

Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des Hydrocarbures Energies Renouvelables et Science de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option: Hydrogéologie

Présenté Par :

SAOUD Ibrahim

-THEME-

Contribution à l'étude hydrochimique de la nappe du Sénonien dans la région de Guerrara (Ghardaïa)

Soutenue le : 08 / 06 / 2014 devant la commission d'examen

Jury:

Président:	NEZLI.I-E	MCA	Univ. Ouargla
Rapporteur:	HADJ- SAID .S	MCA	Univ. Ouargla
Examineur:	BOUSELSAL.B	MAA	Univ. Ouargla

Résumé:

Guerrara est une région du Sud algérien, c'est une zone aride qui reçoit de très faibles quantités de pluies d'environ 89.82mm en moyenne. 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 dernière année a fait que la nappe du Sénonien est de plus en plus sollicité. Afin d'évaluer la qualité de cette nappe, 18 échantillons d'eau souterraines ont été prélevés et différents paramètres physico-chimiques ont été mesurés: température, conductivité électrique, pH, , Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁺, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, PO₄³⁻ .

Les résultats obtenus ont montré que les eaux du Sénonien de Guerrara sont fortement minéralisées avec une conductivité électrique qui atteint 7.94 mS/cm. Le faciès chimique des eaux est chlorurées et sulfatées calciques pour la majorité des forages. L'interprétation des résultats par l'ACP a permis de déterminer l'origine de la minéralisation de la nappe qui est dans l'ensemble due à la dissolution des évaporites et aux échanges de bases.

L'appréciation de la qualité de l'eau a montrée que quatre forages répondent aux normes fixés par l'O.M.S et présentent une eau de bonne qualité pour l'AEP.

L'application de la méthode de Richards a montré que les eaux de la nappe du Sénonien sont de bonne qualité pour l'irrigation présentant toutefois, une qualité admissible à médiocre au niveau de certains forages.

Mots-clés: sénonien , eau souterraine ,forage.

ملخص:

القرارة هي منطقة في جنوب الجزائر هي منطقة قاحلة معدل تساقط الامطار ضعيف حوالي 89.82 mm . إمدادات المياه للسكان يعتمد بشكل رئيسي على موارد المياه الجوفية . منطقة الدراسة هي منطقة زراعية ، وتطور الزراعة في الاعوام الاخيرة ادى الى استعمال مياه السينونيا على نحو متزايد . لتقييم نوعية هذه المياه تم جمع 18 عينة من المياه الجوفية السينونيا و تم قياس مختلفة المعلمات الفيزيائية والكيميائية : درجة الحرارة، و التوصيل الكهربائي ، ودرجة الحموضة ، نا + ، + ، K + ، CA2 + ، MG2 + ، HCO3 ، SO4 2 + ، NO3 ، - ، NH4 ، NO2 ، PO43 . أظهرت النتائج أن مياه السينونيا من القرارة تحتوي على معادن عالية مع التوصيل الكهربائي بلغ 7.94 ملي / سم . حيث عثرنا في الاغلب على نوعين من السحنة هما كبريتات الكالسيوم و كلوريدات الكالسيوم . وقد سمحت نضرية ACP بمعرفة اصل المعادن . حيث عثرنا على أربعة ابيار توافق المعايير التي وضعتها منظمة الصحة العالمية ولها نوعية المياه جيدة . أظهرت تطبيق طريقة ريتشاردز ان مياه السينونيا جيدة للري ، وهي ذات نوعية رديئة مؤهلة في بعض الآبار .

الكلمات الافتتاحية: بئر ، المياه الجوفية ، السينونيا ،

Abstract:

Guerrara is a region of southern Algeria is an arid area that receives very small amounts of approximately 89.82mm rainfall on average. The water supply of the population depends mainly on groundwater resources . The study area is agricultural, the development of agriculture the last year that the water Senonian is increasingly sought. To assess the quality of this sheet , 19 samples of groundwater were collected and different physico- chemical parameters were measured : temperature , electrical conductivity, pH , Na + , K + , Ca²⁺ , Mg²⁺ , HCO₃⁻ , SO₄²⁺ , NO₃⁻ , NH₄⁺ , NO₂⁻ , PO₄³⁻ .

The results obtained showed that the waters of the Senonian of Guerrara are highly mineralized with an electrical conductivity reached 7.94 mS / cm. The chemical profile of the water is chlorinated and sulfated calcium for most wells. The interpretation of the CPA allowed to determine the origin of the mineralization of the water which is generally due to the dissolution of evaporites and base exchanges . The assessment of the water quality has shown that four holes meet the standards set by WHO and have good water quality for the ASP.

The application of the method of Richards showed that ply the waters of the senonien are good for irrigation with toutfois , an eligible poor quality at some boreholes
Google Traduction pour les entreprises .

Kay words: groundwater, senonien, wells

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tout ceux qui m'ont aidé à le réaliser, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Ma profonde gratitude s'adresse avant tout à mon encadreur Mme ZEDDOURI HADJ-SAID, qui a accepté de diriger ce travail et m'a accordé toute son attention et sa patience pour l'accomplir.

Mes remerciements à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de Ouargla de m'avoir accueilli dans d'excellentes conditions, et au chef de département Monsieur ZEDDOURI Aziez.

Je tiens à remercier vivement l'ensemble du personnel du Laboratoire de l'A.D.E de Ghardaïa notamment la directrice du laboratoire Mme KHAROUBI.A et le Chef de Service Mr CHOUIREB.M qui m'a encadré durant la période du stage.

Mes remerciements à HECHEHOUCHE Kamal , inspecteur phytosanitaire de la daïra de Guerrara, de m'avoir accompagné sur le terrain ainsi que l'ensemble du personnel de la subdivision de l'agriculture de la daïra de Guerrara.

Toute ma gratitude à Monsieur ACHOUR, responsable à l'A.N.R.H de Ghardaïa.

Ma reconnaissance à tous les agriculteurs et les habitants qui m'ont autorisé d'utiliser leurs forages pour effectuer les prélèvements d'eau et les mesures sur terrain.

Enfin, Je n'oublierai jamais l'aide, les conseils et surtout les encouragements et le soutien moral de ma famille et de mes précieux amis.

DEDICACES

Je dédié ce modeste travail à :

Ma mère et mon père

Toutes mes sœurs et mes frère

Halima

Rahma

Abdel jawad

Kaira

fatin

Rabia

Jalal dine

Asma

Leila

et a tout ma grande familles

SOMMAIRE

Résumé

Dédicace

Remerciement

Abstract

ملخص

SOMMAIRE

Liste des Figure

Liste des Tableaux

Liste des abréviation

Intruduction générale

Chapitre 1 : Représentation de la zone d'étude

1-Situation géographique.....	1
2- Aperçugéomorphologique	1
2.1 Le Plateau	2
2.2. Les Glacis.....	2
2.3. Les Dayas.....	2
2.4. Les Garas.....	2
2.5. Les Formations Dunaires.....	2
2.6. Le Réseau Hydrographique.....	3
3-Etude climatologique	3
3.1. Les précipitations.....	3
a. Les précipitations moyennes mensuelles.....	3
b. Variation interannuelle des précipitations.....	5
3.2 La température.....	5
3.3 L'humidité	7
3.4 L'évaporation.....	7
3.5.Climatogramme d'EMBERGER	8
4-Conclusion	10

Chapiter2:Géologie et Hydrogéologie

1. Introduction.....	11
2.cader géologique de la région.....	11
3.L'HYDROGEOLOGIE.....	14
3.1. Aperçu sur les aquifères.....	14
3.2. La nappe du Sénonien	14
4. Conclusion	15

Parti expérimentale

Chapitre III: étude hydrochimie

1. Introduction.....	17
2. Matériels et méthode.....	17
2.1 Prélèvement et conservation des échantillons.....	17
2.2. Les méthodes d'analyses.....	19
2.3. Les méthodes d'interprétation.....	20
3-Résultats et discussions.....	20
3.1. Les paramètres physico-chimiques.....	20
3.1.1 La température (T).....	20
3.1.2. La Conductivité (CE).....	21
3.1.3 Potentiel Hydrogène (pH).....	21
3.2 Les paramètres chimiques.....	22
3.2.1 Les ions majeurs.....	22
3.2.1.1 Le Calcium (Ca^{2+}).....	22
3.2.1.2 Le Magnésium (Mg^{2+}).....	22
3.2.1.3 Le Sodium (Na^+).....	23
3.2.1.4. Le Potassium (K^+).....	24
3.2.1.5. Les Chlorures (Cl^-).....	24
3.2.1.6. Les Bicarbonates (HCO_3^-).....	26
3.2.1.7 Les Sulfates (SO_4^{2-}).....	26
3.2.2 Les paramètres de pollution.....	27
3.2.2.1. Les Nitrates (NO_3^-).....	27
3.2.2.2 Les Nitrites (NO_2^-).....	29
3.2.2.3 L'Ammonium (NH_4^+).....	29
3.2.2.4 Les Phosphates (PO_4^{3-}).....	30
3.3.3 Les faciès chimiques.....	30
3.3.3.1 diagramme de Piper.....	30
3.3.3.2 Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF.....	31
3.4. Indice d'échange de Base (I.E.B).....	33
3.5 Analyse en Composantes Principales (ACP).....	34
3.5.1 Application aux eaux de la zone d'étude.....	35
a) Matrice de corrélation.....	35
b) Cercle ACP.....	37
3.6. Aptitude des eaux à l'alimentation.....	38
3.7. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	40
4. Conclusion.....	42
Conclusion général	
Bibliographique	

Liste des Figures

N°	Titre de figure	Page
Chapitre I		
Figure 1:	Localisation géographique de la région de Guerrara.....	1
Figure 2:	Répartition des précipitations moyennes mensuelles.....	4
Figure 3:	Répartition des précipitations interannuelles.....	5
Figure 4:	La température moyenne mensuelles.....	6
Figure 5:	Climagramme d'Emberger (1952)	9
Chapitre II		
Figure 6:	Carte géologique de la région de Guerrara (1/500 000) (D'après S.C.G, 1952)	12
Figure7:	Carte de positionnement des forages.....	13
Figure 8:	Coupe géologique dans la région de Guerrara.....	13
Chapitre. III		
Figure 9:	Carte de positionnement des forages captant la nappe du Sénonien la région Guerrara	18
Figure 10:	Evolution spatiale de la conductivité électrique de la nappe du Sénonien de Guerrara.....	21
Figure11:	Variation des concentrations en Ca^{2+} dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	22
Figure 12:	Variation des concentrations en Mg^{2+} dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	23
Figure 13:	Variation des concentrations en Na^+ dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	23
Figure 14 :	Variation des concentrations en K^+ dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	24
Figure15:	Variation des concentrations en Cl^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	25
Figure 16:	Evolution spatiale des concentrations en Cl^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	25
Figure 17:	Variation des concentrations en HCO_3^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	26

Figure 18: Variation des concentrations en SO_4^{2-} dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	27
Figure 19: Variation des concentrations en NO_3^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	28
Figure 20: Evolution spatiale des concentrations en NO_3^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	28
Figure 21: Variation des concentrations en NH_4^+ dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	29
Figure 22: Variation des concentrations en PO_4^{3-} dans la nappe du Sénonien de Guerrara.....	30
Figure 23: Diagramme de Piper des eaux du Sénonien de la région de Guerrara.....	31
Figure 24a: Digramme de Schöeller des eaux du Sénonien de la région de Guerrara	32
Figure 24b: <i>Digramme de Schöeller des eaux du Sénonien de la région de Guerrara</i>	33
Figure 25: Projection des variables sur le plan factoriel 1-2.....	37
Figure 26: Projection des individus sur le plan factoriel 1-2.....	38
Figure 27: Diagramme de Richards des eaux de la nappe du Sénonien de la région de Guerrara.....	41

Liste des Tableaux

N° de Tab	Titre de tableau	Page
Chapitre. I		
Tableau 1	Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (1994/2013).....	3
Tableau 2	Les variations interannuelles des précipitations.....	5
Tableau 3	La température moyenne mensuelle.....	6
Tableau 4	L'humidité relative moyenne mensuelle.....	7
Tableau 5	L'évaporation moyenne mensuelle.....	8
Chapitre III		
Tableau 6	L'indice d'échange de base de la nappe du Sénonien.....	34
Tableau 7	Matrice de corrélation.....	36
Tableau 8	Comparaison des concentrations en différents paramètres avec les normes de l'O.M.S.....	39
Tableau 9	Potabilité en fonction de la dureté (OMS, 1994).....	39

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE, Algérienne des eaux

AEP, Alimentation en Eau Potable.

AEI, Alimentation en Eau d'Irrigation

ANRH, Agence Nationale Des Ressources Hydriques.

CI, Continental Intercalaire.

CT, Complexe Terminal.

Evap, Evapotranspiration.

OMS, Organisation Mondiale de la Sante.

ONM, Office National de la Météorologie.

GPS : Global Positioning System.

Liste de photo

Photo 1 : Globale positioning system HQ96.....18

Photo2: Multi Paramètre **HQ40D**.....19

Introduction général:

Au Sahara central algérien, l'essentiel des ressources en eau est constituée par les eaux souterraines. Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde (BEL et CUCHE, 1970; CDTN, 1992), dont les potentialités mobilisables sont estimés à 5 milliards de mètres cube d'eau (ANRH, 1986). 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 du présent travail est la contribution à la mise en évidence des caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère du Sénonien de la région de Guerrara et par la même occasion l'estimation de sa qualité pour l'AEP et pour l'irrigation. Afin d'atteindre cet objectif, ce travail a été réalisé en trois 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 de la géologie et un aperçu sur l'hydrogéologie de la région de Guerrara
- Le troisième chapitre est l'étude hydrochimique de l'aquifère du Sénonien 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.

1-Situation géographique

La région de Guerrara est située à près de 110 Km au Nord-Est de Ghardaïa chef lieu de wilaya. Ses coordonnées géographiques sont 32° 47' 25" Nord et 4° 29' 32" Est

Elle couvre une superficie d'environ 2600 Km². Elle est délimitée au Nord par la wilaya de Djelfa, à l'Est par la wilaya d'Ouargla, à l'Ouest par les daïras de Berriane et Bounora, et au sud par les daïras de Zelfana et Al-Atteuf (Figure 1). Elle se trouve à une altitude moyenne de 303 m

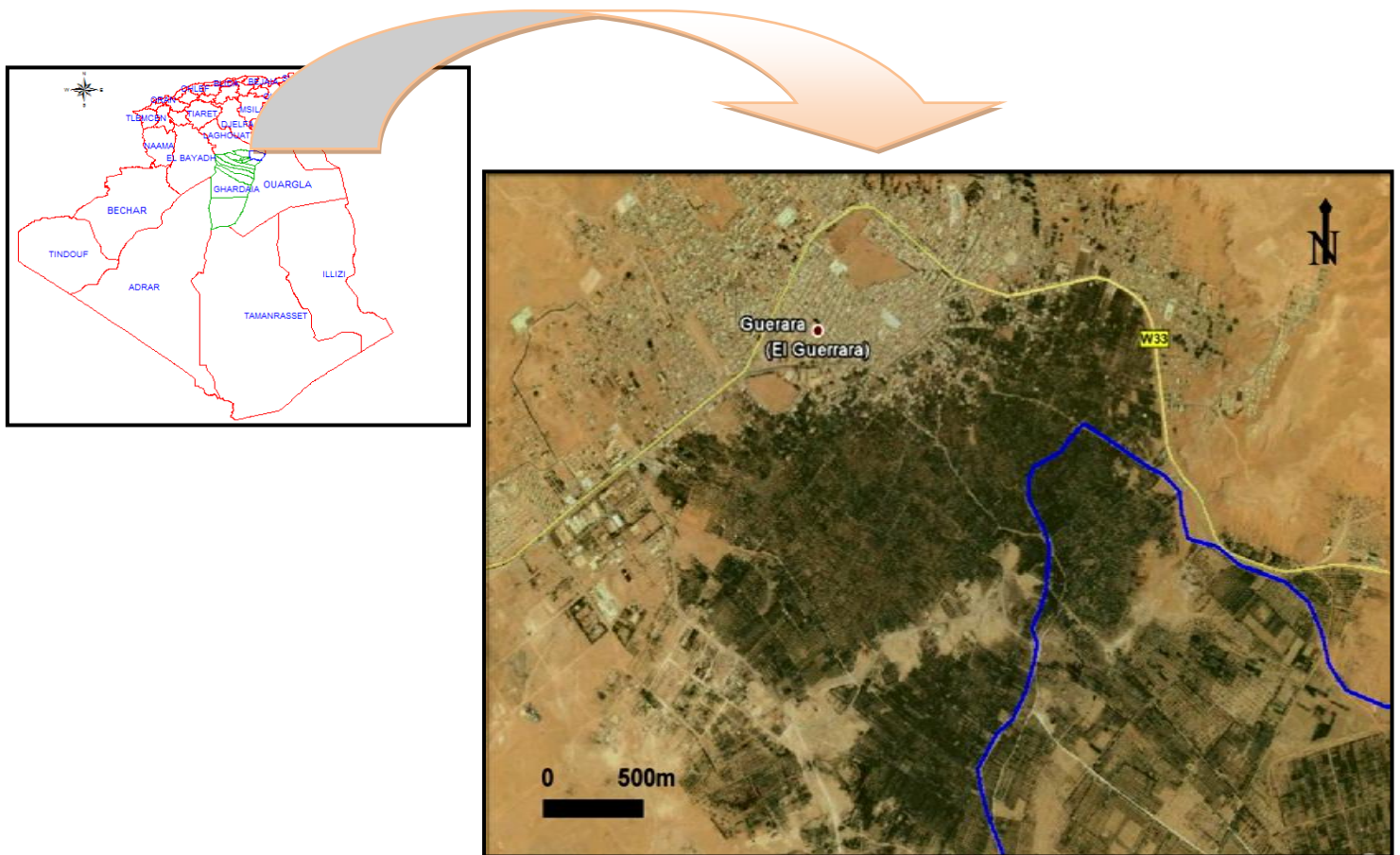


Figure 1: Localisation géographique de la région de Guerrara
(in HEROUS.F et ZEHRI.H2011)

2- Aperçu géomorphologique

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. De ce fait, nous constatons la présence de plusieurs unités géomorphologiques à savoir :

2.1. 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 Guerrerra. Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est.

2.2. Les Glacis

Le versant Nord de la grande dépression de Guerrerra 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.

2.3. 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 Guerrerra, 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 Guerrerra ou possédant un exutoire prolongeant ainsi le lit de l'oued comme Dayet El Amied.

2.4. 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 du réseau hydrographique (Djili, 2004).

2.5. 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 de Oued Zegrir au Sud de la région de Guerrerra. Les modèles dunaires existant sont : les rides, les voiles sableux, les nebkas et les massifs dunaires (Djili, 2004)

2.6. Le Réseau Hydrographique

La région d'étude est parcourue par Oued Zegrir et sont prolongement Oued Zegag. L'écoulement des eaux de la crue dans le lit de l'oued dépose des matériaux différents selon la granulométrie et l'épaisseur des dépôts. La surface du sol peut être unie pour une grande partie de lit d'oued ou alternativement d'un coté à l'autre du lit en fonction des méandre « 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).

3-Etude climatologique :

Le but de cette étude est de donner un aperçu sur les caractéristiques climatiques de la région et de déterminer les différents paramètres qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain. Les paramètres étudiés sont : les précipitations, la température, l'humidité et l'évaporation pour une série d'observation qui s'étale de 1994 à 2013 prise au niveau de la station de Ghardaïa dont les coordonnées sont : Latitude: 32°24 N, Longitude: 03°48 E et Altitude: 468m

3-1- Les précipitations :

a. Les précipitations moyennes mensuelles:

Les précipitations sont la principale source d'alimentation des réserves d'eau souterraines. Elles permettent une appréciation indirecte de l'état des réserves en eau du sol, la recharge et le régime des cours d'eau dans les bassins versants.

En vue de suivre la répartition des précipitations au cours de l'année hydrologique, on a calculé la moyenne mensuelle sur les vingt ans enregistrés (Tableau 1). Ainsi, le tau des précipitations moyennes annuelles recueillies est de 89.82mm

Tableau 1 : Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (1994/2013)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	P annuelle
Lame précipitée	9.84	3.03	6.41	13.38	2.29	3.46	3.26	6.45	18.69	8.21	6.86	7.91	89.82

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (figure 2), montre que les mois les plus pluvieux sont les mois de Janvier, Avril et Septembre avec une lame d'eau maximale enregistrée au mois de Septembre de l'ordre de 18.69mm tandis que le mois le plus sec est le mois de Mai avec une lame d'eau de 2.29mm

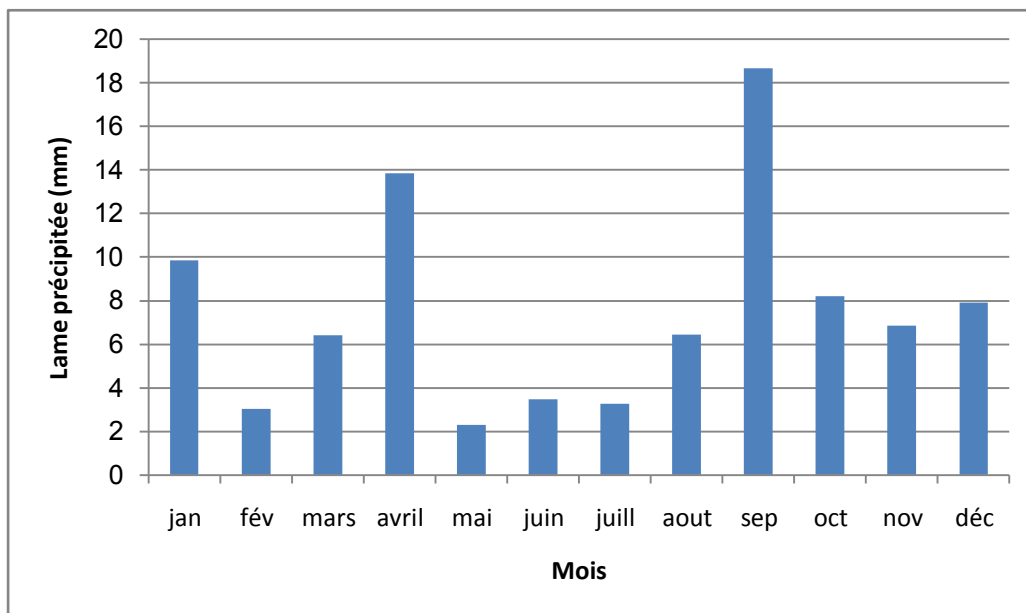


Figure 2: Répartition des précipitations moyennes mensuelles

2b. Variation interannuelle des précipitations :

Dans le tableau 2 sont mentionnées les précipitations annuelles de la période 2004/2013. On remarque que la moyenne interannuelle des précipitations est de 107.8mm.

Tableau 2 : Les variations interannuelles des précipitations

Année	Lame précipitée	Année	Lame précipitée
1994	167	2004	171.3
1995	75	2005	101.9
1996	66.1	2006	72.2
1997	105	2007	61.3
1998	25.2	2008	110.4
1999	104.8	2009	74.3
2000	56.6	2010	278.9
2001	48.6	2011	103.5
2002	59.6	2012	39.2
2003	95.8	2013	67
P moyenne interannuelle		107.8mm	

L'histogramme des variations interannuelles de la lame d'eau précipitée (fig. 3) montre une grande divergence entre les valeurs. Les années les plus pluvieuses sont 1994, 2004, 2008 et 2010 avec un maximum de 278.9mm en 2010 tandis que les années sèches sont 1998, 2000, 2001, 2002, 2007 et 2012 avec un minimum de 25mm en 1998.

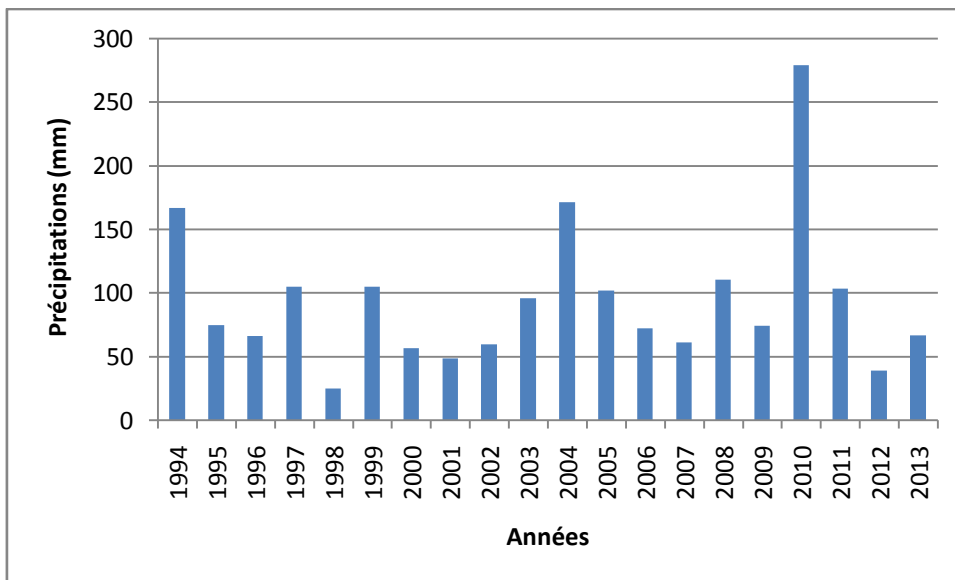


Figure 3. Répartition des précipitations interannuelles

3-3 La température :

La température est un paramètre très important dans la caractérisation du régime climatique d'une région donnée. Elle est également liée aux phénomènes de condensation et d'évaporation, c'est un facteur déterminant dans l'établissement du bilan hydrologique. Elle varie selon la latitude et l'altitude

Tableau 3: La température moyenne mensuelle

Mois T°	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Min	2.05	2.4	4.4	9.1	13	18.6	23.5	22.9	17	12.1	5.9	2.5	11.12
Moy	11.9	13.1	17	21	25.5	31.2	34.8	32.6	29	23.5	16.7	14.3	22.55
Max	23.5	26.3	31.1	34.8	39.8	43	42.5	44.5	42	35.9	29.1	24.5	34.75

Le tableau suivant montre les moyennes mensuelles des températures. On remarque ainsi que la température moyenne mensuelle est de 22.55°C

La figure 4 montre que les températures moyennes mensuelles présentent leurs maxima aux mois de Juin, Juillet et Aout avec un maximum de 45°C au mois de Juillet. Quant aux minima, elles sont enregistrées aux mois de Décembre, Janvier et Février avec un minimum de 2 °C au mois de Janvier.

On remarque que l'amplitude entre l'hiver et l'été mais aussi entre la nuit et le jour et est très importante. Elle peut arriver jusqu'à 30°C.

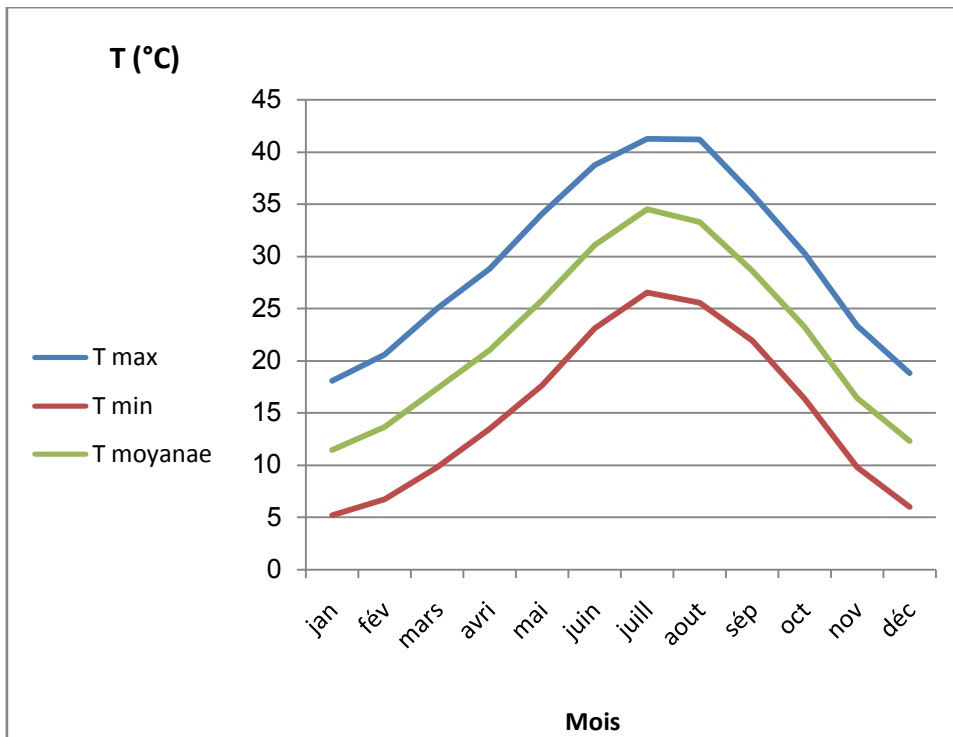


Figure 4: La température moyenne mensuelle

3-4 L'humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le tau de condensation de l'atmosphère.

Les données d'humidité relative moyenne à la station de Ghardaïa pour la période 1994-2013 sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : L'humidité relative moyenne mensuelle

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
H (%)	54.3	46.1	38.7	35.8	27.7	26.1	22.2	25.6	37.7	44.5	51.1	57.4

3- 5 L'évaporation :

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur. Elle est un paramètre essentiel, car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan

hydrologique d'une région donnée. Cependant il est difficile de le mesurer, car il dépend de plusieurs facteurs qui sont variables dans l'espace et dans le temps, tels que la température, les précipitations, la vitesse des vents, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation. Les mesures de l'évaporation à la station de Ghardaïa sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 5: L'évaporation moyenne mensuelle

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	annuel
Evap (mm)	104.7	102.1	167.7	215.5	267.9	363.6	390.9	357.2	271.1	160.9	123	106	2630.6

On remarque que l'évaporation maximale est observée au mois de Juillet, elle est de l'ordre de 390.9 mm et le taux d'évaporation minimal est observé au mois de Février, il est de 102.1mm. L'évaporation annuelle est de 2630.6mm.

3.6.Climatogramme d'Emberger :

En vue de classer le bioclimat de notre région d'étude, nous avons utilisé la méthode d'EMBERGER (1955).

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transition mixte. À ce titre, Emberger a bien précisé que, sur le diagramme, les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé. (EMBERGER. L).

Le quotient d'Emberger est spécifique au climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient Q_2 a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = [2000P / M^2 - m^2]$$

La valeur $(M + m)/2$ du fait de son expression en degrés Kelvin (K°) varie peu, Stewart (1969) l'assimile à une constante $k = 3.43$, d'où le quotient Q_3 .

$$Q_3 = 3,43 \times [P / M - m]$$

P : Pluviosité moyenne annuelle (en mm).

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (en °C)

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (en °C).

Q₂ : Quotient d'Emberger

Q₃ : Quotient d'Emberger

Le quotient Q₃ de la région de Guerrara est égal à 8,71 calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de 20 ans (1994/2013).

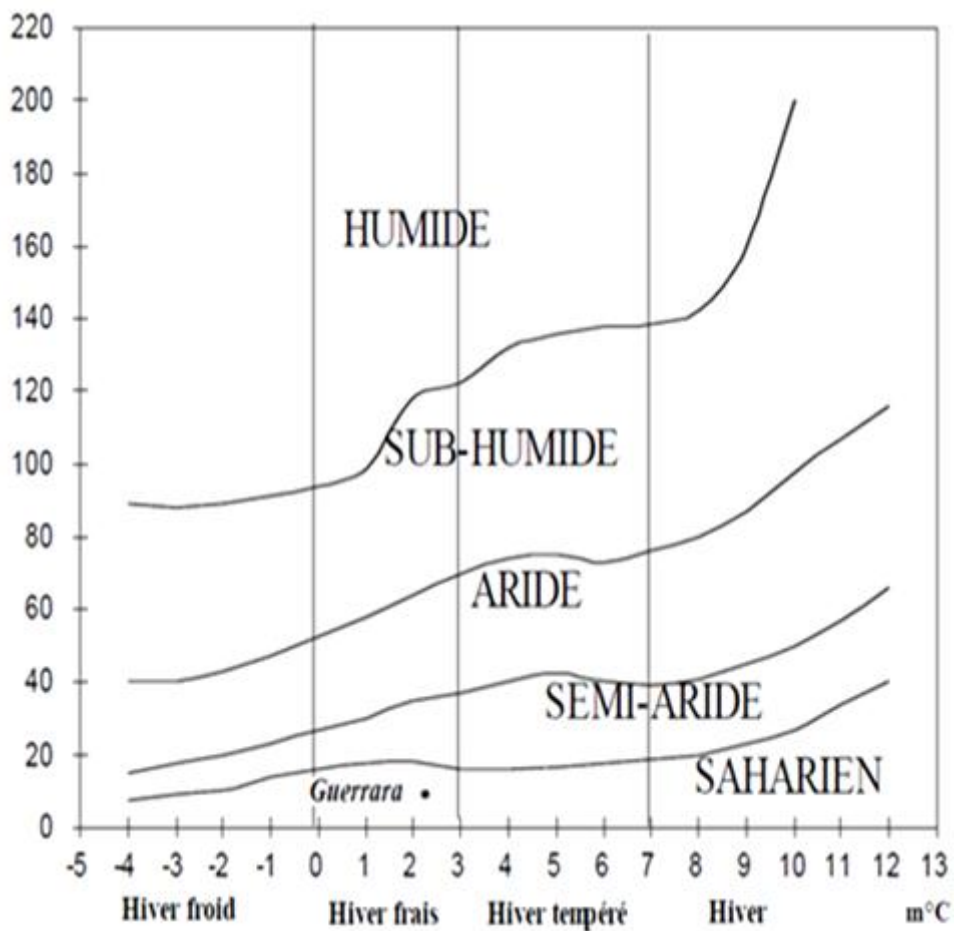


Figure 5: Climagramme d'Emberger(1952)

Conclusion

La région de Guerrara est située dans le Sahara septentrional, elle est caractérisée par plusieurs paysages géomorphologiques qui sont : le plateau, le glacis, les dayas, les garas, les formations dunaires. Du point de vue hydrologique, la région est parcourue par l'oued Zegrir qui contribue à l'alimentation de la nappe alluviale.

La situation géographique de Guerrara lui confère un climat saharien, caractérisé par un été chaud et sec avec une température qui atteint 45°C. Un hiver plutôt doux, et une forte évaporation avec un tau annuel de l'ordre de 2630.5mm. La région reçoit en moyenne une lame d'eau annuelle de 89.82mm

1. Introduction :

L'étude de la géologie de la région nous permet la détermination lithologique de l'aquifère et son environnement ainsi que l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques de la nappe. Pour atteindre cet objectif, en plus de l'examen de la carte géologique de la région, nous avons consulté les fiches techniques des forages et une coupe géologique a été établie et interprétée.

2. Cadre géologique de la région :

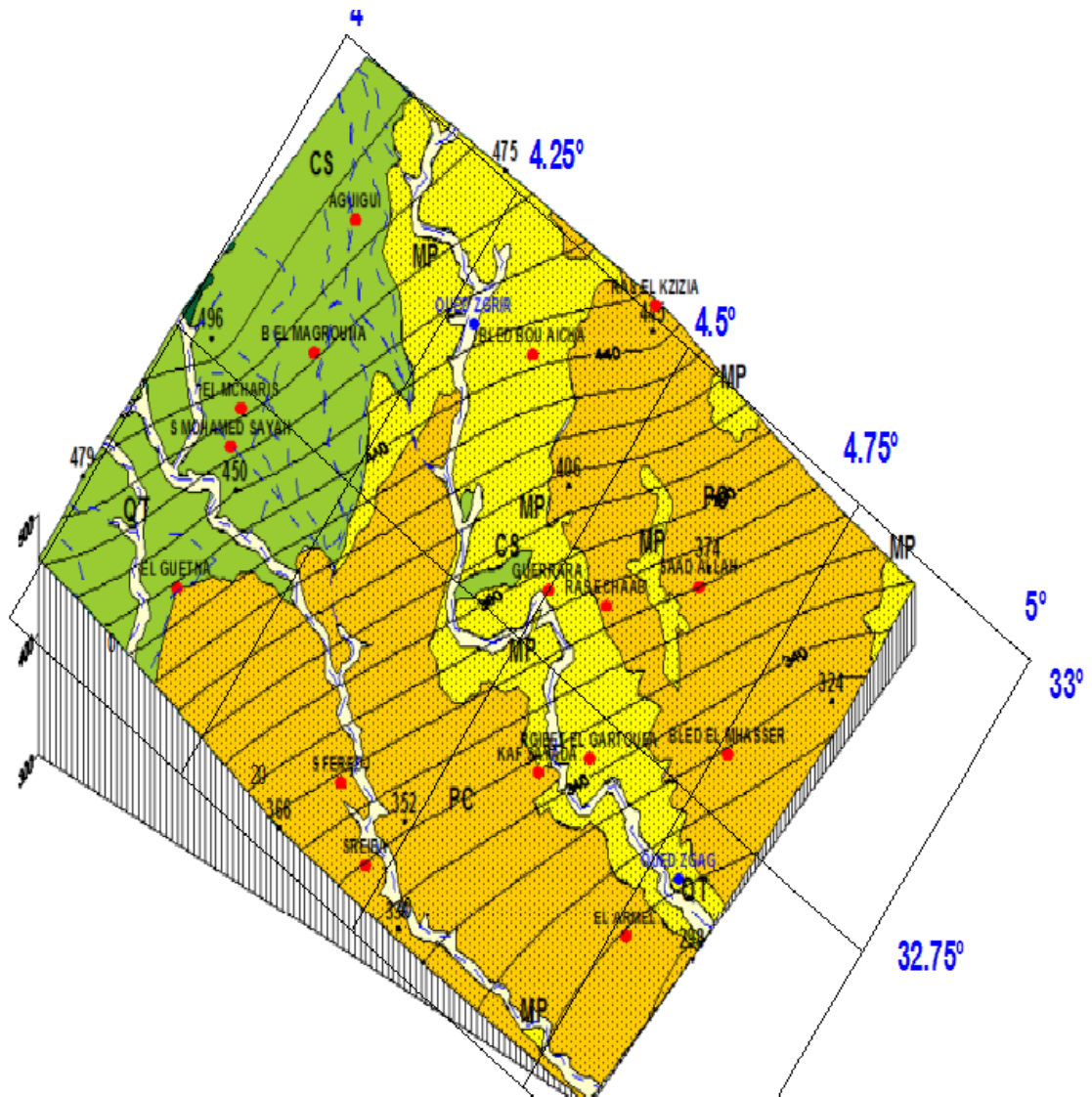
L'observation de la carte géologique d'Algérie au 1/500 000 (SCG, 1952), met en évidence quatre formations géologiques principales dans la région de Guerrara (Fig. 1).

Une double dalle de nature Calcaire-dolomitique renfermant un contenu fossilifère composée essentiellement de coquilles marins, datée de Crétacé supérieur occupe la zone de Bled Bouaicha au Nord-Est de Guerrara. La nature des sédiments observés correspond à une période de transgression marine qui a affectée le Sahara durant cette période

Un dépôt de continental terminal daté de Pontien (mp) localement équivalent au Miocène continental antépointien. Le dépôt est connu au nom du Mio-Pliocène. 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 fluviaux.

Des dépôts lacustres d'âge pliocène à forts étendus, formés de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace hamadienne plus ou moins continue et 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, des alluvions quaternaires 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).



A	Alluvions actuelles
D	Dunes récentes
QT	Quaternaire continental : Alluvions, reg, terrasses
PC	Pliocène continental : poudingue, calcaire lacustre.
MP	Pontien (localement équivalant au Miopliocène).
CS	Crétacé supérieur marin

Figure 6: Modèle 3D de la Carte géologique de la région de Guerrara (1/500 000)
2eme édition 1951-1952 M.G.Bétier I.G des mines.

Afin de caractériser les formations du sous-sol dans la région d'étude, une coupe géologique a été réalisée à la base des données des logs stratigraphiques de trois forages implantés dans la région ce sont les forages : Ancienne palmeraie, Drine 3 et Drine 4 (fig2)

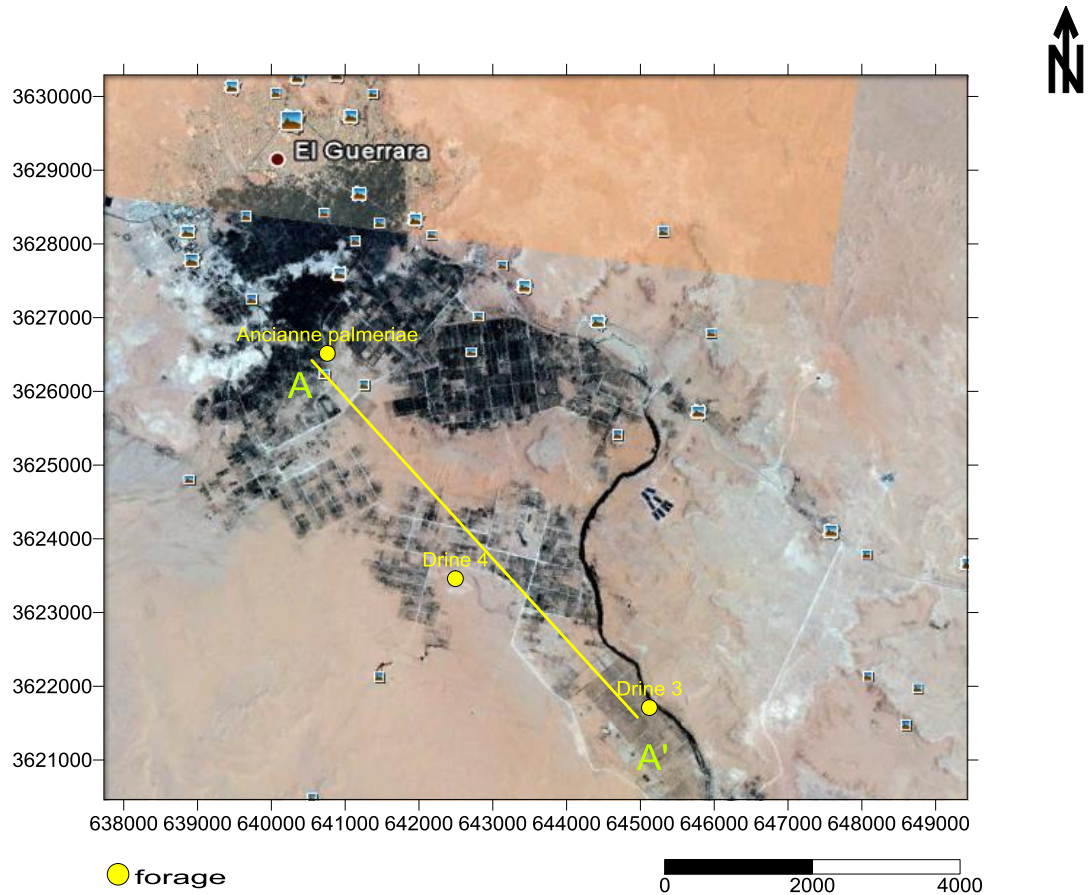


Figure7: Carte de positionnement des forages

La coupe d'orientation Nord Ouest-Sud Est (fig2) met en évidence la succession lithologique suivante :

Une couche superficielle composée essentiellement de sables qui surmontent des grès au Sud Ouest au niveau du forage Drine 3. Ces formations sont d'âge Mio-pliocène. En dessous, une couche de formations carbonatées avec des alternances de marnes carbonatées, argiles carbonatées crayeuses, dolomies roses, gypse et anhydrite. L'épaisseur de ces formations d'âge augmente en allant vers le Nord Ouest dans l'ancienne palmeraie. Elles surmontent une couche argileuse d'âge Cénomaniens qui repose sur les sables d'âge Albien

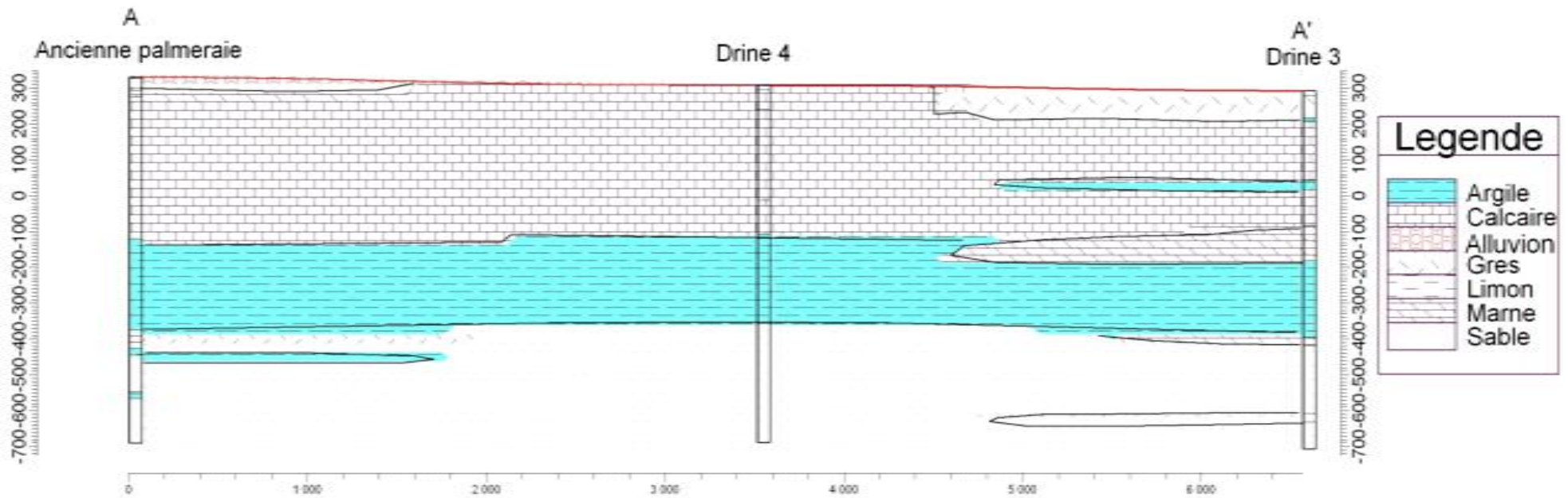


Figure 8: Coupe géologique dans la région de Guerrara

3. Hydrogéologie de la région

3.1. Aperçu sur les aquifères

Dans la région de Guerrara cinq aquifères peuvent être exploités pour les besoins en eau domestiques et agro-industriels. Ce sont la nappe du continental intercalaire constituée de formations détritiques (sable, grès, argile) avec un passage dolomitique attribué à l'Aptien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 650 m et le toit est situé entre 500 et 900 m de profondeur dans le sens Ouest-Est dans la région de Guerrara.

Le Complexe Terminal est, quant à lui, un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (BUSSON, 1970 ; FABRE, 1976). Dans la région de Guerrara, il est caractérisé par les aquifères suivants :

Nappe du Mio-Pliocène et Eocène constituée d'une nappe de Mio-Pliocène sableux d'une épaisseur moyenne de 125 m et d'une nappe d'Eocène à calcaire blanc fin moyen 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.

La nappe du Sénonien carbonaté objet de notre étude et la nappe du Turonien carbonaté d'une épaisseur de 74 m qui peut être captée à une profondeur de 500 m environ dans la partie Ouest de la région de Guerrara. Elle est constituée de dolomie beige cryptocristalline compacte, dure avec intercalation de calcaire tendre.

Enfin, la nappe superficielle qui est une nappe d'oued où l'alimentation se fait suivant les cycles des crues de l'oued Zegrir.

3.2. La nappe du Sénonien :

Le 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.

La nappe est captée par plus de 64 forages dont la majorité est des forages illicites. Ils sont destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

Dans notre travail dix-neuf forages ont été utilisés pour faire une étude hydrochimique de la nappe. Ces forages atteignent une profondeur qui varie de 48 à 210m

4. Conclusion :

L'étude géologique est une étape très importante pour la détermination de la nature lithologique du sous-sol et en particulier celle du réservoir. L'examen des différents logs stratigraphiques de forages implantés dans la région ainsi que la coupe établie ont permis de conclure que le sous-sol est composé de bas en haut de formations détritiques : sables, grès, argile sableuses d'âge Albien rencontrées à partir de 630m surmontées par le Cénomaniens argileux sur lequel repose des formations carbonatées d'âge Turonien, Sénonien et Eocène et enfin des formations mio-pliocène composées dans l'ensemble de sables et grès et par endroit de calcaires conglomératiques et d'alluvions

Du point de vue hydrogéologique, l'aquifère du sénonien est en liaison hydraulique avec ceux du Mio-pliocène et de l'Eocène. Son épaisseur moyenne est de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m.

1. Introduction:

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimique de l'eau. L'interprétation des résultats des analyses des eaux de l'aquifère nous permet de déterminer l'origine de ces eaux et de détecter une éventuelle contamination. Pour atteindre cet objectif, nous avons étudié dans ce chapitre l'évolution des paramètres physico-chimiques, chimiques et les paramètres de pollution. Ensuite, nous allons déterminer le faciès chimique des eaux de la nappe du Séninien. Expliquer les corrélations entre les différents ions par l'application de la méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) et enfin, estimer l'aptitude de la nappe à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

2. Matériels et méthodes

2.1. Prélèvement et conservation des échantillons:

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 obtenus 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 en mois d'Avril. Dix-Witte forages bien répartis sur le terrain ont été choisi (figure 9) et dont les coordonnées ont été déterminé à l'aide d'un GPS (photo 1). Au cours de cette campagne, les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, préalablement rincés avec de l'eau de la nappe, puis bouchonnés. Tous les échantillons sont conservés à basse température (4°C) jusqu'au moment de l'analyse qui ne doit pas dépasser 24 h pour le pH, TA, TAC et TH ; 48 h pour la conductivité, les NO₂ et les PO₄, 7 jours pour le SO₄ ; 2 mois pour les métaux lourds et enfin plusieurs mois pour le Ca et le Mg (J.Rodier 1996).

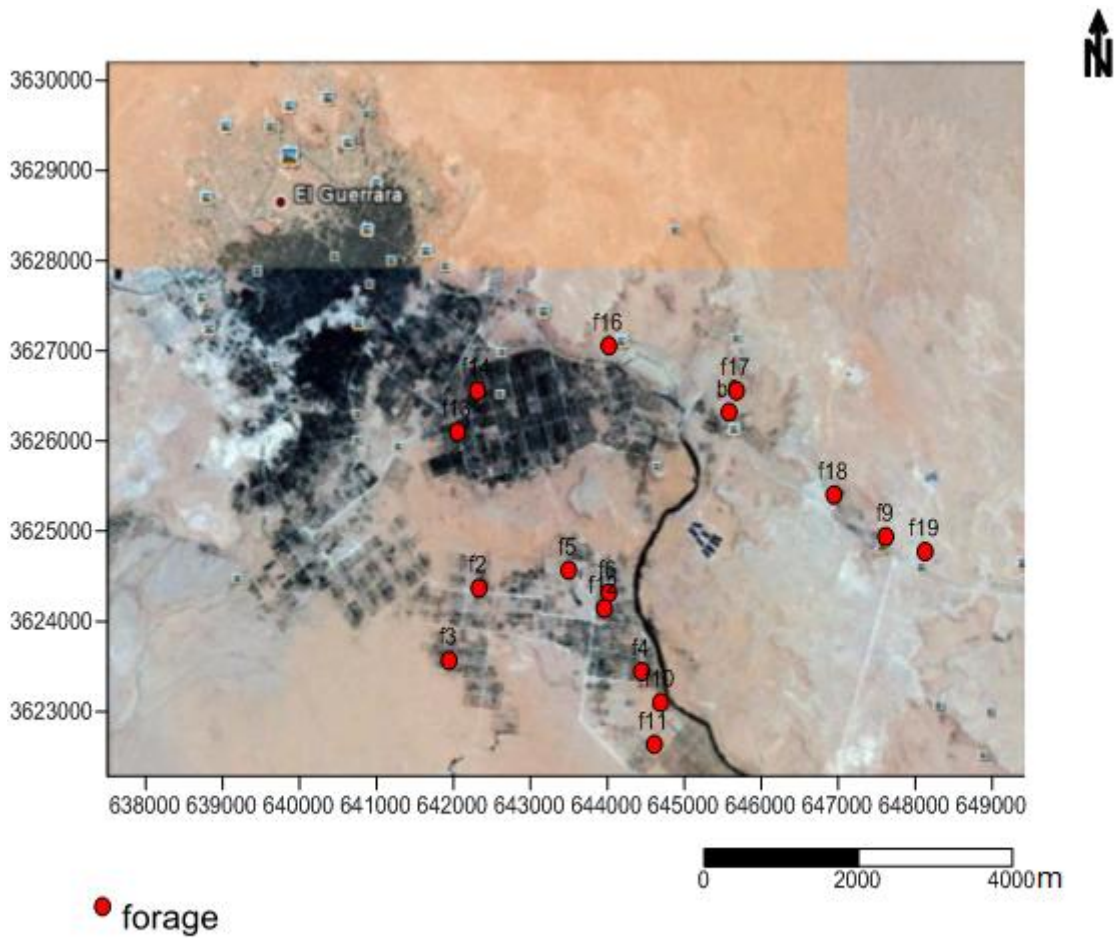


Figure 9: Carte de positionnement des forages captant la nappe du Sénonien dans la région de Guerrara



Photo 1. Globale positioning system HQ96

Quatre paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, conductivité) sont mesurés in-situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multiparamètres HQ 40D (pho2).



Photo2. Multi Paramètre **HQ40D**

2.2. Les méthodes d'analyses:

Pour l'acquisition des méthodes d'analyses de l'eau et avoir des résultats à interpréter pour finaliser mon mémoire de fin d'étude, j'ai effectué un stage pratique au niveau du laboratoire central de l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) de GHARDAIA. Au cours de ce stage, j'ai fait les analyses des 19 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:

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

-Par complexométrie a été déterminée la dureté totale (TH)

- Par précipitation et peser à l'état de sulfate de baryum, en présence de chlorure de baryum BaCl_2 , ont été dosés les ions sulfates (SO_4^{2-})

- Par spectrophotométrie : les nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+) et orthophosphates (PO_4^{3-})
- Par photométrie de flamme : le sodium (Na^+), et le potassium (K^+)

2.3. 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 chimiques au niveau des forages ;
- Cartographie de l'évolution des paramètres : conductivité électrique, teneur en chlorure et teneur en nitrates par l'emploi du logiciel Surfer v 9
- Détermination du faciès chimique de la nappe par les diagrammes de Piper et de Scholler-Berkaloff avec le logiciel Diagramme v 5.1
- Interprétation des résultats par l'emploi de la statistique multi-variée avec le logiciel Statistica v 8
- Enfin, étude de la qualité de la nappe à l'alimentation par la comparaison des résultats avec les normes de l'OMS et à l'irrigation par la méthode de Richards avec le logiciel Diagramme v 5.1

3-Résultats et discussions:

Le chimisme naturel des eaux dépend essentiellement de la composition lithologique des milieux traversés et du temps de séjour. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe du Sénonien, ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces dernières dépassent les normes de potabilité dans certains cas.

3.1. Les paramètres physico-chimiques:

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique des polluants dans l'eau.

3.1.1 La température (T):

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.

Les résultats des mesures de la température des eaux de la nappe du Sénonien montrent une valeur maximale de 28,2°C au forage F15 et la température minimale de 24,4°C au forage F11.

3.1.2. La Conductivité (CE):

La conductivité qui est l'inverse de la résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, la mesure de la conductivité permet d'apprécier minéralisation totale de l'eau.

Les mesures de la conductivité montrent que les eaux de la nappe du Sénonien de la région de Guerrara ont une conductivité électrique qui varie entre 0,408mS/cm aux forages F8, F9 et F11 et 7,940 mS/cm au forage F3

L'examen de la carte de conductivité électrique (figure10) montre que les fortes valeurs s'observent au Sud-Ouest et diminuent vers le Nord-Est

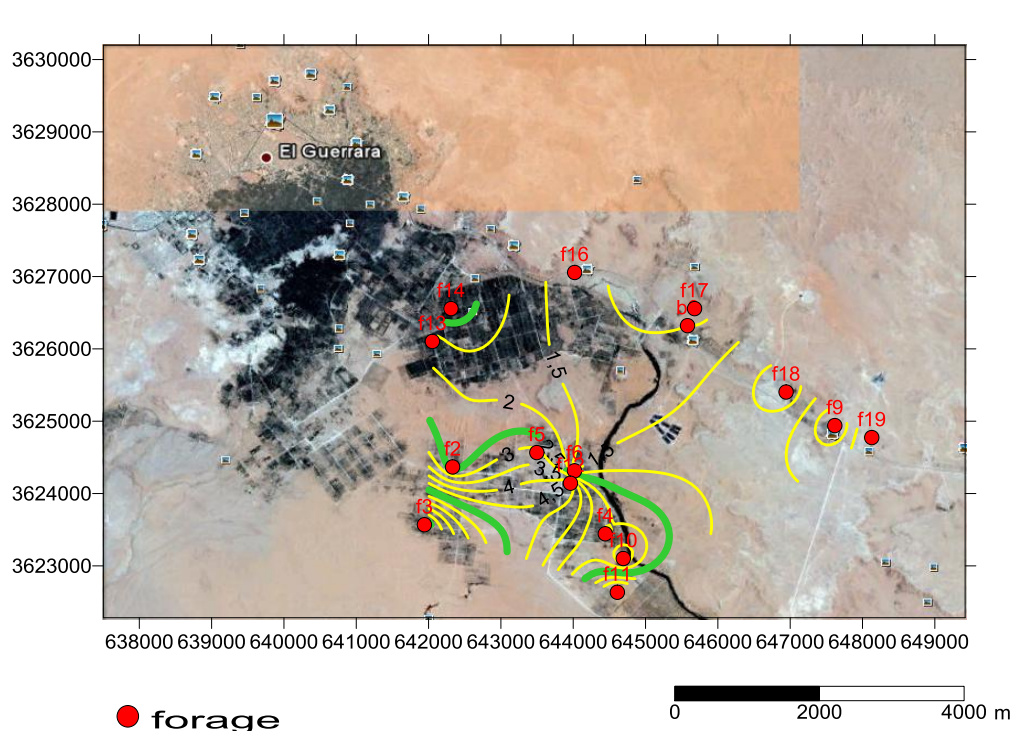


Figure10: Evolution spatiale de la conductivité électrique de la nappe du Sénonien de Guerrara

3.1.3 Potentiel Hydrogène (pH):

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la

concentration en ions H^+ , les valeurs du pH dans la région d'étude varie de 6,5 au forages F10 et F11 à 7,9 au forage B6. C'est une eau qui est légèrement acide à neutre.

3.2 Les paramètres chimiques

3.2.1 Les ions majeurs

3.2.1.1 Le Calcium (Ca^{2+}) :

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite ($CaCO_3$), dolomie [$(Ca,Mg)CO_3$] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [$CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$] et anhydrite ($CaSO_4$).

Les résultats des analyses montrent que les concentrations en Ca^{2+} varient de 78,58mg/l au forage F8 à 606mg/l au forage F11 (figure11).

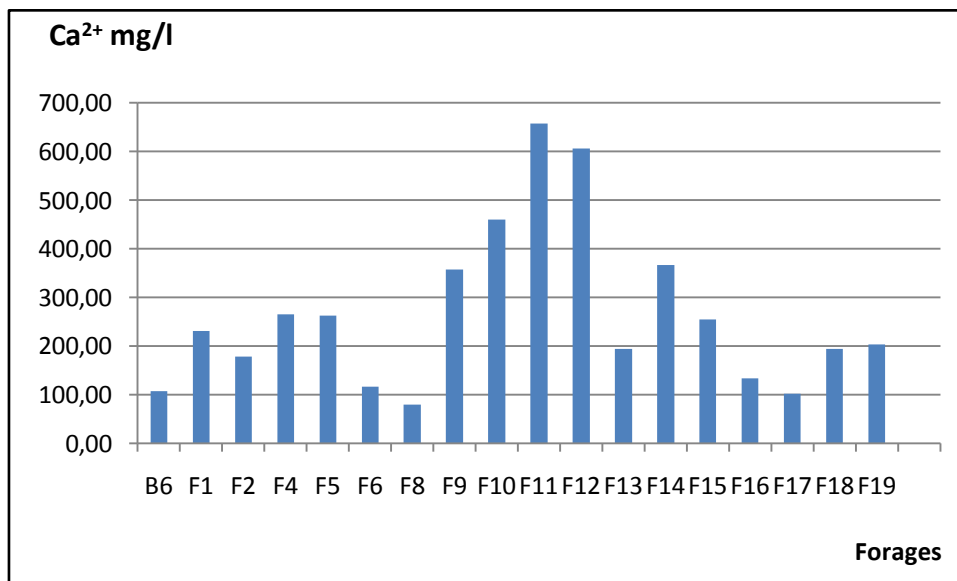


Figure11: Variation des concentrations en Ca^{2+} dans la nappe du Sénonien de Guerrara

Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine les formations géologiques carbonatées et évaporitiques.

3. 2.1.2 Le Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est un élément très abondant, il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$), la kiesérite ($MgSO_4 \cdot H_2O$), et carbonatés, la dolomie [$(Ca,Mg)CO_3$], les teneurs en magnésium dans la région varient de 1.944mg/l au forage F14 à 141.9 mg/l au forage F18 (figure 12).

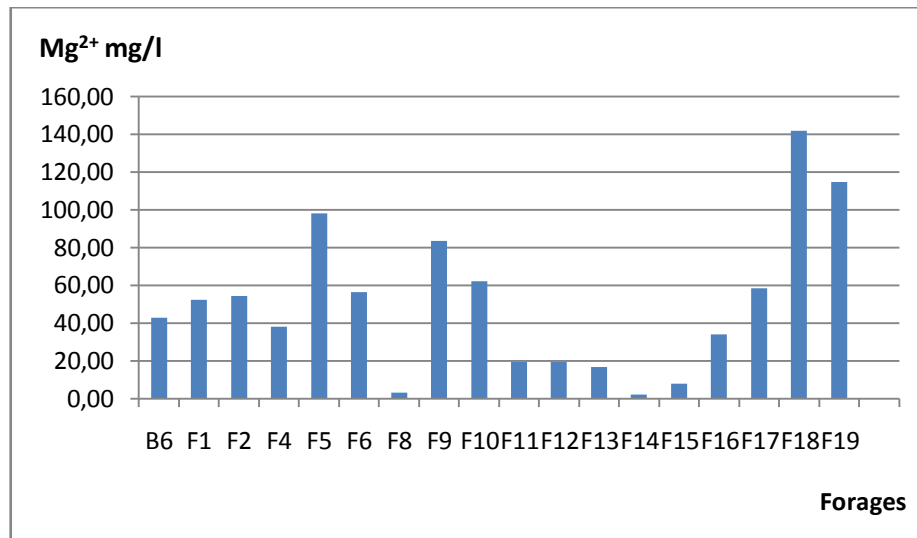


Figure 12: Variation des concentration en Mg²⁺ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine les formations carbonatées et évaporitiques.

3.2.1.3 Le 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 dans la Varient de 6,43 mg /l au forage F8 à 1200 mg/l au forage F11(figure 13).

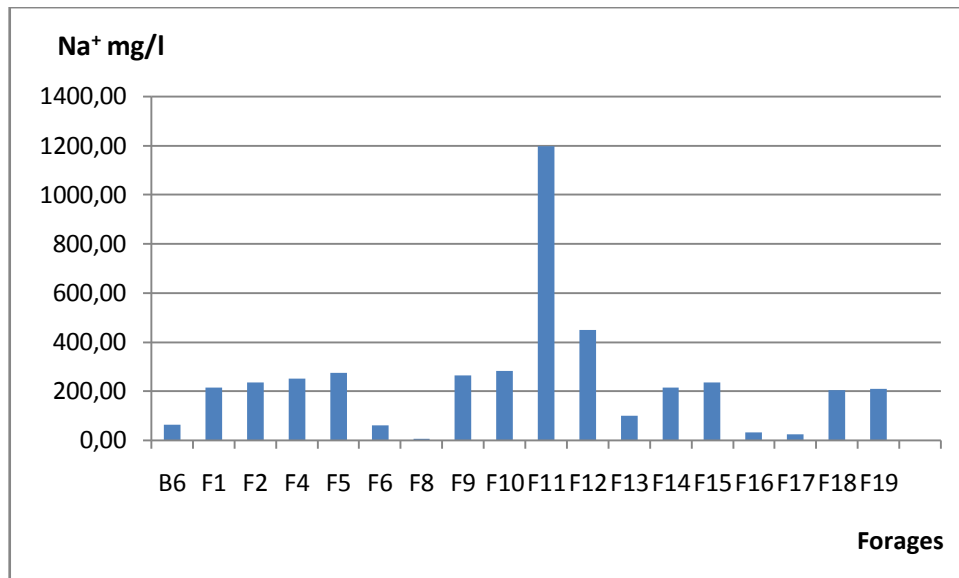


Figure 13: Variation des concentration en Na⁺ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine les formations salifères

3.2.1.4. Le 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, les concentrations obtenues en cet élément varient de 3,33 mg /l aux forages F13 et F14 à 38,33 mg/l au forage F10 (figure 14).

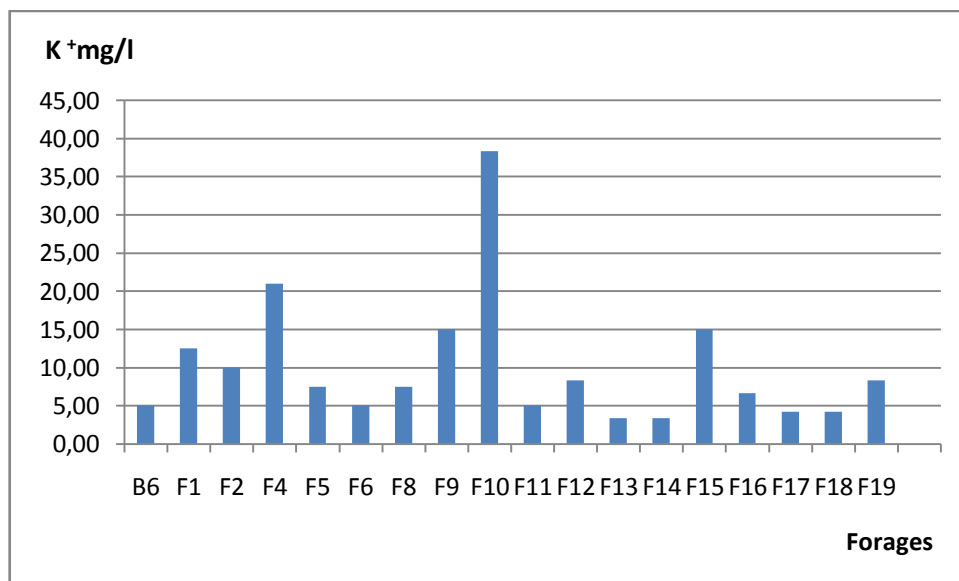


Figure 14 : Variation des concentrations en K⁺ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine les formations argileuses et évaporitiques.

3.2.1.5. Les 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 varient de 58,14 mg/l au forage F17 à 1191,2 mg/l au forage F4 (figure 15).

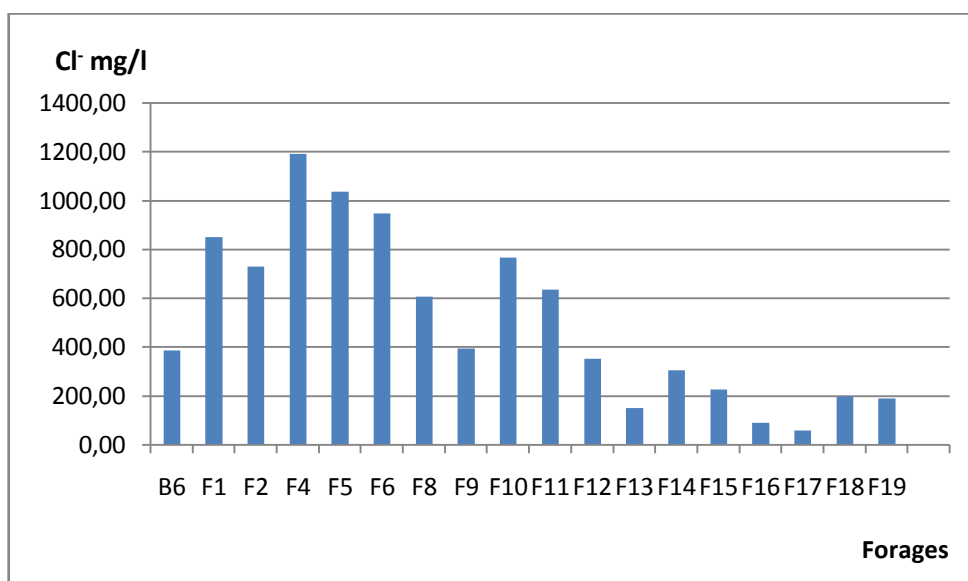


Figure 15 : Variation des concentrations en Cl⁻ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

La carte de l'évolution des teneurs en chlorures (figure 16) montre que les fortes concentrations s'observent dans la partie Sud du secteur d'étude. Ces teneurs diminuent en allant vers le Nord. Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine la

dissolution des minéraux évaporitiques.

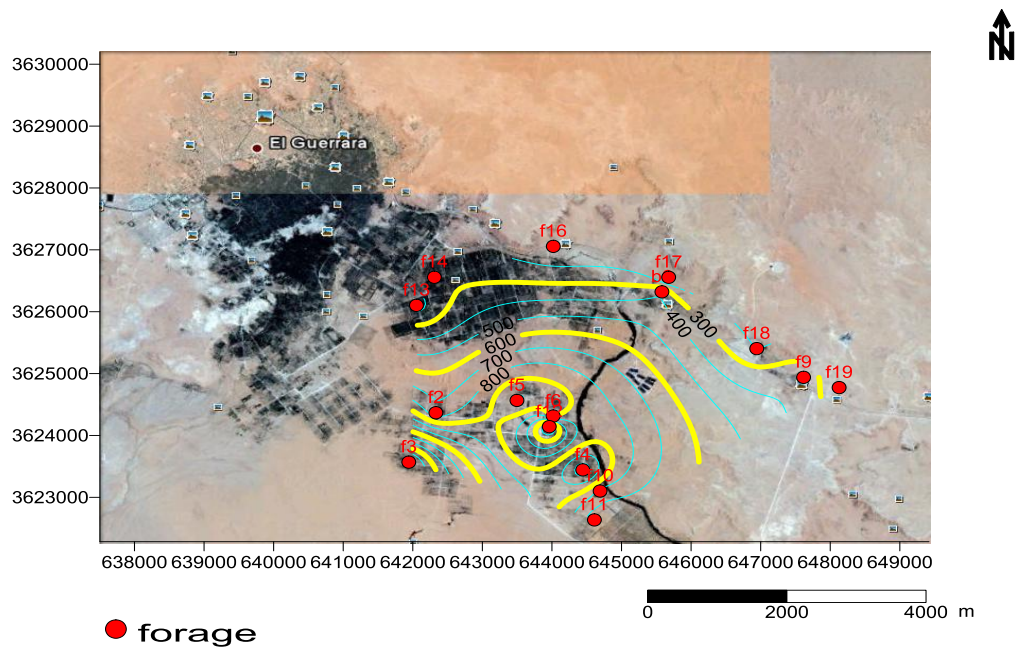


Figure 16: Variation des concentrations en Cl⁻ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

3.2.1.6. Les Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés

Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varient de 132 mg/l au forage F12 à 390 mg/l au forage F10

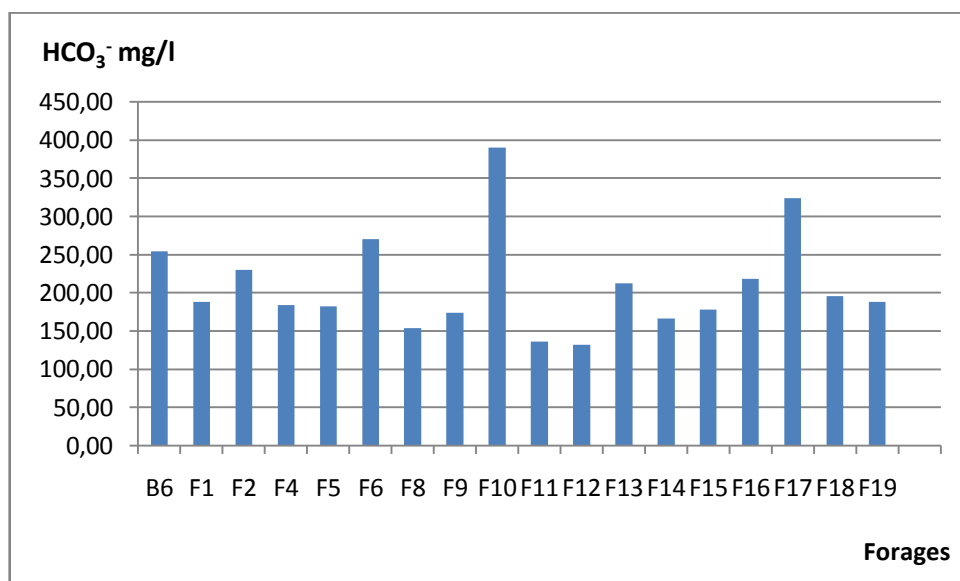


Figure 17: Variation des concentrations en HCO_3^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara

Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine la dissolution des formations carbonatées.

3.2.1.7 Les Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) et l'anhydrite (CaSO_4), ils peuvent provenir également de l'oxydation du baryum.

Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région sont très élevée et varient de 169,97 mg /l au forage F17 à 1733,7 mg/l au forage F12.

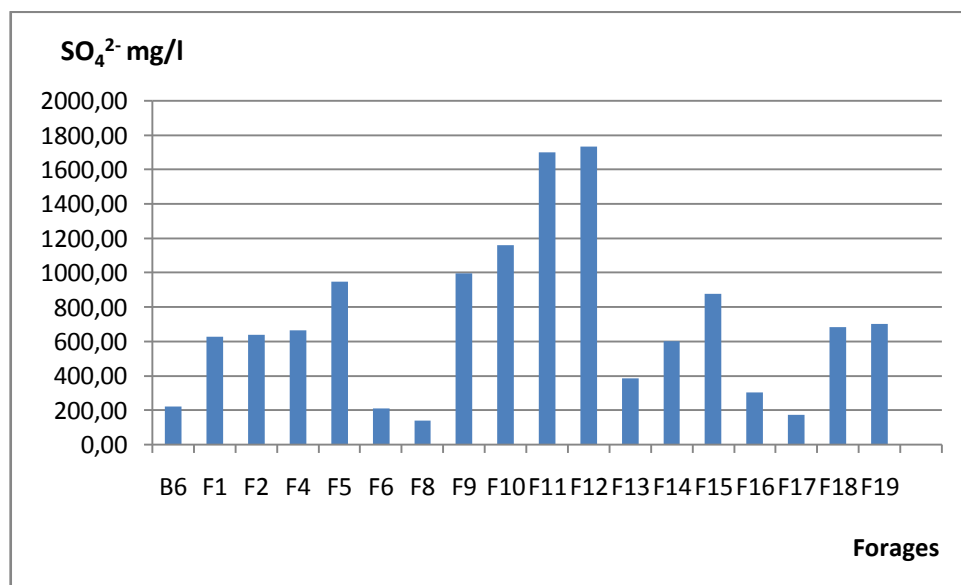


Figure18: Variation des concentrations en SO_4^{2-} dans la nappe du Sénonien de Guerrara

Dans la nappe du Sénonien ces concentrations auraient pour origine les formations évaporitiques.

3.2.2 Les paramètres de pollution

3.2.2.1. 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. La concentration des nitrates dans les eaux du Sénonien de Guerrara sont faibles, elle varie de 2,53 mg /l aux forages F15 à 18,86 mg/l au forage F6

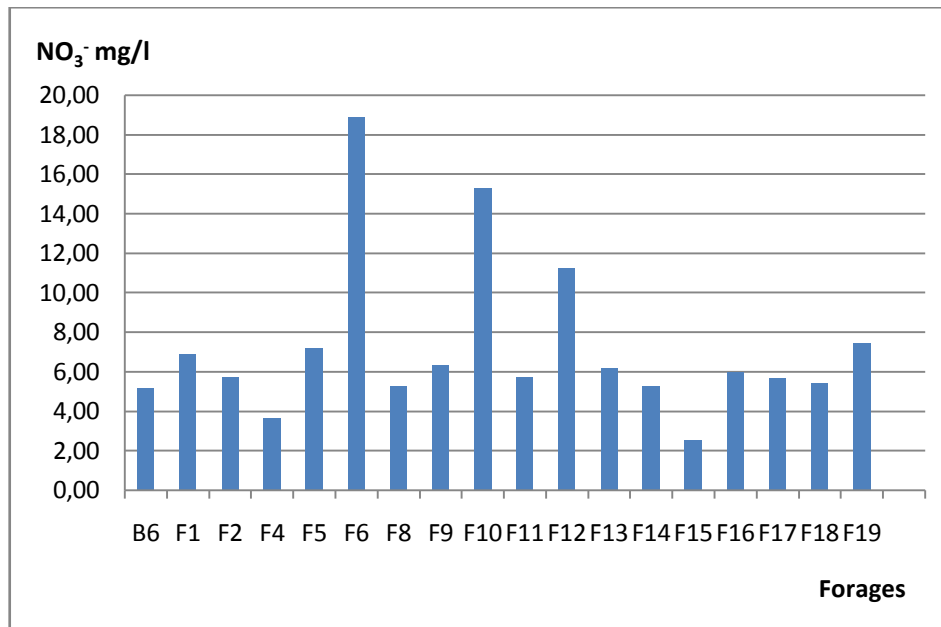


Figure19: Variation des concentrations en NO₃⁻ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

La carte de l'évolution des concentrations en nitrate (figure 20) montre que les fortes teneurs en cet ion s'observent au Sud. Ces concentrations deviennent faibles en allant vers le Nord. Etant donnée que la région d'étude est principalement à vocation agricole et que le secteur étudié sont des périmètres agricoles, la présence des nitrates dans cette eau serait naturelle et

éventuellement anthropique

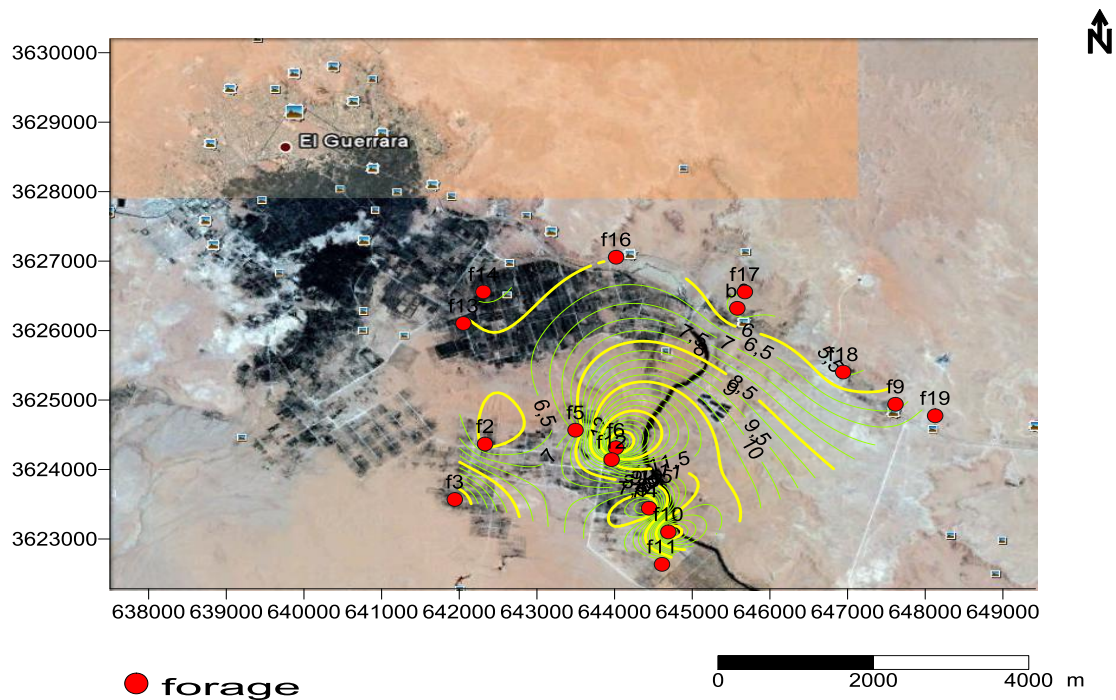


Figure 20: Variation des concentrations en NO_3^- dans la nappe du Sénonien de Guerrara

3.2.2.2 Les Nitrites (NO_2^-) :

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

3.2.2.3 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 ammonium dans les eaux du Sénonien de la zone d’étude sont dans l’ensemble faibles, la teneur maximale est de à 0.062 mg/l au forage F19

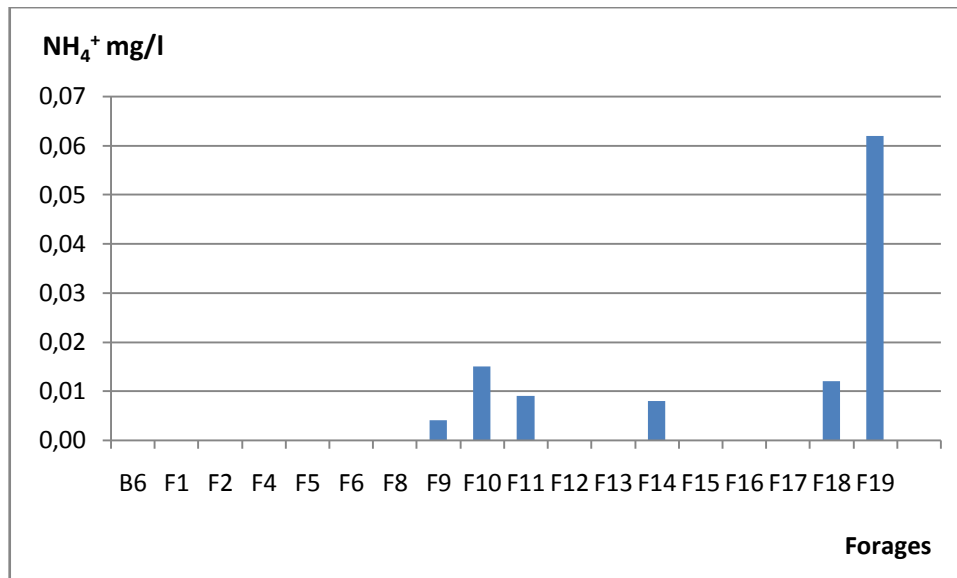


Figure 21: Variation des concentrations en NH₄⁺ dans la nappe du Sénonien de Guerrara

3.2.2.4 Les Phosphates (PO₄³⁻) :

L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques, les teneurs en phosphates des eaux de la nappe sont inférieures à 0,03mg/l.

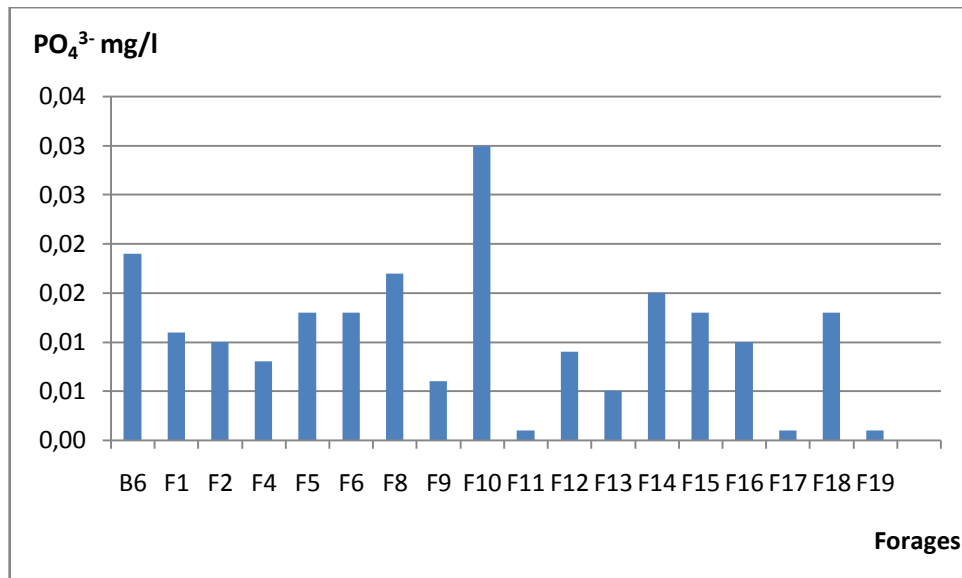


Figure22: Variation des concentrations en PO_4^{3-} dans la nappe du Sénonien de Guerrara

3.3 Les faciès chimiques :

3.3.1 Diagramme de Piper :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier les familles d'eaux, l'examen du diagramme obtenu (Figure 23) permet de déduire les observations suivantes :

- Domination du calcium et sodium sur le magnésium dans le triangle des cations.
- Domination des chlorures et sulfates sur les bicarbonates dans le triangle des anions.

Ainsi, les résultats d'analyses des eaux du Sénonien de la région de Guerrara permettent de distinguer deux familles d'eau:

- Famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques pour la majorité des forages
- Famille des eaux sulfatées sodiques pour un forage

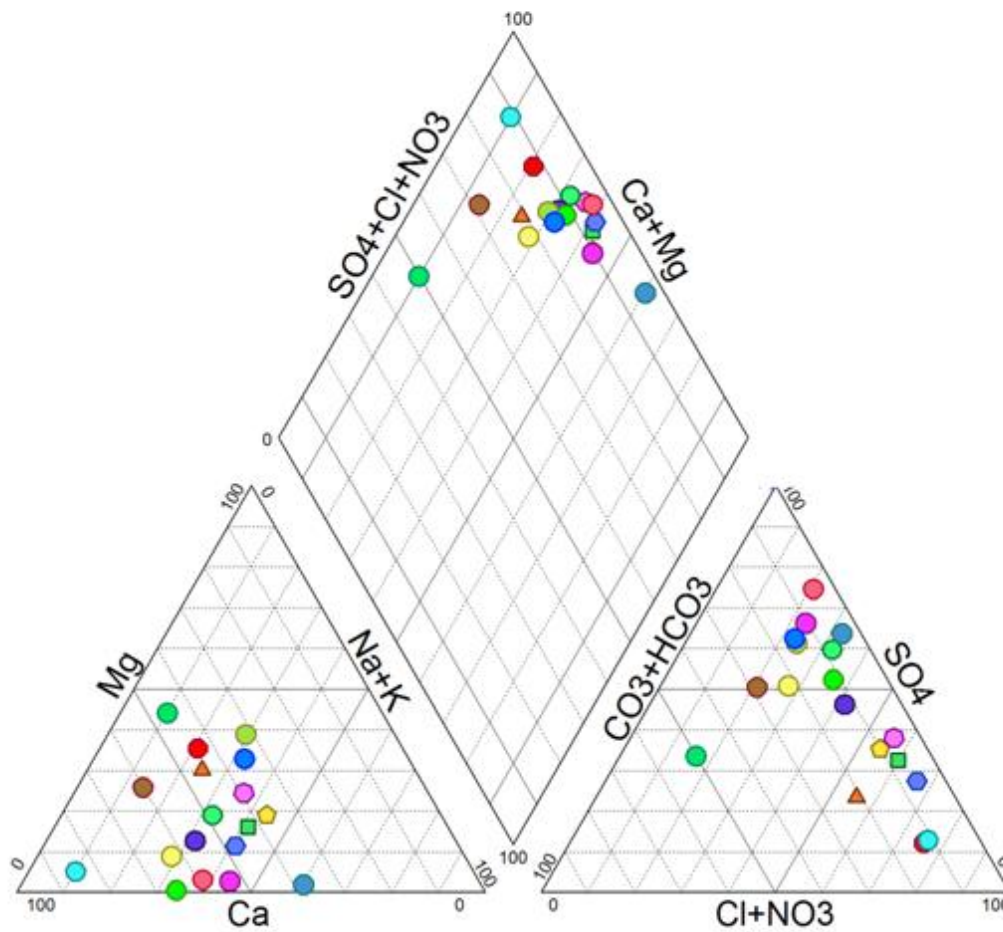


Figure23: Diagramme de Piper des eaux du Sénonien de la région de Guerrara

3.3.2 Diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme de Schöeller Berkaloff permet de représenter les faciès chimiques de plusieurs échantillons d’eaux dans un seul graphe. La figure (24) des différents forages met en évidence les faciès chimiques suivants:

- faciès chloruré calcique et magnésien au niveau des forages: F1, F2, F4, F6, F8, F10, F5 et B6
- faciès sulfaté calcique et magnésien aux forages : F9, F19, F12, F13, F14, F15, F16 et F18
- faciès sulfaté sodique au forage : F11
- faciès bicarbonaté calcique au forage : F17

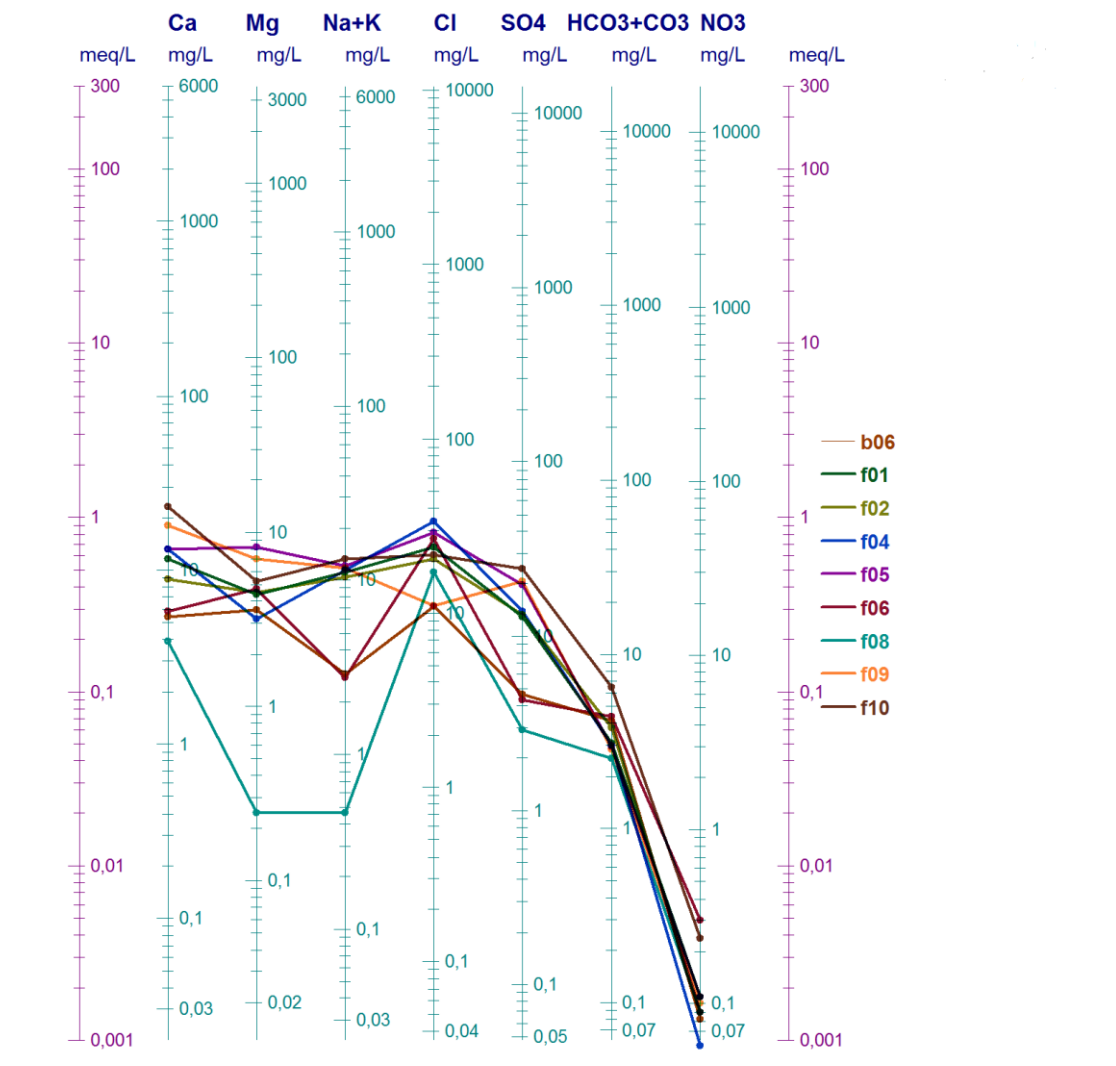


Figure 24a: Digramme de Schöeller des eaux du Sénonien de la région de Guerrara

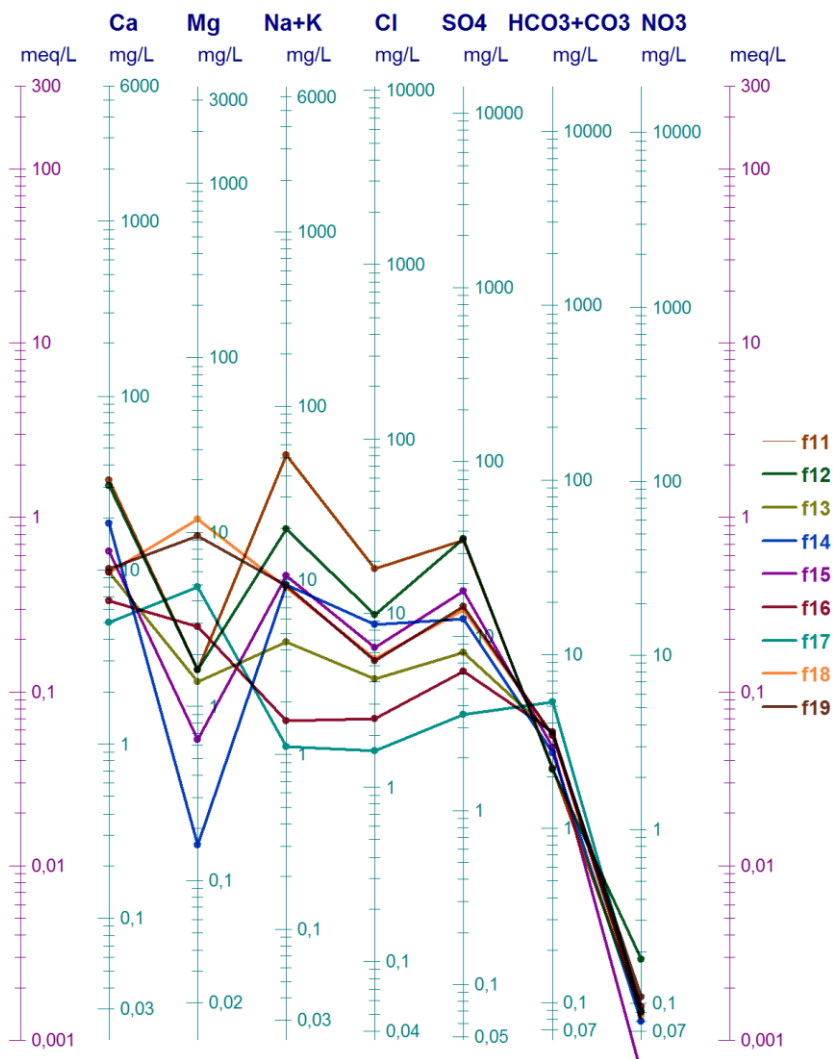


Figure 24.b: Digramme de Schöeller des eaux du Sénonien de la région de Guerrara

3.4. 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 existant dans l'eau.

Il est donné par l'expression suivante :

$$i. e. b = \frac{r \text{ Cl} - r (\text{Na}+\text{Cl})}{r \text{ Cl}}$$

- 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.

D'après le tableau 1, on remarque que l'indice d'échange de base est inférieur à zéro, au niveau des forages F9, F11, F12, F13, F14, F16, F18 et F19 indiquant ainsi un échange des ions Mg^{2+} et Ca^{2+} contre les ions Na^+ et K^+ de terrain encaissant et il est supérieur à zéro pour le reste des forages

Tableau 6: l'indice d'échange de Base de la Nappe du Sénonien

Forage	i.e.b	Forage	i.e.b
B6	0,73	F11	-1,92
F1	0,60	F12	-1,00
F2	0,49	F13	-0,05
F4	0,66	F14	-0,10
F5	0,58	F15	-0,66
F6	0,90	F16	0,38
F8	0,97	F17	0,32
F9	-0,07	F18	-0,64
F10	0,39	F19	-0,77

3.5 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive ; son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday & al. 1982 ; Philipeau, 1992). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Gaudin, 1982 ; Diday & al. 1982 ; Philipeau, 1992 ; Dervin, 1992).

La méthode cherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale : cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

Ensuite, une seconde composante est recherchée et ceci sous deux conditions

- Avoir une corrélation nulle avec la première.
- Avoir, à son tour, la plus grande variance.

Ainsi, cette deuxième composante fournit la plus grande information non expliquée par la première (Dervin, 1992 ; Philipeau, 1992).

Le processus se déroule ainsi jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale, la part d'information expliquée par chacune d'elle devenant de plus en plus faible (Diday & al. 1982 ; Philipeau, 1992).

3.5.1 Application aux eaux de la zone d'étude :

Cette analyse comporte 18 échantillons et 13 variables. Les résultats obtenus sur deux axes donnent 48,60% de l'information

a) Matrice de corrélation :

A partir du nombre d'échantillons, nous déduisons le coefficient de corrélation acceptable, dans le cas présent $r = 0,53$

L'observation du tableau des corrélations, nous permet de dégager les associations suivantes:
 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$, $\text{K}^+ - \text{PO}_4^{3-}$

Tableau 7 : Matrice de corrélation

	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻
pH	1,000000	-0,247979	-0,490756	0,189204	-0,505507	-0,381313	-0,316306	-0,199140	-0,456169	-0,359053	0,001639	0,134263	0,318638
CE	-0,247979	1,000000	0,403895	0,045436	0,040994	0,425950	0,016682	0,192128	0,466396	0,239076	0,356637	0,099008	-0,328691
Ca ²⁺	-0,490756	0,403895	1,000000	-0,182807	0,836733	0,289300	-0,278468	0,117894	0,946536	0,156932	-0,044089	0,071668	0,141366
Mg ²⁺	0,189204	0,045436	-0,182807	1,000000	-0,109399	0,050479	0,201763	0,024386	0,001474	0,144146	-0,078650	0,482200	0,228917
Na ⁺	-0,505507	0,040994	0,836733	-0,109399	1,000000	0,045337	-0,376066	0,186366	0,824450	-0,039590	-0,283303	0,102968	0,031208
K ⁺	-0,381313	0,425950	0,289300	0,050479	0,045337	1,000000	0,453526	0,399489	0,306134	0,275698	0,533314	0,080322	0,139160
HCO ₃ ⁻	-0,316306	0,016682	-0,278468	0,201763	-0,376066	0,453526	1,000000	0,018400	-0,326960	0,475619	0,430264	0,001405	-0,141107
Cl ⁻	-0,199140	0,192128	0,117894	0,024386	0,186366	0,399489	0,018400	1,000000	0,142146	0,309594	0,283602	-0,233038	-0,085960
SO ₄ ²⁻	-0,456169	0,466396	0,946536	0,001474	0,824450	0,306134	-0,326960	0,142146	1,000000	0,114500	-0,083819	0,129150	0,157218
NO ₃ ⁻	-0,359053	0,239076	0,156932	0,144146	-0,039590	0,275698	0,475619	0,309594	0,114500	1,000000	0,350425	0,080078	-0,059490
PO ₄ ³⁻	0,001639	0,356637	-0,044089	-0,078650	-0,283303	0,533314	0,430264	0,283602	-0,083819	0,350425	1,000000	-0,206725	-0,170318
NH ₄ ⁺	0,134263	0,099008	0,071668	0,482200	0,102968	0,080322	0,001405	-0,233038	0,129150	0,080078	-0,206725	1,000000	-0,032107
NO ₂ ⁻	0,318638	-0,328691	0,141366	0,228917	0,031208	0,139160	-0,141107	-0,085960	0,157218	-0,059490	-0,170318	-0,032107	1,000000

b) Cercle ACP

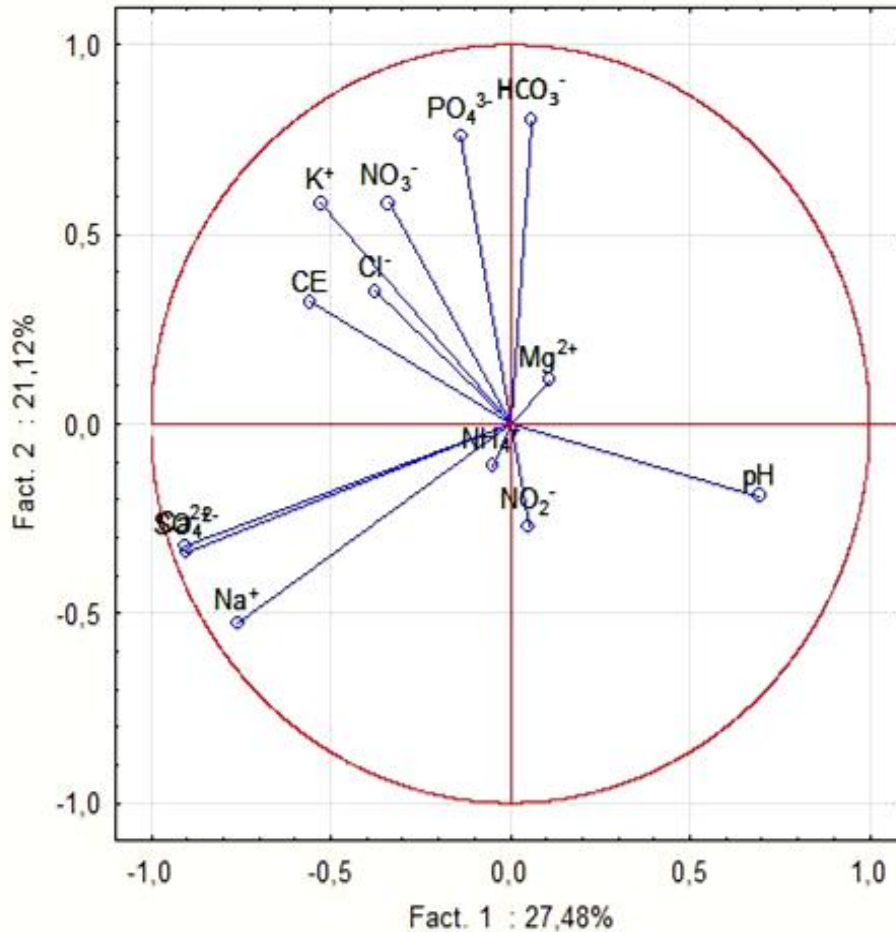
La projection sur le plan 1-2, montre l'existence de deux groupes (figure 25) :

- le premier se développe sur l'axe 1 qui explique 27,48% de la variance, il présente le pôle minéralisation avec une relation positive entre la conductivité, Ca^{2+} , Na^+ et SO_4^{2-} . La projection des individus montre que cet axe explique surtout les forages F10, F11 et F12
- le deuxième ensemble se positionne sur l'axe 2 qui explique 21,2% de la variance, il est défini par les teneurs en HCO_3^- , K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} et Cl^- . La projection des individus explique surtout le forage F6

Il ressort de l'interprétation de l'ACP que l'origine des ions calcium est dans l'ensemble évaporitique puisqu'on note une forte corrélation entre Ca^{2+} et SO_4^{2-} et une opposition entre Ca^{2+} et HCO_3^- .

On note également une forte corrélation entre le Ca^{2+} et Na^+ qui serait liée à un échange de bases.

Figure 25: Projection des variables sur le plan factoriel 1-2



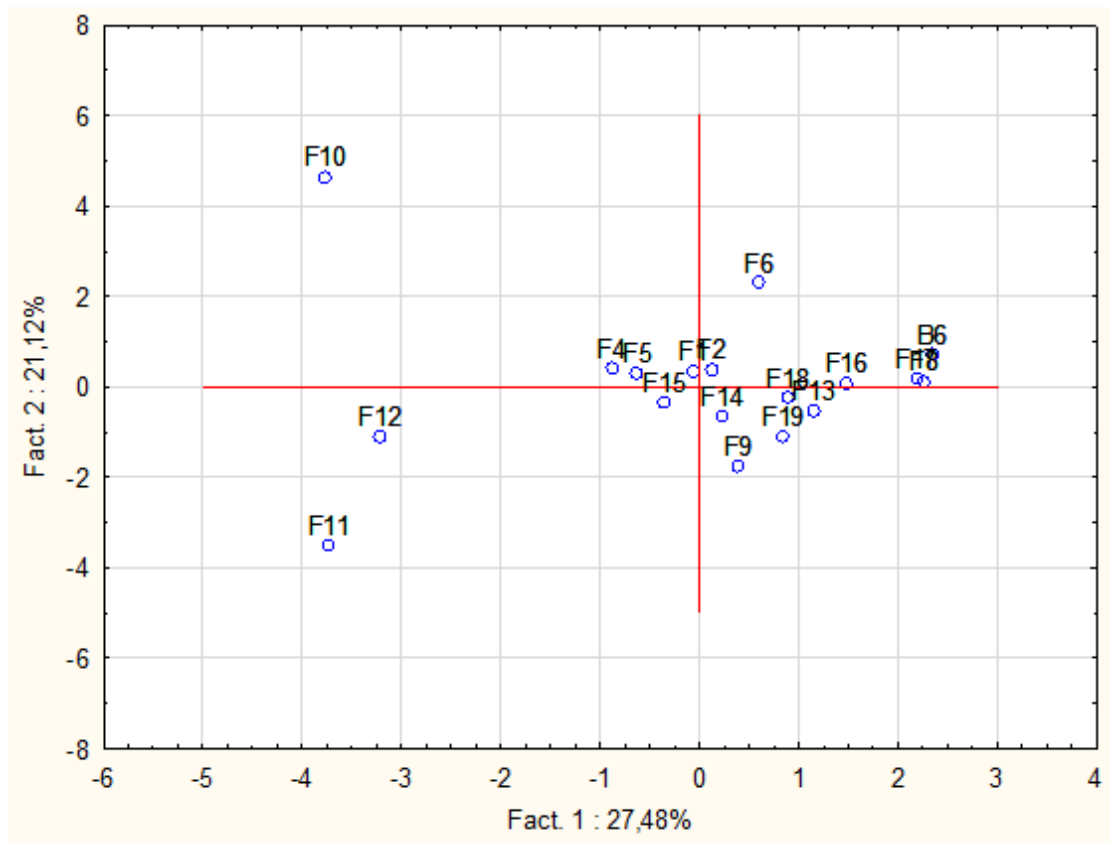


Figure26: Projection des individus sur le plan factoriel 1-2

3.6. Aptitude des eaux à l'alimentation:

L'eau de l'aquifère Sénonien 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)

A cette fin, nous avons porté sur un tableau (tableau 3) les concentrations maximales des différents paramètres obtenus de l'analyse des eaux de la nappe et ceux de l'O.M.S

Tableau 8 : Comparaison des concentrations en différents paramètres avec les normes de l'O.M.S

Les paramètres	Concentrations max (mg/l)	Normes de l'O.M.S (mg/l)
Ca²⁺	657,31	200
Mg²⁺	141,9	150
Na⁺	1200	200
K⁺	38,33	20
Cl⁻	1191,2	500
HCO₃⁻	390	-
SO₄⁻²	1733,9	400
NO₃⁻	18,86	50
NO₂⁻	0,095	< 0,2
NH₄⁺	0,062	0,5
PO₄³⁻	0,03	0,5
pH	7,76	6,5 - 8,5
CE (µS/cm)	7940	2500

Il ressort de cette comparaison que la majorité des paramètres dépassent les normes excepté le pH, les teneurs en Mg²⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻.

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:

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

rCa²⁺, **rMg²⁺** : désignent respectivement les quantités en réaction de calcium et de magnésium en méq/l

Tableau 9: 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 Sénonien de Guerrara montre que l'eau de la nappe est dans l'ensemble dure à très dure. Un échantillon seulement présente un TH de 20,81°F donc une eau modérément douce

Enfin, nous pouvons conclure que quatre forages seulement présentent une eau de bonne qualité à AEP et qui sont : B6, F13, F16 et F17

3.7. Aptitude des eaux à l'irrigation:

Les eaux de sénonien sont utilisées pour l'irrigation des périmètres agricoles, l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux influent sur les caractéristiques du sol ce qui aura des répercussions sur le rendement de l'activité agricole. L'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium, une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classée les eaux en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, défini par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

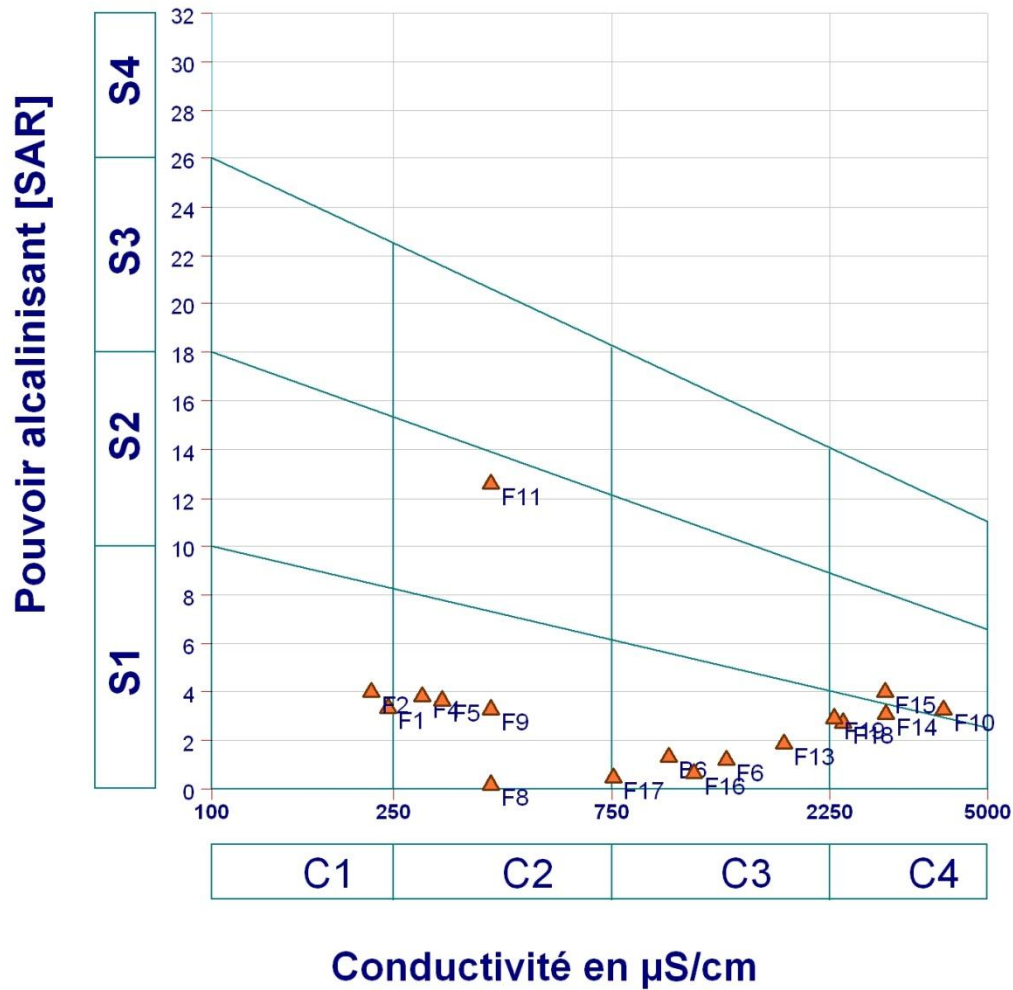


Figure 27: Diagramme de Richards des eaux de la nappe du Sénonien de Guerrara

Les résultats des analyses portés sur le diagramme de Richards (figure27) montrent la répartition des forages dans différentes classes.

Les quatre classes trouvées représentent les caractéristiques suivantes :

Classe C1-S1 : elles représentent les eaux d'excellente qualité pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols. Les forages appartenant à cette classe sont F1 et F2

Classe C2-S1, C2-S2: elles représentent les eaux de bonne qualité convenable aux plants qui ont une tolérance aux sels cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles. Les forages appartenant à cette classe sont F4, F5, F8, F9 et F11

Classe C3S1: 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 B6, F6, F13, F16 et F17

Classes C4S1, 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 F14, F18, F10 et F15

4. Conclusion:

L'étude hydrochimique des eaux de la nappe du Sénonien de la région de Guerrara montre que l'eau est dans l'ensemble fortement minéralisée avec une conductivité électrique qui varie entre 0,40 et 4,81 mS/cm et qui atteint au niveau d'un point d'eau 7,94 mS/cm. En ce qui concerne le faciès chimique des eaux, deux familles d'eau ont été mises en évidence : une famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques pour la majorité des forages et une famille des eaux sulfatées sodiques pour un forage. L'interprétation des résultats par l'ACP a permis de déterminer l'origine de la minéralisation de la nappe qui est dans l'ensemble due à la dissolution des évaporites.

La comparaison des résultats des analyses des 18 forages avec les normes de l'O.M.S montre que quatre forages seulement : B6, F13, F16 et F17 présente une eau de bonne qualité et pouvant être destinée à AEP.

L'estimation de la qualité des eaux à l'irrigation par la méthode de Richards a montré que les eaux de la nappe du Sénonien est de bonne qualité pour l'irrigation au niveau des forages F1, F2, F4, F5, F8, F9 et F11. Elle est de qualité admissible à médiocre aux forages B6, F6, F13, F16, F17, F14, F18, F10 et F15

Conclusion général:

La région de Guerrara est située au Nord du Sahara Septentrional, ce qui lui confère un climat saharien, caractérisé par un été chaud et sec avec une température qui atteint 45°C. Un hiver doux, et une forte évaporation de 2630.5mm/an. La région reçoit de faibles précipitations avec une moyenne annuelle de 89.82mm.

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

Dans la partie hydrogéologie, ont été présentés les différents aquifères exploités dans la région. L'aquifère du Sénonien d'une épaisseur moyenne de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m est très sollicité. Il est capté par plus de 64 forages dont la majorité est des forages illicites destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

L'étude hydrochimique de la nappe du Sénonien montre que l'eau est dans l'ensemble fortement minéralisée avec une conductivité électrique qui varie entre 0,40 et 4,81 mS/cm et qui atteint au niveau d'un point d'eau 7,94 mS/cm. Deux familles d'eau ont été mises en évidence : une famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques pour la majorité des forages et une famille des eaux sulfatées sodiques pour un forage. L'interprétation des résultats par l'ACP a permis de déterminer l'origine de la minéralisation de la nappe qui est dans l'ensemble due à la dissolution des évaporites. La comparaison des résultats des analyses des 18 forages avec les normes de l'O.M.S montre que quatre forages seulement : B6, F13, F16 et F17 présente une eau de bonne qualité et pouvant être destinée à AEP.

L'estimation de la qualité des eaux à l'irrigation par la méthode de Richards a montré que les eaux de la nappe du Sénonien est de bonne qualité pour l'irrigation au niveau des forages F1, F2, F4, F5, F8, F9 et F11. Elle est de qualité admissible à médiocre aux forages B6, F6, F13, F16, F17, F14, F18, F10 et F15

Bibliographie:

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

Capot-Rey .R et al ; Glossaire des termes géographiques et hydrogéologiques ; Ed. I.R.S Univ d'Alger, pp 44-45,(1963).

Djili .B ; Etude des sols alluviaux en zones arides. Cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique ; thèse de magistère, université Kasdi Merbah Ouargla, (2004).

Dutil .P ; Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara ; Thèse doc. D'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346 p, (1971).

Gautier .M, Gousskov .M.N ; 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,(1951).

HERKOUS.F et ZEHRI.H(2010):Impact des activités anthropiques sur la qualité (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 PUBLISHERS, 420p.

Jacques.Boudin (2008): Cours de Lithologie et Chimie des Eaux Souterraines, Module de géologie département Géosciences, Université de Poitiers, Fichier PPT, 34p.

Latrech, D ; Eaux et sols d'Algérie. ; Ed .A.N.R.H., Alger, 60p,(1997).

Monod .T; Les déserts; Ed Horizons de France, Paris, 247 p,(1973).

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

Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8^{ème} Edition, Paris, 1383p.

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

StatSoft France. (2003). STATISTICA, logiciel d'analyse de données. www.satsoft.com.

S.C.G ; Notice explicative des cartes géologiques au 1/500.000, Alger-Nord. Alger-Sud. ; Bult. Du Serv. De Cart. Géo. De l'Algérie, Alger, pp 95-99,(1939).

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 ; Aperçu hydrogéologique. Région de Guerrara. Wilaya de Ghardaïa ; Serv. Hydrogéologie, Ouargla, 6 p, (1992).