

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

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

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Option : Hydrogéologie

THEME

***Etude de la qualité chimique des eaux de l'aquifère
du Complexe Terminal dans la région de Guerrara***

Soutenu publiquement par :

DRISSI Zineddin

Le 31/05/2016

Devant le jury :

Président : REMITA Abdellatif

Promotrice : ZEDDOURI HADJ SAID Samia

Examineur : HOUARI Idir Mennad

M. A. A Univ. Ouargla

Pr Univ. Ouargla

M. A. A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

المخلص:

القرارة منطقة صحراوية تقع جنوب الجزائر، تتميز بقلّة غطائها النباتي وحرارتها الشديدة حيث يقدر معدل درجة الحرارة السنوي 22.85 درجة كما تتميز بقلّة الامطار تقدر ب 73,9 ملم في السنة. يعتمد سكان هاته المنطقة على المياه الجوفية في حياتهم اليومية كما تعتبر المنطقة ذات طبعة فلاحية مما نتج عنه خلال السنوات الاخيرة تزايد في طلب مياه المركب النهائي بالاخص طبقة السينونيان أظهرت نتائج تحاليل المياه للمركب النهائي لاربعة عشرة (14) عينة من الآبار أن مياه منطقة القرارة تتميز بناقلية كهربائية عالية حيث بلغت 5.45 ملي سيمنس/سم. وتم تمييز ثلاثة (3) أنواع من السحنات الهيدروكيميائية وهي على مستوى اقلية الابار من نوع كلوريدات وكبريتات الصوديوم وبالاعتماد على تصنيف منظمة الصحة العالمية لنوعية وجودة المياه نجد أن مياه هاته المنطقة مشبعة بالمعادن أي ليست ذات نوعية جيدة للاستهلاك. أظهرت تصنيفات طريقة ويلكوكس أن مياه المركب النهائي ذات نوعية جيدة للري على مستوى بعض الابار و سيئة و على مستوى البعض الآخر .

الكلمات المفتاحية: القرارة، المركب النهائي، المياه الجوفية، بئر، منطقة جافة.

RESUMÉ

Guerrara est une zone désertique située au Sud de l'Algérie. Cette région est caractérisée par la pauvreté de la couverture végétale, température élevée avec une moyenne annuelle de 22.85°C. Des précipitations qui ont très faible environ 73,9 mm/an.

L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eau souterraine. La région d'étude est à vocation agricole, le développement de l'agriculture ces dernières années a fait que la nappe du Complexe Terminal particulièrement celle du Sénonien est de plus en plus sollicitée.

Afin d'évaluer la qualité de cette nappe, quatorze (14) échantillons d'eau souterraines ont été prélevés et différents paramètres physico-chimiques ont été mesurés: température, conductivité électrique, pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, PO₄³⁻. Les résultats obtenus ont montré que les eaux du CT de Guerrara sont fortement minéralisées avec une conductivité électrique qui atteint 5,45 mS/cm.

Le faciès chimique des eaux est chlorurées et sulfatées sodiques pour la majorité des forages.

L'appréciation de la qualité de l'eau a montrée que la majorité des forages dépassent les normes fixés par l'O.M.S.

—La représentation des résultats sur le diagramme de Wilcox a montré que les eaux de la nappe sont de bonne qualité pour l'irrigation présentant toutefois, une qualité admissible à médiocre au niveau de certains forages.

Mots Clés : Guerrara, Complexe Terminal, eau souterraine, forage, zone aride

ABSTRACT

Guerrara is a desert area south of Algeria. This area is characterized by poverty of vegetation cover, high temperatures with an annual average of 22.85 ° C. Low rainfall about 73.9 mm year.

The water supply of the population depends mainly on groundwater resources. The study area is agricultural. Development of agriculture these last year has been that Terminal Complex aquifer particularly that of the Senonian is increasingly requested.

To assess the quality of this layer, 14 groundwater samples were taken and different physico-chemical parameters were measured: temperature, electrical conductivity, pH, , Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, PO₄³⁻. The results showed that the waters of the Senonian at Guerrara are strongly mineralized with electrical conductivity reaches 5.45 mS/ cm.

The hydrochemical facies of the water is sodium chloride and sodium sulfate for most wells.

The assessment of the water quality has shown that the majority of wells exceed the standards set by the O.M.S.

The use of the Wilcox diagram showed that the water of CT is good for irrigation but it's of bad quality at some points

Keywords: Guerrara, Terminal Complex, groundwater, well, arid zone.

Remerciements

Je tiens à remercier avant tout Dieu.

Tout puissant de m'avoir donné le courage de terminer mes études.

Je tiens à remercier en premier lieu très chaleureusement ma promotrice

Mm : HADJ SAID Samia

Pour avoir accepté de diriger mon travail, pour ses précieux conseils, et sa disponibilité, grâce à elle mon travail s'est déroulé dans les meilleurs conditions

Je tiens à remercier tous particulièrement messieurs les membres du jury, d'avoir bien voulu faire partie du jury et critiquer ce mémoire.

Je tiens à remercier aussi tous les enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université de Kasdi Merbah Ouargla surtout Mr. Zeddouri. A, Mr. Kechiched. R et Mr. Nezli. I

Il m'est aussi agréable de remercier toute personne qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail

Mr. Mellouah. O

Direction de l'ANRH d'ADRAR et GHARDAIA

Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire.



DRISSI. Zineddin

dedicaces

A :

+ *Mes parents : source de mon courage
et mon inspiration.*

+ *A mon grand père ; et ma grand-mère*

+ *A mes frères et sœurs ;*

+ *A mes oncles et tantes ;*

+ *A ma femme ;*

+ *A toute ma famille ;*

+ *Ainsi qu'à tous mes amis sans
exception.*

+ *A mes enseignants de Géologie ;*

Je dédie ce travail



Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
I- Chapitre I: Représentation de la zone d'étude	
I- Localisation géographique.....	3
I-1. Aperçu géomorphologique.....	3
I-2. Aperçu sur les activités économiques dans la région.....	5
I-2.1. Agriculture	5
I-2.2.Industrie.....	5
I-3.Paramètres climatiques de la région	6
I-3. 1-La température.....	6
I-3. 2- La pluviométrie	7
I-3. 3- Humidité	8
I-3.4- L'évaporation mesurée	8
I-4.Caractérisation du climat	9
I-4.1- Diagramme Ombrothermique	9
I-5. Conclusion.....	10
Chapitre II: Etude géologique	
II- Introduction	12
II.1- Cadre géologique régional.....	12
II.1.1- Le Paléozoïque (Primaire).....	12
II.1.2- Le Mésozoïque (Secondaire)	14
II.1.3- Le Cénozoïque (Tertiaire).....	16
II.2- Cadre Géologique Local	16
II.3- Conclusion.....	20
Chapitre III: Etude géologique.....	
III-Introduction	22
III.1- Hydrogéologie régionale	22
III.1.1-Le Continental Intercalaire	23
III.1.2.Le Complexe Terminal	24
III.1.3- La nappe alluviale	24
III.2- Le complexe terminal à Guerrara.....	25
III.2.1-La piézométrie du complexe terminal à Guerrara	25
III.3- Conclusion	27

Chapitre IV : Etude hydrochimique	
IV- Introduction	29
IV.1- Matériels et méthodes	29
IV.1.1- Echantillonnage	29
IV.1.2. Les méthodes d'analyses.....	29
IV.1.2- Les méthodes d'interprétation.....	30
IV.2- Résultats et discussions.....	30
IV.2.1-Etude des paramètres physico-chimiques des eaux	30
IV.2.1.1- La température (T).....	30
IV.2.1.2- Le Potentiel hydrogène(pH).....	31
IV.2.1.3- La Conductivité (CE).....	32
IV.2.1.4- La dureté	33
IV.2. 2-Etude des paramètres chimiques	34
IV.2. 2.1.Calcium (Ca^{2+})	34
IV.2. 2.2. Magnésium (Mg^{2+})	34
IV.2. 2.3.Sodium (Na^+)	35
IV.2. 2.4. Potassium (K^+)	36
IV.2. 2.5. Chlorures (Cl^-)	36
IV.2. 2.6. Bicarbonates (HCO_3^-)	37
IV.2. 2.7. Les Sulfates (SO_4^{2-}).....	38
IV.2.3-Les éléments indésirables ou de pollution	38
IV.2.3.1.L'Ammonium (NH_4^+).....	38
IV.2.3.2.Les Nitrates (NO_3^-).....	38
IV.2.3.3.Les Nitrites (NO_2^-).....	39
IV.2.3.4. Le Fluor (F^-)	40
IV.2.3.5.Les orthophosphates (PO_4^{3-})	40
IV.3- Détermination des principaux faciès chimiques	41
IV.3.1-Représentation graphique des faciès chimiques	41
IV.3.1.1-Classification de PIPER	41
IV.3.1.2-La classification du STABLER	43
IV.3.2- Indice d'échange de Base (I.E.B)	44
IV.3.3- Aptitude des eaux à l'alimentation.....	44
IV.3.4-Aptitude des eaux a l'irrigation	45
IV.4- Conclusion	47

Liste des figures

Fig.1: Localisation géographique et limites administratives de la région de Guerrara.....	3
Fig.2:Schéma montrant quelque unité géomorphologique dans la région de Guerrara.....	5
Fig.3: Température moyenne mensuelle (2010-2014).....	7
Fig.4: Précipitations moyennes mensuelles(2010-2014).....	7
Fig.5: L'humidité relative moyenne mensuelle du l'air (2010-2014).....	8
Fig. 6: L'évaporation mensuelle mesurée en mm (2010-2014).....	9
Fig.7:Diagramme Ombrothermique à la station de Ghardaïa (2010-2014).....	10
Fig. 8 : Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-est Septentrional. (Source SONATRACH)..	13
Fig. 9: Carte géologique de la région de Guerrara (HADJ-SAID et al 2013).....	17
Fig.10: Coupe géologique synthétique de la région de Guerrara (HEMIDI Lotfi, 2013).....	19
Fig.11 : Continental Intercalaire et Complexe Terminal (Jarraya Horriche. F et al, 2008).....	22
Fig.12 :Carte piézométrique de l'aquifère Sénonien de Guerrara.....	26
Fig.13 : Variation de la température de la nappe du CT	31
Fig.14 : Variation du potentiel hydrogène (pH) de la nappe du CT	32
Fig.15 : Variation de la conductivité électrique de la nappe du CT	33
Fig.16 : Variation des concentrations en calcium (Ca^{2+}) de la nappe du CT.....	34
Fig.17 : Variation des concentrations en magnésium (Mg^{2+}) de la nappe du CT.....	35
Fig.18 : Variation des concentrations en sodium (Na^{+}) dans la nappe du CT	35
Fig.19 : Variation des concentrations en potassium (K^{+}) dans la nappe du CT.....	36
Fig.20 : Variation des concentrations en chlorures (Cl^{-}) dans la nappe du CT.....	37
Fig.21 : Variation des concentrations en bicarbonate (HCO_3^{-}) dans la nappe du CT	37
Fig.22 : Variation des concentrations en sulfates (SO_4^{2-}) dans la nappe du CT	38
Fig.23: Variation des concentrations en nitrates (NO_3^{-}) dans la nappe du CT.....	39
Fig.24 : Variation des concentrations en nitrites (NO_2^{-}) dans la nappe du CT.....	39
Fig.25: Variation des concentrations en fluor (F) dans la nappe du CT.....	40
Fig.26 : Variation des phosphates (PO_4^{3-}) dans la nappe du CT	41
Fig.27 : Représentation des analyses chimiques de la nappe du CT de la région de Guerrara sur Le diagramme de PIPER.....	42
Fig. 28: Représentation des analyses chimiques du CT de Guerrara sur le diagramme de STABLER	42
Fig. 29: Représentation des analyses chimiques de la nappe du CT de Guerrara surLe diagramme de WILCOX.....	46

Liste des tableaux

Tableau n°1:Température moyenne mensuelle (O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)	6
Tableau n°2:Précipitations moyennes mensuelles (O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)	7
Tableau n°3:L'humidité relative moyenne mensuelle du l'air (2010-2014)	8
Tableau n°4: Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Guerrara (2010-2014)	8
Tableau n°5: Moyenne des précipitations et des températures (2010-2014)	10
Tableau n°6 : Potabilité en fonction de la dureté (OMS, 1994)	33
Tableau n°7: Valeurs de l'I,E,B de la nappe du CT	42
Tableau n°8: Comparaison des concentration en différéfnts paramètre avec les normes de l'OMS	45

Introduction générale

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional, partagé par l'Algérie, la Tunisie et la Libye, est formé de dépôts continentaux renfermant deux grandes nappes souterraines : le Continental Intercalaire [CI] et le Complexe Terminal [CT]. La configuration structurale et le climat de la région font que les réserves de ces deux nappes se renouvellent très peu : ce sont des réserves géologiques dont les exutoires naturels (sources et foggaras) ont permis le développement d'oasis où les modes de vie séculaires sont restés longtemps en parfaite symbiose avec l'écosystème saharien (OSS, 2003).

Le terme du «Continental intercalaire » désigne d'après son auteur (C. Kilian, 1932) un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins : celui du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne à la base, et le cycle du Crétacé supérieur au sommet.

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire et principalement du Miocène.

L'objectif de ce travail est l'étude du Complexe terminal dans la région de Guerrara, dessiné une carte des écoulements des eaux et estimation de la qualité de ces eaux pour l'AEP et l'irrigation, Afin d'atteindre cet objectif, ce travail a été réalisé en quatre chapitres :

- ✘ Le premier chapitre s'articule autour des caractéristiques naturelles de la région de Guerrara (situation géographique, géomorphologie, climatologie).
- ✘ Le deuxième chapitre est l'étude géologique de la région.
- ✘ Le troisième chapitre est l'étude hydrogéologique de la région.
- ✘ Le quatrième chapitre est l'étude hydrochimique de l'aquifère du CT par l'emploi de différentes méthode d'interprétation et dont l'objectif est la détermination des faciès chimiques des eaux, préciser l'origine de la minéralisation des eaux et l'appréciation de la qualité des eaux.

I- Localisation géographique:

La région de Guerrara est située à près de 110 Km au Nord-Est de Ghardaïa chef lieu de la wilaya. Elle est délimitée au Nord par la Daïra de Messaad (wilaya de Djelfa) et à l'Est par la Daira d'El hadjira (wilaya d'Ouargla), à l'Ouest par les daïras de Berriane et Bounora, et au Sud par les daïras de Zelfana et Al-Atteuf(Fig.1). Ses coordonnées géographiques sont $32^{\circ} 47' 25''$ Nord et $4^{\circ} 29' 32''$ Est.

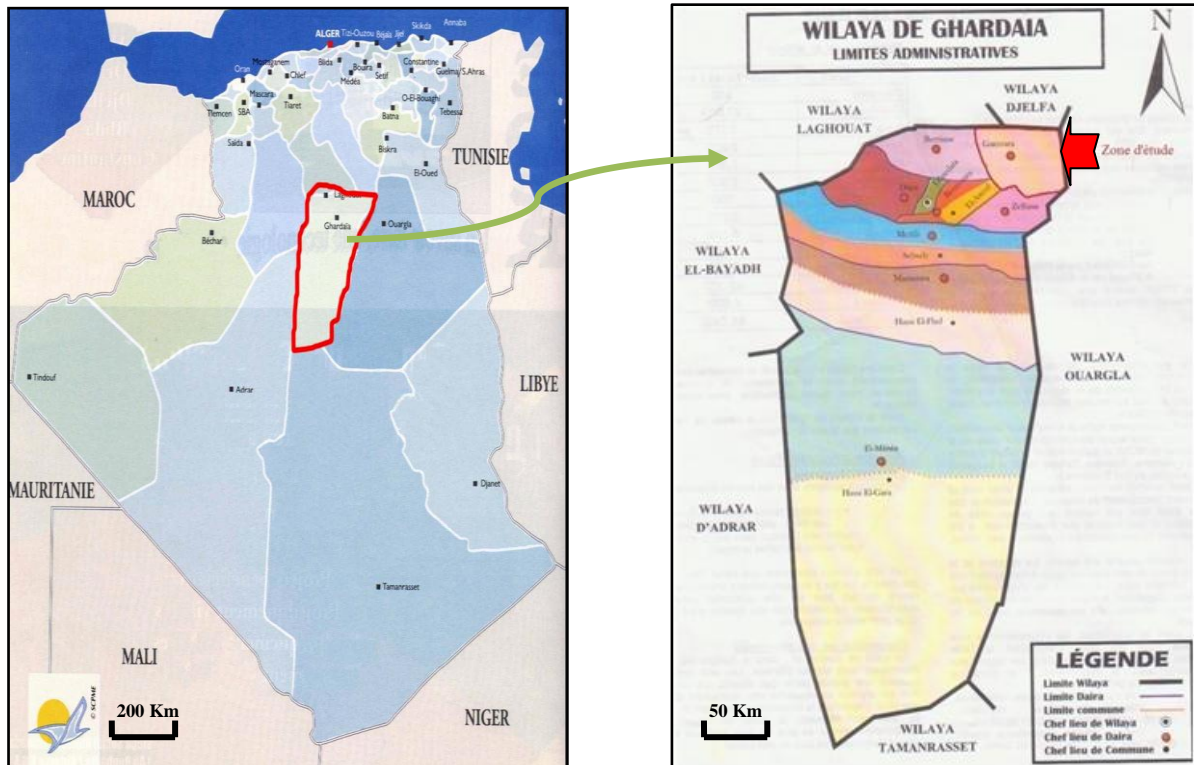


Fig.1: Localisation géographique et limites administratives de la région de Guerrara

La wilaya de Ghardaïa qui s'étend sur 86560 km² est divisée en 13 communes regroupées dans 9 daïra. La commune de Guerrara qui couvre une superficie d'environ 2600 Km² a connu ces dernières années une augmentation du nombre de la population. Elle représente la deuxième plus grande ville de la wilaya de Ghardaïa en termes de population. En 2008, la population totale est estimée à 59 514 habitants, soit une densité de 21 habitants par Km² (O.N.S 2008).

I-1. Aperçu géomorphologique:

L'oasis de Guerrara est contenue dans les alluvions d'Oued Zegrir dont les crues alimentent la nappe alluviale. Les terrains autour de la région de Guerrara sont fortement dénudés (VILLE 1872), ils résultent d'une forte érosion fluviale qui a entaillée les plateaux du Pliocène continentale et remodelé par la suite par l'érosion éolienne.

Dans la région, on trouve plusieurs unités géomorphologiques(fig.2):

I- 1.1. Le plateau:

C'est le plateau du Pliocène de 380 à 450 m d'altitude, il occupe quelques parties au Nord et au Sud de la région de Guerrara. Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est.

I- 1.2. Les glacis:

Le versant Nord de la grande dépression de Guerrara présente deux niveaux d'étages des glacis « glacis de terrasse », il se caractérise par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-pliocène. Ce dernier est souvent composé de sables et de graviers gréseux.

I- 1.3. Les dayas:

Les dayas sont le point bas d'un bassin fermé. Le terme est plus spécifiquement appliqué aux dépressions de faibles dimensions pouvant varier de un à quelques dizaines d'hectares, que l'on trouve un peu partout en milieu aride ou sub-aride (Dutil, 1971 ; Cooke et al. 1993). Il s'agit le plus souvent de petites cuvettes plates, nées d'un creux topographique originel, puis exposées à une alternance d'inondation (qui favorise la désagrégation du substrat) et de déflation, qui assurera l'exportation des produits les plus fins (Monod, 1973).

Dans la région de Guerrara, il y a deux types de dayas:

- Des dayas isolées sur le plateau et le glacis (plateau des dayas).
- Des dayas liées au réseau d'Oued Zegrir comme zone d'épandage fermée, c'est le cas de Dayet Ben Fellah située à l'Est de Guerrara ou possédant un exutoire prolongeant ainsi le lit de l'oued comme Dayet El Amied.

I-1.4. Les garas:

Les garas sont des buttes témoins, c'est à dire des plateaux tabulaires isolées par l'érosion et couronnées par une table de roche dure (Capot-Rey et al, 1969), la plaine de daya d'El Amied est limitée au Sud et au Sud - Est par une série de garas qui la sépare de la zone de drain et de la daya de Guartoufa. Ces Garas sont façonnées par le fonctionnement passé dur réseau hydrographique (Djili, 2004).

I-1.5. Les formations dunaires:

Ces dunes d'obstacle développées à l'abri d'une butte témoin (Garas) et des buissons de la végétation naturelles dans le lit majeurs d'Oued Zegrir au Sud de la région de Guerrara.

Les modèles dunaires existant sont : les rides, les voiles sableux, les nebkas et les massifs dunaires (Djili, 2004)

I-1.6. Le réseau hydrographique:

La région d'étude est parcourue par Oued Zegrir et son prolongement. L'écoulement des eaux de la crue dans le lit de l'oued dépose des matériaux différents. La surface du sol peut être unie pour une grande partie de lit d'oued ou alternativement d'un côté à l'autre du lit en fonction des méandres «terrasse de méandre » ou bien entaillées par de petites incisions linéaires lorsque le ruissellement se concentre avec une pente plus forte et des débits plus importants(Pouget,1980).

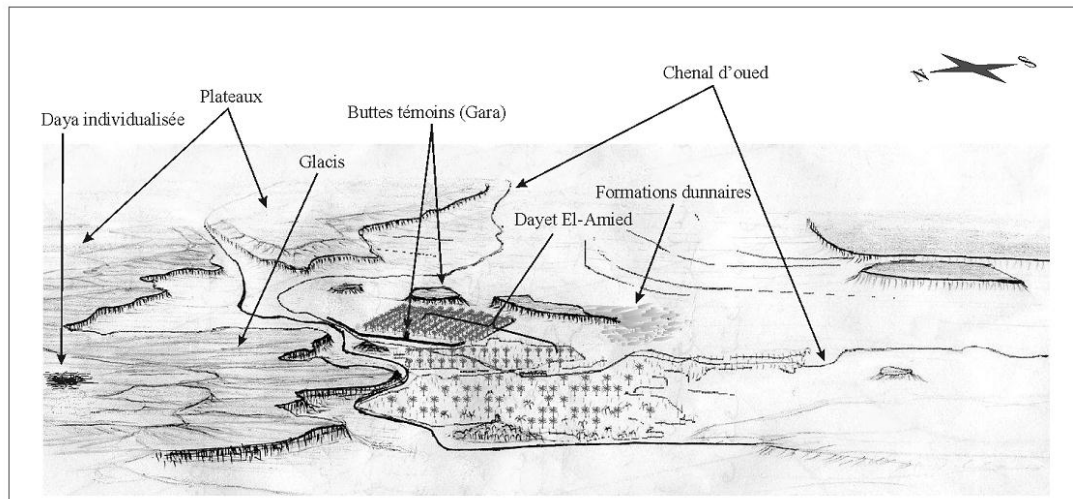


Fig.2:Schéma montrant quelque unité géomorphologique dans la région de Guerrara

I-2. Aperçu sur les activités économiques dans la région:

Agriculture, industrie, tourisme et services sont les principaux secteurs d'activités sur lesquels repose l'économie de la région. L'eau est indispensable pour le développement de ces activités, elle est d'origine souterraine. dans la région de Guerrara 26 forages avec un débit de 40,98 hm³/an sont destinés à l'irrigation (ANRH Secteur de Ghardaïa. Décembre 2011).

I-2.1. Agriculture :

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Oasien de l'ancienne palmeraie
- La mise en valeur.

Les terres utilisées par l'agriculture couvrent 1.370.911 Ha dont :

- Surface agricole utile (S.A.U) : 39.350 ha en irrigué en totalité
- Pacages et parcours : 1.331.389ha
- Terres improductives des exploitations agricoles : 172 ha.

Le patrimoine phoénicicole de la wilaya est de 1.246.510 palmiers dont 1.103.259 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 54.000 tonnes dont 21.000 tonnes de type Deglet Nour. Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives de développement (Atlas agriculture 2014).

I-2.2.Industrie:

Au lendemain de l'indépendance, le secteur industriel était pratiquement inexistant au niveau de la wilaya de Ghardaïa. La zone industrielle Guerrara a été créée en 1969.

La création de la zone industrielle a permis à la région de Guerrara de bénéficier de quelques unités économiques. La région compte 14 unités industrielles, la création de ces zones industrielles a permis à la région de développer une activité industrielle importante et très variée, à savoir :

- ✓ Industrie du papier
- ✓ Industrie Sidérurgique, Métallique

- ✓ Industrie des matériaux de construction
- ✓ Industries du plastique
- ✓ Industries agro-alimentaires

I-3. Paramètres climatiques de la région :

La région de Guerrara est caractérisée par un climat saharien aride, température très élevée, précipitation rare (moins de 60 mm/an).

I-3. 1- La température:

La température est un paramètre fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

Tableau n°1. Température moyenne mensuelle (O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)

Mois	T Min (°C)	T Max (°C)	T Moy (°C)
Janvier	2,46	24,2	13,33
Février	2,62	25,16	13,89
Mars	4,72	30,6	17,66
Avril	9,56	35	22,28
Mai	13,78	39,34	26,56
Juin	19,62	43,14	31,38
Juillet	23,2	37,78	30,49
Aout	23,36	43,54	33,45
Septembre	18,28	41,84	30,06
Octobre	12,8	36,42	24,61
Novembre	5,58	29,58	17,58
Décembre	2,35	23,48	12,91
Moyenne	11,53	34,17	22,85

T Moy(°C):Température moyenne mensuelle.

T Min (°C): Température minimale mensuelle.

T Max (°C): Température maximale mensuelle.

Les variations de température moyenne mensuelle sont représentées sur la (fig.3) qui montre une grande amplitude thermique entre l'hiver et l'été. Les mois de Juin, Août et Septembre sont les mois les plus chauds en général avec des moyennes mensuelles de l'ordre de 43,14 à 43,54 et 41,84°C et le mois le plus froid est Décembre avec une moyenne de température de 23,5°C.

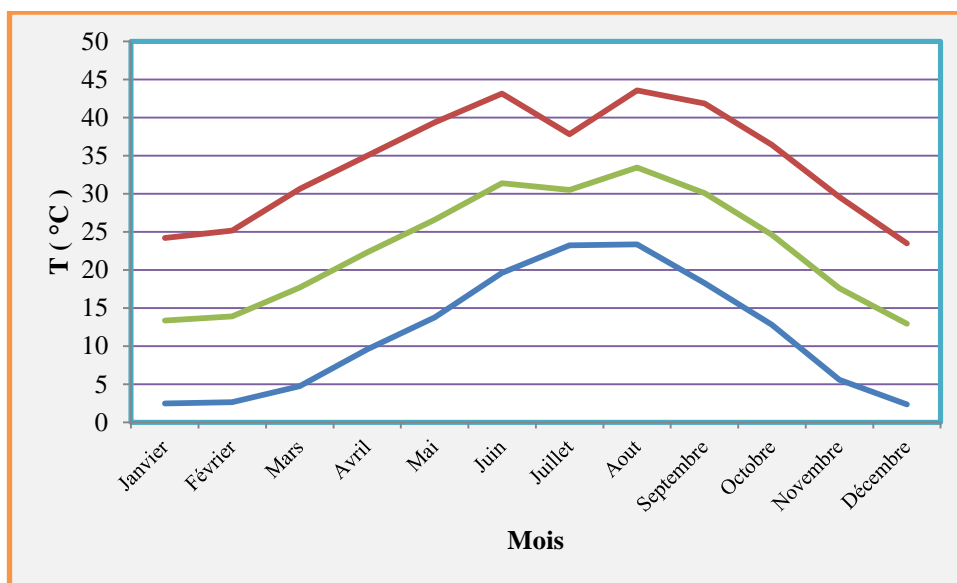


Figure 3: Température moyenne mensuelle (2010-2014).

I-3. 2- La pluviométrie :

La courbe de variations des moyennes mensuelles des précipitations, montre que les précipitations sont très faibles et irrégulières. Elles varient entre 0,22 mm au mois de Février et 14,94 mm au mois de Mars qui est le plus pluvieux.

Les pluies sont en générale torrentielles et durent peu de temps sauf dans des cas exceptionnels.

Tableau n°2: Précipitations moyennes mensuelles (O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	An
P(mm)	5,64	0,22	14,94	6,62	1,3	4,54	2,24	1,34	12,96	5,28	6,8	12,02	73,9

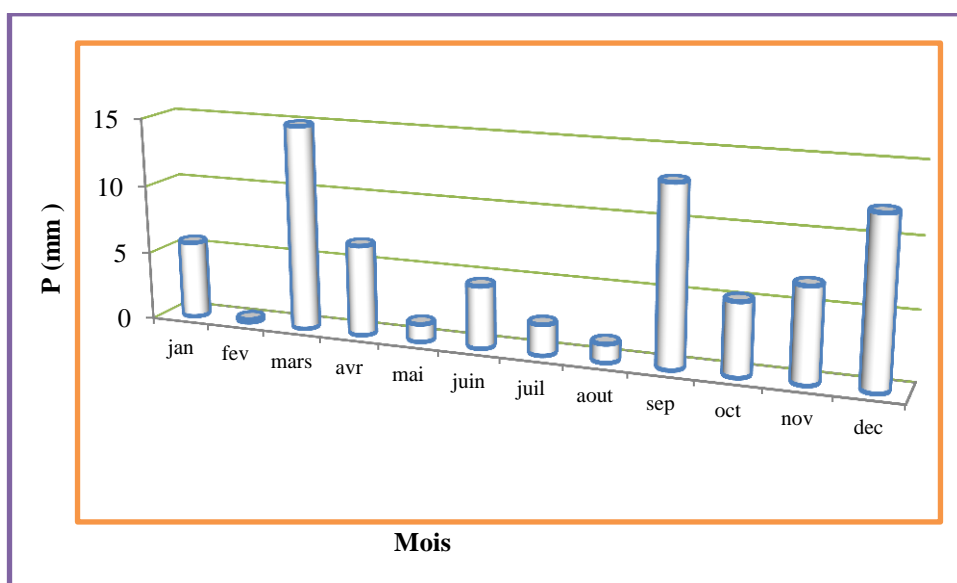


Figure 4: Précipitations moyennes mensuelles(2010-2014)

I-3. 3- Humidité :

L'humidité est définie comme étant le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et la pression de saturation à la même température. Elle est exprimée en pourcentage. Le tableau ci-dessous n°6 représente l'humidité relative moyenne mensuelle du l'air (2010-2014)

Tableau n°3: L'humidité relative moyenne mensuelle du l'air
(O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
H(%)	45,6	40,4	38,6	32,6	28,6	25,4	21,6	26,2	33,4	43,4	49,2	53,4

L'humidité relative moyenne est inférieure à 50% pendant toute l'année exceptée le mois de Décembre. Le maximum est observé au mois de Décembre avec une moyenne de 53,4% et le minimum observé au mois de Juillet est de 21,6%.

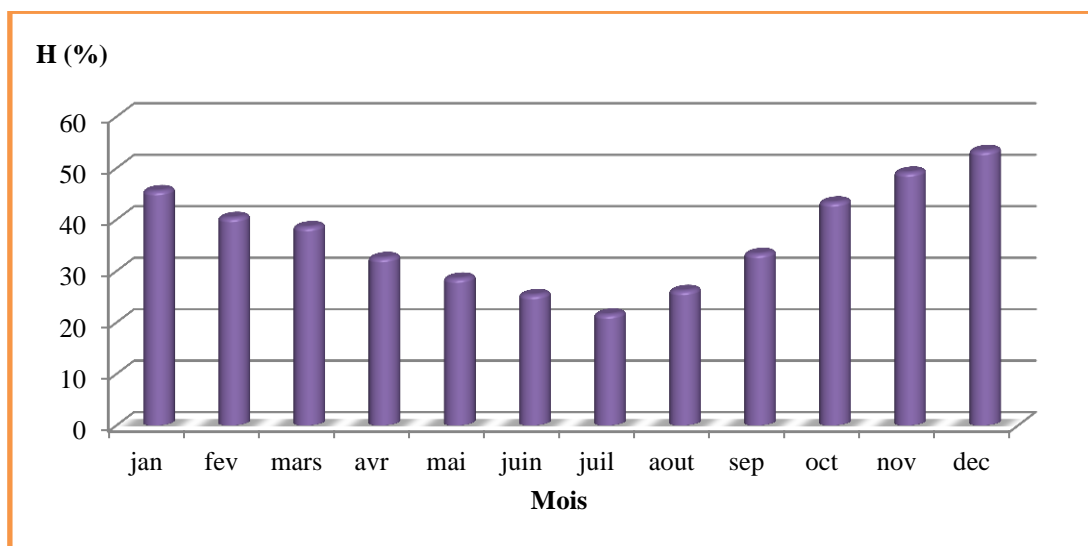


Figure 5: L'humidité relative moyenne mensuelle du l'air (2010-2014).

I-3.4- L'évaporation mesurée :

L'évaporation est la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère et dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement.

Tableau n°4: Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Guerrara
(O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	An
Evap (mm)	112,2	132,8	171,6	211,2	244	361,2	387,6	337	299,6	201	121,4	89,8	2669,4

L'analyse du tableau n°7 montre que l'évaporation est très élevée dans les mois de Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre. Cette augmentation est due à l'aridité du climat dans cette région

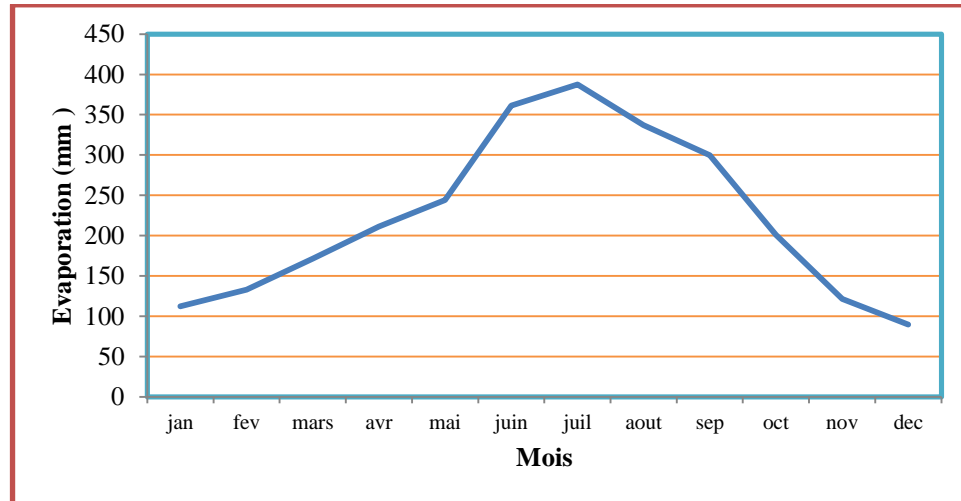


Figure 6: L'évaporation mensuelle mesurée en mm (2010-2014).

I-4. Caractérisation du climat :

La détermination du climat d'une zone donnée, le calcul des indices ou la représentation des diagrammes permet de comparer les climats d'une région à l'autre.

Dans ce cas, deux paramètres sont généralement pris en considération, ce sont la pluviométrie et la température.

I-4.1- Diagramme Ombrothermique :

Le diagramme Ombrothermique établi à partir des valeurs de la température moyenne ($M+m/2$ °C) et de la précipitation moyenne mensuelle (mm), permet de bien distinguer une saison sèche indiquant clairement un déficit de précipitation et une saison arrosée présentant un excédent de précipitation.

Un mois sec se définit, selon (Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètre) égal ou inférieur au double de la température (moyenne en °C) ($P \leq 2T^\circ$).

Tableau n°5: Moyenne des précipitations et des températures
(O.N.M de Ghardaïa 2010-2014)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P	5,64	0,22	14,94	6,62	1,3	4,54	2,24	1,34	12,96	5,28	6,8	12,02
T Min(°C)	2,46	2,62	4,72	9,56	13,78	19,62	23,2	23,36	18,28	12,8	5,58	2,35
T Max(°C)	24,2	25,16	30,6	35	39,34	43,14	37,78	43,54	41,84	36,42	29,58	23,48
M+m/2	13,33	13,89	17,66	22,28	26,56	31,38	30,49	33,45	30,06	24,61	17,58	12,91

avec:

P: Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T: Température moyenne mensuelle (°C).

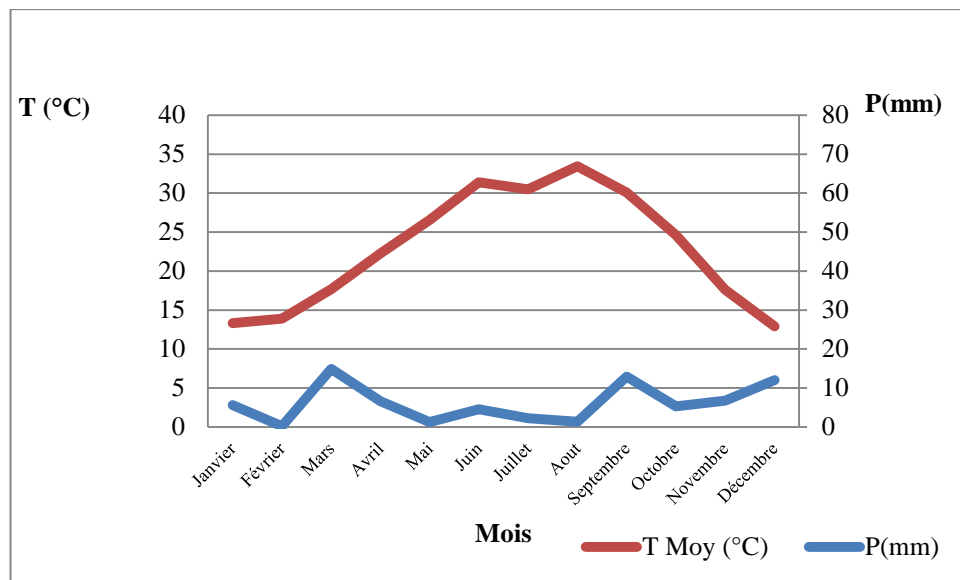


Fig.7:Diagramme Ombrothermique à la station de Ghardaïa (2010-2014)

D'après ce diagramme, on déduit que la région du Guerrara est caractérisée par une saison sèche qui s'étale sur toute l'année.

I-5. Conclusion :

L'oasis de Guerrara est contenue dans les alluvions d'Oued Zegrir dont les crues alimentent la nappe alluviale. Le climat de la région est typiquement Saharien et sec toute l'année et un grand écart de températures entre l'été et l'hiver. La région est caractérisée par sa pauvreté du couvert végétale, une pluviométrie faible de l'ordre 73,9 mm/an, une évaporation atteignant 387,6 mm au mois de Juillet, une température moyenne maximale de 33,45 °C au mois d'Aout et maximale de 12,91 °C au mois de Décembre .

L'humidité relative moyenne est inférieure à 50% pendant toute l'année exceptée le mois de Décembre. La zone d'étude est caractérisée par une saison sèche qui s'étale sur plusieurs mois consécutifs.

I- Introduction :

La connaissance du contexte géologique est très important dans notre étude. La région de Guerrara fait partie du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. Le désert se présente sous des formes diversifiées :

- Les ergs qui représentent des massifs de dunes.
- Les regs, plaines caillouteuses.

Le sable ne domine pas dans le Sahara, les sols désertiques sont surtout pierreux. Les sols argileux couvrent une grande partie des déserts. La surface d'un sol argileux se dessèche très rapidement après une pluie. Dans ce chapitre, nous allons entreprendre la description lithologique du sous-sol pour avoir une représentation de la configuration du réservoir du complexe terminal dans la région d'étude.

I- Cadre géologique régional:

Avant d'évoquer l'étude géologique locale, nous allons représenter dans un premier temps un aperçu sur la géologie régionale. La région d'étude fait partie du Sahara Septentrional, la description de la colonne stratigraphique (figure **), donne les grands traits de la géologie régionale.

I-1. Le Paléozoïque (Primaire):

I-1. A. Cambrien:

Les dépôts cambrien reposent sur le socle cristallin et sont représentés par des grès et des quartzites à passées conglomératiques.

I-1.B. Ordovicien:

Les coupes les plus complètes se situent dans les dépressions de l'Oued Mya et de Timimoun. Les dépôts proximaux (fluviaux) s'agencent autour des régions émergées et forment les falaises du Tassili interne.

Les dépôts marins se rencontrent au Nord en sub-surface et dans ce qui est devenu les chaînes de l'Ougarta. Des traces de glaciation ont été décelées dans l'Ordovicien terminal.

I-1.C. Silurien:

Cette période est caractérisée par une sédimentation terrigène fine, argileuse en milieu marin. Cette série d'apparence homogène est représentée par des argiles noires à Graptolites et des argiles à passés gréseux et rares bancs carbonatés.

I-1. D. Dévonien:

- Le Dévonien inférieur est essentiellement argilo-gréseux présentent des faciès très variés.
- Le Dévonien moyen et supérieur est caractérisé par des lacunes de sédimentation.

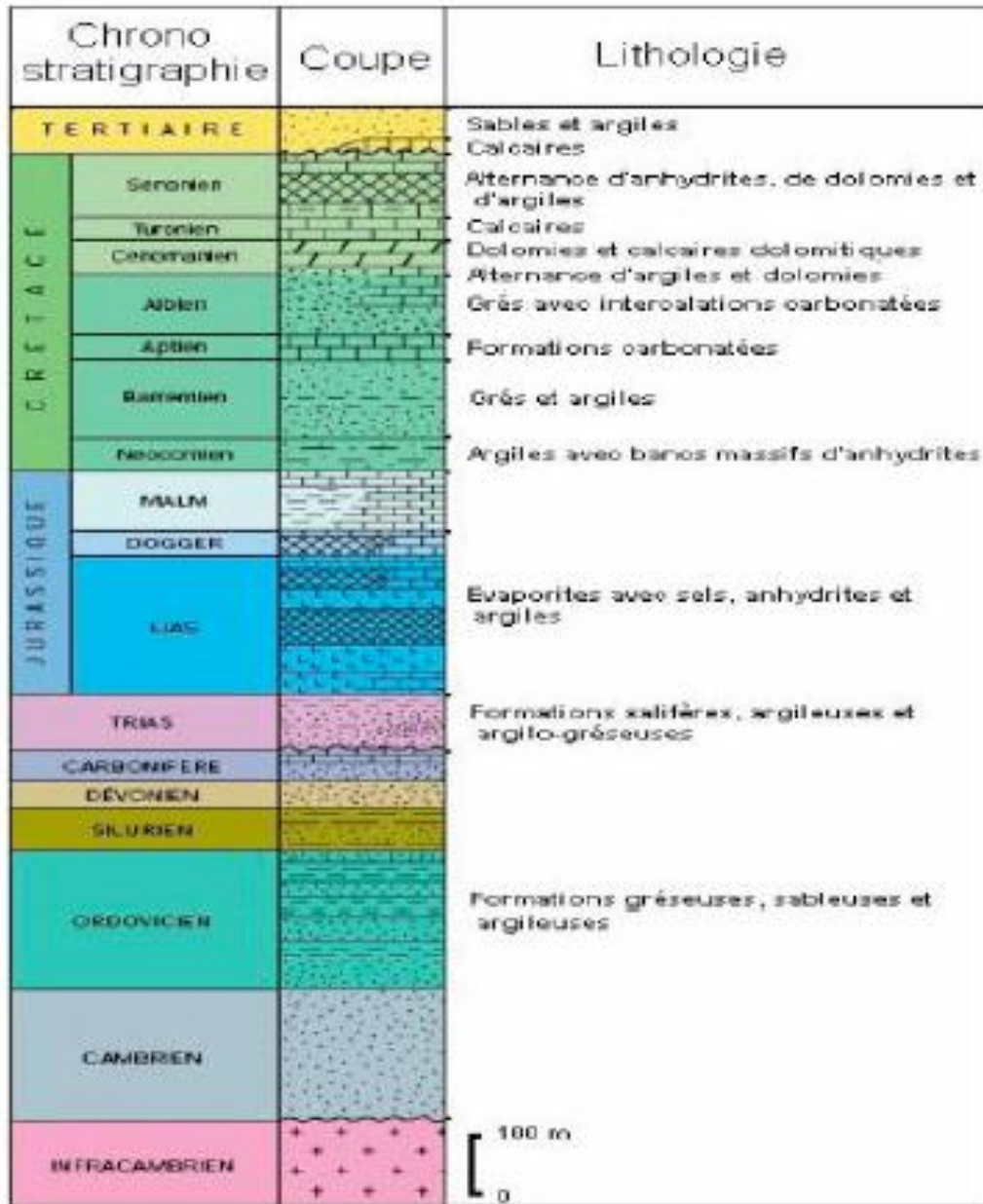


Fig.8: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-est Septentrional Source SONATRACH

I-2. Le Mésozoïque (Secondaire) :

I-2. A. Trias :

Busson (1970) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être : salifères, argileuses, argilo-gréseuses ou carbonatées. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180m). Elle diminue dans les zones de hauts-fonds (Hassi Messaoud et Rhourd El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (700m au N-E de Ghadamès), il atteint 1300m à Hassi Messaoud.

I-2. B. Jurassique :

- Le Jurassique inférieur et moyen (Lias – Dogger) :
comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argile auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et d'argiles avec des bancs d'anhydrites. Le Jurassique moyen est caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du grand erg Oriental et les dépôts y sont épais.

- Le Jurassique supérieur (Malm) :

Caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud. Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Busson, 1970).

I-2. C. Crétacé :

- Le Crétacé inférieur :

L'étude des données de sondage (Busson, 1967-1970) a permis de préciser la succession des paléogéographies au cours du Crétacé inférieur. Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

- Le Néocomien:

Comprenant dans le Bas-Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles ;

- Le Barrémien :

Caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien.

- L'Aptien :

Un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrites, d'argiles et de lignites (sédimentation lagunaire) ;

- L'Albien :

Caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre Aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens.

On remarque que le changement du régime sédimentaire et l'arrivée en masse de sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien et au cours de l'Albien (Fabre, 1976).

- Le Crétacé supérieur :

Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

- Le Cénomaniens: Formé par une alternance de bancs de dolomie, de calcaire dolomitique, d'argiles et d'évaporites (anhydrite ou sel). Son faciès varie :

- Au Sud de Ghardaïa, les argiles et les évaporites dominent.

- Au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomie sont majoritaires ;

De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50m dans le Tademaït à 350m dans le Bas-Sahara). La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuhe, 1969).

Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le Bas-Sahara, le Cénomaniens supérieur y est calcaire (Busson, 1970).

- Le Turonien se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux ;

- Entre El Goléa et Djamâa, il est essentiellement calcaire ;

- Au Nord de Djamâa, il est à nouveau calcaro-marneux. Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300m (Bel et Cuhe, 1969).

- Le Sénonien s'individualise en deux faciès :

- Le Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisée par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable (Busson, 1970) ;

- Le Sénonien supérieur à formation carbonatée perméable,

I-3. Le Cénozoïque (Tertiaire):

I-3. A. L'Eocène :

On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique :

- A la base : l'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrites. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500m, l'épaisseur maximum se situe dans la zone du Bas-Sahara.

- Au sommet : l'Eocène évaporitique formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marne. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (Bel et Cuhe, 1969). L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara Algérien (Busson, 1970).

I- 3. B. Le Mio-Plio-Quaternaire :

- Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse.

- Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio- Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts Algéro-Tunisien, quelques centaines de mètres.

- On y identifie, dans la région d'Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'Oued Rhir).

- L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des Chotts (Busson, 1970).

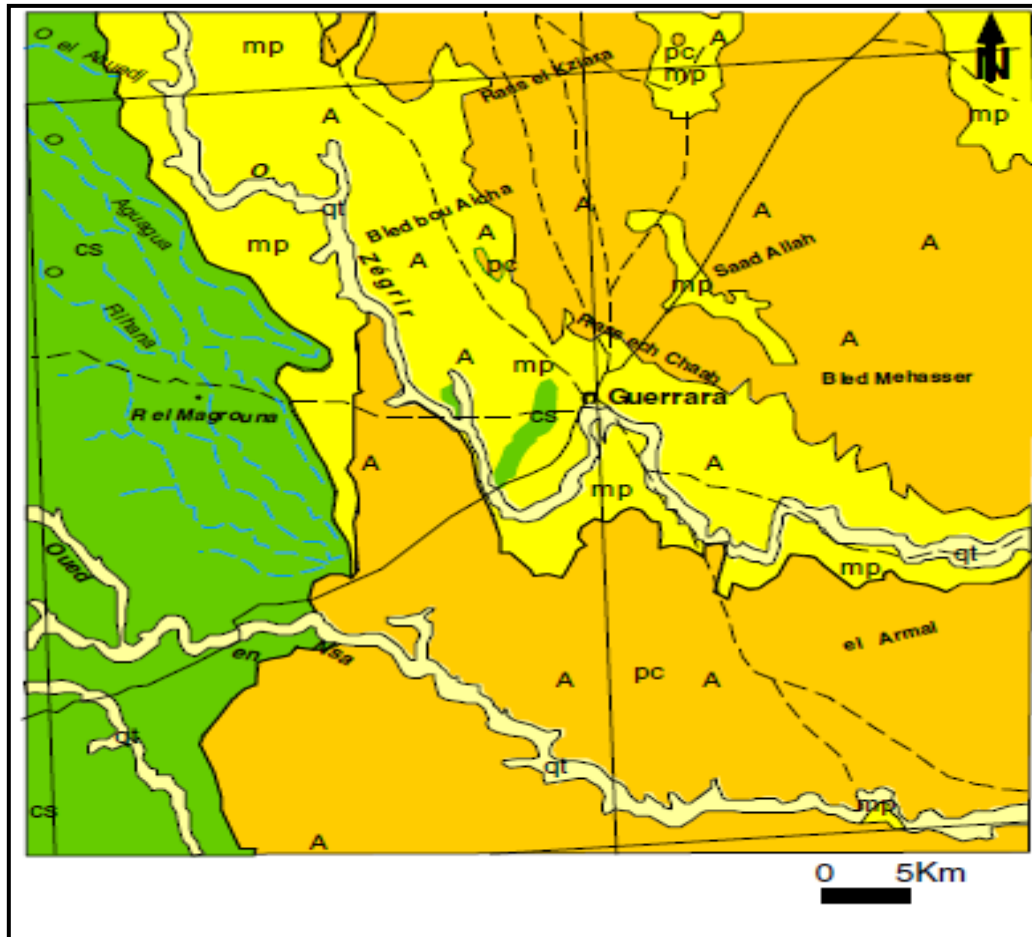
II- Cadre Géologique Local :

L'examen de la carte géologique de la région de Guerrara (figure***) met en évidence une double dalle de nature calcaro-dolomitique renfermant un contenu fossilifère composée essentiellement de coquilles marins, datée de Crétacé supérieur (CS). Cette formation occupe la zone de Bled Bouaicha au Nord-Ouest de Guerrara. La nature des sédiments observés correspond à une période de transgression marine qui a affectée le Sahara durant cette période.

Suit à l'intensité des agents érosif, la dépression de Guerrara a été creusée dans un dépôt de continental terminal daté de Pontien, le dépôt est connu sous le nom de mio-pliocène (MP). Ce sont des formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas saharien, et qui s'étendent largement au Sud, sont rattachées au Miocène supérieur et au Pliocène, sans que l'on puisse établir une discrimination exacte. Ce sont, en majeure partie, des produits d'altérations superficielles, rubéfiés (argile et terre argilo-sableuses plus ou moins mêlées de fragments anguleux) que l'on ne saurait assimiler à des galets fluviatiles.

Le pliocène continental (pc) constitue tout le reste des terrains tertiaires. Ce sont des dépôts lacustres à forts étendus, formés de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace

hamadienne plus moins continues, plus ou moins épaisse. D'une manière générale, cette formation calcaire avec des phénomènes superficiels de corrosion et de décalcification, s'étend principalement dans la région des Dayas (S.C.G, 1939). Enfin, le Quaternaire continental (qt) représenté par des formations sédimentaires, spécifiquement sahariennes. Ce sont des alluvions fluviales qui ne se trouvent pas exclusivement dans les vallées de ruissellement mais elles remplissent aussi de grandes aires déprimées dans les chaînes plissées de l'Atlas saharien



(S.C.G,1939).

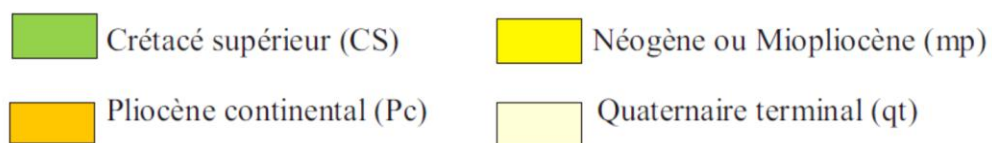


Fig.9: Carte géologique de la région de Guerrara (HADJ-SAID et al 2013)

Une coupe géologique synthétique qui présente les traits de la géologie locale de la région a été établie à partir de logs stratigraphiques de trois forages : foussaa 2, Guerrara 1, et Drine 4 (HEMIDI Lotfi, 2013).

L'observation de la coupe NE -SW nous montre la succession des étages, du bas en haut, on distingue :

L'Albien : est caractérisé par son importante épaisseur de presque 400m, il est formé essentiellement par des sables fins et rarement argileux

Le Cénomaniens : formé dans l'ensemble par des argiles gris à marron devient à la base sableux, son épaisseur est de l'ordre de 250m.

Le Turonien : formé essentiellement par des calcaires massifs parfois marneux, il représente une épaisseur moyenne de 100m.

Le Sénonien :

L'affleurement secondaire est représenté par le Crétacé supérieur qui occupe la zone de Bled Bouaicha au Nord-Ouest de Guerrara. Il apparaît comme deux fenêtres au Nord-Ouest de Guerrara

Le Sénonien (supérieur et inférieur) : formés de calcaire, dolomie, argile à anhydrite et à gypse et marne. L'épaisseur moyenne est de 300m.

L'Eocène :

C'est un dépôt carbonaté d'une épaisseur moyenne de 33m, il atteint une épaisseur de 57m vers le Sud, il est formé par des calcaires gris et des marnes.

Le Mio-pliocène, représente une épaisseur moyenne de 31 m qui diminue vers le Sud.

Il est formé de sable, argile, calcaires et parfois des grés.

Le Quaternaire : Ce sont des alluvions quaternaires fluviales .

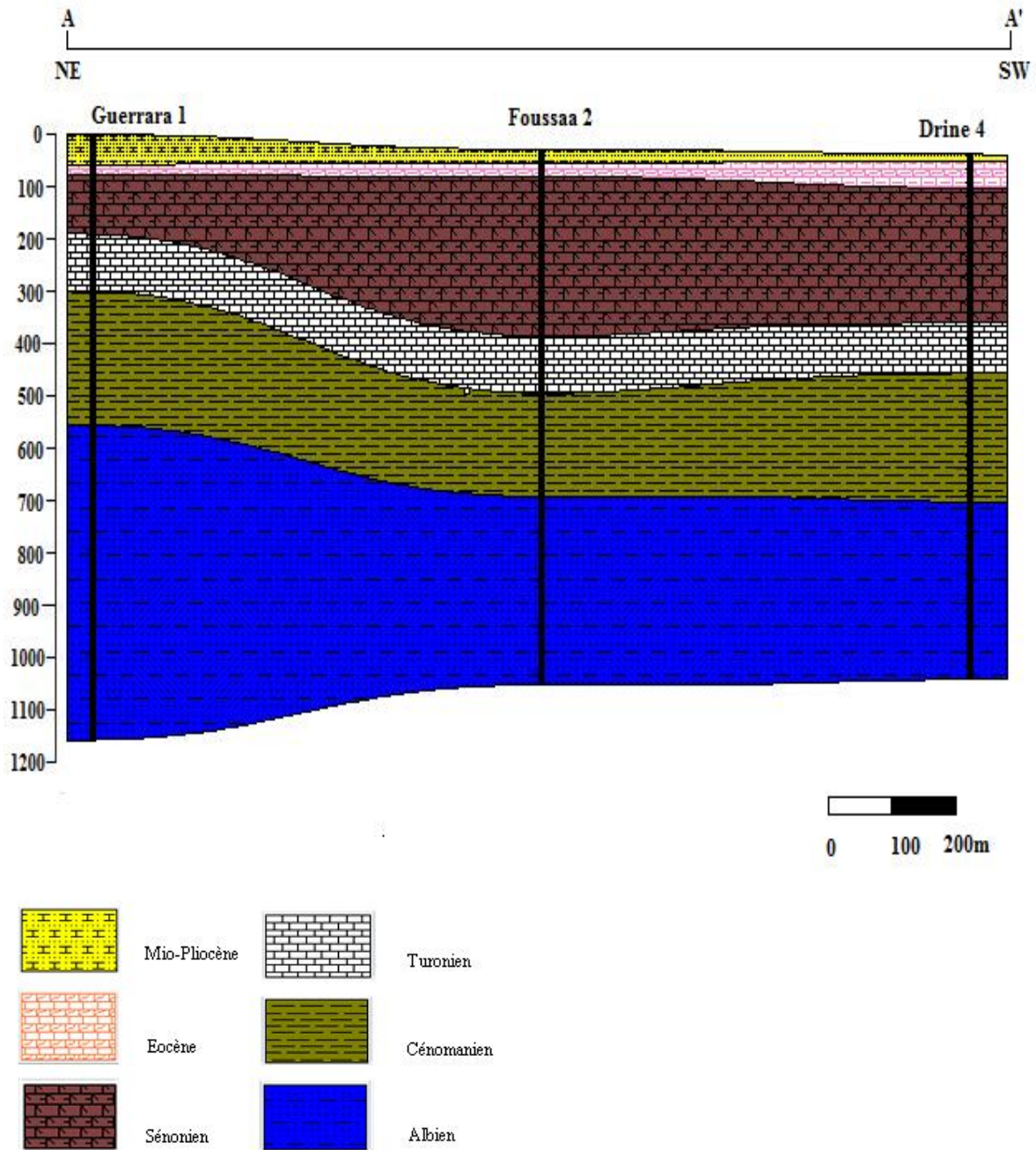


Fig.10 :Coupe géologique synthétique de la région de Guerrara (HEMIDI Lotfi, 2013)

III- CONCLUSION :

La région d'étude fait partie de la plate forme Saharienne, elle est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara.

L'étude géologique de la région met en évidence deux grands aquifères: le continental intercalaire dont le réservoir d'épaisseur importantes de 400m au forage Guerrara 1 est composé de grès et sables fin parfois argileux. Le deuxième aquifère, objet de notre étude, est le complexe terminal comportant plusieurs horizons aquifères de nature lithologique différente composé de sables rouges, de calcaires beiges rosâtres parfois friables et d'argiles rouges plus ou moins marneuses d'âge Mio-pliocène. Des formations calcaires avec présence d'argile d'âge Eocène. Le Sénonien de 150m d'épaisseur au forage de Laamied est de nature carbonatée composé en plus des calcaires, de marnes et de marnes argileuses surmontant des calcaires dolomitiques de couleur gris et beige parfois argileux et gypseux d'âge Turonien. Ces formations reposent sur le Cénomaniens d'environ 300m d'épaisseur au forage de Laamied .

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux.

III- Introduction :

La ressource en eau dans la région d'étude est d'origine souterraine. L'approvisionnement en eau se fait par l'exploitation des aquifères du continental intercalaire et du complexe terminale pour répondre aux besoins en eau. L'eau exploitée est destinée à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie. En plus des deux systèmes aquifères, le sous-sol de la région de Guerrara renferme une nappe alluviale dont la recharge se fait par les crues de l'oued Zegrir qui traverse l'oasis. Cette nappe est principalement utilisée pour l'irrigation.

L'objectif de notre travail est l'étude du Complexe terminal dans la région de Guerrara et pour cela nous avons commencé par un aperçu sur la ressource en eau à Guerrara, une description lithologique des aquifères et enfin un aperçu sur la dynamique des écoulements de la nappe du CT.

III.1- Hydrogéologie régionale :

La région de Guerrara fait partie du Sahara qui renferme un système d'aquifère important connu sous le nom du Système Aquifère du Sahara Septentrionale (SASS).

Ce système aquifère (SASS) s'étend sur un million de km² réparti entre trois pays : l'Algérie (700 000 km²), la Tunisie (80 000 km²) et la Libye (220 000 km²). Il s'étend du Nord depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et le rebord méridional du Tinrhert au Sud et à l'Ouest depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye à l'Est (fig.11).

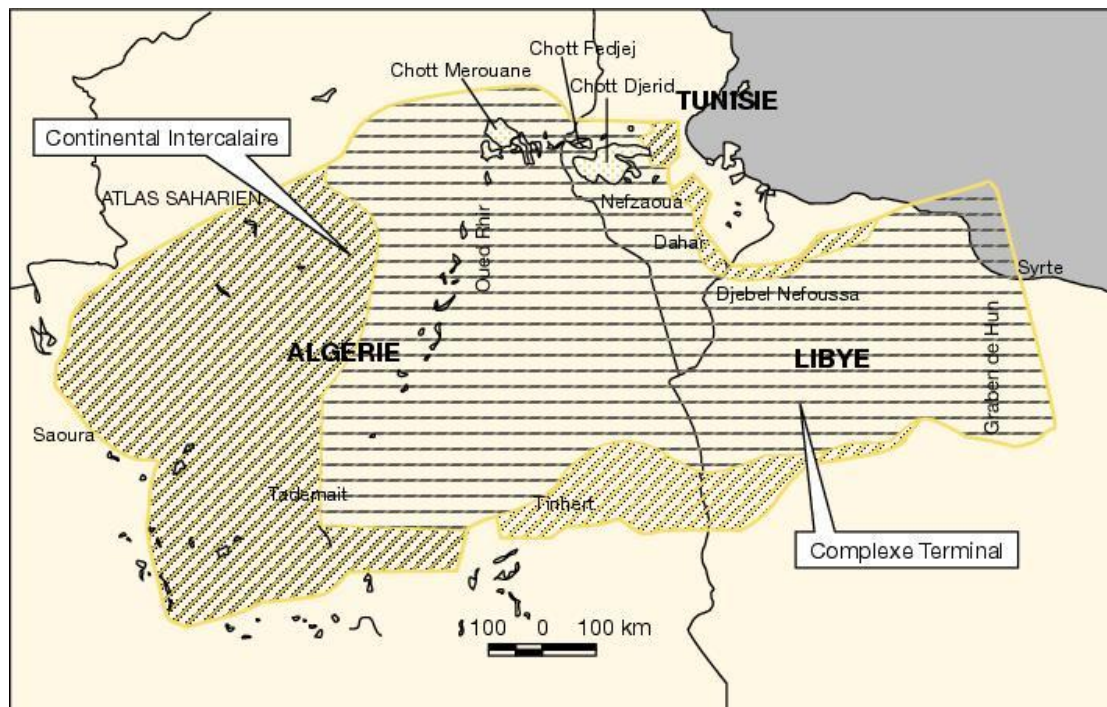


Fig.11 : Continental Intercalaire et Complexe Terminal (Jarraya Horriche. F et al, 2008)

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI) du Sahara septentrional.

III.1.1- Le Continental Intercalaire :

En hydrogéologie la nappe du Continental Intercalaire, plus souvent dite nappe 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 base est constituée de terrains primaires du Paléozoïque, très accidentée par l'orogénèse hercynienne. Le toit est formé le plus souvent par les dépôts du Crétacé supérieur à savoir le Cénomaniens argileux et le Turonien et parfois par les terrains tertiaires ou quaternaires.

Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz).

Le caractère particulier de ces grès est leur grande porosité qui est nettement plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Elle est évaluée au minimum à 10 %. Les ciments sont le plus souvent calcaires, ils sont parfois siliceux ou argileux. Les niveaux parfaitement cimentés sont rares et souvent liés aux affleurements. (OUALI. S, 2006)

La nappe du Continental Intercalaire est une nappe fossile c'est-à-dire qu'elle est faiblement alimentée par rapport à son volume. Les conditions d'alimentation restent toujours mal connues vu son extension importante et l'accès difficile dans certaines régions. La recharge actuelle de la nappe du Continental Intercalaire s'effectue principalement par infiltration des eaux de ruissellement des oueds qui descendent des massifs montagneux de l'Atlas saharien au Nord, des monts du Dahar à l'Est de la Tunisie et des Oueds de l'extrémité occidentale du Tademaït. Pendant les années exceptionnellement humides, une alimentation faible s'effectue directement par infiltration des précipitations sur les zones d'affleurement du réservoir et dans le grand Erg occidental. En 1961 A. Cornet estimait cette alimentation à 25 m³/s.

La continuité des formations perméables du Crétacé inférieur a permis le transport et la régularisation des eaux infiltrées des régions hautes vers les régions basses.

L'écoulement des eaux provenant de l'Atlas saharien se divise selon deux principales directions d'écoulements :

- Une partie s'écoule vers le Sud et le Sud-Ouest vers les exutoires qui jalonnent les régions du Touat-Gourara et du Tidikelt et vers les zones évaporatoires du grand Erg occidental.

- Une autre partie s'écoule vers le Nord-Est (Zone côtière tunisienne) par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine (OUALI. S, 2006).

III.1.2. Le Complexe Terminal :

La nappe du Complexe Terminal est contenue dans les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire. Elle s'étend en Algérie sur un vaste territoire allant jusqu'à la dorsale du M'Zab à l'Ouest et du Nord depuis l'Atlas Saharien jusqu'à la hamada du Tinhert au Sud.

Le Complexe Terminal est formé par un ensemble de couches carbonatées et sableuses. Il est essentiellement constitué par le Sénonien supérieur carbonaté surtout le Maestrichtien, l'Eocène inférieur carbonaté et le Mio- Pliocène sableux.

Dans le bassin occidental, la nappe du Complexe Terminal est en relation sous une grande partie de l'Erg occidental avec celle du Continental Intercalaire .

Dans le bassin oriental par contre, les deux systèmes aquifères sont séparés.

En ce qui concerne la recharge de l'aquifère, le taux d'alimentation le plus important du réservoir s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Actuellement la recharge de la nappe continue à travers des quantités d'eaux non négligeables :

- Soit par infiltration du ruissellement des Oueds descendant des massifs montagneux en période des crues. Ces derniers traversent les formations perméables qui affleurent, notamment au pied de l'atlas saharien, du M'Zab et du Dahar.

- Soit par infiltrations des pluies exceptionnelles dans les sables du grand Erg oriental reposant en partie sur des horizons perméables du Complexe Terminal.

La nappe du Complexe Terminal s'étend sur une superficie de 350 000 km², la profondeur de la nappe est relativement faible par rapport à celle du continental intercalaire allant de 100 à 400 mètres. Elle est artésienne dans la plus grande partie de son étendue, surtout au centre du bassin et libre sur les bordures.

III.1.3- La nappe alluviale :

Les systèmes alluviaux sont une partie de l'hydro système fluvial, défini comme un ensemble fonctionnel en interaction avec un cours d'eau, grâce à des flux de matières (eau, solutés, charge solide), d'organismes et d'énergies (AMOROS et PETTS, 1993).

La nappe alluviale de Guerrara circule à travers les alluvions de l'oued Zegrir, et se trouve à une faible profondeur, ce qui facilite son exploitation par des puits, Cette est utilisée en agriculture.

L'alimentation de la nappes alluviale se fait par les crues de l'oued Zegrir qui traverse la palmeraie.

III.2- Le complexe terminal à Guerrara:

Le Complexe Terminal présente des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des horizons détritiques du Tertiaire, essentiellement du Miocène. Dans la région de Guerrara, il est caractérisé par les aquifères suivants :

L'aquifère du Mio-Pliocène et de l'Eocène constitué de formations sableuses d'âge Mio-Pliocène d'une épaisseur moyenne de 125 m et de formations calcaire blanc fin moyen éocène avec une épaisseur de 100 m. L'épaisseur totale de l'aquifère est de 225 m avec un niveau statique estimé à 123 m du sol.

L'aquifère du Sénonien carbonaté est formé de calcaire microcristallin au sommet et de dolomie beige à la base. Son épaisseur moyenne est de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m. L'aquifère est en continuité hydraulique avec les nappes du Mio-Pliocène et de l'Eocène, l'ensemble de ces trois horizons aquifères peut être exploité jusqu'à une profondeur de 430 m environ.

Dans la partie Ouest de la région de Guerrara les dépôts du Mio-Pliocène sont réduits et reposent directement sur le Sénonien carbonaté. De ce fait seul la nappe contenue dans les calcaires du Sénonien peut constituer un aquifère exploitable.

L'aquifère du Turonien carbonaté d'une épaisseur de 74 m est constituée de dolomie beige cryptocristalline compacte, dure avec intercalation de calcaire tendre. Il peut être capté à une profondeur de 500 m environ dans la partie Ouest de la région de Guerrara.

III.2.1-La piézométrie du complexe terminal à Guerrara :

L'étude de la piézométrie est très importante dans notre travail, elle permet de déterminer le niveau de la nappe et de connaître le sens de l'écoulement de l'eau souterraine.

La piézométrie d'une nappe est la mesure de son état de charge. Les données de mesure du niveau de la nappe nous permettent l'établissement de la carte piézométrique qui mettra en évidence les écoulements de la nappe.

A l'aide des données existantes, on détermine le niveau piézométrique d'un point d'eau comme suit :

$$NP = Z - NS$$

Avec :

NP : niveau piézométrique (m).

Z : Altitude ou côte topographique de point d'eau par rapport à la mer (m).

NS : côte de plans d'eau par rapport à la margelle (m).

Dans le but de définir le sens de l'écoulement des eaux souterraines de l'aquifère du Sénonien, une carte piézométrique a été réalisée à partir des données de mesure effectuées par l'A.N.R.H de Ouargla au niveau des forages (années 2011). La carte a été établie par le logiciel Surfer (v12).

La carte piézométrique réalisée (fig.12) met en évidence une zone d'écoulement convergeant vers le forage F2 à l'Ouest. Le gradient hydraulique est faible de l'ordre de 0.03

Dans la partie Est, l'écoulement est divergeant avec un gradient hydraulique fort de l'ordre de 0.11 au centre et de 0.21 au Sud-Est

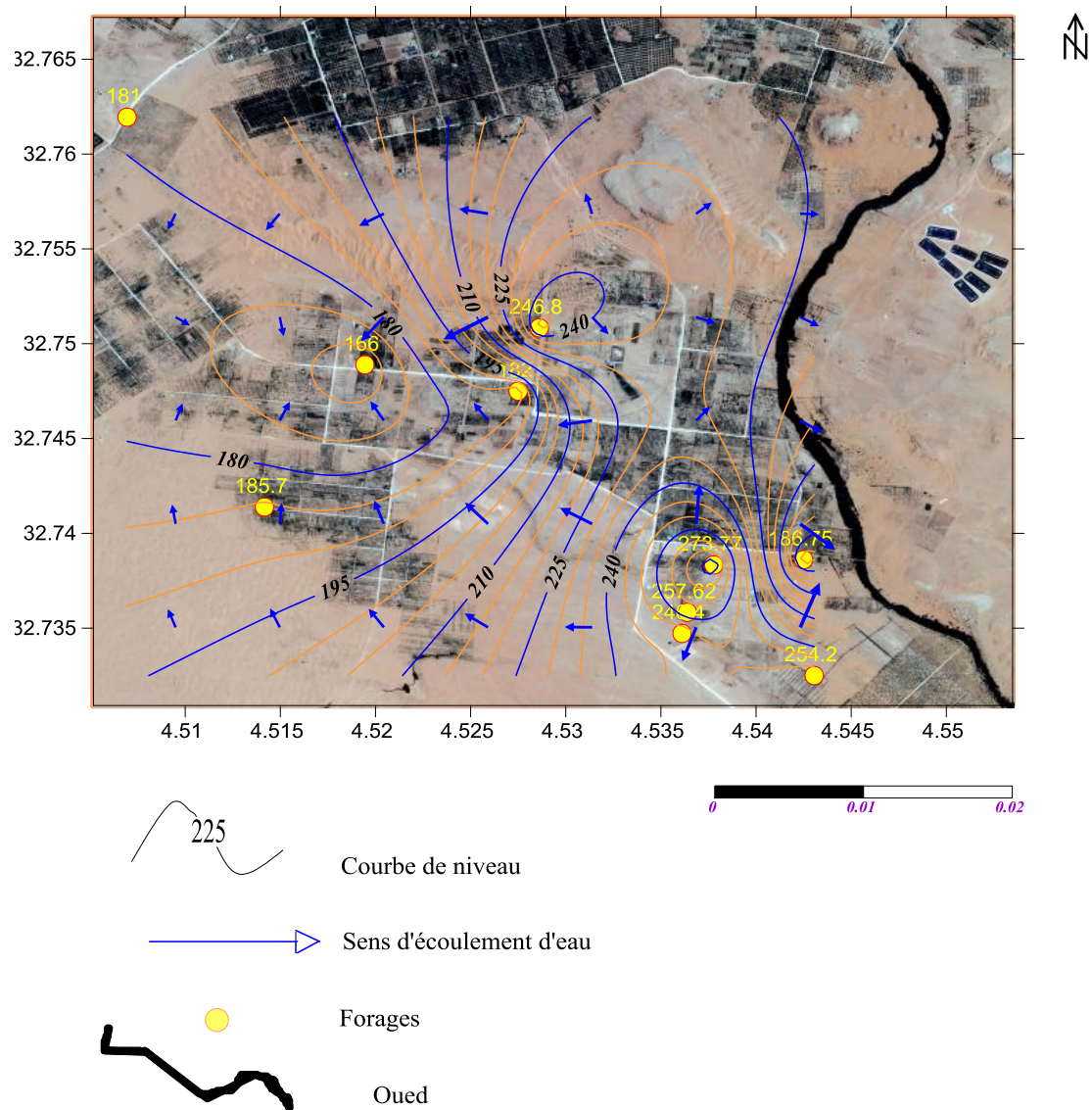


Fig.12 :Carte piézométrique de l'aquifère du CT de Guerrara (campagne 2011).

III.3- Conclusion :

La région de Guerrara fait partie du Sahara septentrionale, la ressource en eau dans la région est principalement souterraine. Le sous-sol renferme deux aquifères importants: le continental intercalaire et le complexe terminal.

La nappe du Continental Intercalaire est contenue dans les formations détritiques du Crétacé. C'est une nappe dont la recharge est très faible en considérant son importante extension.

Le Complexe Terminal présente des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des horizons détritiques du Tertiaire. Il représente trois aquifères :

- L'aquifère du Mio-Pliocène et Eocène constitué de formations sableuses d'âge Mio-Pliocène et de formations carbonatées de l'Eocène
- L'aquifère du Sénonien carbonaté est formé de calcaire microcristallin au sommet et de dolomie beige à la base.
- L'aquifère du Turonien carbonaté est constituée de dolomie beige cryptocristalline compacte, dure avec intercalation de calcaire tendre.

La carte piézométrique réalisée (fig.12) met en évidence une zone d'écoulement convergeant vers le forage F2 à l'Ouest. Le gradient hydraulique est faible de l'ordre de 0.03

Dans la partie Est, l'écoulement est divergeant avec un gradient hydraulique fort de l'ordre de 0.11 au centre et de 0.21 au Sud-Est

IV- Introduction :

Les eaux souterraines sont des ressources naturelles qui font partie d'un cycle global, actif en permanence et qui est représenté par les eaux à la surface du globe et celle de l'atmosphère, en trois phases ; solide, liquide et gazeuse (BANTON et BANGOY, 1999).

En effet, l'eau est l'aspect précieux irremplaçable des ressources naturelles, qui sans elle, la vie et l'activité humaine serait impossible.

Le but de ce chapitre est de déterminer les caractéristiques chimiques et par la même occasion le faciès chimique de la nappe du CT, d'apprécier sa qualité tant pour la potabilité que pour l'irrigation

IV.1- Matériels et méthodes :

IV.1.1- Echantillonnage :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification de ses caractéristiques physico-chimique, raison pour laquelle le préleveur doit avoir une connaissance précise des conditions du prélèvement très importantes pour la qualité des résultats des analyses.

Pour l'étude hydrochimique de la nappe du Sénonien, une campagne de terrain a été réalisée le 09/09/2015. Au cours de cette campagne, 14 forages bien répartis sur le terrain ont été choisis (fig.) et dont les coordonnées ont été déterminées à l'aide d'un GPS . Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, préalablement rincés avec de l'eau de la nappe, puis bouchonnés.

IV.1.2. Les méthodes d'analyses:

Dans le but d'acquiescer les méthodes d'analyses de l'eau et avoir des données à interpréter pour finaliser mon projet de fin d'étude, j'ai effectué un stage pratique au niveau du laboratoire central de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H) d'ADRAR.

Au cours de ce stage, j'ai fait les analyses de 14 échantillons d'eau prélevés de la nappe du Sénonien de la région de Guerrara.

Le dosage des différents ions a été fait par plusieurs méthodes d'analyses:

- Les chlorures (Cl^-), les bicarbonates (HCO_3^-) et le calcium (Ca^{2+}) ont été dosés par titrimétrie

- La dureté totale (TH) a été déterminée par complexométrie.
- Les ions sulfates (SO_4^{2-}) ont été dosés par précipitation et peser à l'état de sulfate de baryum, en présence de chlorure de baryum BaCl_2 ,
- Les nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+) et orthophosphates (PO_4^{3-}) par spectrophotométrie
- Le sodium (Na^+), et le potassium (K^+) par photométrie de flamme.

IV.1.2- Les méthodes d'interprétation:

Dans cette étude pour l'interprétation des résultats d'analyses, nous avons fait recours aux méthodes suivantes :

- Représentations graphiques de l'évolution des paramètres physicochimiques de la nappe.
- Cartographie de l'évolution des paramètres : conductivité électrique, teneur en chlorure et teneur en nitrates par l'emploi du logiciel Surfer v 12
- Détermination du faciès chimique de la nappe par les diagrammes de Piper et de Scholler en utilisant le logiciel Diagramme v 5.1
- Enfin, étude de la qualité de la nappe à l'alimentation par la comparaison des résultats avec les normes de l'OMS et son aptitude à l'irrigation par l'application de la méthode de Richards en utilisant le logiciel Diagramme v 5.1

IV.2- Résultats et discussions:

IV.2.1-Etude des paramètres physico-chimiques des eaux :

IV.2.1.1- La température (T):

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol.

Elle 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 de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air.

La température de la nappe du Sénonien dans la région de Guerrara varie entre 22,9 et 24°C .

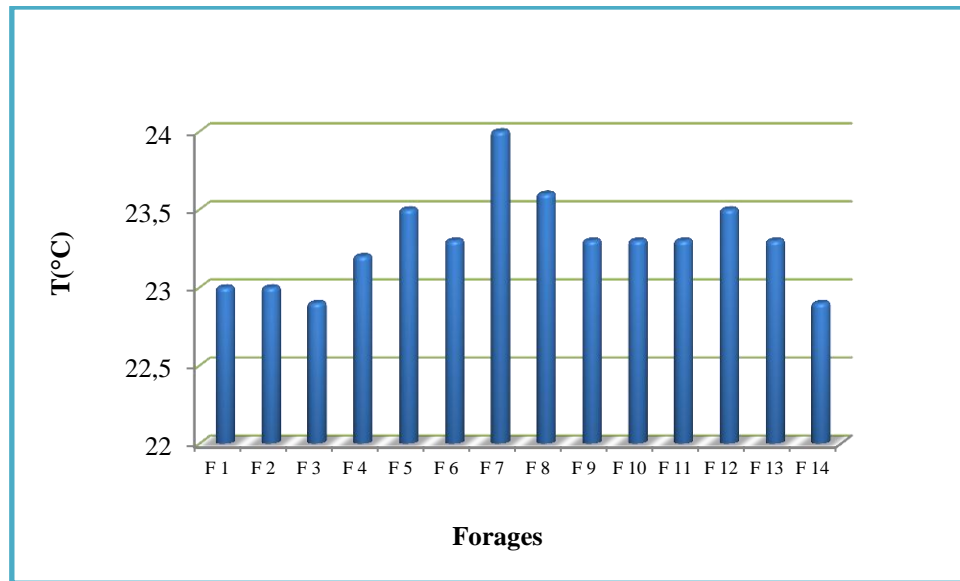


Fig.13 : Variation de la température de la nappe du CT
(campagne de Septembre 2015)

IV.2.1.2- Le Potentiel hydrogène (pH) :

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H^+ .

Le pH se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, le 7 constitue la neutralité du milieu . Le pH est indissociable de la température, de l'oxygène dissous, de la minéralisation totale. La mesure du pH se fait par à un pH-mètre ou un comparateur colorimétrique approprié tout a fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et de l'ion d'hydroxyde.

La mesure du pH de la nappe donne des valeurs presque neutres qui varient de 7,4 au forage F1 à 7,96 au niveau du forage F5.

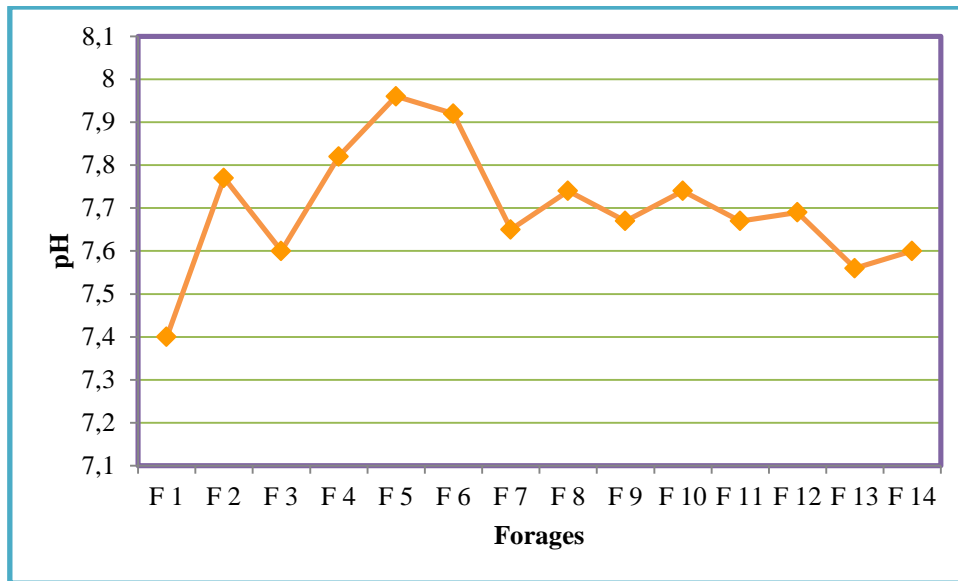


Fig.14 : Variation du potentiel hydrogène (pH) de la nappe du CT
(campagne de Septembre 2015)

IV.2.1.3- La Conductivité (CE):

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m). $1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m}$. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

Dans le cas d'un contrôle de distribution d'eau potable, l'intérêt de cette méthode ne réside pas dans une seule mesure mais dans une série de déterminations ou d'enregistrements en continu qui permettront de déceler les variations de composition pouvant signaler des arrivées d'eau susceptibles d'être polluées.

La conductivité électrique de l'eau de l'aquifère sénonien échantillonnés est variable d'un forage à un autre. Elle varie de $1410 \mu\text{S/cm}$ au forage F4 à $5450 \mu\text{S/cm}$ au forage F13.

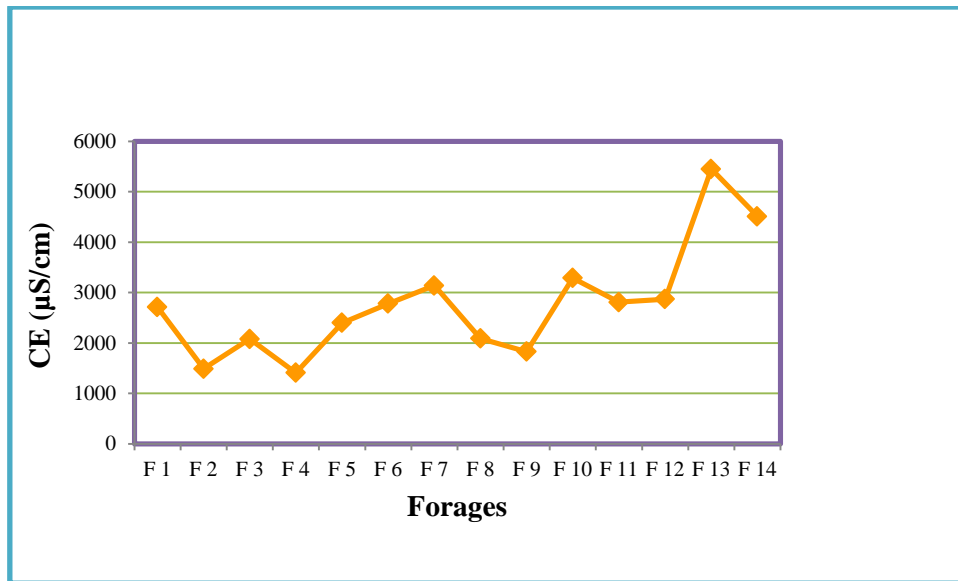


Fig.15 : Variation de la conductivité électrique de la nappe du CT
(campagne de Septembre 2015)

IV.2.1.4- La dureté :

La potabilité d'une eau peut être également évaluée par la dureté ou le titre hydrotimétrique (D.H.T) qui correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium, il est exprimé en degré français et peut être calculé par la formule suivante:

$$D.H.T = (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \times 5 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

rCa^{2+} , rMg^{2+} : désignent respectivement les quantités en réaction de calcium et de magnésium en méq/l

Tableau 6: Potabilité en fonction de la dureté (OMS, 1994)

TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	> 54
Dureté de l'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très Dure

La dureté totale calculée pour la nappe du CT de Guerrara varie entre 28.04°F et 166.17°F, ce qui montre que l'eau est dans l'ensemble dure à très dure.

IV.2. 2- Etude des paramètres chimiques :

IV.2. 2.1. Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures,...

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO_3), dolomie [$\text{Ca}, \text{Mg}(\text{CO}_3)_2$] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [$\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$] et anhydrite (CaSO_4).

Les résultats des analyses montrent que les concentrations en Ca^{2+} varient de 82mg/l au forage F5 à 313mg/l au forage F14(fig.16).

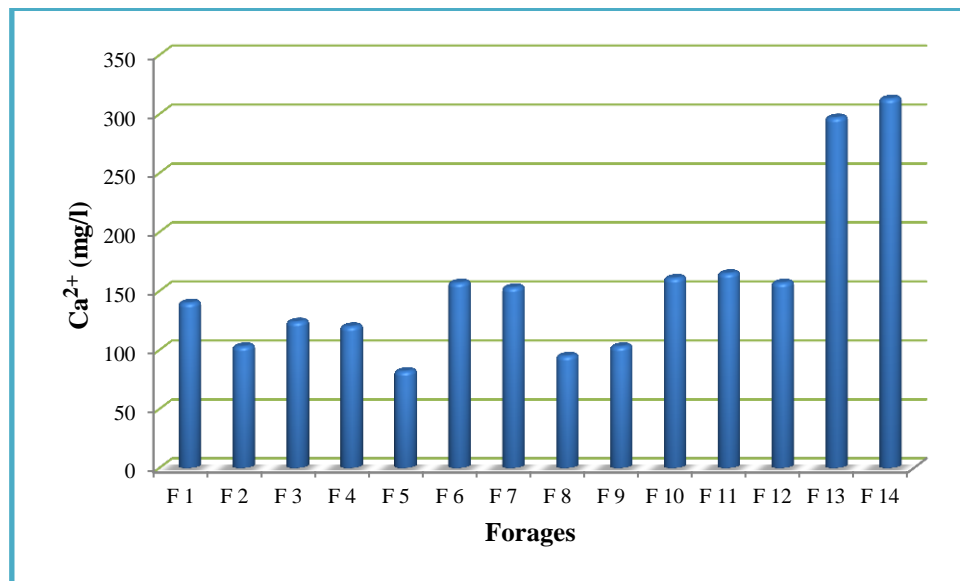


Fig.16 : Variation des concentrations en calcium (Ca^{2+}) de la nappe du CT (campagne de Septembre 2015)

IV.2. 2.2. Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est un élément très abondant, il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$), la kiesérite ($\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$), et carbonatés, la dolomie [$\text{Ca}, \text{Mg}(\text{CO}_3)_2$].

Les teneurs en magnésium de la nappe du CT dans la région varient de 46 mg/l au F4 à 214 mg/l au F 13(Fig. 17).

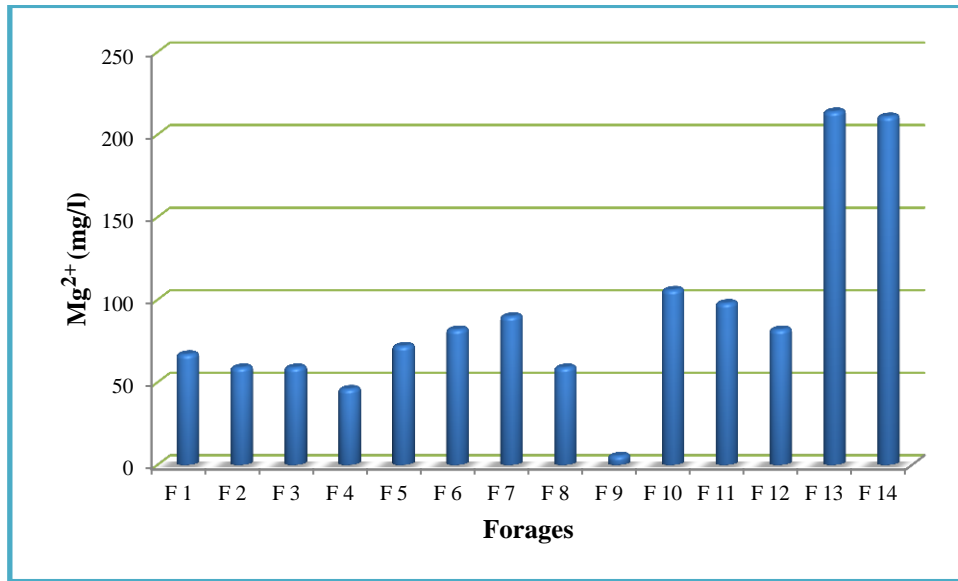


Fig.17 : Variation des concentrations en magnésium (Mg²⁺) de la nappe du CT
(campagne de Septembre 2015)

IV.2. 2. 3.Sodium (Na⁺) :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles tel que l'halite (NaCl). Les teneurs de la nappe en Na⁺ varient de 100 mg /l au forage F4 à 500 mg/l au forage F13(fig.18).

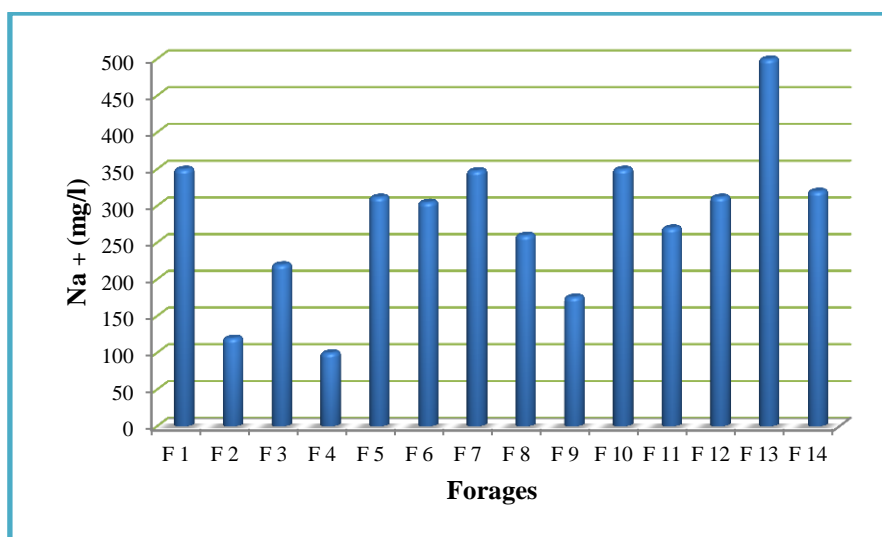


Fig.18 : Variation des concentrations en sodium (Na⁺) dans la nappe du CT (campagne Septembre 2015)

IV.2. 2.4. Potassium (K^+) :

Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), et carnallite. Dans la région d'étude, les concentrations obtenues en cet ion varient de 4,4 mg/l au F2 à 31 mg/l au F10 (fig.19).

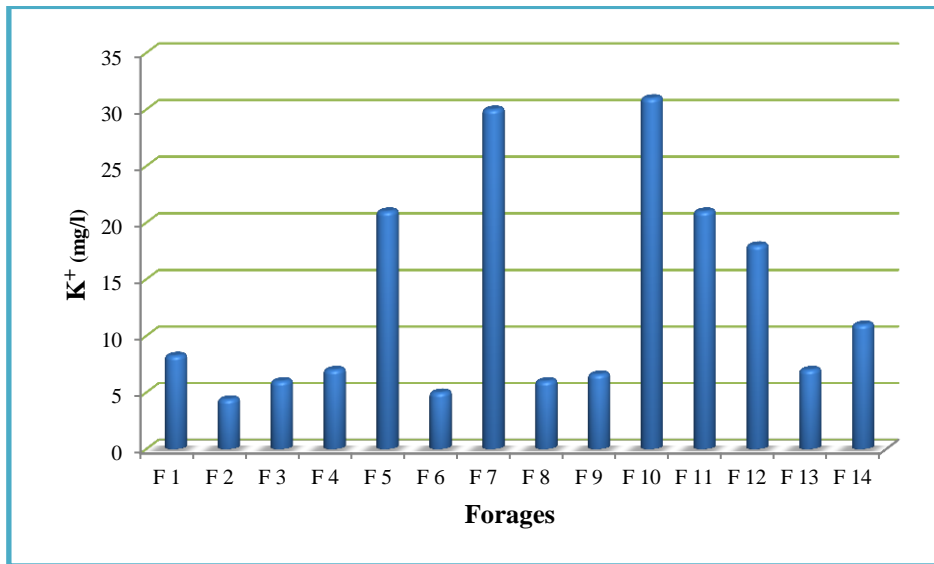


Fig.19 : Variation des concentrations en potassium (K^+) dans la nappe du CT (campagne Septembre 2015)

IV.2. 2.5. Chlorures (Cl^-) :

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl).

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/L, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1000 mg/L.

Le grand inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils transmettent à l'eau à partir de 250 mg/l, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.

Dans la région d'étude, les teneurs en chlorures de la nappe du CT varient de 155 mg/l au forage F4 à 740 mg/l au forage F13(fig.20).

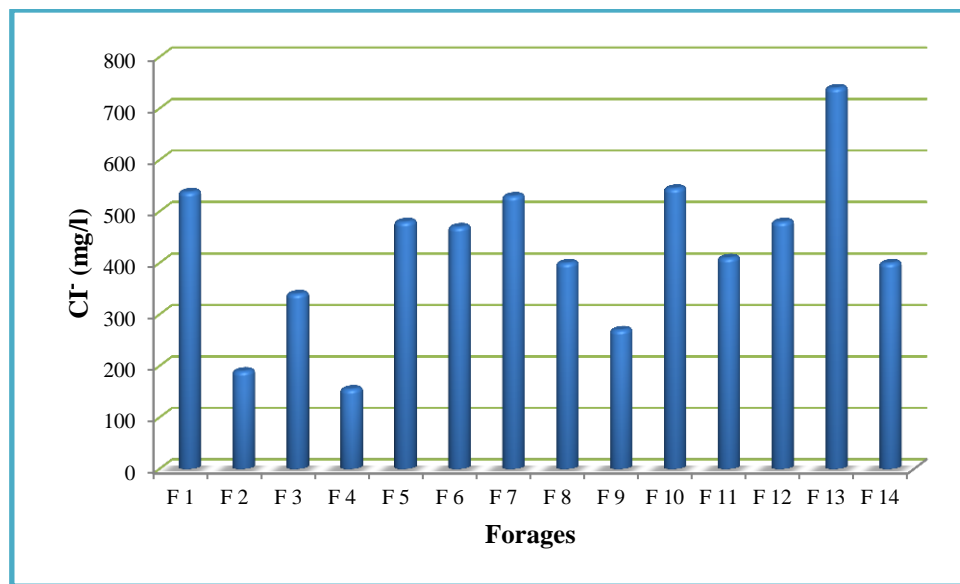


Fig.20 : Variation des concentrations en chlorures (Cl⁻) dans la nappe du CT (campagne de Septembre 2015).

IV.2. 2.6. Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son l'infiltration dans le sous sol.

Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varient de 76mg/l au forage F13 à 223 mg/l au F9 (Fig.21).

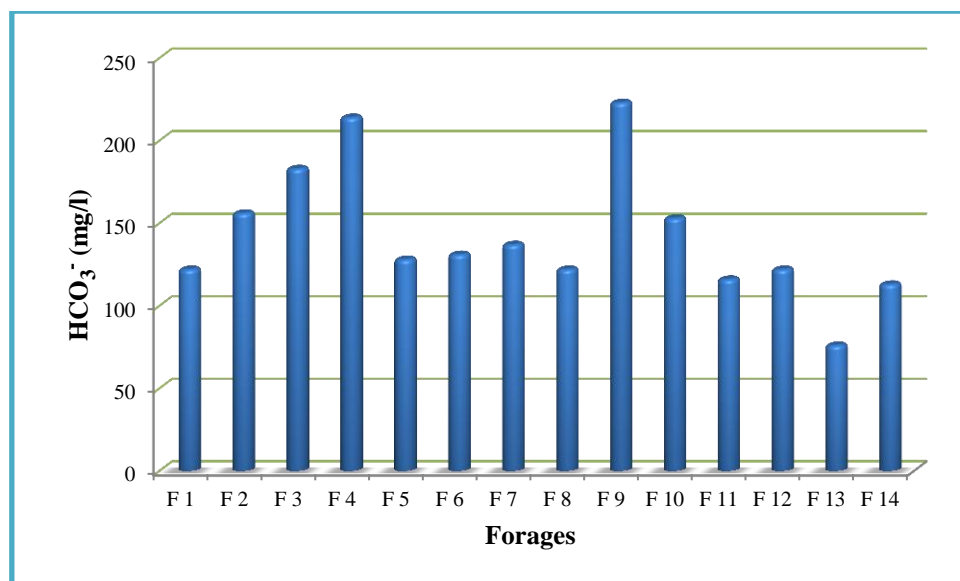


Fig.21 : Variation des concentrations en bicarbonate (HCO₃⁻) dans la nappe du CT (campagne de Septembre 2015).

IV.2. 2. 7. Les Sulfates (SO_4^{2-}) :

La concentration en ion Sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 100 à 200 mg/l, mais ce chiffre peut être largement dépassé (jusqu'à 1000 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. Les normes fixent 400mg/l comme niveau guide. La teneurs en ions sulfates dans la nappe du CT dans la région de Guerrara sont très élevées, elles varient de 255 mg/l au forage F4 à 1500 mg/l aux forages F13 et F14 (fig.22).

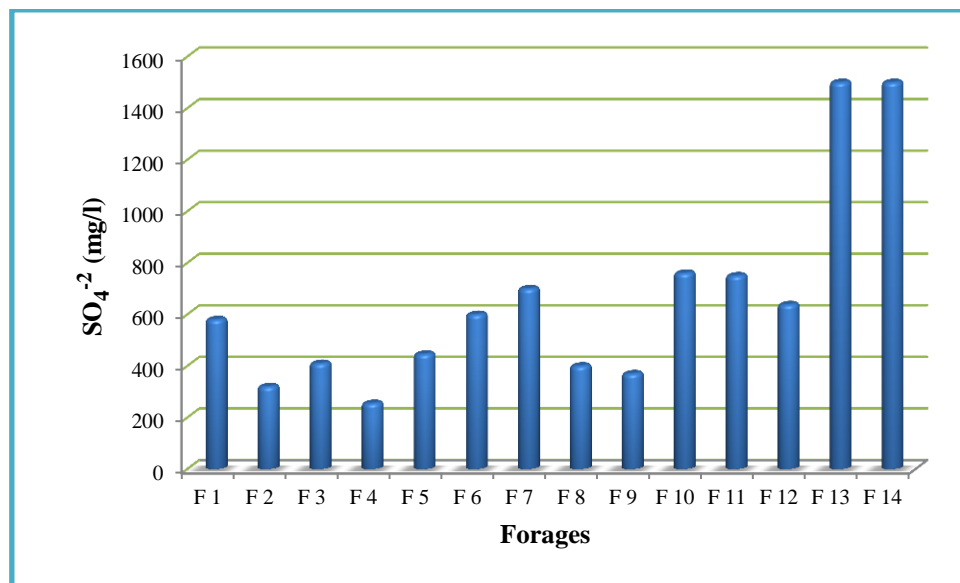


Fig.22 : Variation des concentrations en sulfates (SO_4^{2-}) dans la nappe du CT (campagne de Septembre 2015)

IV.2.3- Les éléments indésirables ou de pollution :

IV.2.3.1. L'Ammonium (NH_4^+):

L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle, les teneurs en (NH_4^+) de la nappe du CT sont inférieures à 0.1mg/l, sauf F6 qui montre une valeur très élevée 1,24 (mg/l).

IV.2.3.2. Les Nitrates (NO_3^-):

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation (Jacques.B, 2008), l'origine artificielle des nitrates sont les contaminations par des engrais et les rejets domestiques.

Les résultats des analyses des nitrates dans la nappe du CT montrent une variabilité importante des concentrations en cet ion d'un forage à l'autre. Elles sont faibles de l'ordre de 4,58 mg/l au forage F5 atteignant à 60 mg/l aux forages F4,F9 et F13

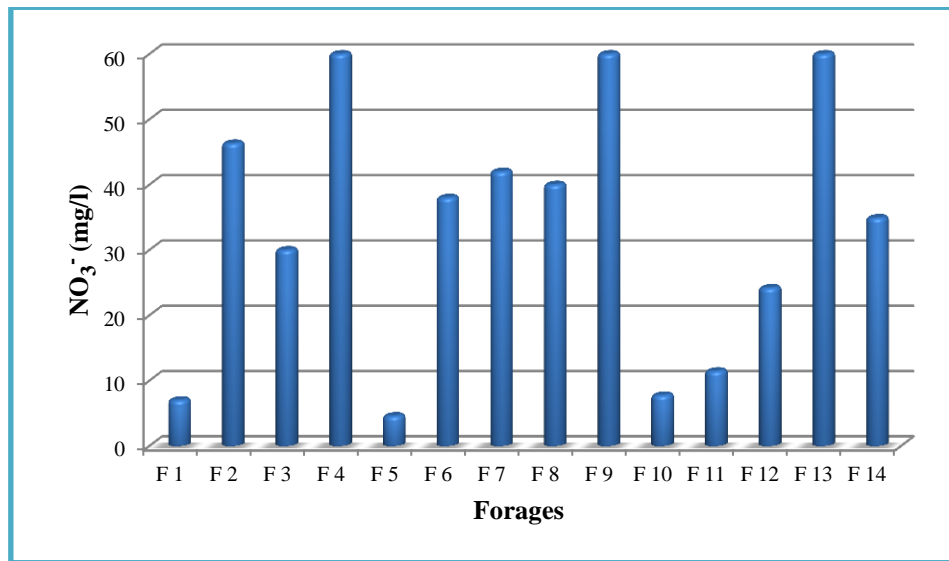


Fig.23: Variation des concentrations en nitrates (NO₃⁻) dans la nappe du CT (campagne de Septembre 2015)

IV.2.3.3. Les Nitrites (NO₂⁻) :

Les nitrites représentent la forme de passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique. Dans l'ensemble, les teneurs en nitrites sont inférieures à 0.1 mg/l.

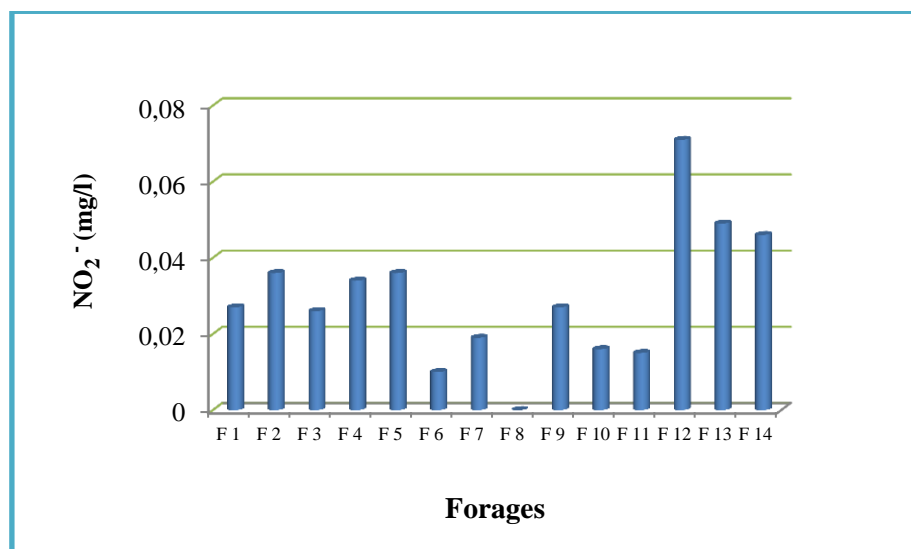


Fig.24 : Variation des concentrations en nitrites (NO₂⁻) dans la nappe du CT (campagne de Septembre 2015)

IV.2.3.4. Le Fluor (F⁻) :

Le fluor est un métalloïde de la famille des halogènes. Il est le plus électronégatif de cette famille, ce qui lui confère une réactivité chimique telle qu'on ne le rencontre jamais à l'état libre dans la nature mais sous la forme d'ions fluorures.

Le fluor est nécessaire et bénéfique pour l'organisme humain à de faible concentration, mais toxique à plus fortes doses. En effet, à partir de 0,5 mg/l en ions fluorures, une eau joue un rôle prophylactique, mais dès 0,8 mg/l, le risque de fluorose débute et devient fort au dessus de 1,5 mg/l. La norme admise varie dans un domaine de concentration de 0,7 à 1,5 mg/l pour des températures de 12 à 25 °C.

Les teneurs en fluor dans la nappe du CT dépassent 0,8 mg/l pour la pluparts des forages. Elles atteignent 1,7mg/l au niveau du F14.

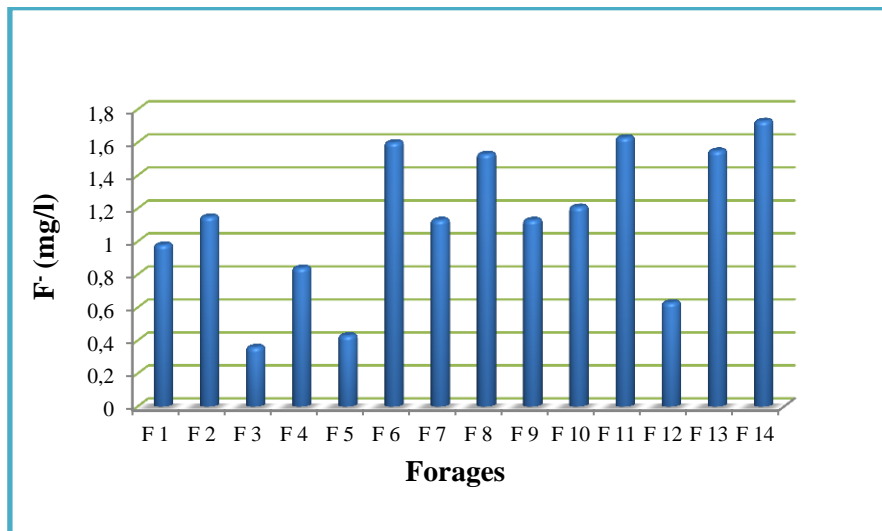


Fig.25: Variation des concentrations en fluor (F⁻) dans la nappe du CT (campagne de Septembre 2015)

IV.2.3.5. Les orthophosphates (PO₄³⁻) :

L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques. Dans la nappe du CT, les concentrations en orthophosphates varient de 0 mg/l aux pluparts des forages à 0,152 mg/l au forage F7.

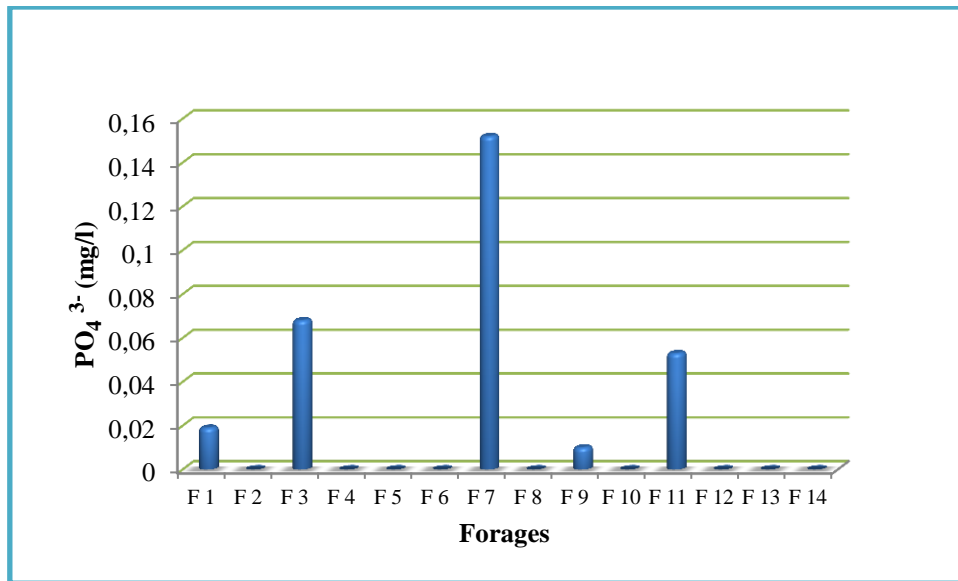


Fig.26 : Variation des phosphates (PO_4^{3-}) dans la nappe du CT
(campagne de Septembre 2015)

IV.3- Détermination des principaux faciès chimiques :

Les faciès hydrochimiques, sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l), et en tenant compte de la classification des ions.

IV.3.1- Représentation graphique des faciès chimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours à :

- La classification du Piper
- La classification du Stabler

IV.3.1.1- Classification de PIPER :

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de PIPER est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la

minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

Les ions sont représentés en pourcentage par rapport à la somme des ions de même signe où :

- pour les cations : $r^+ \% = r \text{ (m\acute{e}q/l)} \cdot 100 / \sum r^+ \text{ (m\acute{e}q/l)}$

- pour les anions : $r^- \% = r \text{ (m\acute{e}q/l)} \cdot 100 / \sum r^- \text{ (m\acute{e}q/l)}$

Les résultats d'analyses des eaux de la nappe du CT dans la région de Guerrara permettent de distinguer deux familles d'eau:

- Un faciès chloruré sodique et sulfaté sodique
- Un faciès sulfaté calcique et magnésienne

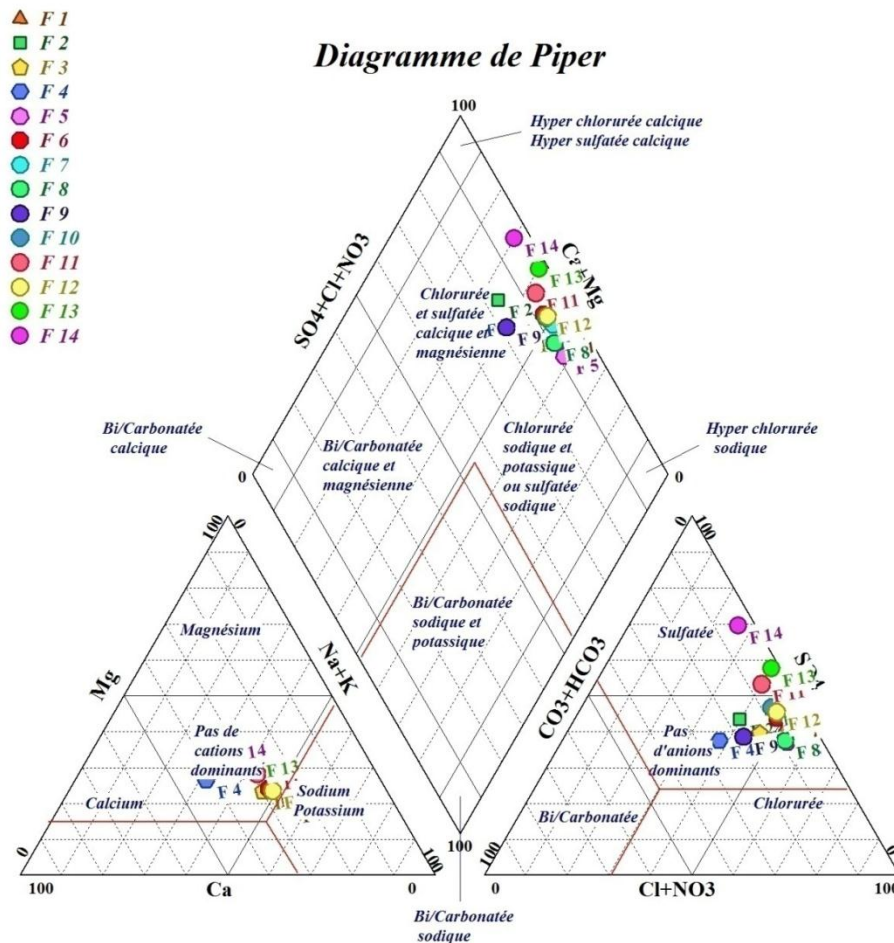


Fig.27 : Représentation des analyses chimiques de la nappe du CT de la région de Guerrara sur le diagramme de PIPER.

IV.3.1.2-La classification du STABLER :

Dans cette classification les concentrations exprimé en me/l sont réduites en réaction pourcent (r%) par rapport à la concentration totale : $r \% = r \times 100/Ct$

D’après la classification de STABLER les eaux du CT de Guerrara présentent les faciès suivants :

- Un faciès chlorure sodique
- Un faciès sulfate sodique
- Un faciès sulfate calcique et magnésienne

Stabler

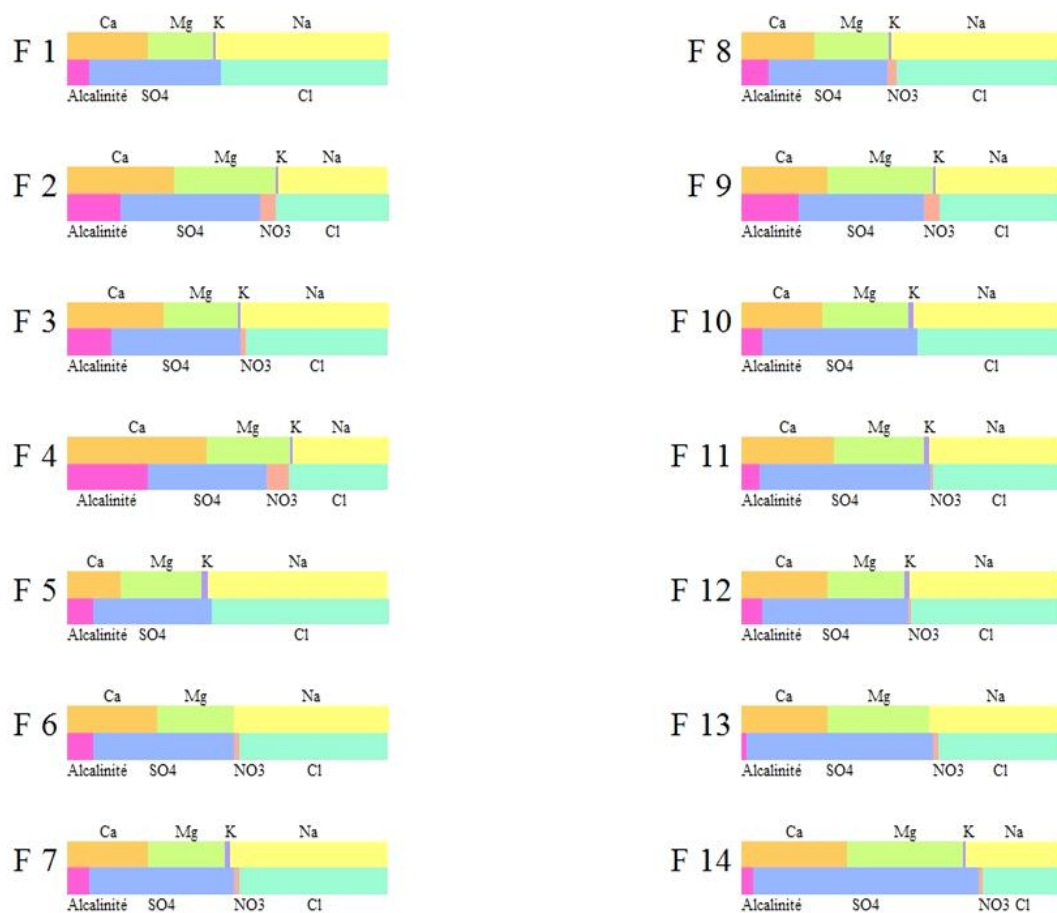


Fig. 28: Représentation des analyses chimiques du CT de Guerrara sur le diagramme de STABLER.

IV.3.2- Indice d'échange de Base (I.E.B) :

L'indice d'échange de base (I.E.B) est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitive existants dans l'eau.

Il est donné par l'expression suivante :

$$I.E.B = \frac{r_{Cl} - r_{(Na + K)}}{r_{Cl}}$$

- Si (I.E.B) est nul, il y a équilibre entre la composition chimique de l'eau et de l'encaissant.
- Si (I.E.B) est négatif, l'encaissant libère les ions Na^+ , K^+ et fixe les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} de l'eau.
- Si (I.E.B) est positif, les eaux échangent les ions Na^+ , K^+ contre les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} du terrain encaissant.

Les résultats de calcul de l'indice d'échange de base (I.E.B) de la nappe du CT (Tableau***) montrent que l'indice d'échange de base est inférieur à zéro, au niveau de tout les forages sauf au niveau du F2. Ceci indique que un échange des ions Mg^{2+} et Ca^{2+} contre les ions Na^+ et K^+ du terrain encaissant .

Tableau 8. Valeurs de l'I.E.B de la nappe du CT

N° de Forage	I.E.B	N° de Forage	I.E.B
F1	- 0.01	F8	- 0.016
F2	0.005	F9	- 0.029
F3	- 0.014	F10	- 0.042
F4	- 0.034	F11	- 0.062
F5	- 0.041	F12	- 0.036
F6	- 0.011	F13	- 0.05
F7	- 0.062	F14	- 0.26

IV.3.3- Aptitude des eaux à l'alimentation:

L'eau de l'aquifère du CT est utilisée pour l'alimentation en eau potable des habitants de la région. Pour contrôler la qualité de cette eau, nous avons comparé les résultats des analyses physico-chimiques aux normes recommandées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S)

Nous avons porté sur un tableau (tableau n°8) les concentrations maximales des différents paramètres obtenus de l'analyse de la nappe et ceux de l'O.M.S

Tableau n°7: Comparaison des concentrations en différents paramètres avec les normes de l'O.M.S

Les paramètres (mg/l)	Concentration max (mg/l)	Normes de l'O.M.S (mg/l)
Ca ²⁺	313	200
Mg ²⁺	214	150
Na ⁺	500	200
K ⁺	31	12
Cl ⁻	740	500
SO ₄ ²⁻	1500	400
HCO ₃ ⁻	223	-
pH	7.96	6,5 - 9
CE (µS/cm)	5450	2800
Résidu sec à 110° C (mg/l)	3380	1500
Turbidité	9990	5000
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	1.24	0.50
Nitrite NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.071	0.20
Nitrate NO ₃ ⁻ (mg/l)	60	50
phosphate PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.152	0.50
Mat. Ox (mg/l) O ₂	6	5

Il ressort de cette comparaison que la majorité des paramètres dépassent les normes excepté le pH, les teneurs en NO₂⁻ et PO₄³⁻.

IV.3.4- Aptitude des eaux à l'irrigation :

Dans les zones arides et hyperarides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols.

Une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire car cette région se caractérise par une faible pluviométrie, une forte évaporation.

La caractérisation d'une eau d'irrigation se fait à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

Le SAR est défini par la relation suivante:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Les résultats de calcul du SAR de la nappe du CT ont été représentés en fonction de la conductivité électrique sur le diagramme de wilcox (fig*****). Ce dernier montre la répartition des forages dans différentes classes.

Les trois classes trouvées représentent les caractéristiques suivantes :

Classe C3S1, C3S2: représente des eaux de qualité admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité. Les forages appartenant à cette classe sont F2, F3, F4, F8 et F9

Classes C4-S2: elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Les forages appartenant à cette classe sont F1, F5, F6, F7, F10, F11, F12, F13 et F14

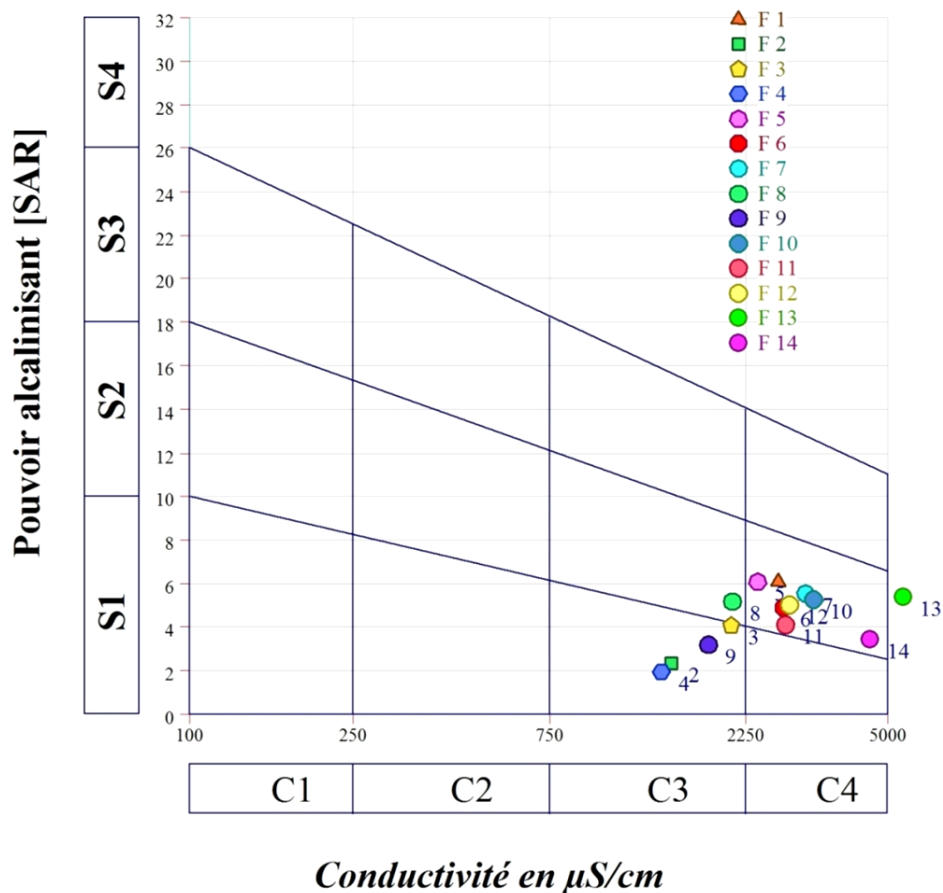


Fig. 29: Représentation des analyses chimiques de la nappe du CT de Guerrara sur le diagramme de WILCOX.

IV.4- Conclusion :

L'étude hydrochimique des eaux de la nappe du CT de la région de Guerrara montre que l'eau est dans l'ensemble fortement minéralisée avec une conductivité électrique qui varie entre 1,41 et 5,45 mS/cm.

L'étude montre aussi qu'il y a trois familles d'eau ont été mises en évidence : une famille des eaux chlorurées et sulfatées sodique pour la majorité des forages et une famille des eaux sulfatées calcique et magnésienne.

La comparaison des résultats des analyses des 14 forages avec les normes de l'O.M.S montre que les pluparts des teneurs et concentrations des éléments chimiques sont dépassent les normes ce qui est interprété par la forte minéralisation de l'eau de l'aquifère du CT de Guerrara.

Conclusion générale

L'oasis de Guerrara est située au Nord du Sahara Septentrional, ce qui lui confère un climat saharien, caractérisé par un été chaud et sec toute l'année et un grand écart de températures entre l'été et l'hiver. Un hiver doux, et une forte évaporation de 2669.4 mm/an. La région reçoit de faibles précipitations avec une moyenne annuelle de 73,9mm.

L'étude géologique nous a permis de voir l'ensemble des formations géologiques par la description d'une coupe géologique qui permet de mettre en évidence la succession des couches géologiques dans la zone d'étude.

L'étude hydrogéologique montre un aperçu sur la ressource en eau à Guerrara, une description lithologique des aquifères et enfin un aperçu sur la dynamique des écoulements de la nappe du CT. D'après la carte piézométrique établie a mis en évidence une zone d'écoulement convergeant vers le forage F2 à l'Ouest. Le gradient hydraulique est faible de l'ordre de 0.03. Dans la partie Est, l'écoulement est divergeant avec un gradient hydraulique fort de l'ordre de 0.11 au centre et de 0.21 au Sud-Est

L'étude hydrochimique du complexe terminal montre que l'eau est dans l'ensemble fortement minéralisée avec une conductivité électrique qui varie entre 1,41 et 5,45 mS/cm.

Trois familles d'eau ont été mises en évidence : une famille des eaux chlorurées et sulfatées sodique pour la majorité des forages et une famille des eaux sulfatées calcique et magnésienne.

La comparaison des résultats des analyses des 14 forages avec les normes de l'O.M.S montre que les pluparts des teneurs et concentrations des éléments chimiques dépassent les normes ce qui est interprété par la forte minéralisation d'eau de complexe terminal de Guerrara, dont ces eaux dans l'ensemble dure à très dure.

L'estimation de la qualité des eaux à l'irrigation par l'emploi du diagramme de Wilcox a montré que les eaux de complexe terminal de qualité admissible à médiocre aux tous forages.

Références Bibliographiques

- ACHOUR M. (2005)** : Note relative sur les ressources en eau de la wilaya de Ghardaïa ; ANRH Ghardaïa, Algérie ; 19p
- BABKER R, NASRI M. (2010)** : Contribution à l'étude hydrogéologique des zones arides exemple « la Vallée du M'Zab » ; mémoire d'ingénieur, USTHB-FSTGAT ; Alger, Algérie ; 165p
- BOUAMMAR, B. (2007)**: Le Développement Agricole dans les régions Sahariennes. Cours de socio-économie des zones sahariennes, Post graduation Gestion des Agrosystèmes Sahariens. Université d'Ouargla. 64 p.
- BOUDIN, J (2008)**: Cours de lithologie et chimie des eaux souterraines, Module de géologie département Géosciences, Université de Poitier, Fichier PPT, 34p.
- CAPOT-REY .R et al (1963)**: Glossaire des termes géographiques et hydrogéologiques ; Ed. I.R.S Univ d'Alger, pp 44-45
- DJILI .B (2004)**: Etude des sols alluviaux en zones arides. Cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique . Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla, 81p
- DUBOST, D (2002)**: Ecologie, Aménagement et Développement Agricoles des Oasis Algériennes. Edition CRSTRA Biskra. 423 p.
- DUTIL .P (1971)**: Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara ; Thèse de doctorat d'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346 p.
- JARRAYA HORRICHE, F., BESBES, M.(2008)**: Rationalisation du réseau piézométrique du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Revue Science et changements planétaires/ Sécheresse, Volum 19, n°3, pages 163-71
- GAUTIER .M, GOUSKOV .M.N (1951)**: Le forage de Guerrara. Deuxième sondage d'étude et premier grand sondage d'exploitation de la nappe Albienne jaillissant dans le Bas-Sahara. Terre et Eaux. Alger, pp 38-42
- HADJ-SAID S., ZEDDOURI A., DJABRI L& HAMDI-AISSA B (2013)**. Determination of the aquifers geometry in arid zones by using geoelectrical method. Arab J Geosci 6:1081–1089
- HEMIDI L., (2013)**: Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah-Ouargla, 110p.
- HERKKOUS.F et ZEHRI.H(2010)**: Impact des actives anthropique sur la qualité de la nappe alluviale (cas de l'oasis de Guerrara). Mémoire d'ingénieur en écologie végétale et environnement. Université Kasdi Merbah-ouargla
- HOUNSLOW.A.W (1995)**: Water quality data analysis and interpretation, Ed. LEWIS PUBLISCHERS, 420p.
- KHENE, B (2007)**: Caractérisation d'un agrosystème oasisien, Vallée du M'Zab et Guerrara. Mémoire de Magister. INA, Alger. 129 p.
- LATRECH, D (1997)**: Eaux et sols d'Algérie. Ed .A.N.R.H., Alger, 60p
- MONOD .T (1973)**: Les déserts; Ed Horizons de France, Paris, 247 p
- MOULIAS .D (1927)**: L'organisation hydraulique des oasis sahariennes. Edition Jules Carbonel, Ancienne maison Bastide –Jourdan. 305 p.

OSS, (2003): Système Aquifère du Sahara Septentrional. Gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse, 126p.

OUALI, S. (2006): Etude géothermique du sud de l'Algérie. Mémoire de magister, université M'hamed Bouguerra Boumerdes, 80p

POUGET .M (1980): Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises ; Ed. O.R.S.T.O.M. Paris, 555 p

RODIER J (1996): L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8ème Edition, Paris, 1383p.

S.C.G ; Carte géologique d'Algérie, Feuille d'Alger Sud (1/500.000), S.C.G, Alger, (1952).

S.O.N.A.T.R.A.C.H (1992): Aperçu hydrogéologique. Région de Guerrara. Wilaya de Ghardaïa ; Serv. Hydrogéologie, Ouargla, 6 p

- **S.C.G., 1939.** Notice explicative des cartes géologiques au 1/500.000. Alger-Nord. Alger-Sud. Bult. du Serv. De Cart. Géo. de l'Algérie. Alger : 95-99.