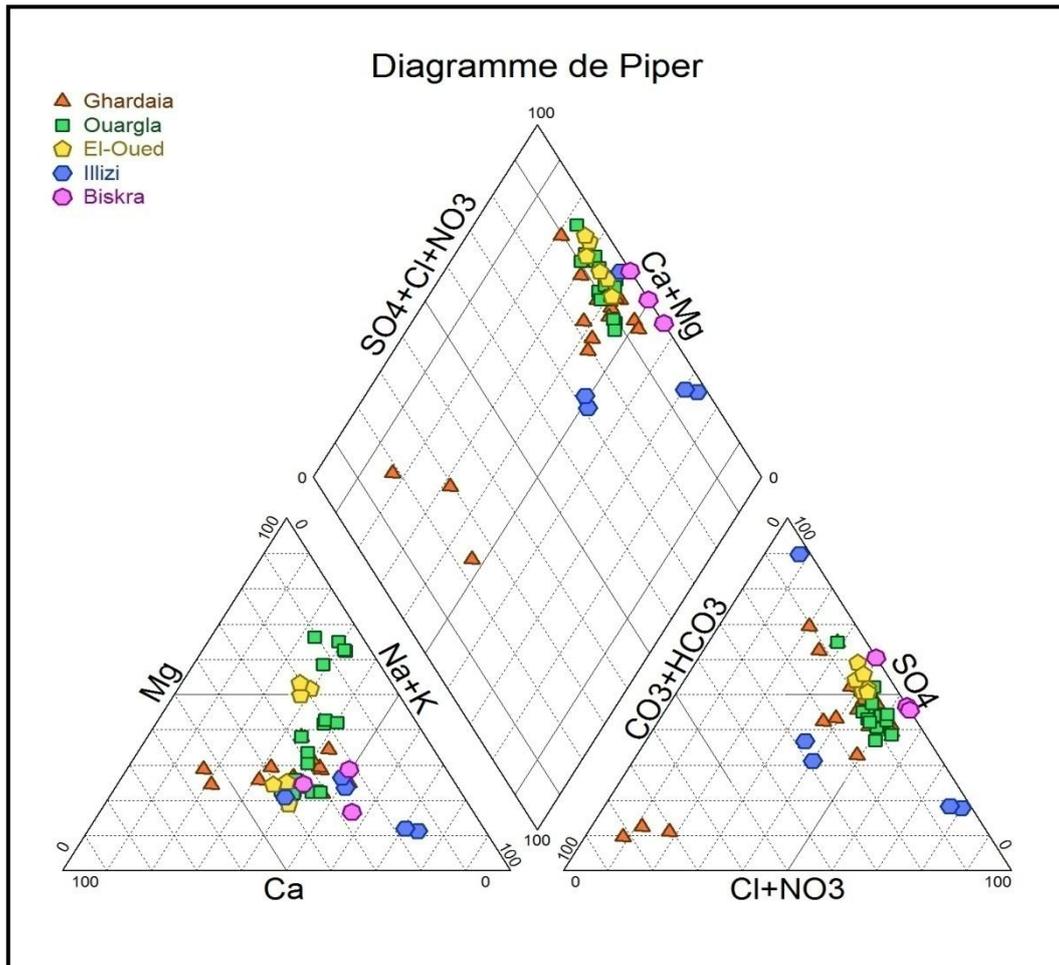


Figure 09 : Diagramme Piper des eaux de la nappe de Continentale Intercalaire

-localisation des différents points sur les diagrammes ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$), (Figure 10, Figure 11, Figure 12, Figure 13, Figure 14) Ils montrent que le faciès le plus dominant du Ghardaïa est chloruré sodique et sulfaté calcique, à Ouargla est chloruré sodique, à El Oued est sulfaté sodique, à Illizi est chloruré sodique, à Biskra est chloruré sodique et calcique. Donc le faciès le plus dominant dans les 5 wilayas est chloruré sodique et sulfaté calcique.



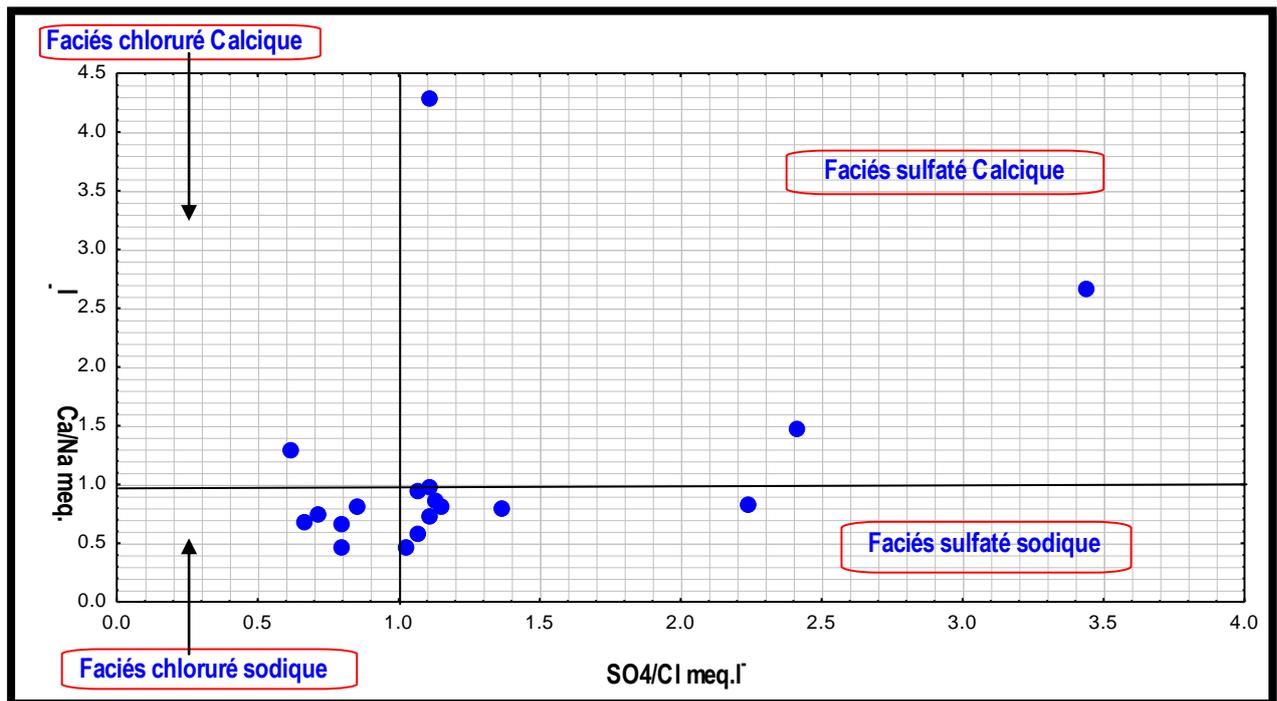


Figure 10: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($SO_4^{2-}/Cl^- : Ca^{2+}/Na^+$) du Ghardaia

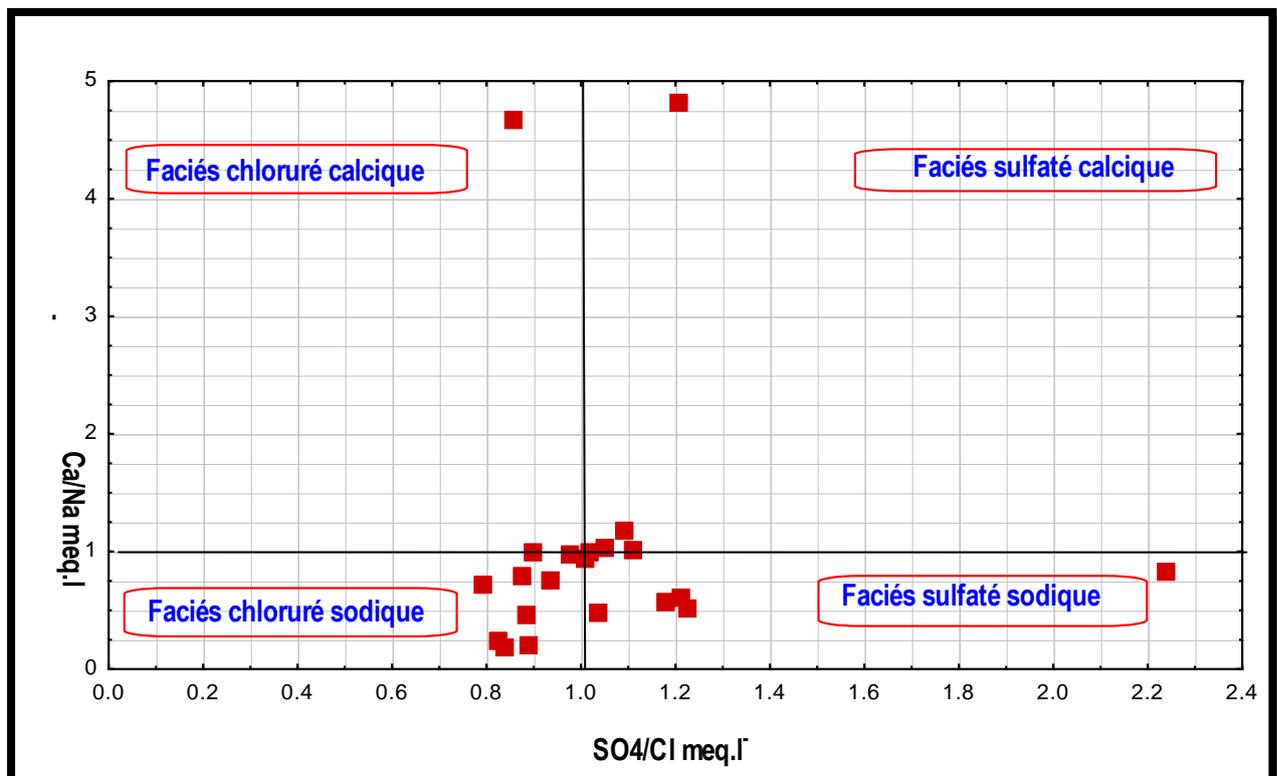


Figure 11: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($SO_4^{2-}/Cl^- : Ca^{2+}/Na^+$) du Ouargla

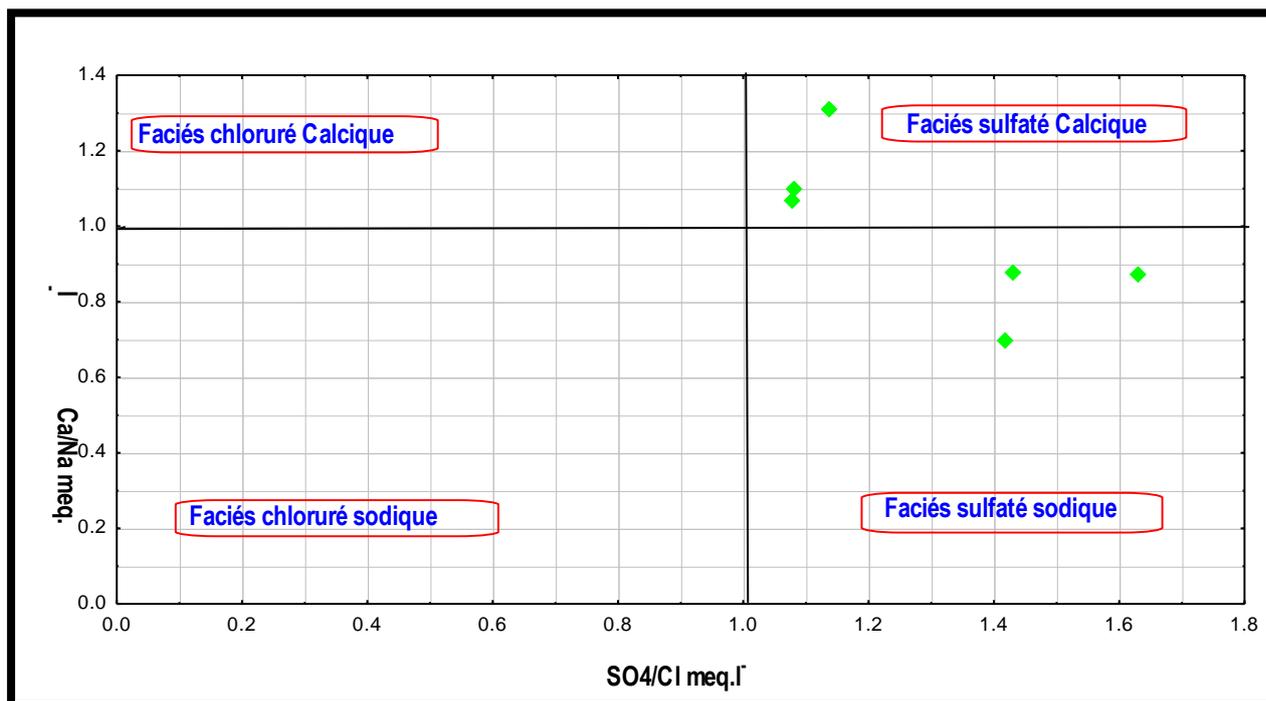


Figure 12: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du El Oued

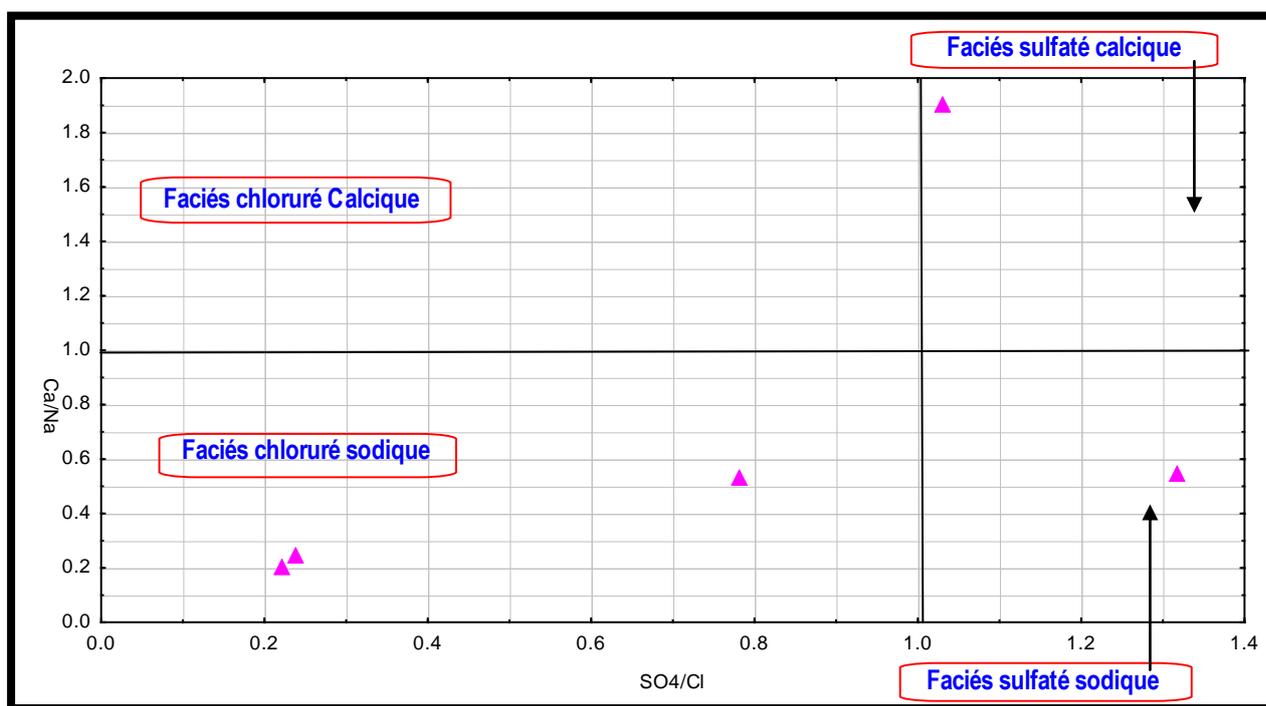


Figure 13: Faciès chimiques des eaux par les rapports ($\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- : \text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$) du Illizi



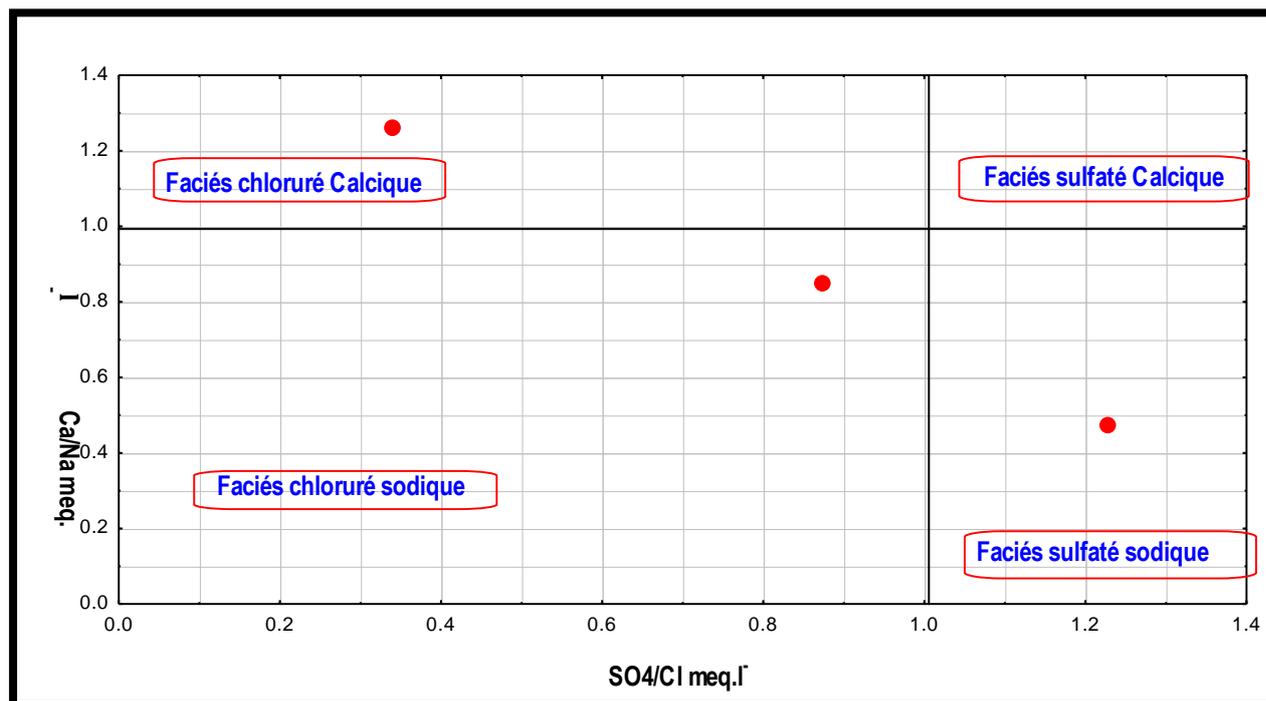


Figure 14: Faciès chimiques des eaux par les rapports $(SO_4^{2-} / Cl^- : Ca^{2+} / Na^+)$ du Biskra

Faciès Chimique	%
SO4 –Na	20.75
Cl-Na	26.41
Ca-SO4	22.64
Mg -SO4	18.86
Mg –Cl	7.53
Ca-Cl	3.77

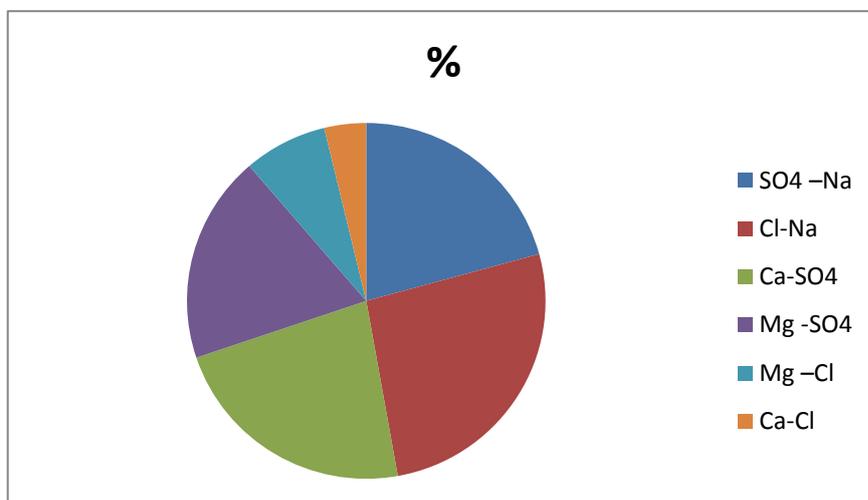


Figure 15 : les pourcentages des faciès chimiques

2. Analyse de la matrice de corrélation

La matrice est composée des coefficients de corrélation entre les variables (éléments chimiques, paramètres physico chimiques). Elle permet de distinguer les variables corrélables entre elles. D'après le tableau 13 présente la matrice de corrélation.

-a) Pour les éléments majeur, les couples présentant une bonne corrélation sont : (Na^+ , K^+), (Na^+ , Mg^{++}), (Ca^{++} , Cl^-), (Na^+ , Cl^-), (K^+ , Mg^{++}) et (K^+ , Cl^-), (Ca^{++} , Mg^{++}), (SO_4^{--} , Mg^{++}),

(Mg^{++} , Cl^-), Sauf HCO_3^- ne sont corrèlent pas avec les autres.

-b) pour les paramètres physico chimiques, on a cinq couples de corrélation : (T, CE), Sauf le PH ne sont corrèlent pas avec les autres.

-C) pour l'ensemble, il y a les couples suivants:

(Mg^{++} , T), (Na^+ , CE), (Na^+ , T), (Mg^{++} , CE), (T, CE), (Cl^- , T), (K^+ , CE), (K^+ , T), (CE, Ca^{++}) et (SO_4^{--} , CE).

La bonne relation entre (Na, Cl) et (Ca, Mg) dénoter sur la dissolution de l'Halite et le Gypse .

Tableau 13 : la matrice de corrélation du nappe CI

Variable	Na	K	Ca	Mg	HCO3	SO4	Cl	CE	PH	T °C
Na	1.00									
K	0.62	1.00								
Ca	0.28	0.35	1.00							
Mg	0.50	0.47	0.82	1.00						
HCO3	-0.28	-0.29	0.01	-0.18	1.00					
SO4	0.21	0.18	0.95	0.79	0.08	1.00				
Cl	0.88	0.75	0.33	0.58	-0.30	0.28	1.00			
CE	0.68	0.59	0.85	0.89	-0.12	0.83	0.76	1.00		
PH	0.02	0.08	-0.33	-0.16	0.38	-0.25	0.09	-0.14	1.00	
T °C	0.70	0.90	0.31	0.46	-0.25	0.21	0.83	0.63	0.14	1.00

3. Influence de la température sur la minéralisation des eaux

L'observation du diagramme binaire CE =F(T°) (Figure.16), nous révèle l'influence de l'augmentation de la température des eaux chaudes albiennes sur l'accroissement parallèle de la minéralisation des eaux. On marquée d'une grande conductivité électrique de 3100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans Ouargla avec une température élevée 54°C.

Il également traduire l'augmentation de la minéralisation des eaux par l'augmentation du conductivité électrique et la température.

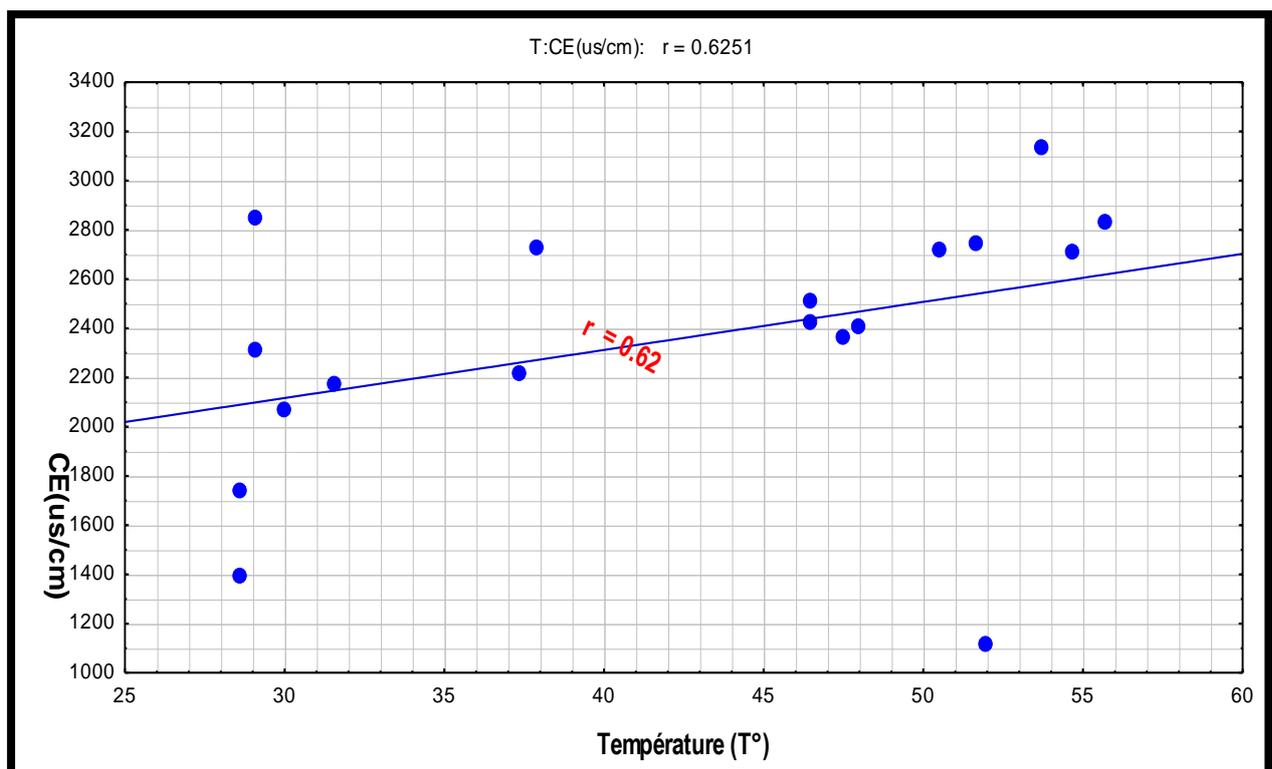


Figure.16 : la relation entre la température et la conductivité

Les phénomènes d'hydrolyse où il reste une phase insoluble après la mise en solution des ions , L'intensité de ces phénomènes (l'altération chimique, l'hydrolyse) augmente rapidement avec la température.

Les diagrammes (Figure .17) nous observons que l'augmentation des, K par rapport la température, traduit une bonne relation ($r = 0.90$),alors L'altération des minéraux silicatés . Les phénomènes de dissolution c'est-à-dire la décomposition totale d'un minéral en constitutifs :

$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$, donc la dissolution des évaporites sont les responsables de la minéralisation.

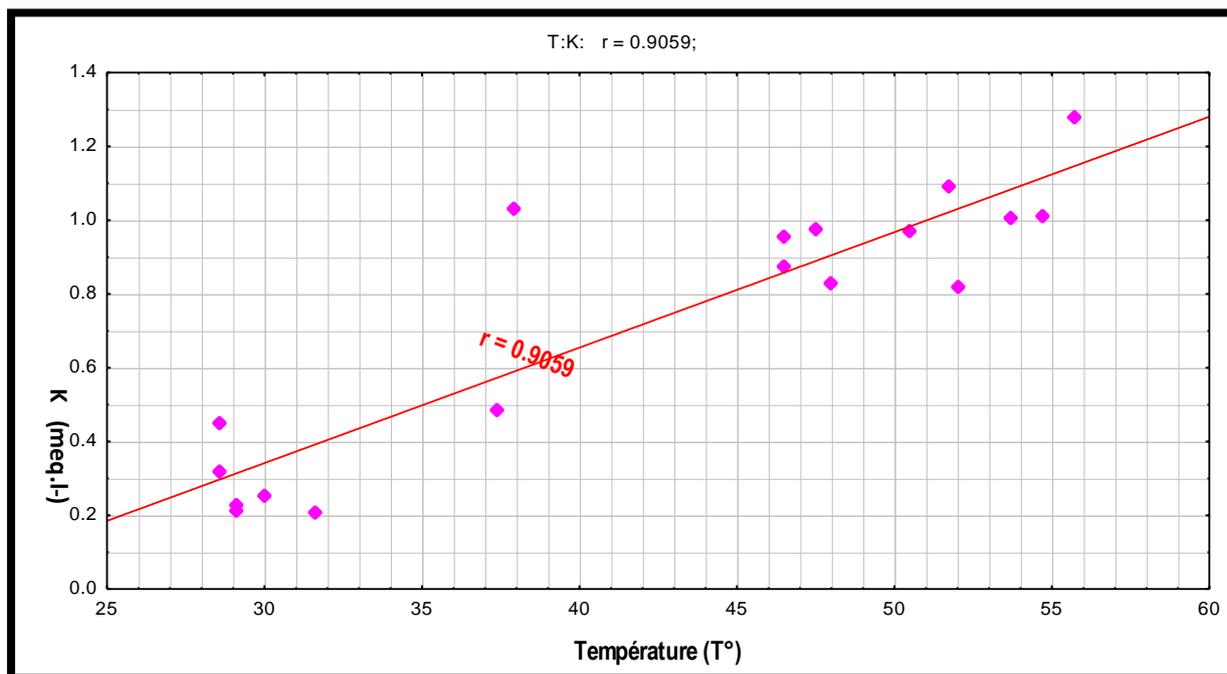


Figure .17 : La relation entre la température et K)

4. Influence de la lithologie sur la minéralisation des eaux

La conductivité électrique est un facteur déterminant de la salinité des sols et des eaux, Elle présente des variations notables dans les eaux de la nappe CI des différentes régions du Sahara algérien. Nous avons constaté que laquelle conductivité renseigne sur une salinité excessive à Illizi (du 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au 9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et une eau oligoéléments minérales à Menia (500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à Ghardaïa.

L'observation du diagramme (Figure.19) montre l'importance des évaporites dans les eaux de la nappe du Continentale Intercalaire. En effet, l'enrichissement des eaux de cette nappe par les éléments Cl^- , SO_4^{2-} provenant de la dissolution de l'Halite (NaCl), et du Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Les concentrations en bicarbonates HCO_3^- (Figure.18) diminuent avec l'augmentation de la conductivité, alors que les sulfates et les chlorures augmentent montrant ainsi la dominance de la matrice évaporitique sur la matrice carbonatée vis-à-vis de la conductivité électrique. Cependant les deux matrices Halite et gypse demeurent en concurrence (Figure 19) et reflètent deux faciès chloruré sodique et sulfaté calcique.



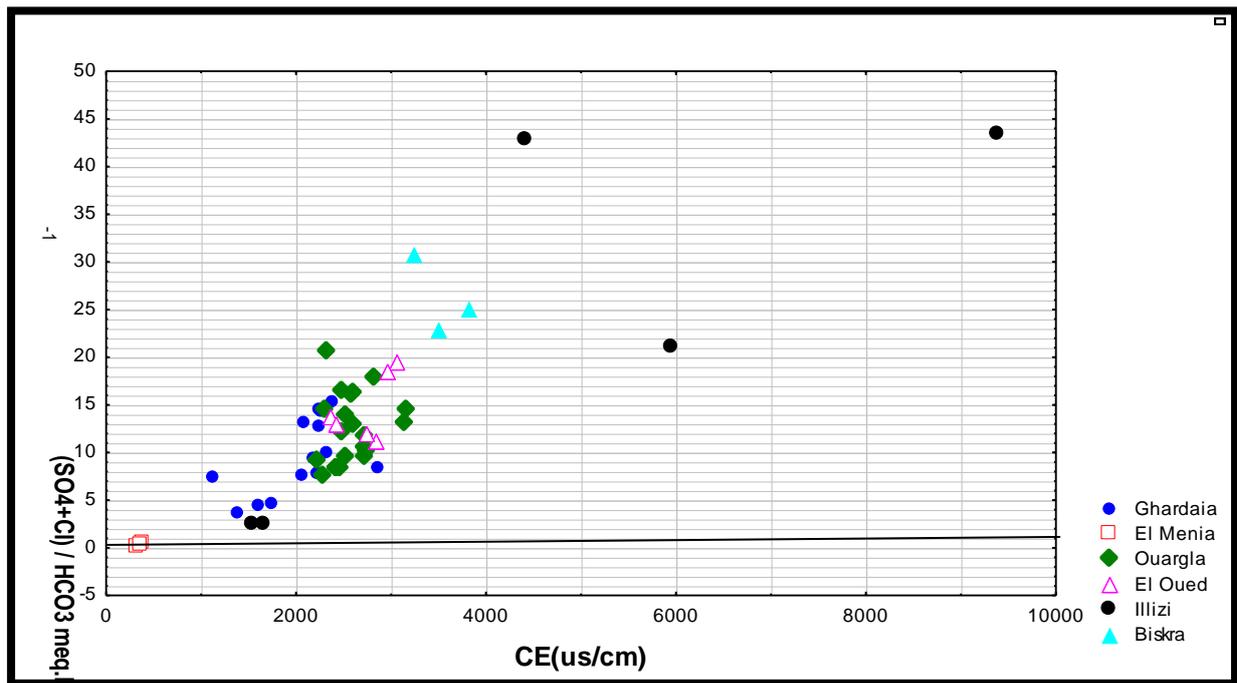


Figure .18: Evolution de la conductivité électrique CE en fonction du rapport $(Cl^- + SO_4^{2-}) / HCO_3^-$

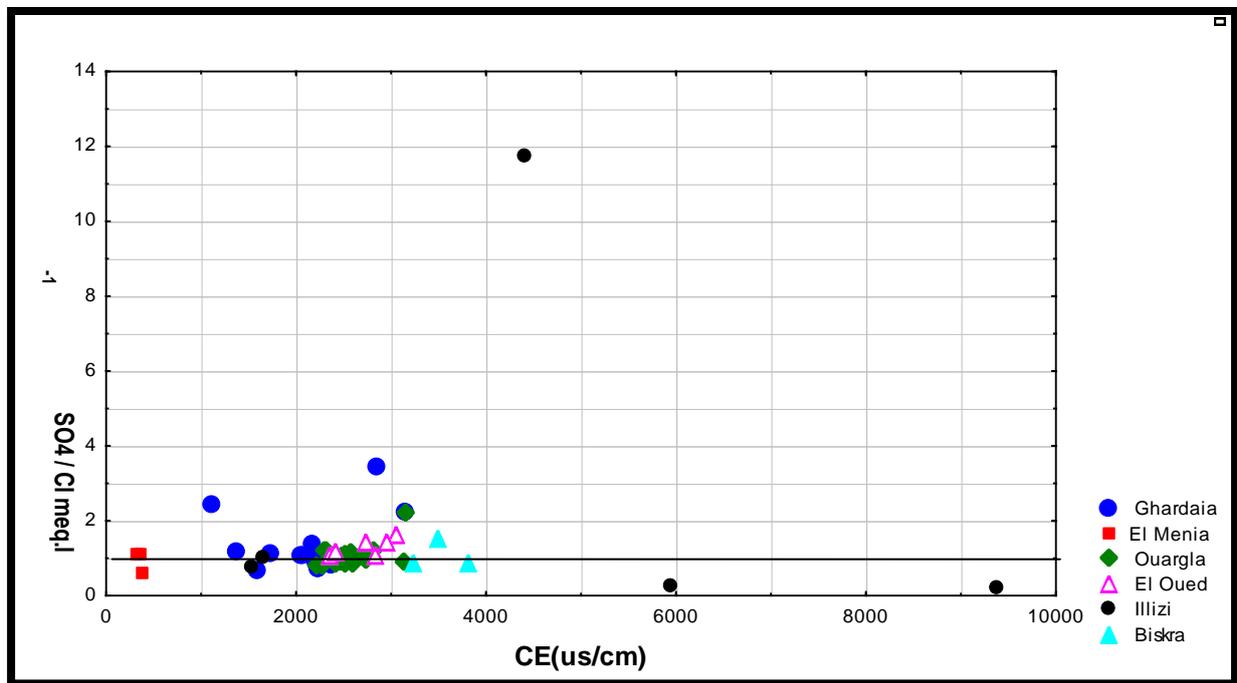


Figure .19 : Evolution de la conductivité électrique CE en fonction du rapport SO_4^{2-} / Cl^-

La nappe du Continentale Intercalaire constituées, essentiellement, d'une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et quelque niveau argileux, d'âge Albien et Barrémien. et en

communication avec des masses d'eaux très anciennes, la de conductivité électrique très élevée traduit globalement le degré de minéralisation d'une eau.

Le diagramme (Figure.20) les point au dessus le droite indiquant un excès du chlorure, et les point au dessous le droite indiquant un déficit en sodium, traduit l'influence de la matrice Halite avec une bon coefficient de corrélation dans les wilaya (Ghardaïa l: $r = 0.9539$); (El Oued: $r = 0.3955$); (Illizi: $r = 0.9880$); (Biskra: $r = -0.9427$) et faible coefficient (r) par rapport à (Ouargla: $r = 0.1901$). Alors que le diagramme (Figure.21) les point au dessus le droite indiquant un excès du calcium, et les point au dessous le droite indiquant un déficit en bicarbonates, traduit l'influence de la matrice de la Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), avec une bonne coefficient de corrélation (Ouargla: $r = 0.57$) (Illizi: $r = -0.90$) (Biskra: $r = -0.94$) et une faible coefficient (r) à (Ghardaïa: $r = 0.22$) (El Oued: $r = 0.21$).

Toutefois, le diagramme (Figure.22) les point au dessus le droite indiquant un excès du calcium, et les point au dessous le droite indiquant un déficit en sulfate, traduit l'influence de la matrice anhydrite (CaSO_4)et Gypse avec une bonne coefficient de corrélation dans les wilaya (Ghardaïa: $r = 0.87$; El Oued: $r = -0.65$; Illizi: $r = 0.84$; Biskra: $r = -0.96$; Ouargla: $r = 0.21$)

Éventuellement, du fait de la saturation des eaux en minéraux évaporitiques.

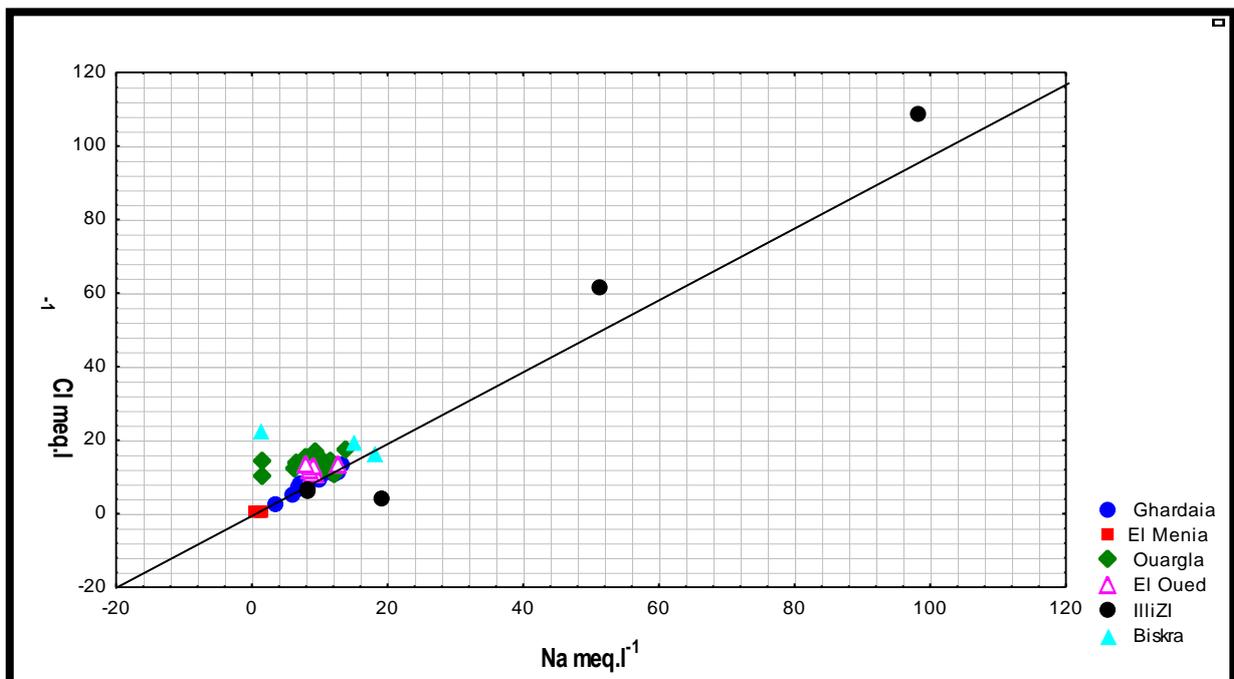


Figure .20 :La relation entre Na et Cl Ghardaïa l: $r = 0.9539$; Ouargla: $r = 0.1901$;El Oued: $r = 0.3955$; Illizi: $r = 0.9880$; Biskra: $r = -0.9427$

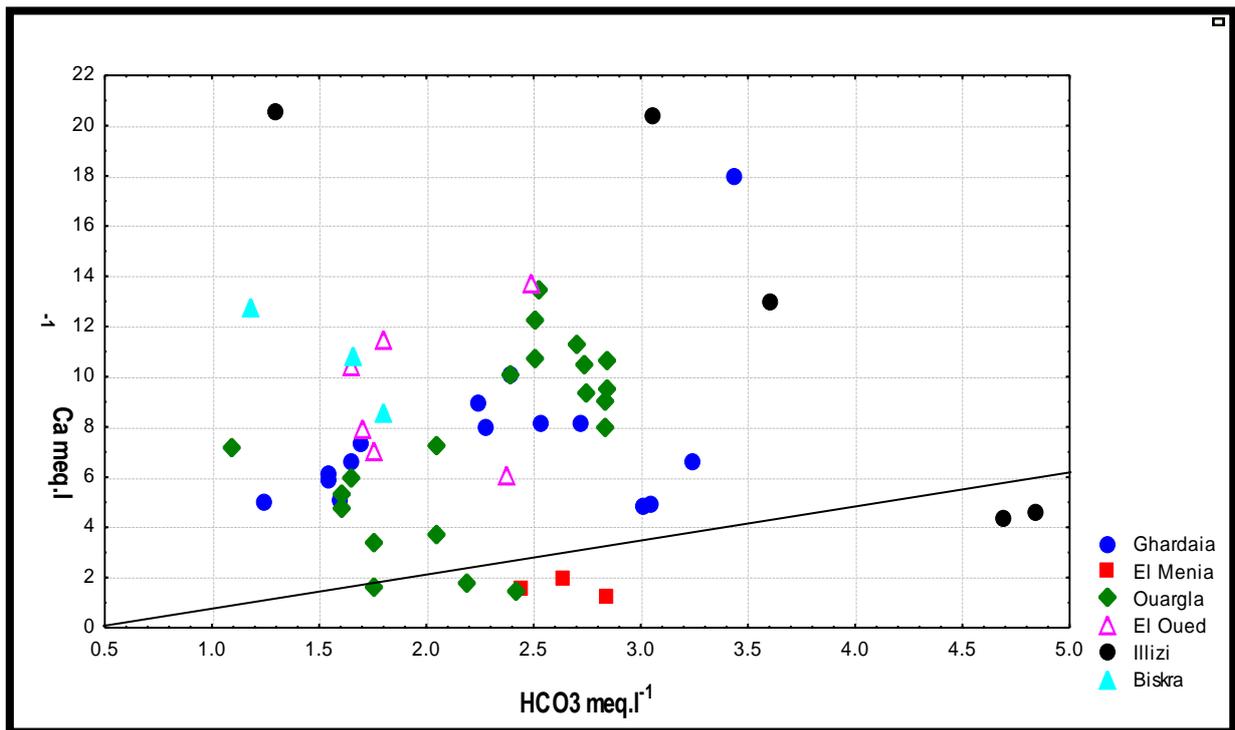


Figure.21 : La relation entre Ca et HCO₃ Ghardaïa: $r = 0.2270$; Ouargla: $r = 0.5756$; El Oued: $r = 0.2102$; Illizi: $r = 0.9012$; Biskra: $r = 0.9480$

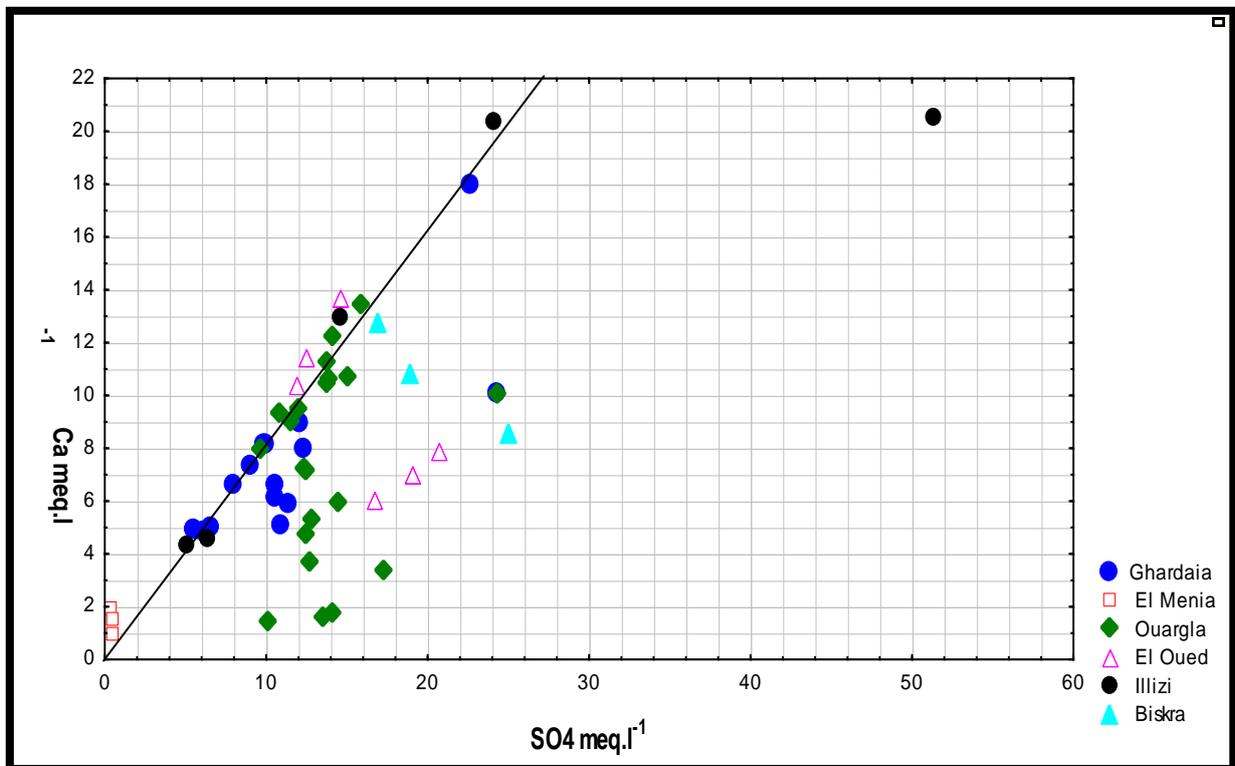
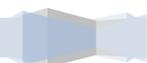


Figure.22 : La relation entre $[SO_4^{2-}]$ et $[Ca^{2+}]$ Ghardaïa: $r = 0.8792$; Ouargla: $r = 0.4147$; El Oued: $r = -0.6533$; Illizi: $r = 0.8430$; Biskra: $r = -0.9675$



5. Echange de bases

Les eaux souterraines au cours de leurs trajets souterrains, se chargent de plus en plus en matières dissoutes, elles rentrent en contact avec des substances ayant la propriété d'échanger leurs ions contre ceux de l'eau. C'est une faculté particulière des argiles dont les feuillets présentent une charge négative. Celle-ci est compensée au niveau des espaces inter foliaires par des cations (H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+}) échangeables (Schoeller, 1962 ; Droubi, et al, 1976). L'indice d'échange de base (i.e.b), tel que : $i.e.b = [Cl^- - Na^+ - K^+] / [Cl^-]$ 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).

Notons que l'indice d'échange de base ne correspond pas forcément à un échange de base, lorsqu'il est négatif, il correspond au déséquilibre chloro-alcalin, qui est caractérisé par l'indice : $[Cl^- - Na^+ + K^+] / [HCO_3^- + SO_4^{2-} + NO_3^-]$.

Le calcul du pourcentage des valeurs positives ou négatives de l'indice d'échange de base montre que 24.53% des échantillons ont un i.e. négatif, 75.47 sont positifs.

. Nous pouvons suivre sur un diagramme $[Ca + Mg - SO_4 + HCO_3]$ vs $[Na+K-Cl]$ (Figure.23) nous observons, la plupart des eaux dans les échantillons des différentes wilaya montrent un excès en $(Ca+Mg)$, En effet un déficit $(SO_4 + HCO_3)$, un excès $(Na + k)$, En effet un déficit en Cl alors. L'eau est libérer 2 atomes de Na et adapter 2 atomes de Ca. c'est la lithologie caractérisée par la dominance des formations évaporitiques qui contrôle l'enrichissement des eaux en ces éléments (Ca et Mg).

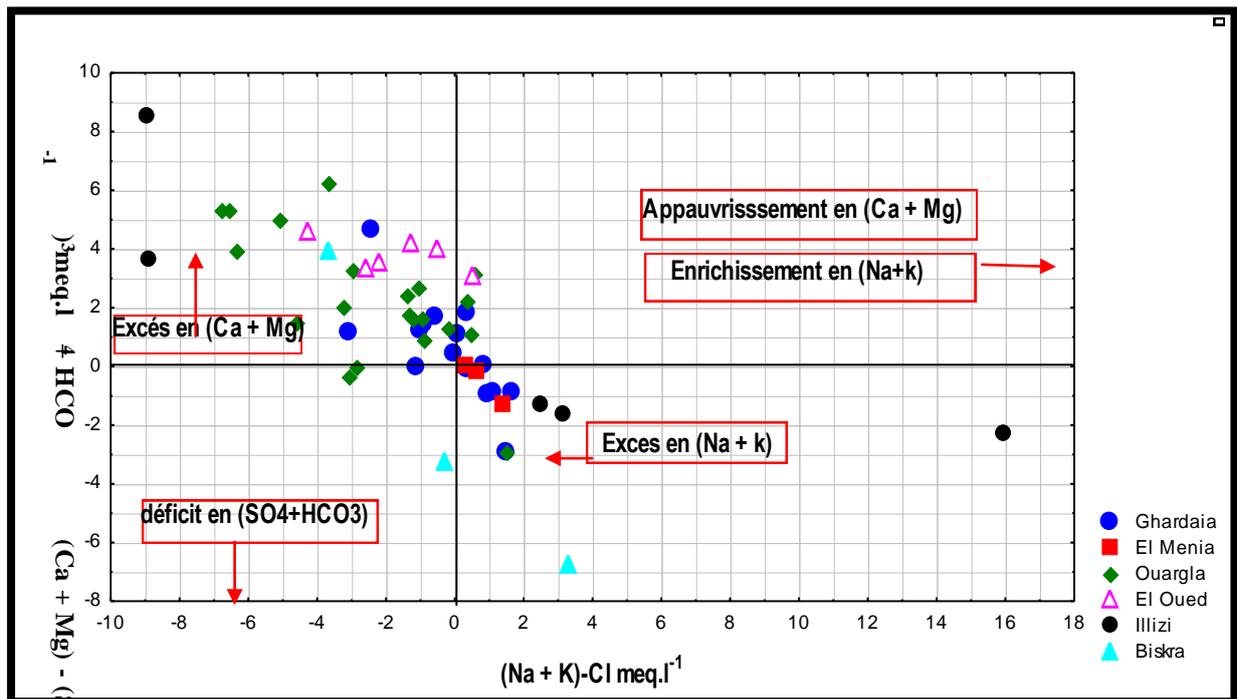


Figure .23: La relation entre $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (SO_4^{2-} + HCO_3^-)$ et $((Na^+ + K^+) - Cl^-)$ des eaux du continentale Intercalaire

6-Equilibre sels/solution et comportement des ions

Dans le diagramme (Figure.25), nous avons placé, l'indice de saturation des eaux de la nappe CI par les minéraux, en ordonnée, et le logarithme du facteur de concentration en abscisse ($IS = \text{Log} (F_c)$). Nous pouvons constater que, dès le début de concentration ($\log F_c < 0.2$), les solutions sont déjà saturées (en équilibre) à sursaturées (précipitation) selon les cas en Dolomite ($CaMg(CO_3)_2$), en Calcite ($CaCO_3$), et en Anhydrite ($CaSO_4$), Halite ($NaCl$), Gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) contribuant ainsi au contrôle de l'alcalinité (bicarbonatée).

Le diagramme, (Figure.24), les nuages de point du chlorure déplacées sur la même ligne dénoter Il ya une augmentation proportionnelle dans la teneur du chlore avec le facteur de concentration Cependant l'excès du sodium il y a une forte concentration en chlorures, alors que les teneurs en calcium et en magnésium qui augmenter simultanément. Toutefois la stabilisation les teneurs en bicarbonate avec l'augmentation le facteur de concentration,

Il est également quelque concentration en sodium, calcium et sulfates dépassent la concentration du chlorure donc, probablement un échange de bases.

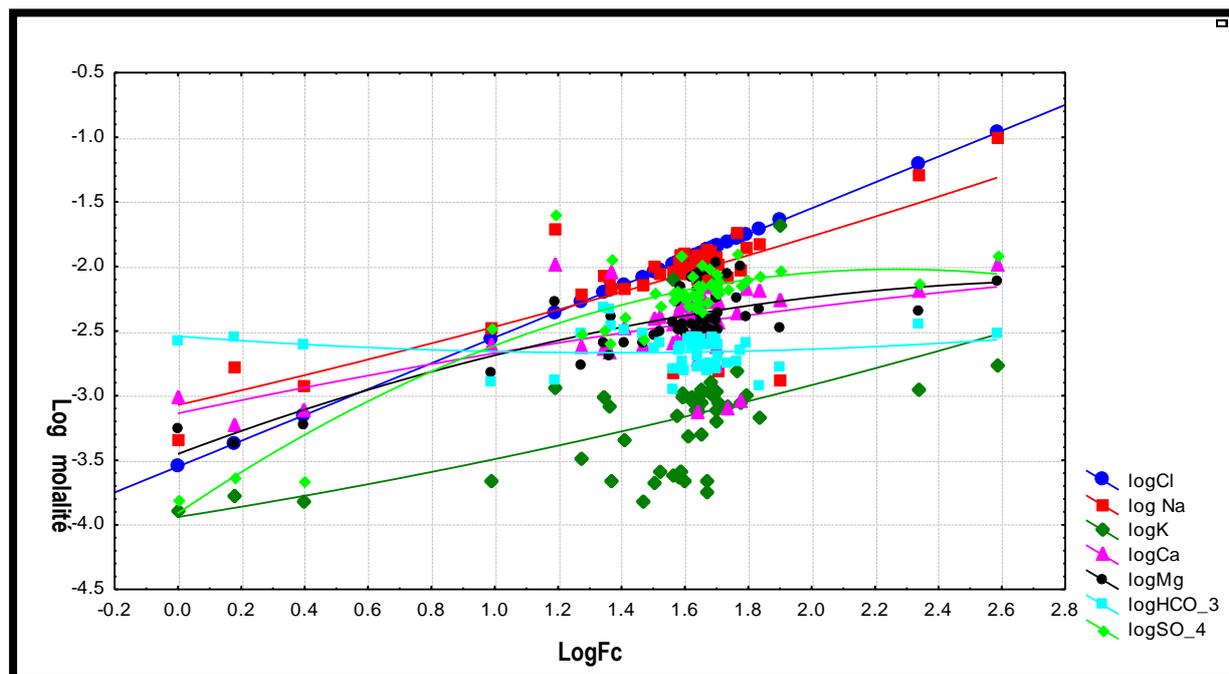


Figure.24 : Evolution des concentrations des éléments majeurs en fonction du facteur de concentration

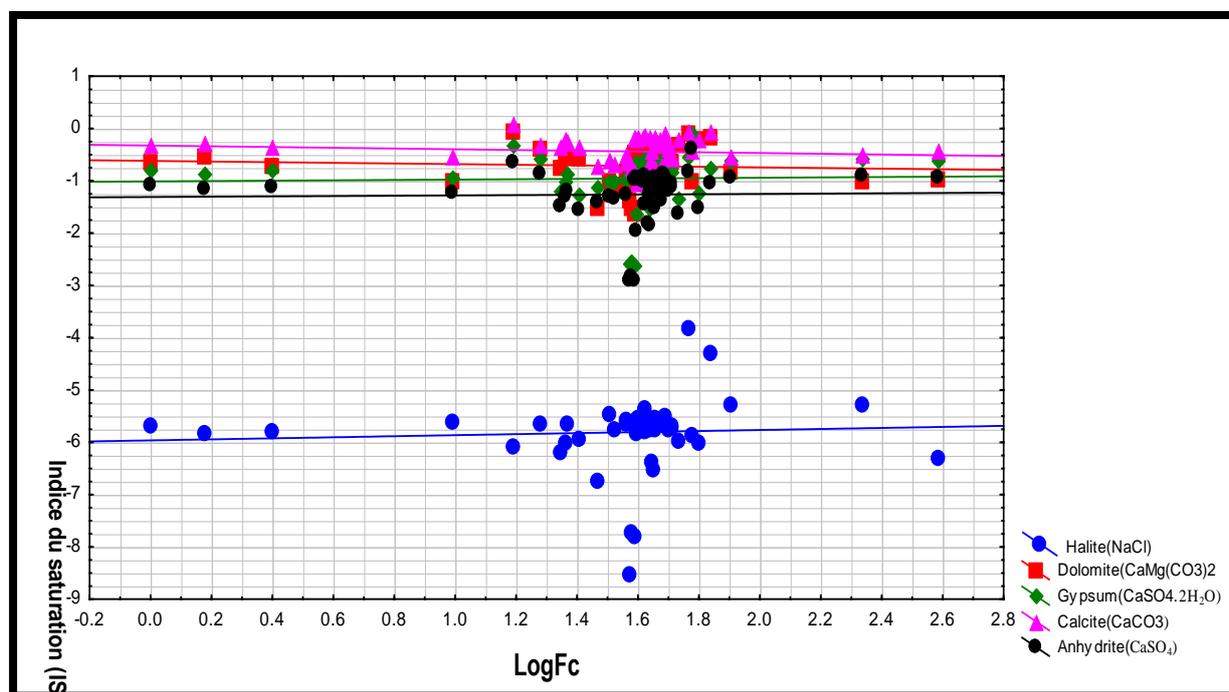


Figure 25: Evolution de l'indice de saturation des minéraux en fonction du facteur de concentration



Conclusion

Les eaux de la nappe du **Continental Intercalaire** du Sahara Algérie, montrent une minéralisation augmente par la conductivité électrique enregistrer 9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Illizi et la température qui marquée une bonne coefficient du corrélation avec (CE ,Cl ,Na et K) .

La matrice évaporitique, et plus particulièrement Halite et Gypse , confère à l'eau un faciès chloruré sodique et sulfaté calcique dominant. C'est pour ça nous pouvons dit que les responsables de la minéralisation sont la dissolution des évaporites.

Conclusion Générale

La présente d' étude s'est effectuée sur les ressources en eaux souterraines de Sahara Algérien, L'étude géologique s'intéresse à l'histoire et l'évolution des formations géologiques qui caractérisent le Sahara Algérie, où les formations tabulaires prédominent est comprise dans le domaine saharien dont elle occupe un vaste territoire.

Du point de vue climatique Le climat saharien est caractérisé par la faiblesse des précipitations, une sécheresse intense, de grands écarts de température et une forte évaporation.

L'étude géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

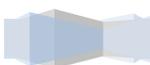
- Le Continental Intercalaire est défini par deux niveaux grésos-sableux, aquifères : l'Albien et le Barrémien, séparés par une couche semi-perméable d'âge Aptien, et recouvert par une couche argilo marneuse et argileuse à évaporites, d'âge Cénomaniens.
- Le Complexe Terminal est composé de plusieurs ensembles aquifères d'âge et de lithologie différents, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables.

Du point de vue tectonique Les failles de la dorsale d'Amguid-Albiod sont à l'origine d'une drainance verticale, auparavant notable, des eaux du CI vers la nappe du CT.

La nappe du Continental Intercalaire est plus connue sous la dénomination d'albienne correspond à un niveau plus réduit. Elle est définie par les formations continentales du Crétacé inférieur comprises entre le Néocomien et le Cénomaniens qui sont constituées de sables, de grès avec des intercalations d'argiles.

La matrice évaporitique, et plus particulièrement Halite et Gypse, confère à l'eau un faciès chloruré sodique et sulfaté calcique dominant.

la matrice de corrélation montre que un bon coefficient du corrélation entre la Température et K , entre CE et Ca, Mg, dénoter L'altération des minéraux silicates (Hydrolyse), où il reste une phase insoluble après la mise en solution des ions, , donc la dissolution des évaporites sont les responsables de la minéralisation.



Bibliographie

- 1) **ANRH (2016)** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- 2) **BEL .F.et CUCHE. D. (1969)** : Mise au point des connaissances sur la nappe du
- 3) **BEL. F.,et CUCHE. D(1970)** : Etude des nappes du Complexe Terminal du bas
- 4) **BETTAHAR Asma(2013)** : spectes qualitatifs des eaux de la region de touggourt (nappes du complexe terminal et continental intercalaire) sud-est de l'algerie,Mémoire du master , universite kasdi merbah – ouargla ,pp 35.
- 5) **BOUCHAHM. N., ACHOUR.S. (2008)**. Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. La houille blanche, N° 02, pp76-82.
- 6) **BOUZNAD Imad Eddine (2009)** : Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans la vallée Sud d'Oued Righ (W. Ouargla) (Sahara septentrional algérien), memoire du magister , université badji mokhtar-annaba .PP 7-8
- 7) **BUSSON. G.(1967)** : Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sudtunisien.
- 8) **Castagny G(1982)** : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod édit. Paris, 238p.
- 9) **CHEHMA Abdelmadjid (2015)** : Le Sahara en Algérie, Situation et DEFTS . Article, Université kasdi merbah - Ouargla- PP 17.
Complexe Terminal ; ERESS ; Ouargla. Algérie, 20p.
- 10) **CORNET. A .(1964)** : Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et
- 11) **DUBIEF J., (1959)** : Le climat du Sahara. Ed : Inst. Rech. Saha., Alger. Mémoire h.s. Tome
Edit.,Paris,«CentreRech.ZonesArides»,Géol.,8,194 p.Ed.C.N.R.S.
- 12) **FABRE. J. 1976**. Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions
Géol.Dyn.



13) HELAL Fayçal OURIHANE Dalila (2004) : Etude hydrogéologique du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt. Aspect hydro-chimique et problèmes techniques posés . Mémoire d'ingénieur , Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene .PP 48-49 .

14) HOUARI Idir Menad (2012) : contribution a l'étude de l'évolution géochimique des eaux de la nappe du complexe terminal du sahara septentrional, memoire du magister , universite kasdi merbah – ouargla , PP 51-56.

mathématique. DHW., Ouargla.

15) NEZLI Imed Eddine (2009) : Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla),Thèse Doctorat, Université Mohamed Kheider – Biskra .

16) OMS. (1994) : Organisation Mondiale de la Santé. Directives de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 2è ed. Volume 2, pp 272-279

17) OSS (2002) : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel.

17) OSS (2003) : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel. PP 21-22

18) OUALI Salima (2006) : Etude géothermique du sud de l'Algérie , Mémoire de Magister, universite m'hamed bouguerra boumerdes . PP 14-25

19) OULD BABA SY Mohamedou (2005) : Recharge et paleorecharge du système aquifère du Sahara septentrional .Thèse Doctorat , universite de tunis el manar PP 05-07.

20) PARKHURST. D.L., APPELO. C.A.J.(1999): User's guide to PHREEQC version2: a computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculations. USGS, Water-resources investigations report 99-4259.

Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle

21) SAPORTA. G. (1990) : Probabilités. Analyse des données et statistiques, Ed Technip.493p



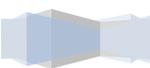
Référence Bibliographiques

22) SCHOELLER. H. (1962) : Les Eaux Souterraines., Paris, Masson

23) SONATRACH(2016) : Société Nationale pour la Recherche, la Production, la Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.

24) UNESCO. (1972) : Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris.

voisines. SNED, Alger, 421p.



ملخص

تعد الصحراء الأكثر تعبيراً وتميزاً بالجفاف. رغم هذا تضم موارد أساسية للمياه الجوفية والتي لا يمكن تفسيرها بالمناخ الحالي، هذا الأخير يتميز خاصةً بالتذبذب في التساقط، والحرارة المرتفعة التي تؤدي إلى كثرة التبخر.

إلى الجانب الجيولوجي نلاحظ قاعدة من تكوين العصر ما قبل الكامبري مغطاة بسلسلة رسوبية سميكة نوعاً ما.

أما الجانب الهيدروجيولوجي تتشكل الصحراء الشمالية من حوض رسوبي واسع يتشكل من طبقتين أساسيتين هما المركب النهائي، المتداخل القاري، يكون استغلالهم في المجال الصناعي و الزراعي و المنزلي.

تنسيق المعطيات المجمعلة لهدف معرفة العلاقة الجيوكيميائية لمياه المتداخل القاري للصحراء الجزائرية و طبيعة الصخور التي تخترنها.

النتائج المحصل عليها تنبأ أن غالبية الصخور التي تخترن مياه المتداخل القاري للصحراء الجزائرية ذات طبيعة تبحرية.

الكلمات الرئيسية : الصحراء، المركب النهائي، المتداخل القاري ، الطبقة المائية الهيدروجيوكيمياء.

Résumé

Le Sahara est le plus expressif et typique par son extrême aridité, malgré ça il renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines qui ne peuvent être expliquées par le climat actuel, ce dernier est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, de fortes températures, une luminosité intense, et une forte évaporation. En géologie, on observe un substratum de formation antécambrienne recouvert par des séries sédimentaires pelliculaires plus au moins épaisses, Au Sahara septentrional, le bassin sédimentaire constitue un vaste bassin hydrogéologique, ce dernier représente par deux principales couches aquifères: la formation du Continental Intercalaire(CI) et celle du Complexe Terminal(CT), qui sont actuellement exploitées pour les usages domestiques, industriels et 'irrigation des palmeraies. la synthèse des données recueillies a savoir la relation caractéristique hydrogéochimique entre les eaux de continentale intercalaire du Sahara Algérien et la nature lithologique des formations aquifères.

Les résultats obtenus montrent que la lithologie des eaux du Continentale Intercalaire du Sahara Algérien caractérisée par la dominance des formations évaporitiques.

Mots clés : Sahara, Continentale Intercalaire, Complexe Terminal, Aquifère, hydrogéochimie.

Abstract

The Sahara is also the most expressive and typical by its extreme aridity, despite that it contains important groundwater reserves that can not be explained by the current climate, it is characterized in particular by low and erratic rainfall, high temperatures, high brightness, and high evaporation. In geology, there is a antécambrienne training bedrock covered by sedimentary series dandruff more or less thick, the northern Sahara, the sedimentary basin is a vast groundwater basin, the latter represented by two main aquifers: formation Intercalary Continental (IC) and that of the Terminal Complex (TC), which are currently used for domestic, industrial and irrigation of palm groves. the synthesis of the data collected knowledge hydrogeochemical characteristic relationship between the interlayer continental waters of the Algerian Sahara and the lithology of the aquifers.

The results show that the lithology of the waters of the Algerian Sahara Interleave Continental characterized by the dominance of evaporite formations.

Keywords: Sahara, Continental midsole, Aquifer, Hydrogeochemistry.
