

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

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

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique / Professionnel

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Influence de la lithologie sur la composition chimique des
eaux de la nappe du Mio-Pliocène dans
la région de Djamaa**

Présenté par

KEDDAM Saliha

TAABLI Hanane

Soutenu publiquement le : - 06 -2017

Devant le jury :

Président :	Dr. BELKSIER M ^{ed} Salah	M. C. B Univ. Ouargla
Promoteur :	M. HOUARI Idir Menad	M. A. A Univ. Ouargla
Examineur :	Dr. BOUSALSAL Boualem	M. C. B Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Nous tenons avant tout à remercier ALLAH le tout puissant, le tout miséricordieux qui, grâce à sa protection et sa bienveillance, il m'est permis d'acquérir le savoir et d'arriver à ce niveau.

Au terme de ce travail, il est de notre devoir de remercier vivement et chaleureusement tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste mémoire.

*Notre plus profonde gratitude va à Monsieur **HOUARI Idir Menad** qui a accepté la prise en charge de notre encadrement. Nous tenons à le remercier vivement pour sa présence, sa compréhension, son aide et ces précieux conseils. Nous remercions également **Mr BELEKSEIR M.S**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury. **Mr BOUSSALSSAL B**, qui a bien voulu examiner ce mémoire. Qu'ils trouvent ici ma sincère reconnaissance.*

*Nous tenons également à remercier tous les enseignants de L'UNIVERSITE DE KASDI MERBAH Ouargla surtout **Mr MEDJANI Fethi** pour ces conseils.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, à tous ceux qui ont une place particulière dans mon cœur :

A l'âme de mon père

A ma très chère mère

Mes frères et sœurs : (Med Laarbi, Med Rédha , Abd eldjebbar , Abd elhak , Ourida , Farida , Zahra, Habiba , Hanane)

A tous mes amis qu'ont toujours été

a ma coté dans les bons et les mauvais moments,

particulièrement : Mon binôme Hanane , Mebarka , Safa

A tout le Promotions Hydrogéologie (2016-2017)

Saliha KEDDAM



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail, à tous ceux qui ont une place
particulière dans mon cœur :*

A mon très chère père

A ma très chère mère

Mes frères et sœurs : (

)

*A tous mes amis qu'ont toujours été
à ma coté dans les bons et les mauvais moments,
particulièrement :*

A tout le Promotions Hydrogéologie (2016-2017)

Hanane TAABLI



Table des matières

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I: Cadre physique

I.1	Introduction.....	3
I.2	Situation géographique.....	3
I.3	Géomorphologie et topographie.....	4
I.4	Climat et végétation.....	5
I.5	Activités économique.....	5
I.6	Etude climatique de la région de Djamaa.....	5
	I.6.1 Précipitation.....	6
	I.6.2 Température.....	7
	I.6.3 Evaporation.....	8
	I.6.4 Humidité.....	8
	I.6.5 Vent.....	9
	I.6.6 Durée d'insolation.....	10
I.7	Conclusion.....	11

Chapitre II : Contexte Géologique

II.1	Introduction.....	12
II.2	Géologie régionale.....	12
II.3	Géologie locale.....	13
II.4	Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude.....	14
	II.4.1 Description stratigraphique.....	14
	II.4.1. A Quaternaire.....	14
	II.4.1. B Tertiaire.....	15
	a) Moi-Pliocène.....	15
	b) Eocène.....	15
	b.1) Eocène inférieur carbonaté.....	15
	b.2) Eocène moyen évaporatique.....	16
	II.4.1. C Secondaire.....	16
	a) Sénonien.....	16
	b) Turonien.....	16
	c) Cénomanién.....	16
	d) Vraconién.....	16
	e) Albien.....	16
	II.4.2 Tectonique générale.....	17
II.5	Conclusion.....	19

Chapitre III :Contexte Hydrogéologique

III.1	Introduction.....	20
III.2	Hydrogéologie régionale.....	20

	III.2.1 Le Continental intercalaire (CI)	21
	III.2.2 Le Complexe Terminal (CT).....	23
	III.2.3 Nappe phréatique.....	26
III.3	Conclusion.....	26

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV.1	Introduction.....	27
IV.2	Emplacement des points d'eau échantillonnés.....	27
IV.3	Outil informatique.....	29
	IV.3.1 Statistica.v6.1.....	29
	IV.3.2 Diagramme 5.1.....	29
	IV.3.3 Phreeqci v 2.18 . 2011	30
	IV.3.4 ArcGis 10.1.....	30
IV.4	Conclusion.....	31

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1	Introduction.....	32
V.2	Présentation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux.....	33
	V.2.1 Le potentiel hydrogène (pH).....	34
	V.2.2 La température (°C).....	34
	V.2.3 La conductivité électrique CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).....	34
	V.2.4 Les sulfates SO_4^{-2} (mg/l).....	35
	V.2.5 Les chlorures Cl^- (mg/l).....	35
	V.2.6 Les bicarbonates HCO_3 (mg/l).....	36
	V.2.7 Les nitrates NO_3 (mg/l).....	36
	V.2.8 Le calcium Ca^{+2}	36
	V.2.9 Le magnésium Mg^{+2}	37
	V.2.10 Le sodium Na^+ (mg/l).....	37
	V.2.11 Le potassium K^+ (mg/l).....	38
V.3	Analyse statistique des paramètres physiques et éléments chimiques... ..	38
	V.3.1 Corrélations entre les paramètres physico-chimiques.....	38
	V.3.2 Classification des variables (éléments chimiques).....	39
	V.3.3 Classification des observations (forages).....	40
V.4	Hydrochimie et évolutions géochimique des eaux.....	41
	V.4.1 Les paramètres physiques (CE, pH et T°).....	41
	V.4.2 Les anions majeurs.....	42
	V.4.3 Les cations majeurs.....	43
V.5	Faciès chimiques des eaux.....	43
V.6	Importance des échanges de bases.....	47
V.7	Origine des éléments chimiques.....	49
	V.7.1 Origine des chlorures et du sodium.....	49
	V.7.2 Origine des sulfates, du magnésium et du calcium.....	49
	V.7.3 Origine du potassium et des bicarbonates.....	52
V.8	Conclusion.....	52

	Conclusion générale	53
--	----------------------------------	----

Liste des tableaux

Chapitre I : Cadre physique

Tab. I.1	Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975 – 2015)....	6
Tab. I.2	Représentation de la variation des températures moyennes mensuelles (1975 – 2015).....	7
Tab. I.3	L'évaporation moyenne mensuelle (1975 – 2015).....	8
Tab. I.4	L'humidité moyenne mensuelle (1975 – 2015)	9
Tab. I.5	Vitesses de vent moyennes mensuelles (1975 – 2015).....	9
Tab. I.6	La durée d'insolation moyennes mensuelles (1975 – 2015).....	10

Chapitre II : Contexte Géologique

Tab. II.1	Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara Algérienne (Karpoff, 1952).....	19
------------------	--	----

Chapitre V : Résultats et discussion

Tab. V.1	Variations du pH.....	33
Tab. V.2	Variations de la température.....	33
Tab. V.3	Variations des conductivités électriques.....	34
Tab. V.4	Variations des concentrations des sulfates.....	34
Tab. V.5	Variations des concentrations des chlorures.....	34
Tab. V.6	Variations des concentrations des bicarbonates.....	35
Tab. V.7	Variations des concentrations des nitrates.....	35
Tab. V.8	Variations des concentrations du calcium.....	36
Tab. V.9	Variations des concentrations du magnésium.....	36
Tab. V.10	Variations des concentrations du sodium.....	37
Tab. V.11	Variations des concentrations du potassium.....	37
Tab. V.12	Matrice de corrélation des éléments chimiques.....	38
Tab. V.13	Evolution spatiale de l'indice d'échange de base (i.e.b) du CT.....	47

Liste des figures

Chapitre I: Cadre physique

Fig. I.1	Localisation de la zone d'étude	4
Fig. I.2	Variations des précipitations moyennes mensuelles (1975- 2015).....	6
Fig. I.3	Variations des températures moyennes mensuelles (1975- 2015).....	7
Fig. I.4	Variations des évaporations moyennes mensuelles (1975- 2015).....	8
Fig. I.5	Histogramme de variation d'humidité moyenne mensuelle (1975- 2015).	9
Fig. I.6	Variations des vitesses de vent moyennes mensuelles interannuelles (1975- 2015).....	10
Fig. I.7	Variations des durées d'insolation moyennes mensuelles (1975- 2015)	11

Chapitre II : Contexte Géologique

Fig. II.1	Coupe géo structurale transversale régionale (WEC,2007).....	14
Fig. II.2	Coupe géologique de la région d'El Oued (la région de Djamaa) (HOUARI, 2012).....	15
Fig. II.3	Colonne chrono-stratigraphique synthétique du Sahara septentrional algérien (WEC, 2007).....	18

Chapitre III : Contexte Hydrogéologique

Fig. III.1	Carte des ressources en eaux souterraines (Continente intercalaire et Complexe terminal) extrait de recueil des communications,2002	20
Fig. III.2	Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO,1972).....	22
Fig. III.3	Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003).....	22
Fig. III.4	Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO,1972).....	25
Fig. III.5	Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003)	26

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Fig. IV.1	Carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau.....	28
Fig. IV.2	Représentation de l'interface du logiciel Diagramme 5.1.....	29
Fig. IV.3	Représentation de l'interface du logiciel Phreeqci 2.18 , 2011.....	30

Chapitre V: Résultats et discussion

Fig. V.1	Classification ascendante hiérarchique (C.A.H) des variables (éléments chimiques).....	39
Fig. V.2	Classification ascendante hiérarchique (C.A.H) des observations (forages).....	40
Fig. V.3	Evolution des anions majeurs.....	41
Fig. V.4	Evolution des cations majeurs.....	42
Fig. V.5	Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de la région de Djamaa.....	43
Fig. V.6	La relation Na/Ca vs SO ₄ / Cl.....	45
Fig. V.7	La relation Na/Mg vs SO ₄ / Cl.....	45
Fig. V.8	La relation Mg/Ca vs SO ₄ / Cl.....	46
Fig. V.9	Des échanges de bases.....	47

Fig. V.10	La relation Na vs Cl.....	48
Fig. V.11	La relation Ca vs SO ₄	49
Fig. V.12	La relation Ca / SO ₄ vs Na / Cl.....	50
Fig. V.13	La relation Mg/ SO ₄ vs Na / Cl.....	50

Liste des abréviations

AEP	Alimentation en Eau Potable
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
BG	Bonnard & Gardel (Bureau d'études suisse)
BRL	Bas Rhône Laurant (Bureau d'études français)
CDTN	Centre de Développement des Techniques Nucléaires
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
DHW	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
ENAGEO	Entreprise Nationale de Géophysique
ERESS	Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional
LCE	Laboratoire de Chimie des Eaux (Université de Ouargla)
LTPS	Laboratoire des Travaux Publics de Sud
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONM	Office National de Météorologie
OSS	Observation du Sahara et du Sahel
SASS	Système Aquifère du Sahara Septentrional
UTM	Universal Transverse Mercator
WEC	Well Evaluation Conference
CHA	Classification hiérarchique ascendante
PH	Le potentiel hydrogène
Cl-	Les chlorures
So₄²⁻	Les sulfates
K⁺	Le potassium
Na⁺	Le sodium
Ca²⁺	Le calcium
Mg²⁺	Le magnésium
CE (μS.cm⁻¹)	La conductivité électrique
HCOOH	Les bicarbonates
NO₃⁺	Les nitrates
T ° C	La température
i.e.b	Indice d'échange de base
KCl	Sylvite
NPK	Type d'engrai

Introduction générale

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

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

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

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

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

Chapitre I : Cadre physique

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

Chapitre II : Contexte géologique

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

Chapitre III : Contexte hydrogéologique

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

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Ce chapitre expose les différentes méthodes et approches suivies pour étudier l'évolution du chimisme des eaux en fonction de la lithologie le long du sens présumé d'écoulement (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.

I.1-Introduction

En ce chapitre , nous allons réaliser une présentation de la zone d'étude en particulier sa situation géographique et son contexte géologique. Ceci va aider l'interprétation des résultats obtenus dans la partie spéciale de ce mémoire.

I.2-Situation géographique

La vallée d'Oued Righ (32°54' à 39°9' N.; 5°50' à 5°75' E.) est située au Nord- Est du Sahara algérienne à 500 km au Sud d'Alger, sur 85 m d'altitude (Fig.I.1). C'est un vaste ensemble d'oasis qui totalisent environ 13000 ha cultivées. Elle est allongée selon la direction Nord-Sud et correspond à la partie Nord du grand bassin sédimentaire du Grand Erg Oriental.

Elle s'étend sur une superficie de 6506 km², limitée par:

- ◀ Le grand Erg oriental à l'Est ;
- ◀ Le plateau du M'Zab à l'Ouest ;
- ◀ Le plateau de S'till Au Nord ;
- ◀ L'extension du grand Erg oriental au Sud (BELAGGOUN, 2007).

La région d'étude concerne la ville de Djamaa, qui est située au centre de la vallée d'Oued Righ (33°31' N.; 5°59' E.) (Fig.I.1). Elle se trouve entre le plateau du M'Zab à l'Ouest et le Grande Erg Oriental à l'Est (Fig.I.1). Administrativement, elle est située au Nord-Ouest de la wilaya d'El-Oued. Elle est limitée:

- ✓ Au Sud: la daïra de Sidi Slimane (wilaya d'Ouargla);
- ✓ Au Nord: la daïra d'El Meghaire;
- ✓ A l'Est: la daïra d'Arghiba;
- ✓ A l'Ouest: la daïra de Masâad (wilaya de Djelfa) (D.S.A., 2011).

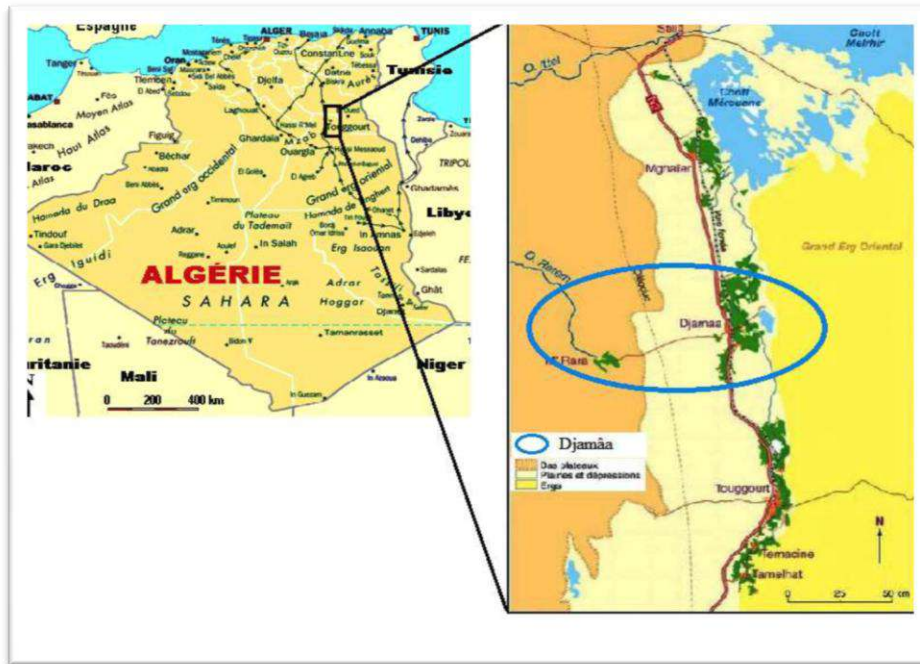


Fig.I.1- Localisation de la zone d'étude(BALLAIS,2010 modifiée)

I.3-Géomorphologie et topographie

Cette région à une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions.

La topographie de la région d'étude est légèrement tabulaire avec des altitudes qui varient entre 0 et 130 mètre. Elle est subdivisée en quatre sous-ensembles :

- La zone de plateau à l'ouest, où affleurent le Mio-Pliocène et le Pliocène continental avec des grès et des sables à lentilles de calcaire.
- Les formations sableuses (dunes et cordons d'erg) avec une altitude qui varie entre 60 et 100 mètres.
- Les zones alluvionnaires occupant de larges étendues le long de Oued Righ et s'étend du sud (Touggourt) vers le nord (Chott Mérouane) avec une très faible pente, l'altitude varie entre 10 et 90 mètres.
- Les chotts occupant les fonds des dépressions et des dayas. Chott Mérouane est le plus important, il est situé au nord-est de la vallée d'Oued Righ, l'altitude sur les bordures de Chott Mérouane est de 35 par rapport au niveau de la mer (A.N.R.H., 2009).

I.4- Climat et végétation

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité où la pluviométrie est aléatoire, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation.

La température est très élevée en été et une humidité très faible.

La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région d'étude, elle est développée et occupe entre 10% à 15 % de la superficie de la région. (BELKSIER M.SALAH,2009)

I.5-Activités économiques

La vallée regroupait 50 oasis couvrant 15000hectares en 1988(I.N.R.AA)Institut National des Recherches Agricoles Algérien.

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité est un peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers dû aux effets néfastes de la « salinisation » des eaux et des sols, des phénomènes de : la remontée de la nappe phréatique, le vieillissement des palmiers »...etc. de plus les sociétés pétrolières offrent des emplois plus rémunérés.

D'après les enquêtes de la FAO 1988 la vallée de l'Oued Righ comprend près de deux millions de palmiers sur un total de 7,5 millions que compte le pays.

Les statistiques montrent que l'agriculture occupe 23% des travailleurs dans la zone de Djamaa.

Le palmier dattier est la principale culture dans la région.

La variété DegeletNour domine suivie par le « Ghars » et Deglabeida.

Les cultures hors palmiers sont peu développées et occupent 10 à 15 % de la superficie dont l'orge et la luzerne sont les cultures fourragères les plus importantes. (ABID MOHAMMED DERDOURI YUCEF,2014)

I.6-Etude climatique de la région de Djamaa

Pour déterminer les caractéristiques climatiques de la région de Djamaa une synthèse des données climatiques de 40 ans (de 1975 à 2015) sur différents paramètres du climat, tels que les précipitations, les températures et l'évapotranspiration...etc, est nécessaire pour l'établissement d'un bilan hydrique. Pour cela, on va étudier les paramètres climatiques de la station de Djamaa.

Dans notre région d'étude, on dispose d'une seule station, celle de Djamaa dont les coordonnées sont les suivantes :

- Latitude : 33,31'53"N
- Longitude : 05°59'28"E

Le climat de la vallée de Oued Righ est typiquement saharien qui caractérise par des précipitations très faibles, capricieuses, une température élevée et une humidité relativement faible.

I.6.1- Précipitation

Le tableau ci-dessous représente les données des précipitations moyennes, mensuelles calculées sur une période de 40 ans.

Tab.I.1 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2015)

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Jun	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Des	Total
P (mm)	14.32	5.54	9.0	6.60	5.48	1.35	0.76	2.15	6.25	6.74	8.97	5.41	74.36

(O.N.M. Ouargla, 2016).

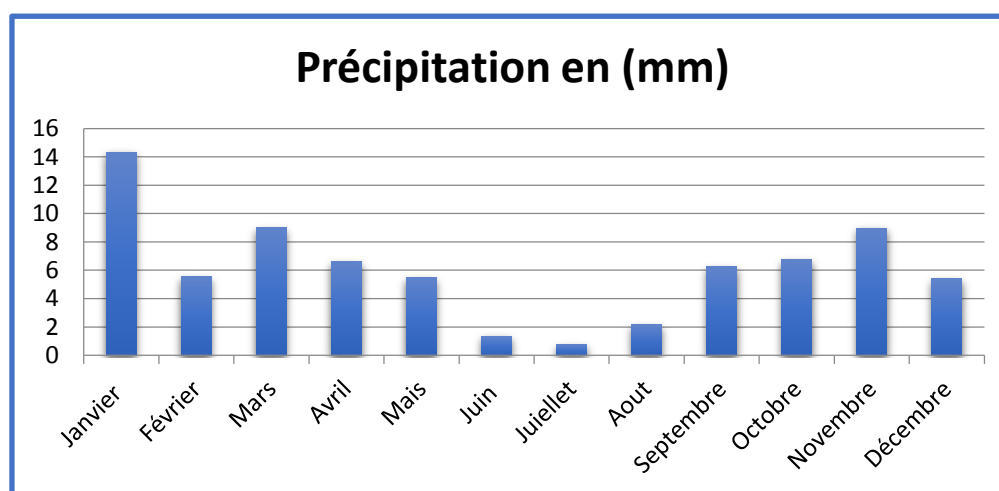


Fig.I.3- Variation des précipitations moyennes mensuelles (1975-2015)

L'histogramme de précipitations moyennes mensuelles montre que les précipitations se produisent du mois de Novembre à Mars surtout au mois de janvier (**14,32 mm**), alors que le reste de l'année est relativement sec (particulièrement au mois du juillet **0,76 mm** et au **juin 1,35mm**).

I.6.2-Température

Dans notre région d'étude caractérisée par un climat Saharien, la température joue un rôle très important par son influence sur les autres paramètres météorologiques tel que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère.

Tab.I.2-représentation de la variation des températures moyennes mensuelles période (1975– 2015)

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Des
T max c°	17.4	20.0	23.8	28.5	33.7	39.0	42.1	41.5	36.3	30.1	23.0	18.5
T min c°	4.5	6.4	10.0	14.2	19.2	24.1	26.8	26.3	22.7	16.6	9.9	5.8
T moy c°	10.6	13.0	16.8	21.2	26.5	31.7	34.3	34.0	29.7	23.1	16.1	11.6

(O.N.M. Ouargla, 2016) .

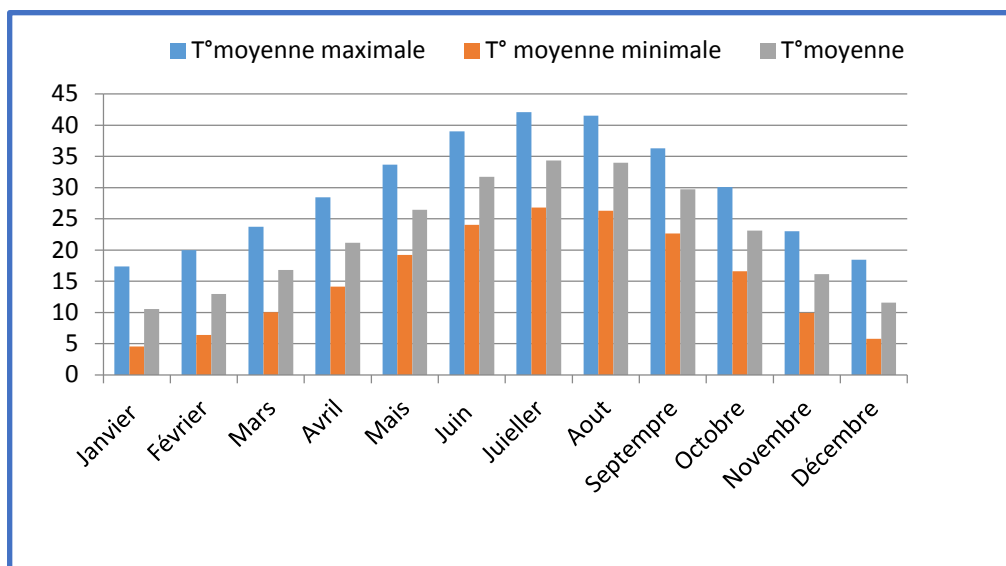


Fig.I.4 -Variation des températures moyennes mensuelles (1975– 2015).

Selon les résultats de tableau et histogramme nous ne concluons que les températures :

- ✓ Température maximum est très fréquente au mois de Juillet avec une valeur de **42,1°C** et réduit au mois de Janvier avec une valeur de **17,4°C**.
- ✓ Température minimum est très fréquente au mois de Juillet avec une valeur de **26,8°C** et réduit au mois de Janvier par une valeur de **4,5°C**.
- ✓ Température moyenne est très fréquente au mois de Juillet se trouve valeur de **34,3°C** et réduite au mois de Janvier par une valeur de **10,6°C**.

On a remarqué que les températures se trouvent les valeurs max au mois de Juillet et les valeurs min au mois de Janvier.

Ainsi que la température à la cours d'année est enregistrée la grande quantité au mois de Juin-Juillet-Aout c'est-à-dire la température est augmentée en été.

I.6.3-Evaporation

L'évaporation est une des composants fondamentaux du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaitre le potentiel hydrique d'une région.

Tab.I.3 :L'évaporation moyenne mensuelle, période (1975-2015)

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Eva (mm)	118	134	203	262	319	377	411	380	278	200	131	107

(O.N.M. Ouargla, 2016).

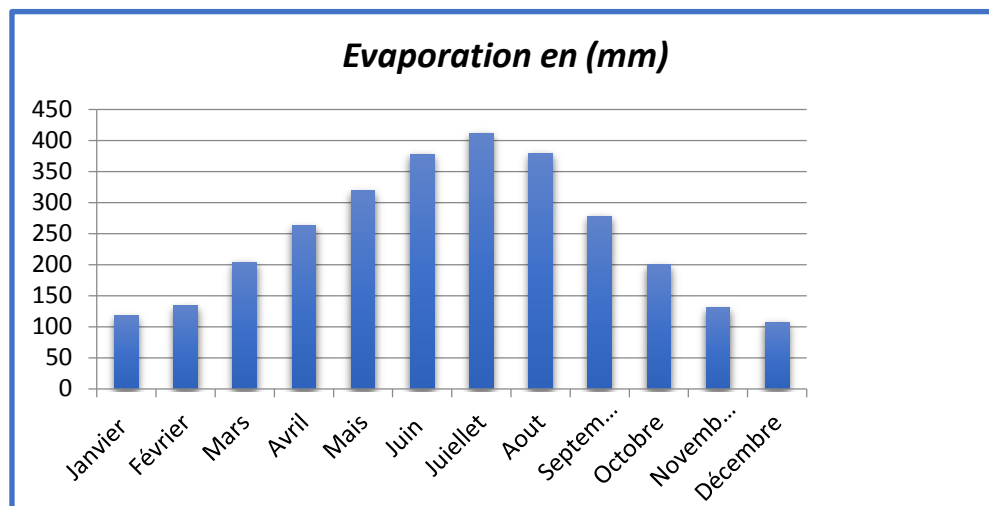


Fig.I.5 :Variation des évaporations moyennes mensuelles (1975– 2015).

En remarque par l'observation d'histogramme, la quantité de l'évaporation de la région de Djamaa est fréquente qui enregistrée l'évaporation maximale au mois de Juillet avec une valeur de **411mm** et l'évaporation minimale au mois de Décembre atteindre **107mm**.

I.6.4-L'humidité

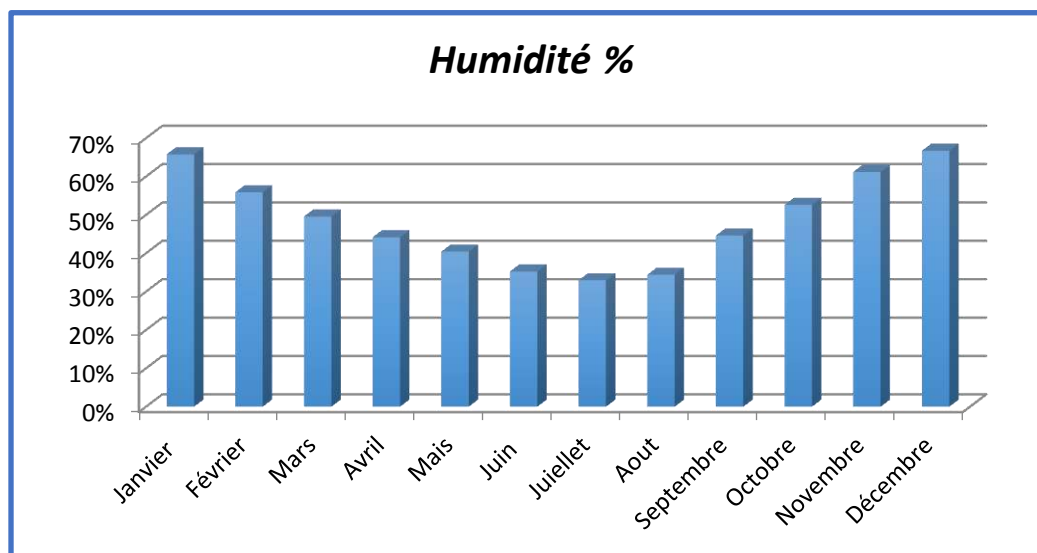
L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Ceci s'explique par l'effet de la température qui est élevée en été et basse en hiver, et le maximum correspond au mois le plus froid.

Le tableau suivant donne les valeurs de l'humidité moyennes mensuelles observées en 40 ans

Tab.I.4 :L'humidité moyenne mensuelle , période (1975-2015)

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
H(%)	66%	56%	50%	44%	40%	35%	33%	34%	45%	53%	61%	67%

(O.N.M. Ouargla, 2016).

**Fig.I.6 :Histogramme de variation d' humidité moyenne mensuelle (1975– 2015).**

On remarque que l'humidité augmente à partir du mois de Novembre jusqu'à Janvier au cours duquel est enregistrée une valeur moyenne maximale de **67%**. Cependant , elle diminue en été pour atteindre une valeur minimale en Juillet de l'ordre de **33%**.

I.6.5- vent

Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Djamaa sont présentés dans le tableau suivant :

Tab.I.5 : Vitesses moyennes mensuelles, période (1975-2015)

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
V(m/s)	2.7	2.9	3.6	4.1	4.2	3.8	3.4	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	38.8

(O.N.M. Ouargla, 2016) .

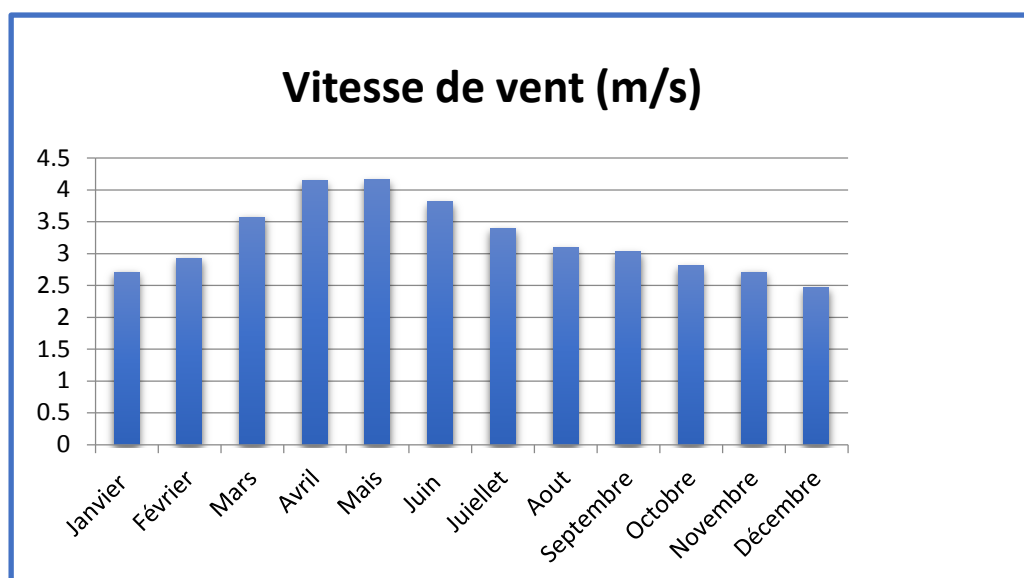


Fig.I.7 :variation des vitesses de vent moyennes mensuelles interannuelles (1975– 2015).

On remarque d'après le tableau, que la vitesse minimale du vent est enregistrée au mois de Décembre , elle est de **2.5 m/s** et la vitesse maximale est enregistrée en Mai et atteint **4.2 m/s**. Ces vents soufflent dans des directions différentes.

I.6.6-Durée d'isolation

La durée d'insolation dépend de la période durant que le soleil pourra briller, cette insolation reste effective quand le ciel est dégager de nuage.

Dans notre zone d'étude nous avons calculons la durée d'insolation moyenne mensuelle au cours de **40 ans** et les résultats enregistrés dans le tableau suivant :

Tab.I.6 :La durée d'insolation moyenne mensuelle, période (1975-2015).

Mois	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Des	Total
Inso(h)	241	244	279	293	324	335	368	345	286	271	249	242	3477

(O.N.M. Ouargla, 2016).

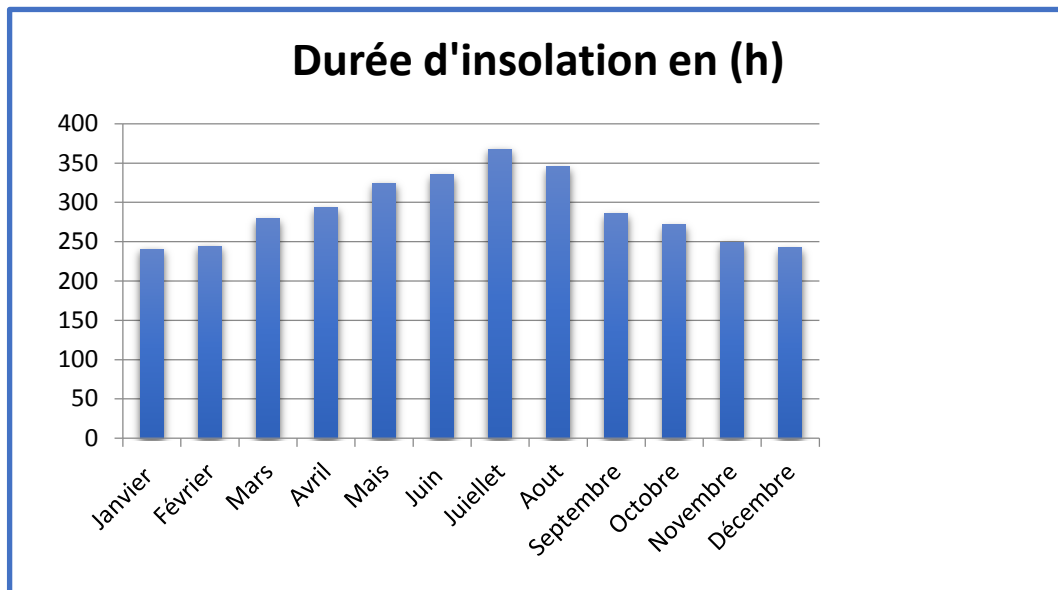


Fig.I.8 :Variation des durées d'insolation moyennes mensuelles (1975– 2015).

Dans la région de Djamaa accepte une quantité de rayonnement solaire très forte ; qui atteindre une durée d'insolation au maximum **368** en **heure** à mois de Juillet et une valeur minimum de durée d'insolation **241** en **heure** (**Tab.I.6**).

En remarque que la durée d'insolation au d'année par la période de **(1975-2015)** généralement considérable et ciel été briller à la plupart de temps dans station de Djamaa.

I.7-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé l'aspect climatique de la région de Djamaa caractérisée par un climat désertique et hyperaride :

Les précipitations sont faibles et irrégulières, de l'ordre **6.05 mm** et ne jouent aucun rôle dans la recharge directe des nappes, à l'exception de quelques ouvrages violents qui génèrent des ruissellements.

Les températures sont élevées **15.54 c°** en moyenne annuelle et **42.1 c°** au mois le plus chaud, ce qui explique la forte évaporation.

II.1-Introduction

La fonction de la géologie est essentielle en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

Dans ce chapitre est nous allons exposer la synthèse des travaux de nombreux auteurs ayant étudié la géologie du Sahara septentrional, nous citons : Busson, (1972), Fabre,(1976). Bel et Cuche, (1969). Bel et Dermagne, (1966)

II.2. Géologie régionale

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

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

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

Nous distinguons de bas en haut, trois ensembles (Fig.-II.1)

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

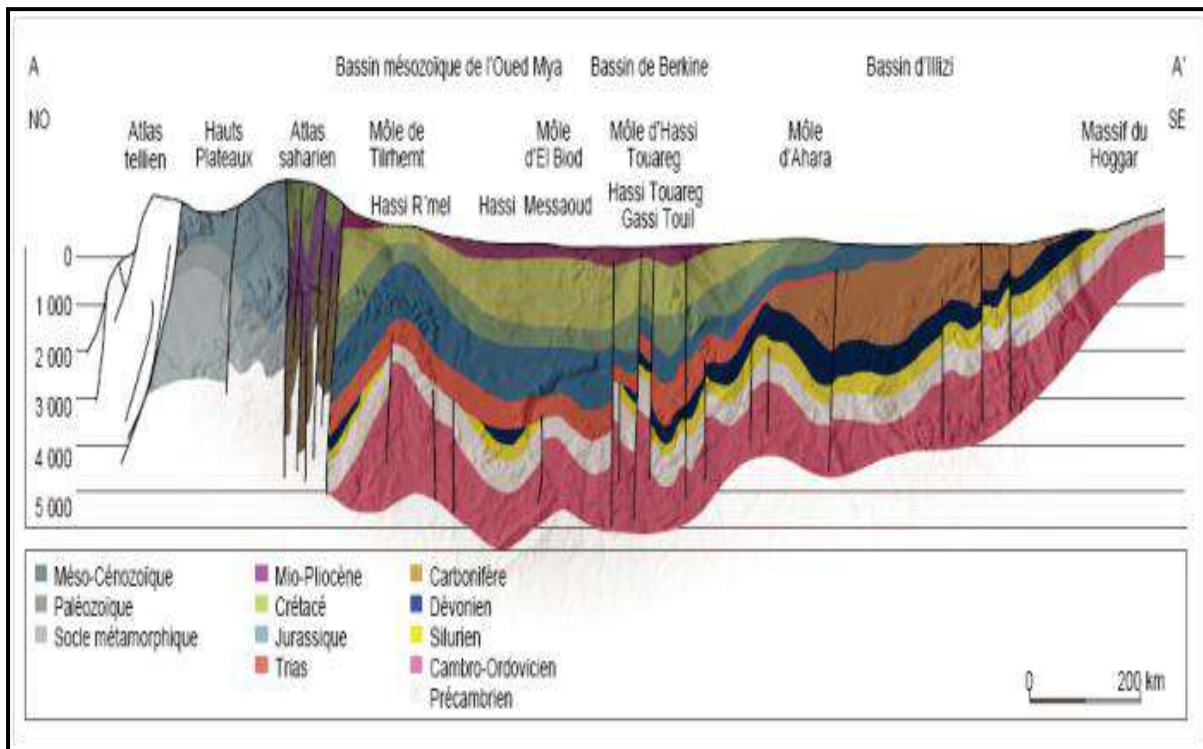


Fig.-II.1: Coupe géostratigraphique transversale régionale (WEC, 2007)

II.3-Géologie locale

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

A la suite de la discordance cénomanienne s'empilent encore les couches marines du Sénonien et de l'Eocène qui se terminent par la couverture continentale du Mio-pliocène également aquifère (Complexe Terminal). (Bettahar Asmaa 2013).

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

début de l'Ere secondaire ; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable.

II.4-Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude

II.4.1-Description Stratigraphique

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

II.4.1.A-Quaternaire

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables le séparent de la pliocène supérieure. Cette formation quaternaire renferme une nappe phréatique alimentée principalement par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation et en faible quantité par la précipitation.(In SAYAH L, 2008).

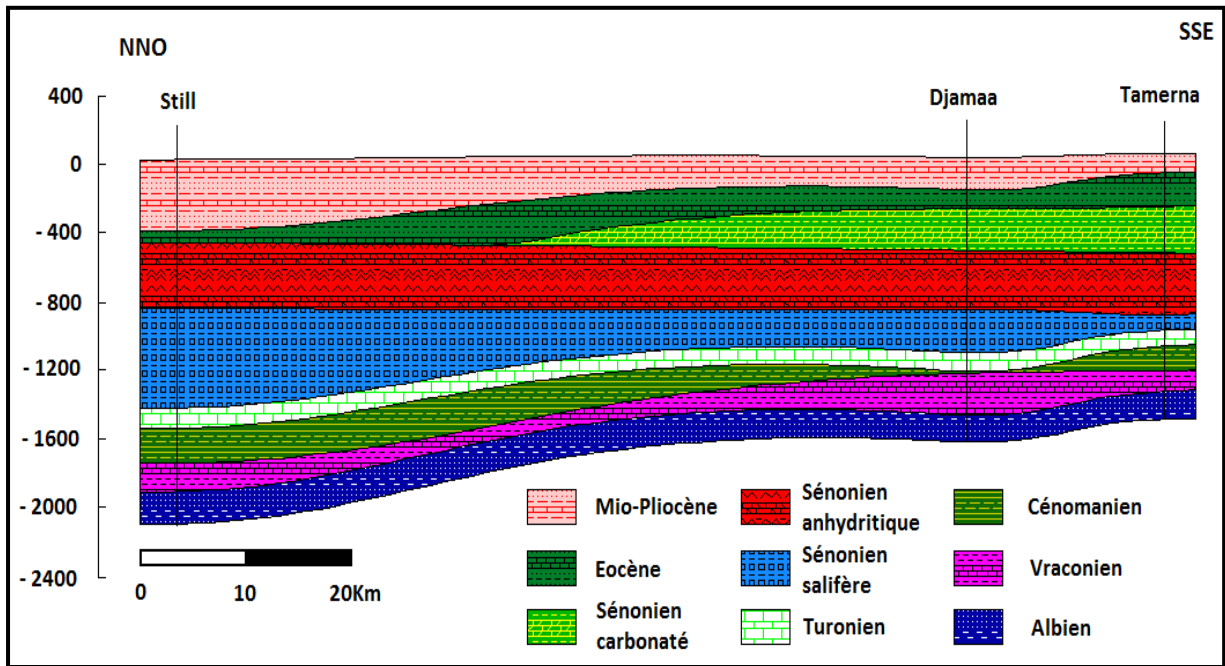


Fig-II.2: Coupe géologique de la région d'El Oued (la région de Djamaa)(Houari,2012)

II.4.1.B-Tertiaire

a) Mio-pliocène

Bel et Demargne (1966) distinguent de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires : (Castagny G., Margat J., 1977)

- **Niveau 01** : argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud. Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.
- **Niveau 02** : grés-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de GassiTouil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Mio-pliocène.
- **Niveau 03** : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones ; elle est épaisse et constante que dans la région des chotts.
- **Niveau 04** : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-pliocène. Parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte Hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

b)Eocène

On distingue deux ensembles lithologiques ; l'Eocène carbonaté à la base ,l'Eocène évaporitique au-dessus.

b.1)Eocène inférieur carbonaté

L'Eocène carbonaté se caractérise lithologiquement qui le rendent difficile à distinguer du Sénonien. La présence des nummulites est le seul critère de différence. Les calcaires ont tendance à prédominer par rapport les dolomies et les évaporites. Ces derniers sont beaucoup plus rares que dans le Sénonien, sinon totalement absentes. Les calcaires à silex rencontres au sommet du Sénonien carbonaté se poursuivent dans l'Eocène. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500mètre.

b.2)Eocène moyen évaporitique

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

II.4.1.C)Secondaire

a) Sénonien : Constitué de calcaires blanc et une alternance de calcaire, de marne et des couches de gypse.

b) Turonien : Représenté par un dépôt marin, calcaire-marneux, l'épaisseur du turonien reste à peu près constante (In SAYAH L, 2008).

c) Cénomaniens : Il se présente en une épaisseur considérable qui diminue progressivement vers le Nord et il affleure dans la zone atlasique. Le Cénomaniens est composé essentiellement de dépôt lagunaire marneux à prédominance des couches d'anhydrite et parfois même de sel.

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

e) L'albien : Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses(In SAYAH L, 2008).

Chronostratigraphie		Lithologie	Epaisseur (m)	
Tertiaire	Mio-Pliocène		150	
	Eocène		0-150	
Secondaire	Sénonien	Carbonaté	100	440
		Anhydritique	220	
		Salifère	120	
	Turonien		80	
	Cénomanién		120	
	Vraconien		0 - 70	
	Albien		300	
	Aptien		25	
	Barrémien		280	
	Néocomien		200	

Fig.II.3- Colonne chrono-stratigraphique synthétique du Sahara septentrional algérien (WEC, 2007).

II.4.2-Tectonique générale

L'absence des déformations tectoniques importantes caractérisé la géométrie actuelle des formations du Continentale Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara.

La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contre coups sur la Plate forme saharienne.

- ❖ Les mouvements nets de l'Eocène moyen à supérieur, la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès.
- ❖ Enfin, la phase Plio-Quaternaire qui s'inscrit 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 tel que chott Merouane et chott Melguig. La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants «Monts des Aurès » et au Sud les points les plus affaissés.

Tab.II.1-Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff, 1952)

Age	Style
1-Antécambrien	Plis très aigus, failles.
2-Paléozoïque	Mouvements amples d'axes est-ouest Formations de chaînes orientés N-S, NNE-SSW ou NW-SE sur des axes antécambriens
3-Poste Eocène et Ante Miocène	Rejeu des structures hercyniennes avec leur orientation Ancienne
4-Post-Miocène	Premiers plis d'axe NW-SE
5-Post Pliocène	Mouvements peut être dans la région Nord seule Plis en Genous de l'Aurès d'axe E-W
6-Fini Quaternaire Ancien	Plis affectant le Mio Pliocène seul ou accompagne du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux Dont l'axe NW-SE est le principal.
7-Neolithique	Mouvements de grande amplitude à plis faibles et Localisés.

II.5-Conclusion

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

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

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

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

III.1-Introduction

L'étude hydrogéologique ,comprend à préciser la structure géométrique des nappes aquifères , par la réalisation des coupes hydrogéologiques des zones d'étude, si cette réalisation des coupes conduisent par l'établissement des déférents forages.

Dans notre chapitre nous avons cité l'hydrogéologie de la partie Sud-Est du pays (Oued Righ).

III.2-Hydrogéologie régionale

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de **780000 km²**. On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses ou évaporitiques de la base du Crétacé Sud.

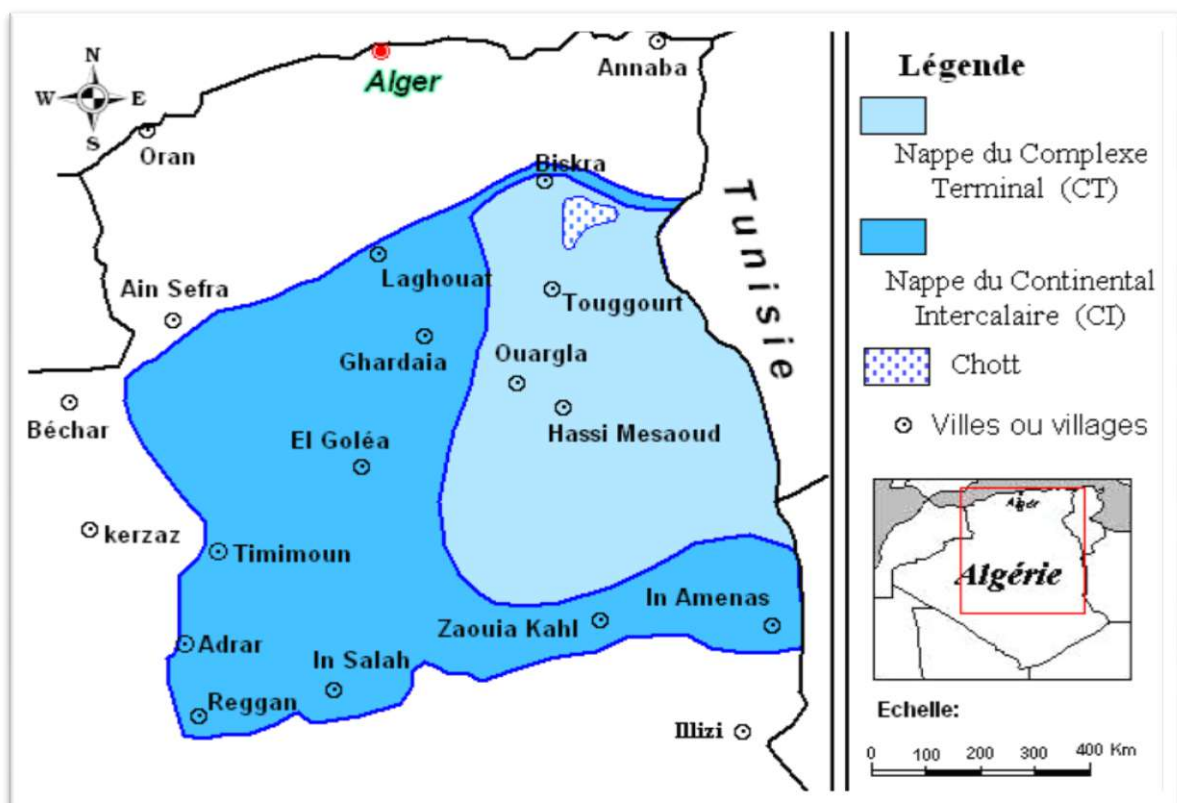


Fig.III.1 :Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002.

III.2.1-Le Continental Intercalaire (CI)

D'après Kilian, (1931), le «Continental Intercalaire» désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne, alors qu'au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultant de la transgression cénomaniennne. (Busson, 1970 ; Fabre, 1976). Il occupe les formations sableuses et argilo gréseuses du Néocomien, Barrémien, Aptien, et de l'Albien (Cornet, 1964 ; Cornet et Gouscov, 1952). L'aquifère est continu du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar, et d'Ouest en Est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert libyen. Le débit d'alimentation du Continental intercalaire provenant du piémont de l'Atlas saharien est de $7.7 \text{ m}^3/\text{s}$, (Ould Baba Sy, 2005 ; Ould Baba Sy, et al, 2006). Ce débit entre dans l'intervalle des estimations recueillies dans les études antérieures qui le situent entre $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Cornet, 1964) et $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Margat, 1990).

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

Piémont sud atlasique au Nord-Ouest ;

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

Les zones d'exutoire sont :

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

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

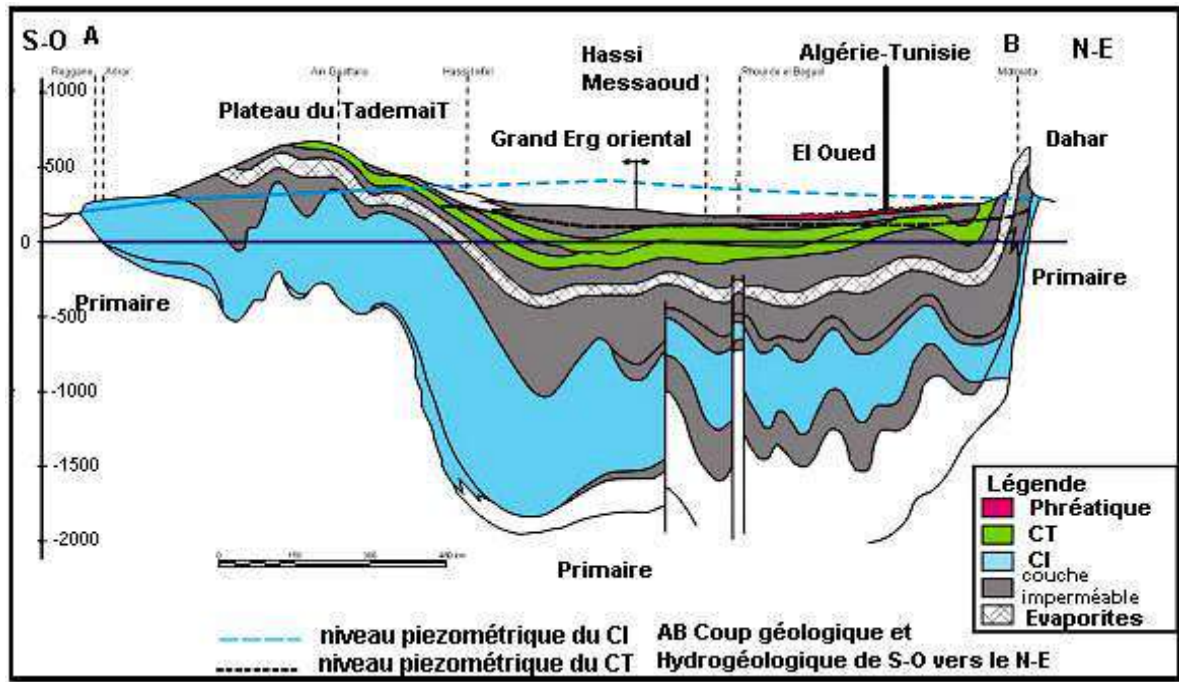


Fig. III.2 : Coupe hydrogéologique de SASS (UNESCO, 1972)

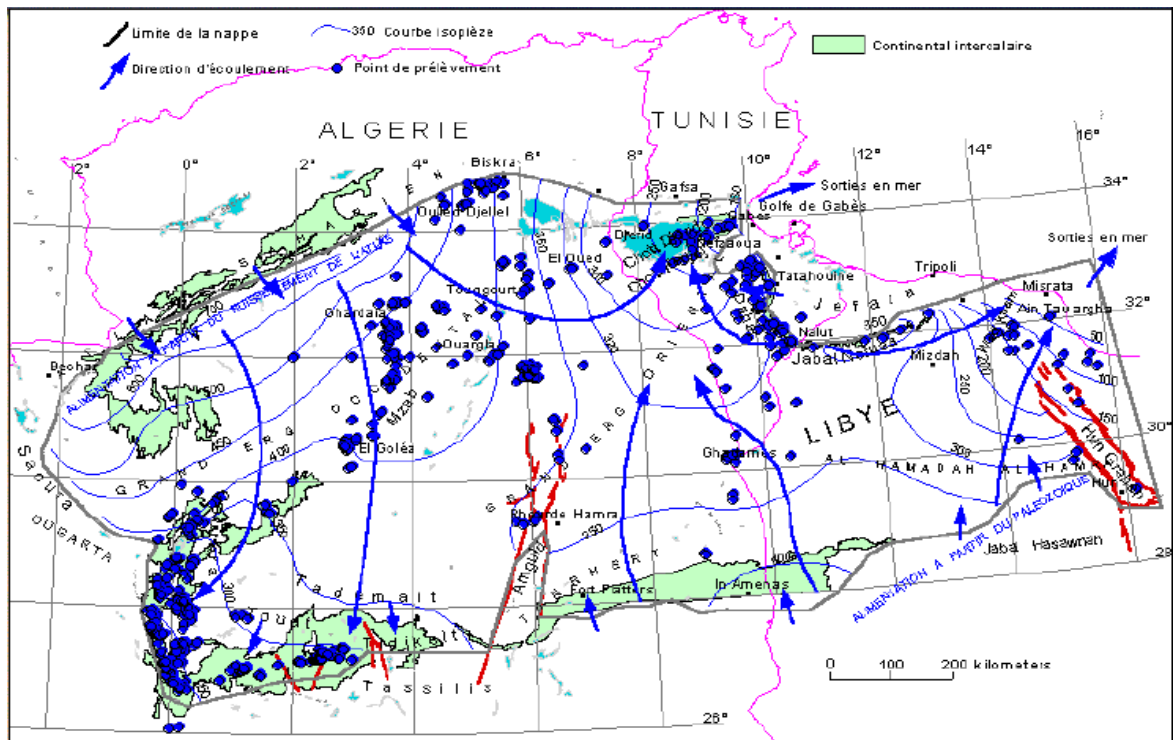


Fig. III.3: Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003)

III.2.2-Le Complexe Terminal (CT)

Il est noté dans l'étude OSS (2003) que classiquement, et selon la définition de Killian (1931), le terme "Continental Terminal" désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-Pliocène. Mais d'après Bel et Dermagne (1966): "La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-Pliocène et plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire" C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du "Complexe Terminal", appellation publiée pour la première fois par Bel et Cuhe (1969).

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

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

La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin. Le système aquifère du "Complexe Terminal" couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 km².

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

Le "Complexe Terminal" affleure aux endroits suivants:

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

Comme pour le "CI", la construction de la carte piézométrique du "CT" est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication par Cornet, (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental

Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment Bel et Cuhe, (1969) et le projet ERESS, (1972). L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale ou encore peu influencée par pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional.

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

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

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

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

L'écoulement de cette nappe se produit (Fig. III.5):

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

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

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

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

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

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

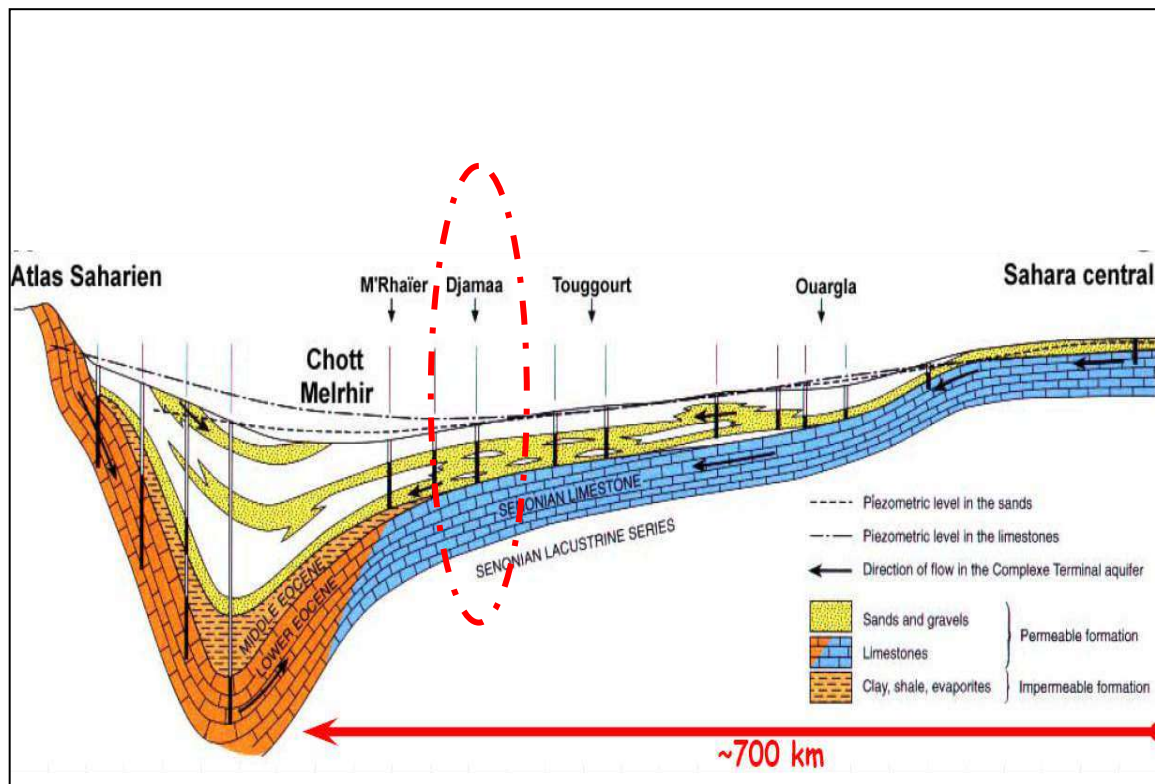


Fig.III.4 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972).

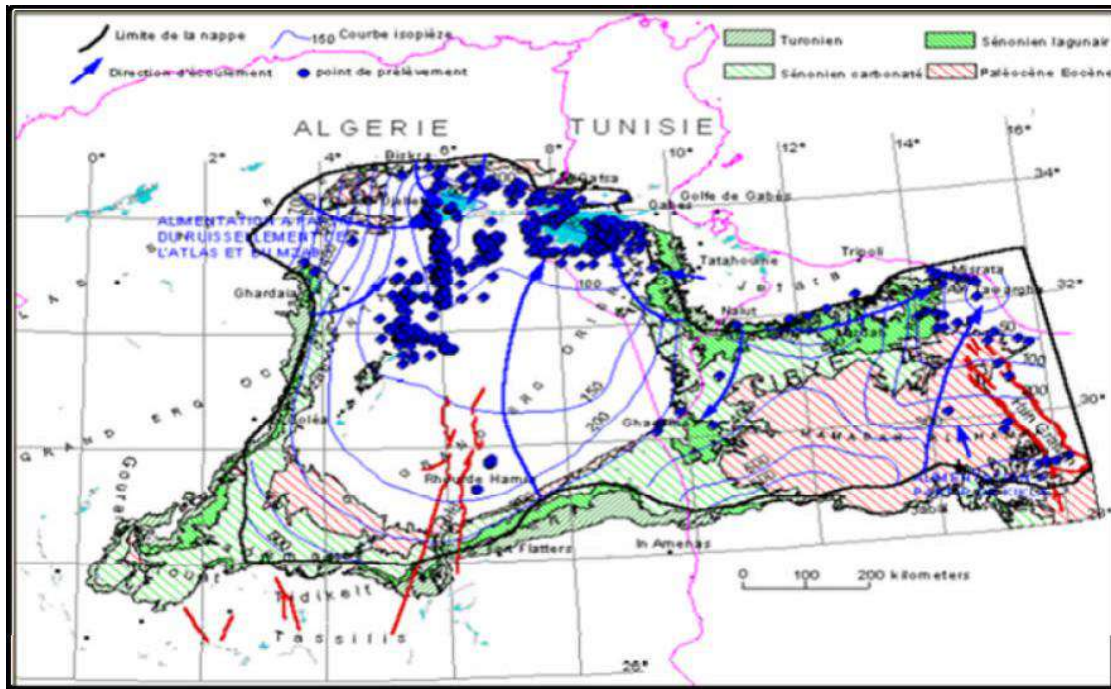


Fig.III.5 :Carte piézométrique de référence du CT (OSS, 2003).

III.2.3- Nappe phréatique

La nappe phréatique est contenue dans les sables fins à moyens d'âge quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du sud vers le nord et sa puissance moyenne est de 20mètre. Caractérisée par des eaux à forte salinité. La nappe phréatique est principalement alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par faibles précipitations et par les percolations des nappes de complexe terminale. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

III.3-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.

IV.1-Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes de notre travail commençant par la collecte et le traitement des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux effectués par l'ANRH sur **25 points** d'eau échantillonnés des forages Mio-pliocènes (nappe des sables). Le long de la zone d'étude. Des programmes informatiques (logiciels) vont être employés pour modélisations : graphique, statistique et géochimique, des paramètres physicochimiques dans le but de ressortir le maximum possible d'informations et de renseignements.

IV.2-Emplacement des points d'eau échantillonnés

Les données de **(25)** échantillons d'eau (Fig.IV.1) de la nappe des sables du Mio-pliocène de la région de Djamaa ont été collectées à partir des inventaires établis par l'ANRH, ensuite, vérifiés par le logiciel Diagramme. L'emplacement des points couvre une étendue d'environ de **43 Km** de long et **52 Km** de large.

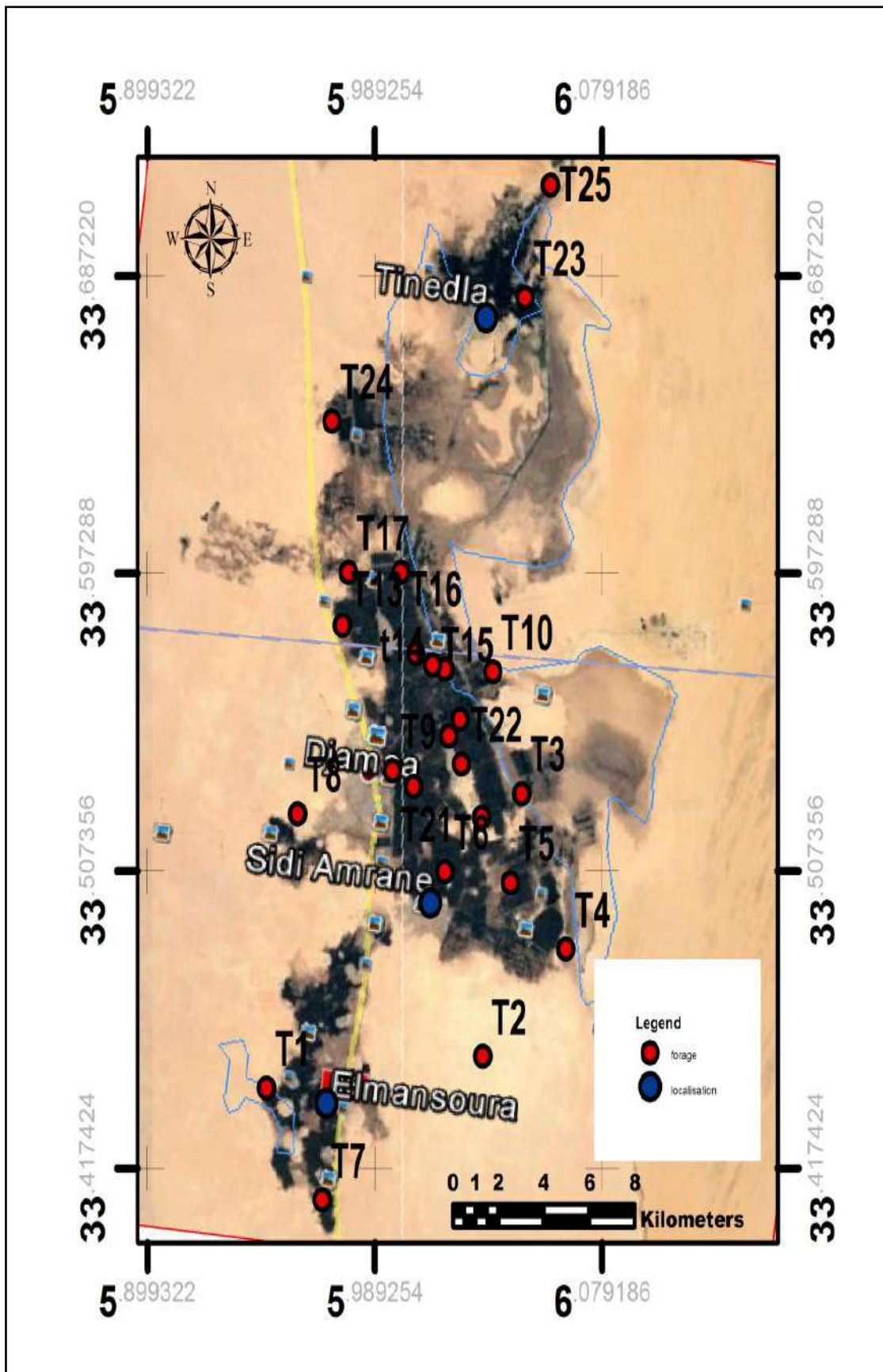


Fig. IV.1 : Carte des emplacements des points d'eau échantillonnés

IV.3-Outil informatique

IV.3.1- Statistica.v6.1

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

IV.3.2- Diagramme 5.1

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

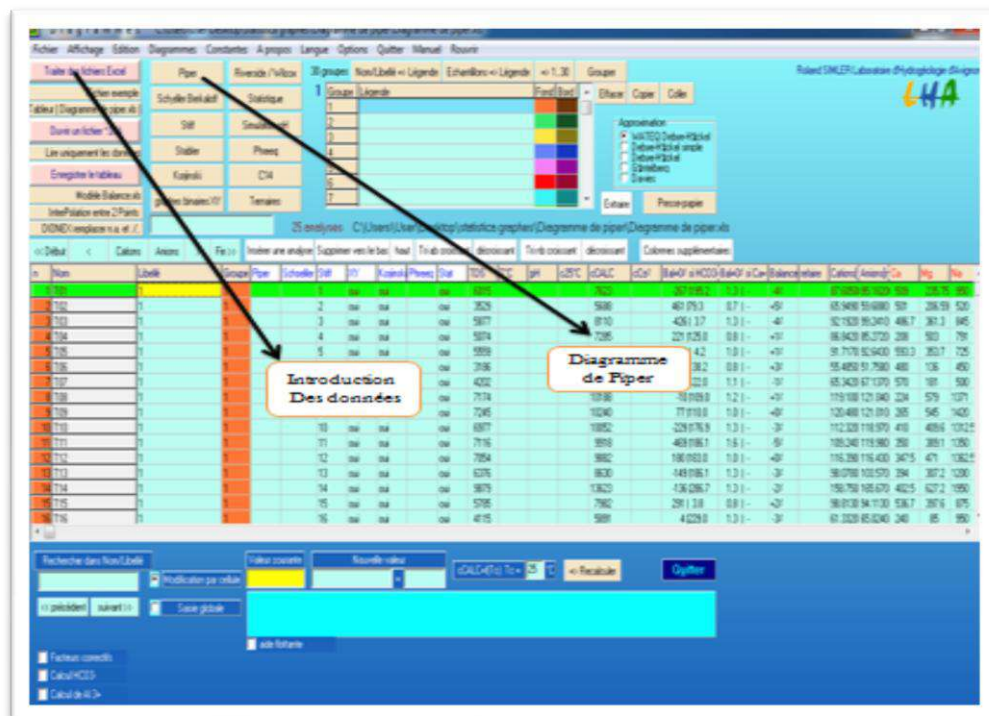


Fig. IV.2 : Représentation de l’interface du logiciel Diagramme 5.1

IV.3.3- Phreeqci, v, 2.18.2011 (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.2.18. 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 étendue, en considérant que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5.

pH	S(6)	Cl	Alkalinity	M(5)	Ca	Mg	Na	K
6.85	63.5	28.21	3.199	0.27	25.4	19.4	41.32	1.48
7.04	7.287	50.77	1.3	0.33	25	17	22.62	1.33
7.55	48.41	50.77	0.06	0	24.29	29.73	36.76	1.42
7.9	36.33	46.12	2.05	0.27	10.38	41.39	34.41	0.67
7.49	43.2	49.36	0.07	0.01	29.61	29.11	31.84	1.47
7.02	15.61	33.85	2.27	0.03	23.95	11.19	19.57	0.77
8.3	40.39	24.68	2.00	0.06	28.44	14.89	21.75	0.26
7.7	50.63	68.57	1.79	0.05	11.18	47.64	59.64	0.64
7.7	51.8	67.33	1.80	0.08	13.22	44.85	61.77	0.64
7.82	40.6	75.45	2.90	0.02	20.46	33.7	57.09	1.06
7.75	52.05	44.88	3.05	0	17.47	32.02	58.72	1.04
7.5	49.97	63.46	3.00	0	17.34	38.76	59.27	1.02
7.77	54.65	45.84	3.05	0.028	19.66	25.28	52.2	0.94
7.59	65.06	95.9	4.70	0.008	20.09	51.61	84.82	2.24
7.57	46.78	47.25	0.06	0.021	26.78	32.72	38.06	1.25
7.51	31.65	29.62	3.75	0.006	11.98	6.994	41.32	1.04
7.34	33.31	32.44	4.00	0.081	9.981	12.34	52.2	0.51
7.44	43.72	53.59	0.07	0.032	29.12	25.51	42.63	1.50
7.73	54.13	29.53	0.07	0.005	22.79	35.34	31.54	1.14
6.97	45.8	54.16	0.20	0.064	35.28	20.41	44.8	0.59
7.5	32.06	40.05	0.40	0.081	9.981	12.34	47.85	0.51
6.94	42.26	45.69	0.40	0.006	11.38	15.31	61.77	0.86
7.9	35.18	24.54	1.95	0	21.81	16.7	23.92	0.56
7.02	24.98	36.39	3.04	0.043	21.11	18.1	21.75	1.38
7.58	19.78	24.54	1.95	0.035	7.49	11.6	21.75	1.1

Fig.IV.3 : Représentation de l'interface du logiciel Phreeqci 2.18,2011

II.3.4- ArcGis 10.1

ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et Arc Toolbox. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement. ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches « Nord » et autres éléments.

IV.4-Conclusion

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

Les forages	pH	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
T01	6.85	3050	1000	195.2	16.94	509	235.75	950	58
T02	7.04	350	1800	79.3	20.405	501	206.592	520	52
T03	7.55	2325	1800	3.7	0	486.7	361.3	845	55.5
T04	7.9	1769	1635	125	17	208	503	791	26
T05	7.49	2075	1750	4.2	0.6	593.3	353.7	725	57.5
T06	7.02	750	1200	138.2	1.833	480.00	136	450	30
T07	8.3	1940	875	122	4	570	181	500	10
T08	7.7	2432	2431	109	3	224	579	1371	25
T09	7.7	2488	2387	110	5	265	545	1420	25
T10	7.82	1950	2675	176.9	1.25	410	409.6	1312.5	41.5
T11	7.75	2500	2300	186.05	0	350	389.1	1350	40.5
T12	7.5	2400	2250	183	0	347.5	471	1362.5	40
T13	7.77	2625	1625	186.05	1.75	394	307.2	1200	36.8
T14	7.59	3125	3400	286.7	0.5	402.5	627.2	1950	87.5
T15	7.57	2247	1675	3.8	1.3	536.7	397.6	875	49
T16	7.51	1520	1050	229	0.37	240	85	950	40.6
T17	7.34	1600	1150	244	5	200	150	1200	20
T18	7.44	2100	1900	4	2	583.5	310	980	58.5
T19	7.73	2600	1047	4	0.3	456.7	429.5	725	44.5
T20	6.97	2200	1920	12.2	3.95	707	248	1030	23.2
T21	7.5	1540	1420	24.1	5	200	150	1100	20
T22	6.94	2030	1620	24.4	0.4	228	186	1420	33.6
T23	7.9	1690	870	119	0	437	203	550	22
T24	7.02	1200	1290	185.44	2.6736	423	220	500	54
T25	7.58	950	870	118.95	2.2	150	141	500	43

V.1- Introduction

Selon les études antérieures (Guendouz et al, 2003 ; Bouchahem et al, 2008 ; Nezli, 2009, Houari,2012) effectuées sur les eaux de la nappe du CT à l'échelle locale et régionale, la température des eaux du Mio-Pliocène de la région de Djamaa est de l'ordre de **21°** à **25°** C, ces variations ne sont pas contrôlées par la profondeur, mais plutôt par la température de l'air et les saisons.

Les eaux sont alcalines bicarbonatées (**pH < 8,3**), très dures, et affichent des minéralisations excessives, exprimées par des conductivités électriques oscillant entre 489 et 6000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, et allant jusqu'à **9600 $\mu\text{S.cm}^{-1}$** dans les cas les plus exceptionnels, la minéralisation augmente du Sud vers le Nord selon la direction d'écoulement. De telles minéralisations sont dues principalement à la richesse de la lithologie des formations par les évaporites (Halite, Gypse, etc...). En effet, les eaux lors de leur écoulement, à partir des zones d'alimentation, vers l'exutoire, se chargent, de plus en plus, par les éléments : Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+} , et acquièrent, par conséquent, un faciès anionique, exclusivement, chloruré et/ou sulfaté.

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

Dans le présent chapitre notre intérêt se focalise sur l'interprétation des résultats obtenus en utilisant des approches diverses ; modélisation statistique, géochimique afin de mettre en évidence la corrélation entre la composition chimique des eaux des sables moi-pliocènes et la lithologie de cette formation.

L'objectif de ce chapitre est de mettre en relation les caractéristiques géologiques et lithologiques de notre zone d'étude avec les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux dans le but de déterminer l'influence soit de la lithologie sur la composition géochimique des eaux ou même le contraire.

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

Pour la présentation et l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux, on a adopté les symboles suivants pour les forages de notre zone d'étude : (**T1, T2, T3 ... T25**).

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 (Tab.V.1) paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins dans toutes les forages de notre zone d'étude.

Tab.V.1: Variations du pH

Max	8,3
Min	6,85
Moyenne	7.57

V.2.2- La température (°C)

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

Les températures (Tab.V.2) dépassent légèrement celles recommandées par l'OMS (**21-25°C**), et ne présentent pas de grandes variations.

Tab.V.2: Variations de la température

Max	25
Min	21
Moyenne	23

V.2.3- La conductivité électrique CE ($\mu S.cm^{-1}$)

La conductivité électrique donne une idée sur la minéralisation totale d'une eau (sels minéraux). Elle se mesure à une température des eaux entre **21** à **25° C**, elle augmente avec la température et s'exprime en $\mu S.Cm^{-1}$.

Les conductivités (Tab.V.3) des eaux dépassent les normes (**>1000 $\mu S.cm^{-1}$**) de potabilité de l'OMS (normes mises à jour en 2006), voir à **9600 $\mu S.cm^{-1}$** selon les cas d'étude.

Tab.V.3: Variations des conductivités électriques

Max	9600
Min	489
Moyenne	5044.5

V.2.4- 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 (Tab.V.4) dépassent les normes (**500 mg/l**), elles atteignent des concentrations très fortes (**3125 mg/l**) et présentent une augmentation nette le long du sens d'écoulement des eaux de la nappe.

Tab.V.4: Variations des concentrations des sulfates

Max	3125
Min	350
Moyenne	1737.5

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

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



Cet élément présente des concentrations très élevées (> **3400 mg/l**), son augmentation est nettement remarquable le long du sens d'écoulement des eaux (Tab.V.5).

Tab.V.5: Variations des concentrations des chlorures

Max	3400
Min	870
Moyenne	2135

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

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



Les bicarbonates dans les eaux dans la région d'étude présentent des teneurs dépassant les normes de potabilité (**30 mg/l**), voir une moyenne de **145.2 mg/l**.

Tab.V.6: Variations des concentrations des bicarbonates

Max	286.7
Min	3.7
Moyenne	145.2

V.2.7- Les nitrates NO_3^- (mg/l)

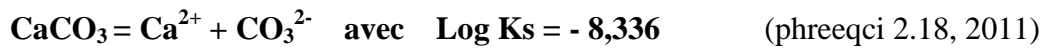
Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, et c'est la forme la plus soluble de ce dernier. Les teneurs en nitrates observées (Tab.V.7), sont relativement moyennes, quelques fois, elles n'est dépassent pas les normes (**50 mg/l**) ce qui laissent penser à l'infiltration de l'azote végétal à partir des zones d'infiltrations des eaux d'irrigation.

Tab.V.7: Variations des concentrations des nitrates

Max	20.40
Min	0.3
Moyenne	10.35

V.2.8-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 VI.8) présentent des teneurs supérieures à **150 mg/l**. voir des teneures extrêmes (> **428.5 mg/l**).

Tab.V.8: Variations des concentrations du calcium

Max	707
Min	150
Moyenne	428.5

V.2.9- 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.V.9), sont proches des valeurs naturelles, cet élément présente une augmentation remarquable en fonction du sens d'écoulement des eaux de la nappe.

Tab.V.9: Variations des concentrations du magnésium

Max	627.2
Min	85
Moyenne	356.1

V.2.10- Le sodium Na^+ (mg/l)

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de la 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 1950 mg/l. Cet élément lui aussi présente une évolution remarquable.

Tab.V.10: Variations des concentrations du sodium

Max	1950
Min	450
Moyenne	1200

V.2.11- 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 (Tab.V.11) dévoilent des valeurs relativement élevées, en dépassant les normes (48.75 mg/l).

Tab.V.11: Variations des concentrations du potassium

Max	87.5
Min	10
Moyenne	48.75

V.3-Analyse statistique des paramètres physiques et éléments chimiques

Cette analyse concerne caractérisée le chimisme des eaux dans la région d'étude. Nous allons utiliser l'approche statistique qui consiste à l'analyse de données ceci a pour but de ressortir les caractéristiques principales des eaux et la détermination des associations physico-chimique, ainsi les groupes d'individus (forages) par la classification hiérarchique des eaux à l'aide des dendrogrammes.

V.3.1- Corrélations entre les paramètres physico-chimiques

La matrice de corrélation a permis de calculer des coefficients de corrélation simple et la vérification de leur signification, L'examen de la matrice de corrélation entre variables, On remarque une corrélation positive significative entre quelques paramètres (Mg, Na, Cl). Cette relation se traduit par les coefficients de corrélation se rapprochant de "1".

**Tab.V.12: Matrice de corrélation des éléments chimique des variables
(éléments chimiques)**

	PH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
PH	1.00	-0.21	0.24	0.09	0.07	-0.26	-0.16	0.37	0.05	-0.28
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	-0.21	1.00	-0.01	-0.03	0.17	-0.05	0.27	-0.10	-0.08	0.21
SO ₄ ²⁻	0.24	-0.01	1.00	0.44	0.07	-0.24	0.15	0.64	0.65	0.26
Cl ⁻	0.09	-0.03	0.44	1.00	0.16	-0.13	0.01	0.77	0.77	0.39
HCO ₃ ⁻	0.07	0.17	0.07	0.16	1.00	0.05	-0.36	0.04	0.33	0.11
NO ₃ ⁻	-0.26	-0.05	-0.26	-0.13	0.05	1.00	-0.00	-0.07	-0.23	-0.03
Ca ²⁺	-0.16	0.27	0.15	0.01	-0.36	-0.00	1.00	-0.02	-0.30	0.28
Mg ²⁺	0.37	-0.10	0.64	0.77	0.04	-0.07	-0.02	1.00	0.57	0.30
Na ⁺	0.05	-0.08	0.65	0.77	0.33	-0.23	-0.30	0.57	1.00	0.19
K ⁺	-0.28	0.21	0.26	0.39	0.11	-0.03	0.28	0.30	0.19	1.00

V.3.2- Classification des variables (éléments chimiques)

la classification des variables montre tout d'abord la participation de tous les paramètres mesurés dans la conductivité mais à des degrés varié d'un variable a l'autre. On remarque, par ailleurs, le regroupement des paramètres mesurés en trois tendances:

- Un premier groupe représentant une étroite liaison entre le sodium et les chlorures qui sont liés à leur tour par les sulfates bien corrélés (groupe des évaporites).
- Un deuxième groupe représente une dépendance entre calcium et magnésium qui sont tous deux en relation étroite avec les bicarbonates (groupe des carbonates).
- Un troisième groupe représentant une liaison entre les nitrates et le potassium, c'est une famille qu'on peut appeler la famille des polluants.

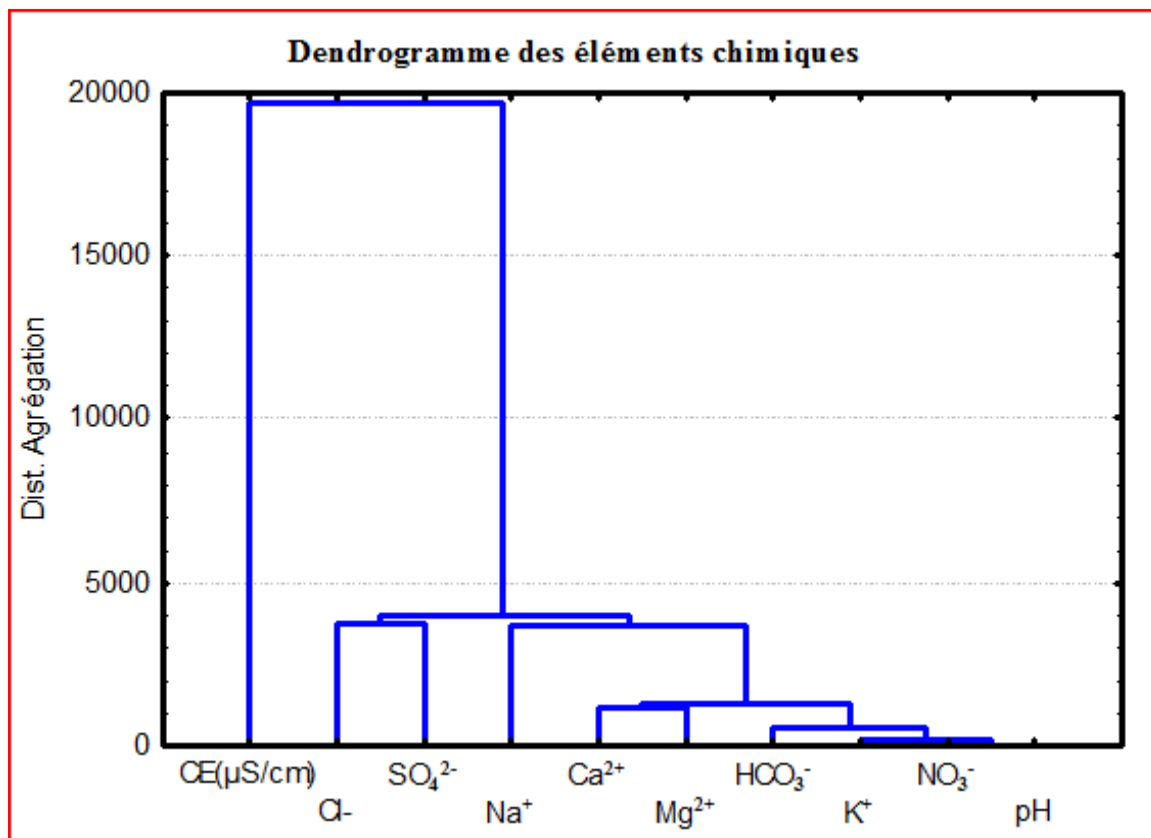


Fig.V.1 : Classification ascendante hiérarchique (C.A.H) des variables (éléments chimiques)

V.3.3- Classification des observations (forages)

Le dendrogramme des observations. Le choix des classes est basé sur la matrice de proximité (Distance euclidienne) en regroupant des différentes classes selon la variabilité des observations. Ce qui correspond dans notre cas à l'importance de la minéralisation.

Le principe est basé sur la classification des observations autour d'un centre de gravité pour chaque variable dans chaque classe. Le traitement statistique des observations par la méthode ci-citée fait ressortir quatre classes, elles se regroupent selon la lithologie (Fig.V.2).

La première classe regroupe les forages où les eaux sont caractérisées par de fortes conductivités et donc de fortes minéralisations, du fait de leur forte salinité.

La deuxième classe est celle des eaux à dominance des minéraux évaporitiques, du fait de la richesse de la lithologie dans notre région en formations évaporitiques (gypse, anhydrite, halite ... etc). les carbonates présentent un facteur en commun, ceci peut être expliqué par la contribution des minéraux carbonatés à l'enrichissement des eaux. Une autre explication peut

être lancée aussi, c'est un apport supplémentaire de ces éléments en provenance de la nappe du Sénonien carbonaté sous-jacente.

La dernière classe englobe des forages où les éléments de pollution se rapprochent, c'est tout à fait évident puisque cette zone est caractérisée par une forte activité agricole.

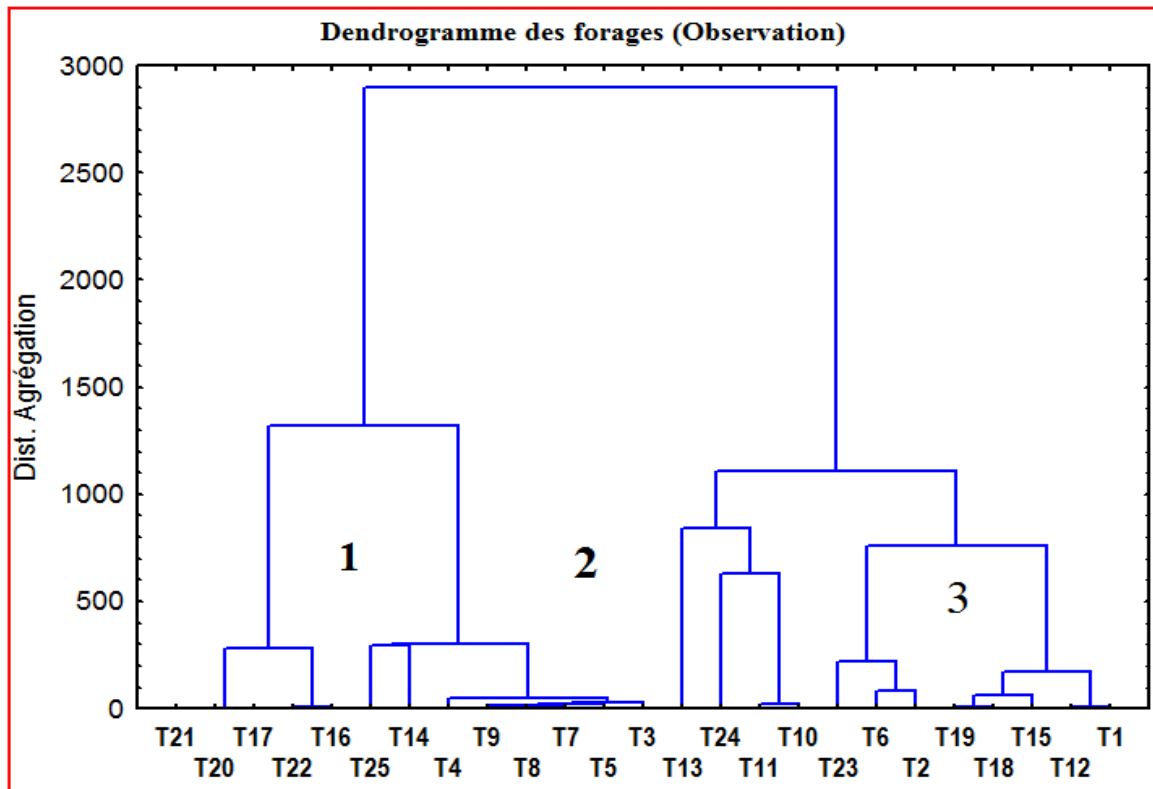


Fig.V.2: Classification ascendante hiérarchique (C.A.H)

V.4- Hydrochimie et évolution géochimique des eaux

V.4.1- Les paramètres physiques (CE, pH et T°)

Les valeurs de la conductivité électrique montrent de fortes amplitudes et s'avèrent caractéristiques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène, au niveau de la région d'étude, les valeurs dépassent les normes de potabilité (de 3030 à 6200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Les valeurs du pH et de la température restent proches des normes et aucun forage ne montre des anomalies.

V.4.2- Les anions majeurs

Les anions majeurs montrent un excès par rapport aux normes (Fig.V.3), pour les sulfates, l'augmentation des concentrations au niveau des forages étudiés, avec quelques valeurs extrêmes pour les points **T14** et **T01** par rapport à la moyenne des autres forages.

Pour les chlorures, on a enregistré des concentrations élevées au début avec une augmentation des teneurs, mais, vers les zones d'exutoire de la nappe, les concentrations en cet élément présentent une diminution remarquable, et pour expliquer ce phénomène, deux hypothèses peuvent être lancées dans ce sens, la première met en cause de cette chute le fait que la nappe concernée reçoit des apports importants en eaux douces peu minéralisées de provenance des précipitations sur le bassin versant sud de l'atlas saharien (recharge et dilution). La deuxième hypothèse atteste que la cause de ce phénomène est tout simplement la participation de cet élément chimique à des phases de précipitations de minéraux évaporitiques, en l'occurrence, l'halite lorsque les valeurs extrêmes dépassant 10 mg/l.

Les concentrations en bicarbonates sont également au-delà des normes (>30 mg/l), mais, pour quelques points, des concentrations faibles en cet élément ont été enregistrées (3.7 mg/l), l'évolution générale du comportement de cet élément dans les eaux reste presque constante et ne présente pas de variations remarquables.

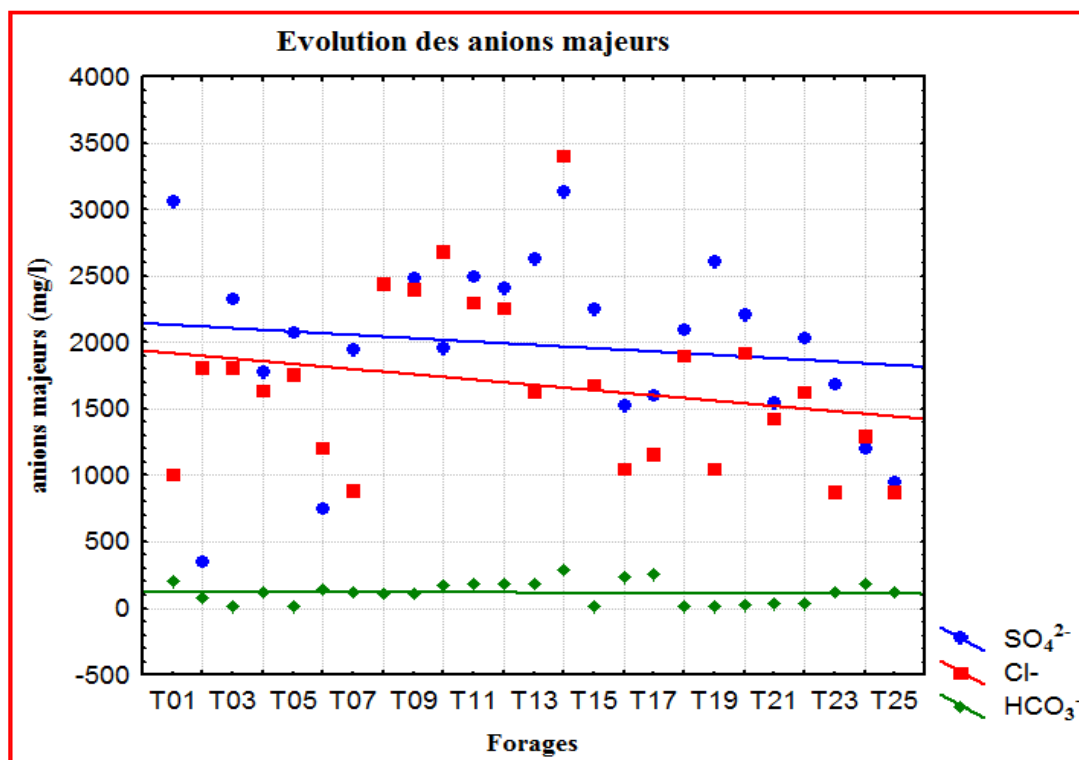


Fig.V.3: Evolution des anions majeurs

V.4.3- Les cations majeurs

Pour les cations majeurs, la dominance du sodium est nette, les valeurs enregistrées (Fig.V.4) montrent des concentrations élevées, parfois extrêmes ($> 1950 \text{ mg/l}$) au niveau du point **T14**, cet élément évolue également le long du sens d'écoulement des eaux, et simultanément aux chlorures dont il présente le même phénomène enregistré, la participation du sodium dans des phases de précipitation de l'halite est fortement possible. Les teneurs en calcium montrent une évolution remarquable et des concentrations élevées et dépassant les normes de potabilité (100 mg/l), même chose pour le magnésium, mais d'un degré moindre soit en matière des concentrations ou de la vitesse d'évolution.

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

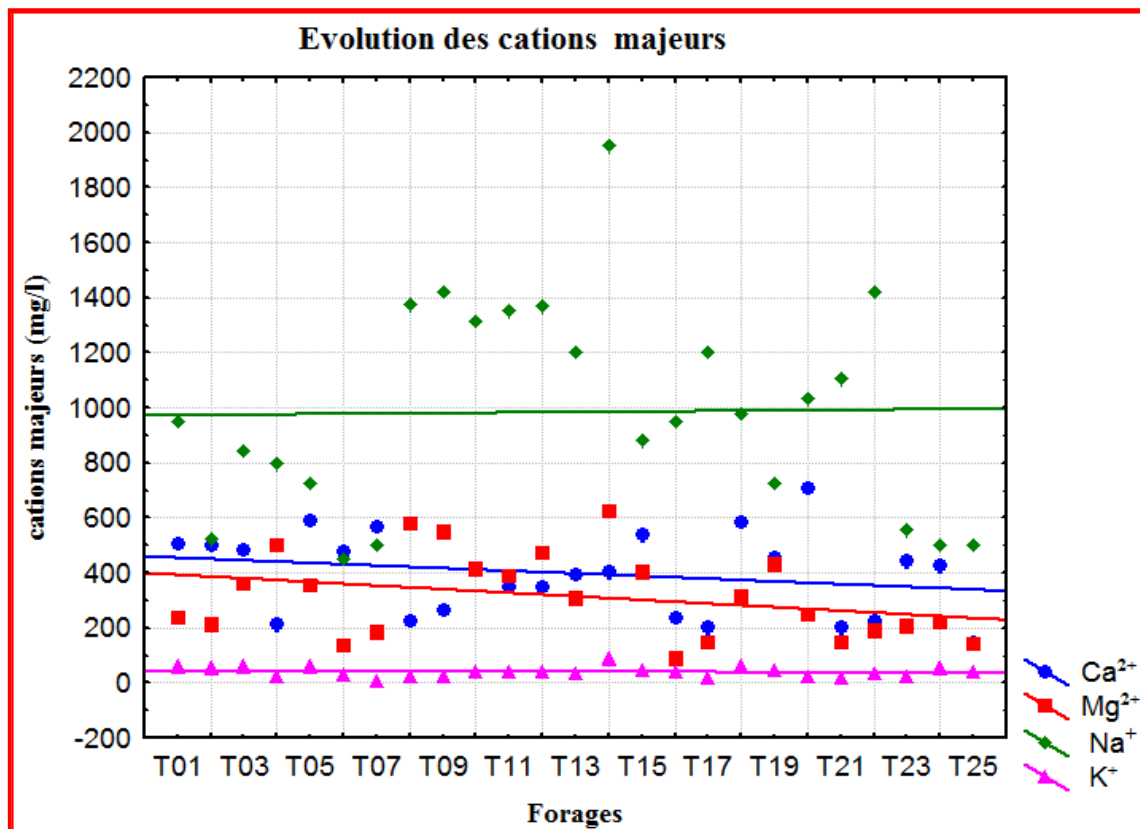


Fig.V.4 : Evolution des cations majeurs.

V.5- Faciès chimiques des eaux

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

majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

Selon le diagramme de Piper (Fig.V.5), le faciès chimique des eaux du Mio-Pliocène de notre région d'étude est chloruré sodique et calcique.

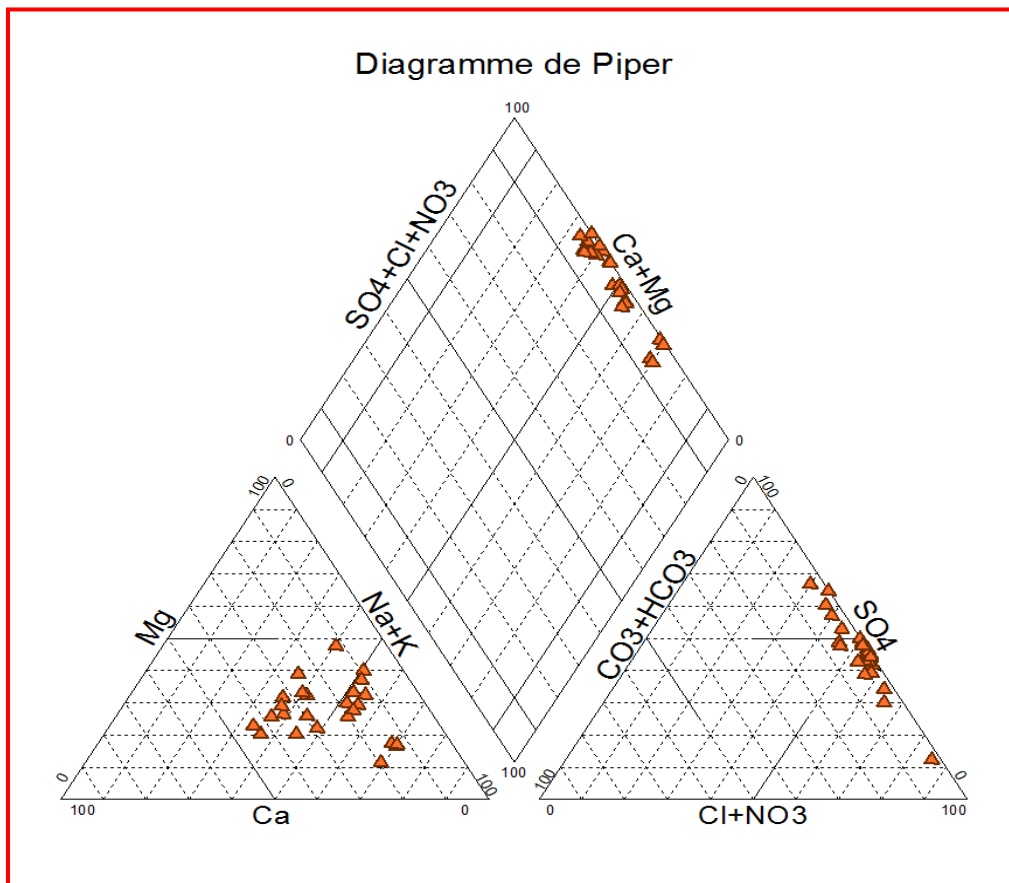


Fig.V.5 : Faciès chimiques des eaux du Mio-Pliocène de Djamaa

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

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

Étant donné que la lithologie de leurs niveaux aquifères est riche en éléments évaporitiques (**Cl⁻, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻, et Ca²⁺**), les eaux souterraines du Sahara se trouvent dominées, exclusivement, par les faciès chlorurés et/ou sulfatés : ($rCl > rSO_4 > rHCO_3$ et/ou $rSO_4 > rCl > rHCO_3$), quand aux anions. Alors que pour les cations, il n'y a pas de cation dominant. Divers processus hydrogéochimiques peuvent intervenir, pour rendre les eaux, tantôt sodiques, tantôt calciques et parfois magnésiennes, en modifiant ainsi le faciès chimique des eaux dans une même nappe.

La prédominance des cations Na⁺ vis-à-vis de Ca²⁺ et Mg²⁺, ainsi que l'abondance des anions Cl⁻, et SO₄²⁻, nous permettent d'établir des diagrammes binaires par les rapports caractéristiques **rNa⁺/rCa²⁺** versus **rSO₄²⁻/rCl⁻** (Fig.V..6,7,8), puis **rNa⁺/rMg²⁺** versus **rSO₄²⁻/rCl⁻** pour expliquer l'évolution des faciès géochimiques rencontrés dans le diagramme de Piper.

Le rapport **rSO₄/rCl** (Fig.V.6; Fig.V.7 et Fig.V.8) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en ion sulfate, par contre, si ce rapport est inférieur à 1, cela indique un enrichissement en ion chlore, alors que le rapport **rNa/rCa** (Fig.V.6) montrant des valeurs supérieures à 1, indique un enrichissement en sodium, ou inférieur à 1, indique un enrichissement en calcium.

Pour la plupart des échantillons de notre zone, le faciès dominant est celui sulfaté, ce qui traduit l'influence de la matrice gypse sur la matrice halite. Cependant, le rapport **Na/Ca** est également, supérieur à 1 dans la plupart des points d'eau échantillonnés, indiquant l'influence de la matrice halite sur la matrice calcaire, même chose pour le rapport **Na/Mg** (Fig.V.7), où le sodium est l'élément dominant, alors que pour le rapport **Mg/Ca** (Figure V.8), la plupart des points montrent un excès remarquable en calcium par rapport au magnésium, ce qui indique un enrichissement des eaux en cet élément, la probabilité d'avoir un échange de base du calcium contre le magnésium est fortement possible à savoir la richesse de la lithologie de l'aquifère dans cette région en argiles (HOUARI, 2012).

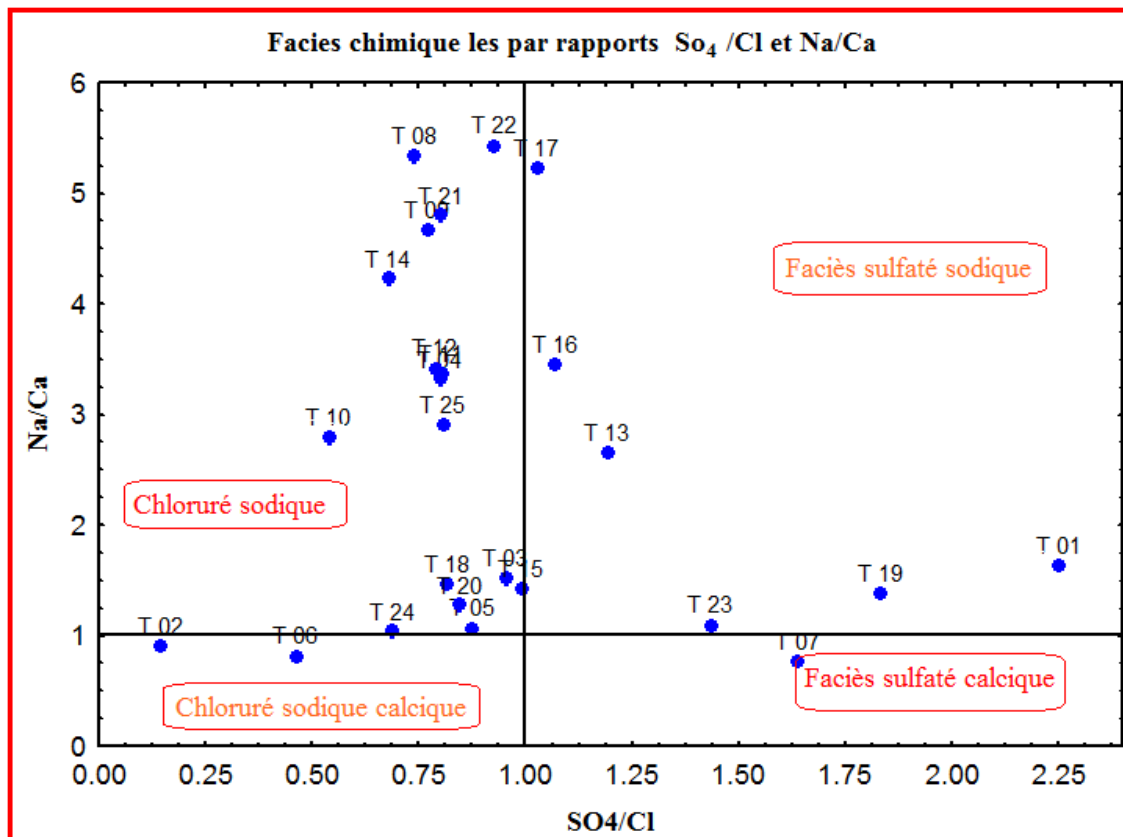


Fig.V.6: La relation Na/Ca vs SO_4/Cl

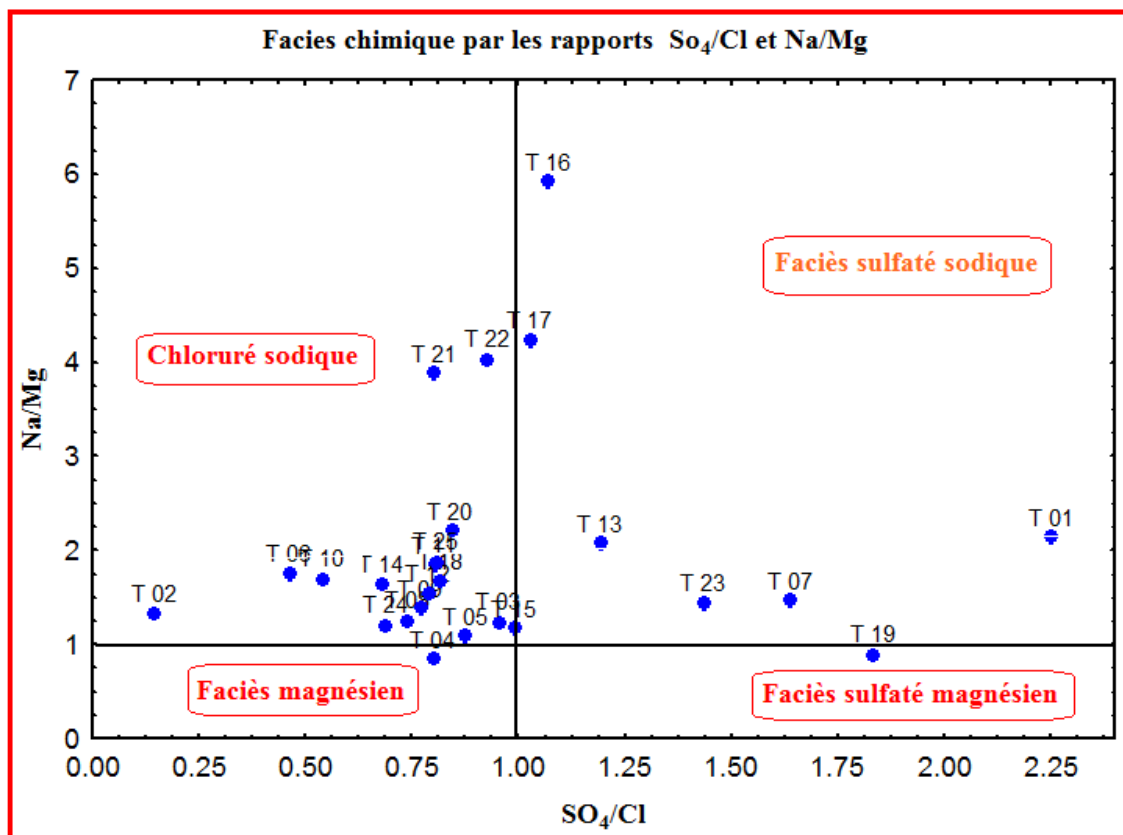


Fig.V.7: La relation Na/Mg vs SO_4/Cl

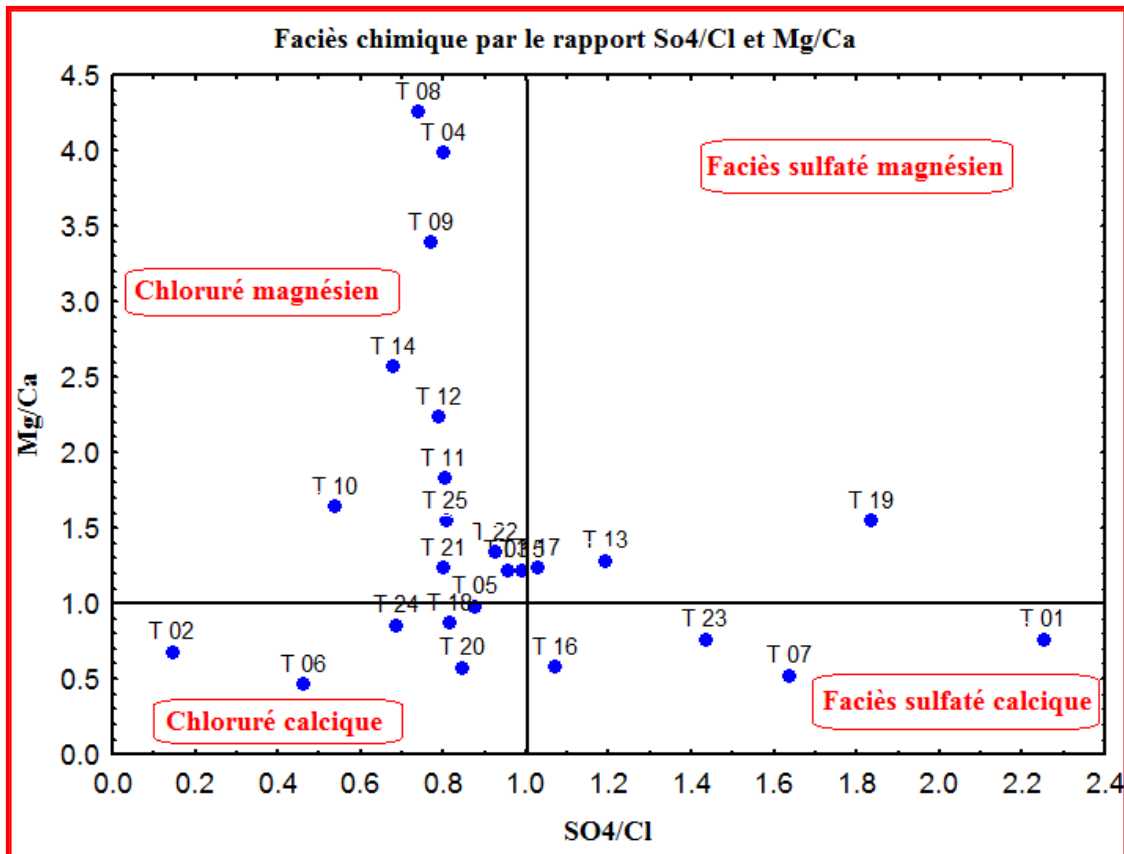


Fig.V.8: La relation Mg/Ca vs SO_4/Cl

V.6-Importance des échanges 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 : $i.e.b = [Cl^- - Na^+ - K^+] / [Cl^-]$; avec [] en méq.l.

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-alcalins, qui est caractérisé par l'indice : $[Cl^- - Na^+ + K^+] / [HCO_3^- + SO_4^{2-} + NO_3^-]$; avec [] en méq.l.

Nous avons constaté que les phénomènes d'échange de base se produisent et se répartissent d'une façon peut être régulière le long de notre région d'étude (tab.V.13), **72 %** de nos échantillons ayant un *i. e. b* >0 (positif), cela suppose que les eaux de la nappe CT se concentrent avec une influence importante de la fraction argileuse de la matrice aquifère.

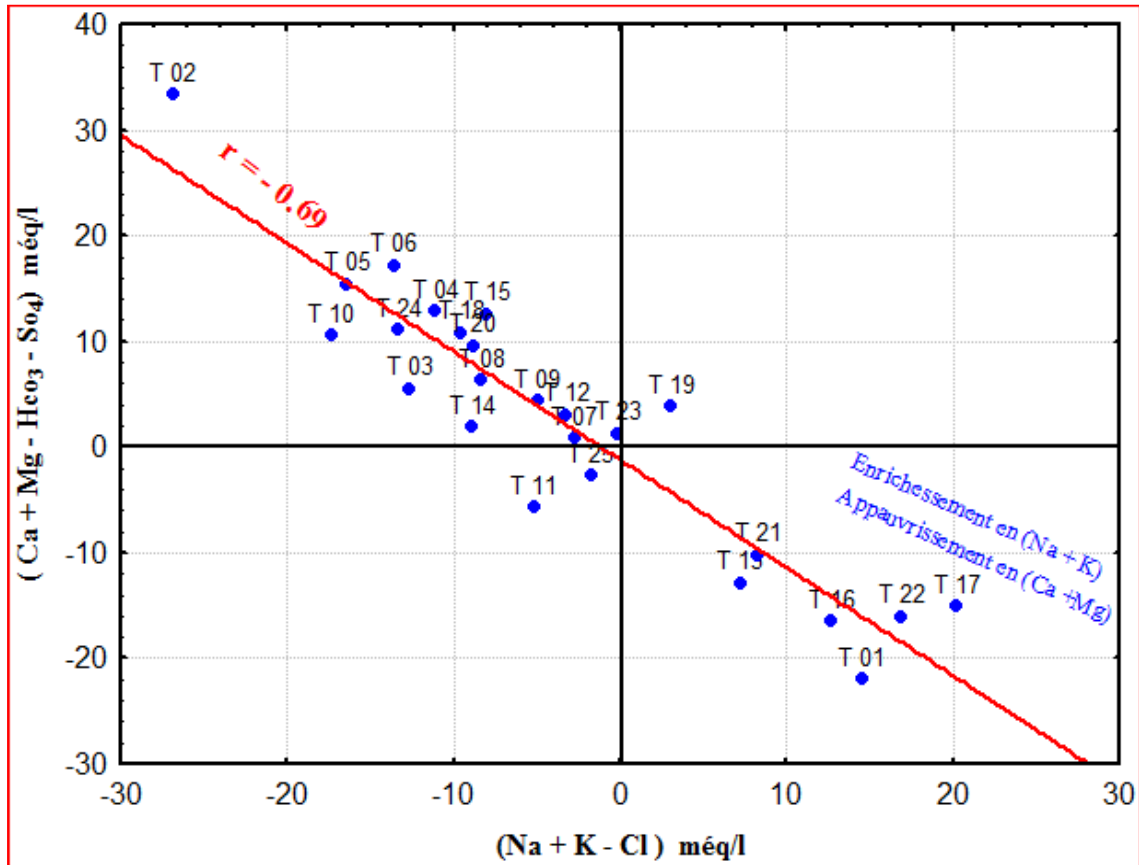


Fig.V.9. La relation entre (Ca+Mg-HCO₃-SO₄) et (Na+K-Cl)

Tab.V.13 : Evolution spatiale de l'indice d'échange de base (*i. e. b*)

Les forages	<i>i,e,b</i>	Les forages	<i>i,e,b</i>	Les forages	<i>i,e,b</i>	Les forages	<i>i,e,b</i>	Les forages	<i>i,e,b</i>
T01	-0517	T06	0.399	T11	0.079	T16	-0.430	T21	-0.208
T02	0.528	T07	0.108	T12	0.050	T17	-0.625	T22	-0.371
T03	0.248	T08	0.121	T13	-0.159	T18	0.177	T23	0.002
T04	0.239	T09	0.073	T14	0.092	T19	-0.107	T24	0.364
T05	0.331	T10	0.229	T15	0.168	T20	0.162	T25	0.069

V.7- Origine des éléments chimiques

V.7.1- Origine des chlorures et du sodium

Le graphique (Fig.V.10) montre un alignement parfait des points de la famille 1. Le sodium et les chlorures doivent avoir la même origine, en l'occurrence, la dissolution de la halite qui reste le sel principal qui génère le sodium et les chlorures dans les eaux étudiées. Alors que, le nuage de points dans la famille 2 montre un comportement différent, où on constate la stabilité des concentrations en sodium (chute), à cause de la participation de cet élément à la précipitation de l'halite au niveau de sebkha de Sidi Amrane (T03, T04, T05, T06).

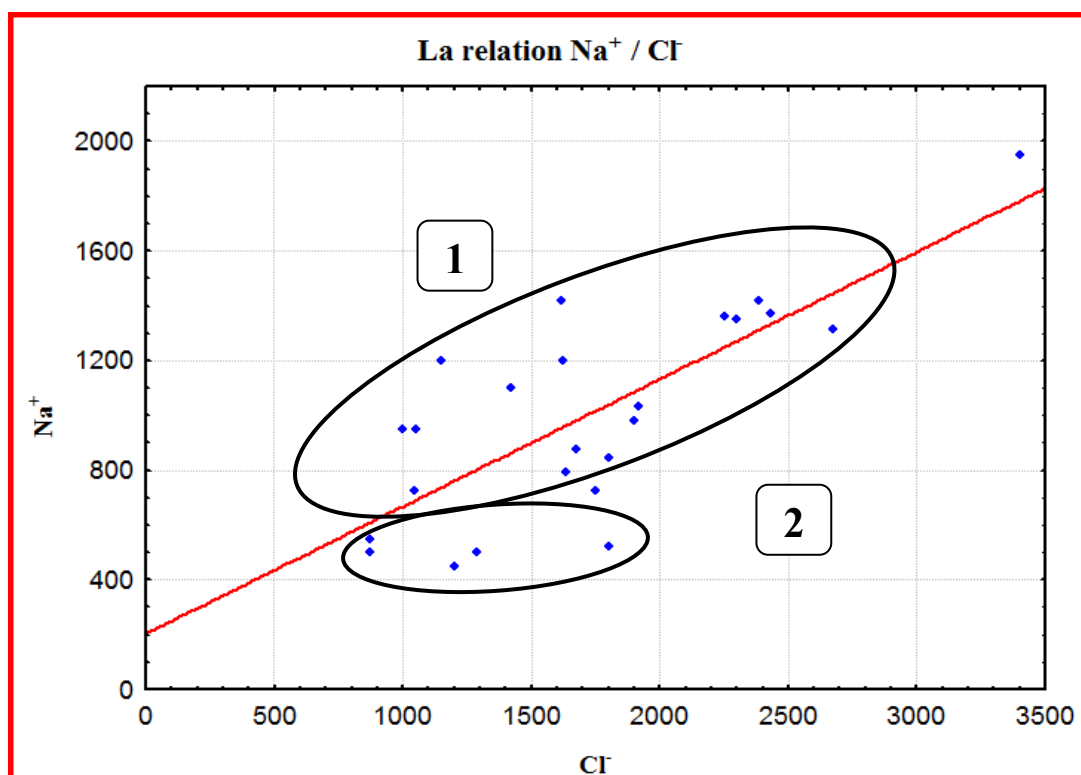


Fig.V.10 : La relation Na vs Cl

V.7.2- Origine des sulfates, du magnésium et du calcium

Pour les sulfates, les roches évaporitiques (gypse, anhydrite, epsomite ... etc.) sont, sans doute, à l'origine de cet élément dans les eaux de notre région d'étude, mais pour le magnésium, les carbonates contribuent aussi à son enrichissement dans les eaux.

L'origine du calcium est en majorité, la dissolution des roches gypseuses par simple lessivage, ou des roches calcaires par l'attaque par le CO₂ dissous (acide carbonique). Dans l'eau, il peut être échangé, sous certaines conditions, contre le sodium des roches traversées

(argile). Une substitution entre magnésium et calcium dans les eaux est aussi possible. (Schoeller, 1963). Il participe aux phases de précipitations avec les bicarbonates dans l'aragonite et la calcite.

Les graphiques dans les figures .V.11, 12, 13, montrent et prouvent les relations possibles entre éléments et leur évolution parallèle, le Ca et Mg présentent un comportement plus régulier avec les sulfates SO_4 que les bicarbonates, ce qui appuis l'hypothèse de la même origine et évolution de ces derniers avec les sulfates.

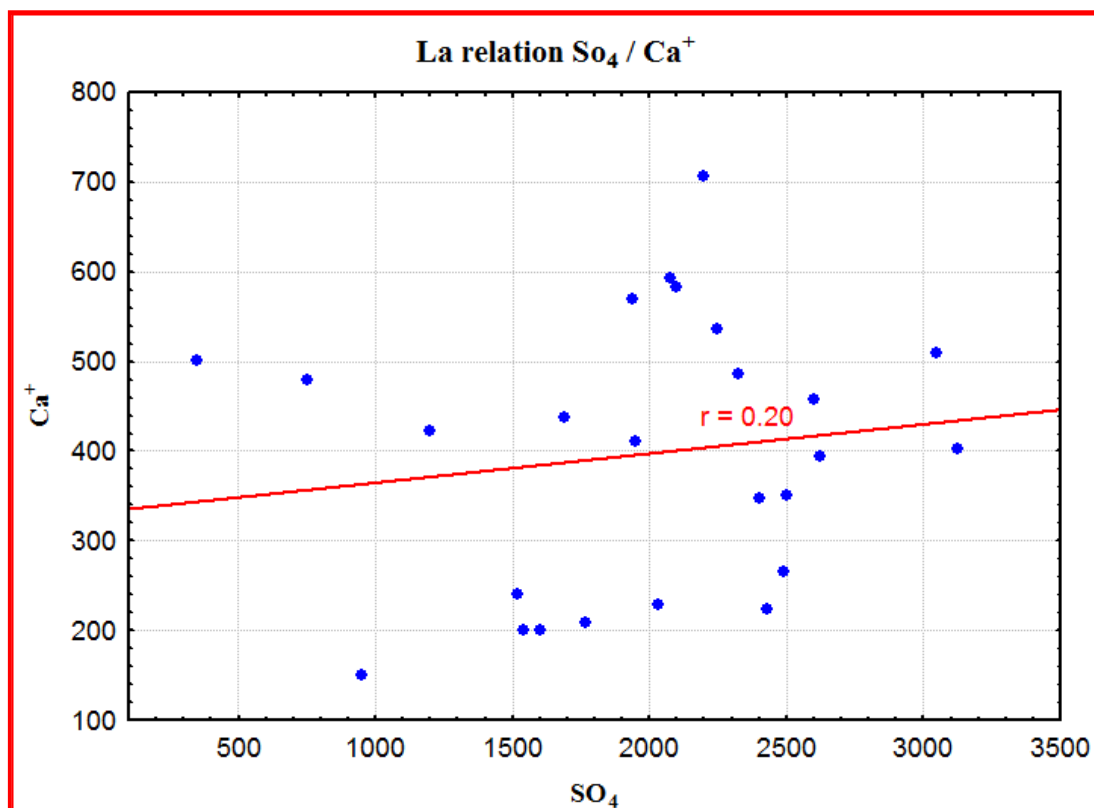


Fig.V.11 : La relation Ca vs SO₄

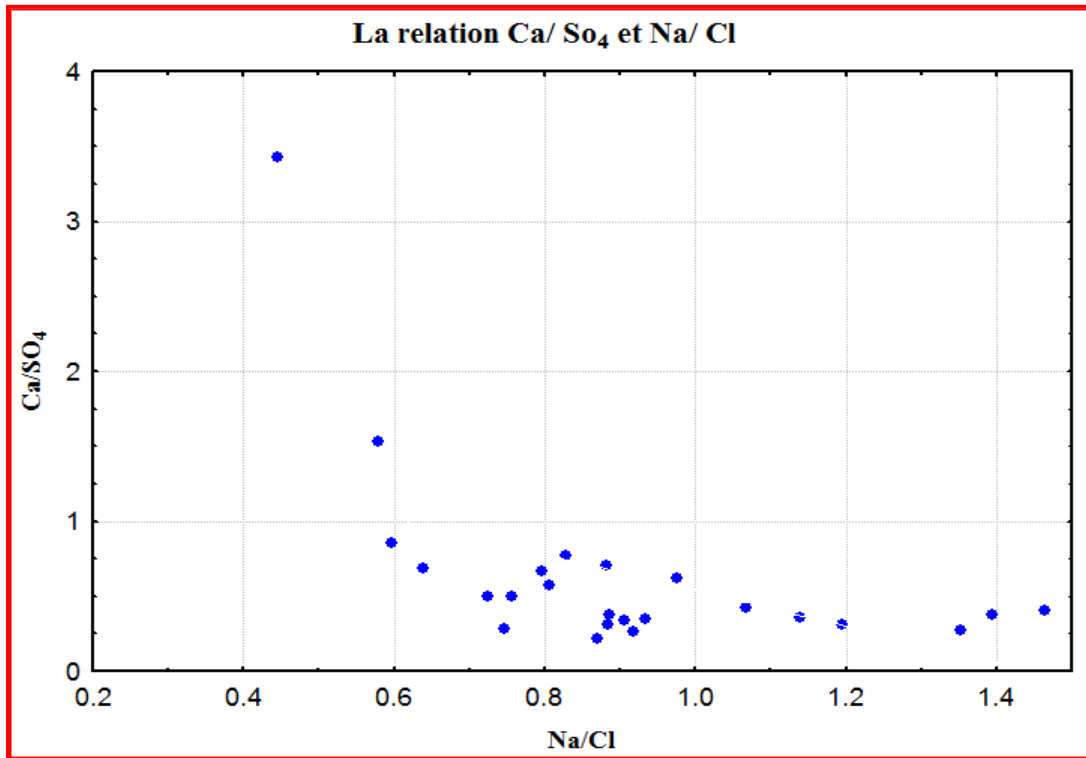


Figure V.12 : La relation Ca /SO4 et Na/Cl

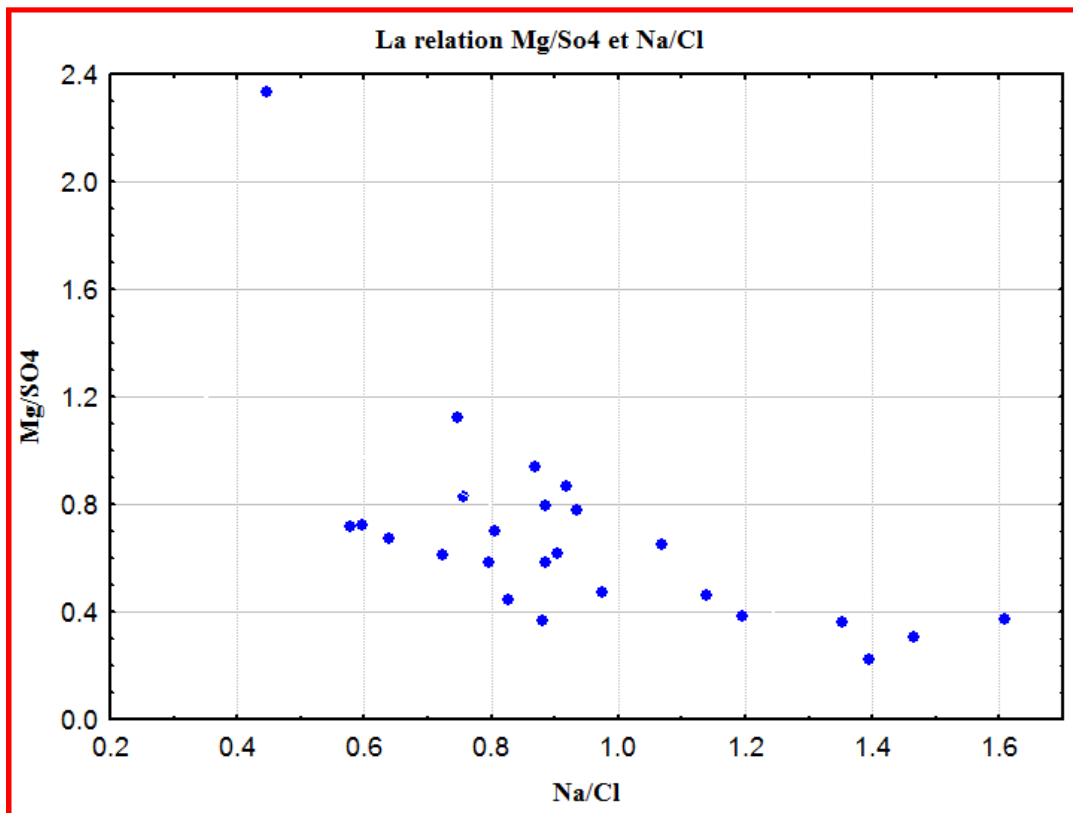


Fig.V.13: La relation Mg/ SO4 et Na/Cl

V.7.3- Origine du potassium et des bicarbonates

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

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

V.8- Conclusion

Les eaux du Mio-Pliocène dans la région de Djamaa sont en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une minéralisation excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées, oscillant dans la plupart des cas, entre **489** et **9600 $\mu\text{S.cm}^{-1}$** , ces valeurs augmentent de l'aman vers l'aval. Des teneurs notables et variables en éléments minéraux ont été observées. En effet, les concentrations en sodium, en chlorure, en calcium et en sulfate sont bien corrélées. La participation des ions évaporitiques dans la minéralisation totale des eaux résulterait d'une éventuelle dissolution de l'halite et du gypse et de l'anhydrite, et du fait de la richesse de l'aquifère de cette région en formations argileuses, le phénomène d'échanges de base peut se mettre en place pour les éléments **Ca, Mg et Na**.

Conclusion générale

La région de djamaa qui constitue notre zone d'étude représente la partie Nord du Sahara septentrional algérien. Cette région renferme d'énormes quantités en eaux souterraines, elle est caractérisée par un climat désertique hyper aride avec des températures extrêmes en été (plus de 42 °C) et des précipitations faibles.

Les eaux du **CT**, en contact avec une lithologie riche en évaporites, révèlent une minéralisation également excessive, exprimée par des valeurs de conductivité électrique très élevées, oscillant dans la plupart des cas, entre **489** et **9600** $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Les évaporites gouvernent la minéralisation excessive des eaux de la nappe des sables. En effet, nous assistons à une corrélation Halite/Gypse très importante, avec une influence de la matrice Halite, avec $r(\text{Na} / \text{Cl}) = \mathbf{0.90}$, sur la matrice Gypse. Le rapport $r(\text{Ca} / \text{SO}_4) = \mathbf{0.48}$, demeure en nette position de sous saturation, malgré l'augmentation conjointe des teneurs en sodium et en sulfates ; ce qui explique la prédominance du faciès chloruré sodique. Cependant, le départ du calcium par précipitation des carbonates, et conduit à l'apparition d'un faciès sulfaté sodique, et /ou un échange de base, au détriment d'un faciès Sulfaté calcique.

L'analyse statistique élémentaire des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux souterraine de la région d'étude, a permis de conclure que :

- ❖ Le pH de l'eau a un caractère neutre dans l'ensemble et évoluant vers le basiques.
- ❖ Le faciès chimique dominant est celui chloruré sodique à cause à la forte dissolution des formations salifères (halite).
- ❖ La composition en ions majeurs identifié des corrélations fortes entre les éléments (**Mg²⁺**, **Na⁺**, **Cl⁻**), ainsi entre ces éléments et la CE (conductivité électrique), c'est la matrice évaporitique qui est à l'origine de chimisme.
- ❖ La présence des formations argileuses dans l'aquifère favorise le phénomène des échanges de base entre éléments chimiques, ceci est traduit par les valeurs positives d'*i.e.b* pour la plupart des points échantillonnées.

ملخص

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

يهدف هذا العمل الى متابعة التطور الجيوكيميائي لمياه الطبقة الرملية للميوليبوسان المنتمة لنظام المركب النهائي بمنطقة جامعة، وذلك بالبحث عن العلاقة الموجودة بين التركيبة الكيميائية للمياه والطبيعة الليتولوجية للصخور التي تحتويها.

النتائج المحصل عليها تبين بأن ذوبان المعادن التبخيرية هو المتحكم الرئيسي في التركيبة الكيميائية للمياه من خلال منحها تراكيب عالية تتجلى من خلال التراكيز العالية للسلفات، الكلورير والصوديوم والتي تتزايد على طول خط اتجاه جريان المياه.

الكلمات المفتاح : جامعة ، كيمياء المياه، السماط الرملي، ميوليبوسان.

RESUMÉ :

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

Le présent travail a pour objectif de décrire l'évolution géochimique des eaux de la nappe des sables (Mio-Pliocène) du Complexe Terminal dans la région de Djamaa, par la recherche de la relation entre la composition chimique des eaux et la nature lithologique des formations aquifères traversées.

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

Mots-Clés : Djamaa , hydrochimie, nappe des sables, Mio-Pliocène.

ABSTRACT

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

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

Key words: Djamaa, hydrochemistry, sands groundwater, Mio-Pliocène.