

UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER Académique

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Agronomie

Spécialité : Protection de la ressources sol-eau et d'environnement

Présenté par: M^{elle} AMOUMENE Siham

Thème

*Qualité chimique de l'eau de la nappe alluviale
de Guerrara.*

Soutenu publiquement le : 27/06/2013

Devant le jury

1 -HAMDI-AISSA B.	(Professeur)	Président	UKM Ouargla
2 -IDDER T.	(MCA)	Examinateur	UKM Ouargla
3 -KHEMGANI Mohamed A	(MCB)	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2012/2013



DEDICACE

Je dédie ce travail :

A mes parents et ma tante Zohra les plus chers dans le monde, pour leur soutien, encouragements.

A mes frères et sœurs

A mes tantes et oncles

Aux familles : AMOUMÈNE, HELALI.

A mes chères amies

Aux étudiants de la 01^{ème} promotion d'LMC, les étudiants de 5^{ème} années Mise en valeur, et tous les étudiants de 1^{ème}

Magister Ecologie

Et n'oublier pas toutes les agents de laboratoire ADE.

SIHAM

Remerciements

Avant tout, louange à Dieu tout puissant de nous avoir accordée la force, le courage et les moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.

*C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre promoteur **M^{er} KHEMGANI Mohamed A.M.** pour avoir proposé ce thème, suivi et dirigé ce travail, nous le remercions infiniment, pour son aide, ses conseils, ses orientations ainsi que, ses remarques et ses critiques qui nous ont été d'un apport précieux,*

Nous remercions tout le personnel du laboratoire de l'ETAS, laboratoire de Bio-Géochimie des Milieu Saharien en hydraulique, laboratoire de Algérie de l'eau (ADE), ANRH et de la bibliothèque pour leur précieuse aide et leur compréhension.

Nous remercions également dans la même occasion tous nos amis, et les étudiants de la 01^{eme} promotion d'LMO, et toutes les personnes ayant contribués de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail.

Liste des Figures

Figure	Titre	Page n°
01	Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa	04
02	Carte géologique de Guerrara	05
03	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de la région de Ghardaïa	09
04	Diagramme de l'EMBERGER de la région de Ghardaïa (2012)	10
05	Répartition spatiale des puits analysés	19
06	Carte piézométrique de la nappe alluviale (Janvier 2013)	23
07	Carte piézométrique de la nappe alluviale (Avril 2013)	24
08	Variation du pH de la nappe des deux compagnes	25
09	La relation cation (Ca^{2+} , Mg^{+} , Na^{+} , K^{+})- Conductivité Électrique	26
10	La relation anions (Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-})- Conductivité Electrique	27
11	Variation du résidu sec de la nappe des deux compagnes	28
12	Relation Résidu sec – Conductivité	28
13	Variation du la dureté totale de la nappe des deux	29
14	Variation des concentrations en Sodium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes	32
15	Variation des concentrations en Calcium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes.	32
16	Variation des concentrations en Magnésium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes.	33
17	Variation des concentrations en Potassium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes.	33
18	Variation des concentrations en chlore des eaux de la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes.	34
19	Variation des concentrations en Sulfate des eaux de la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes.	35
20	Variation des concentrations en Bicarbonate des eaux de la nappe alluviale	35

	Guerrara de deux compagnes	
21	Diagramme de Piper (Janvier 2013)	37
22	Diagramme de Piper (Avril 2013)	38
23	Diagramme de Schoeller-Berkaloff (P1-P10) (Janvier 2013)	39
24	Diagramme de Schoeller-Berkaloff (P11-P20) (Janvier 2013)	40
25	Diagramme de Schoeller-Berkaloff (P21-P30) (Janvier 2013)	41
26	Diagramme de Schoeller-Berkaloff (P1-P10) (Avril 2013)	42
27	Diagramme de Schoeller-Berkaloff (P11-P20) (Avril 2013)	43
28	Diagramme de Schoeller-Berkaloff (P21-P30) (Avril 2013)	44
29	Schéma représentative de la détermination de l'origine du Calcium	46
30	Schéma représentative de la détermination de l'origine du Sodium	47
31	Relation entre la concentration Sulfate (SO_4^{2-}) et calcium (Ca^{2+}).	47
32	Relation entre la concentration Sulfate (SO_4^{2-}) et calcium (Ca^{2+}).	48
33	Diagrammes de Riverside (Janvier 2013).	50
34	Diagrammes de Riverside (Avril 2013).	50

Liste des Tableaux

N°	Titre	Page n°
01	Précipitations mensuelles durant l'année 2003 à 2012	07
02	Température mensuelles durant les années 2003 à 2012	07
03	Valeurs du vent (m/s) enregistrées dans la région de Ghardaïa de l'année 2012.	08
04	Humidité relative de l'aire (H%) de l'année 2012 dans la région de Ghardaïa.	08
05	Les classes d'eau selon la dureté.	15
06	Le bilan ionique (en méq/l) (Février 2013).	30
07	Le bilan ionique (en méq/l) (Avril 2013).	31
08	Indice d'échange de base.	36
09	Ration d'Adsorption de Sodium.	49
10	Résultats des mesures des coordonnées géographiques et des profondeurs des deux compagnes.	59
11	CE, pH mesurés dans l'eau échantillonné.	60
12	Classe de salinité en fonction de la CE de l'extrait saturé et de la somme des Anions.	61
13	Classification des eaux phréatique (OUMERI, 1994).	61
14	La dureté totale de l'eau durant les deux compagnes.	61
15	Les rapports caractéristiques des ions d'eau durant la première compagne (Janvier 2013).	62
16	Les rapports caractéristiques des ions d'eau durant la deuxième compagne (Avril 2013).	63
17	Indice croisé SAR/conductivité.	64
18	Les indicateurs de qualité.	65

Table de matière

Introduction.....	01
Chapitre I : Le cadre physique de la zone d'étude	
I.1- Situation géographique.....	04
I.2. Le contexte géologique.....	05
I.3. Contexte hydrogéologique.....	05
I.3.1- La nappe du continental Intercalaire.....	06
I.3.2- La nappe phréatique.....	06
I.4- Hydrologie superficielle (Oued Zigrir).....	06
I.4.1- Généralités sur Oued Zegrir.....	06
I.4.2- épandages des eaux de crues d'Oued Zegrir.....	06
I.5- Contexte climatique.....	07
I.5.1.Aperçu sur quelques composantes du climat de Guerrara.....	07
I.5.2- Synthèse des données climatiques.....	08
I.5.2.1- Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	09
I.5.2.2- Climagramme d'Emberger.....	09
Conclusion.....	10
Chapitre II : Les nappes alluviales	
II.1- La nappe alluviale.....	12
II.1.1- Caractéristiques de la nappe alluviale.....	12
II.1.2 –Alimentation de la nappe alluviale.....	12
II.1.3- Relation de la nappe alluviale et court d'eau.....	13
II.2- Exploitation de nappe alluviale.....	13
Chapitre III : Qualité chimique des eaux	
III.1- critère d'évaluation des eaux d'irrigation.....	15
III.1.1- Dureté.....	15
III.1.2- Salinité.....	15
III.1.3-Alcalinité.....	16
III.1.4- Toxicité.....	16
III.2- pH de l'eau d'irrigation.....	17
Chapitre IV : Matériels et Méthodes	
IV.1- Méthode d'échantillonnage sur terrain.....	19
IV.1.1- Répartition spatiale des puits analysés.....	19
IV.2- Méthode d'analyse au laboratoire.....	20
IV.2.1- Les paramètres physiques.....	20

IV.2.2- Les paramètres chimiques.....	20
IV.3- Outils informatiques.....	21
Chapitre V: Résultats et Discussions	
V.1- Résultats piézométriques.....	23
V.1.1- Etablissement des cartes piézométriques de la nappe.....	23
Conclusion.....	24
V.2- Résultats des mesures et des analyses physicochimiques de l'eau.....	25
V.2.1- Potentiel hydrogène (pH).....	25
V.2.2- Conductivité (CE).....	25
V.2.3- Minéralisation.....	27
V.2.4- Dureté total (TH).....	29
V.3- Chimie et qualité de la nappe.....	30
V.3.1- Cation	31
V.3.2- Anion.....	34
V.3.3- Indice d'échange de base.....	36
V.4- Détermination des principaux faciès.....	37
V.4.1- Représentation sur le diagramme de Piper	37
V.4.2- Représentation sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	39
Conclusion.....	45
V.5- Origine de chimisme des eaux de la nappe.....	46
V.6- Aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'irrigation	49
V.7- Discussion générale.	51
Conclusion générale.....	53
Références bibliographique.....	56
Annexe.....	59

A grayscale illustration of a hand holding a pen, writing on a notepad. The notepad is open, and the pen is in the process of writing a line. The word "Introduction" is written in a bold, italicized serif font across the middle of the notepad.

Introduction

Introduction

Le Sahara algérien renferme des potentialités hydriques souterraines importantes, qui sont pour la plus part fossiles et donc non renouvelables. La disponibilité de l'eau a permis la mise en place d'une agriculture adaptée dans les oasis.

Les oasis traditionnelles ont été établies dans des zones alluviales, à partir de ressources en eau « facilement » mobilisables (sources, puits de surface, foggaras ...). Les systèmes d'appropriation et de partage des eaux sont régis par des règlements et des codes coutumiers liés à l'organisation et au fonctionnement de la société.

Malheureusement les ressources utilisées actuellement sont en grande partie, non renouvelables, ce qui a conduit à la baisse de l'artésianisme, à la dégradation de leur qualité (salinisation) et au risque d'épuisement.

Diverses études ont également porté sur la qualité physicochimique, et parfois bactériologique, des eaux de ce système aquifère. Elles ont pu estimer leur potabilité, leur aptitude à l'irrigation, et par conséquent, leur impact sur la santé humaine et l'environnement. C'est ainsi que des propositions de traitements, adaptés aux paramètres de qualité à corriger, ont été effectuées (ACHOUR et YOUCEF, 2001 ; MEGDOUD, 2003 ; BOUCHAHM et ACHOUR, 2008).

La nappe superficielle (phréatique) du Guerrara est alimentée par les eaux des crues de Oued Zegrir.

L'objectif de notre travail est l'étude chimique des eaux de la nappe phréatique (alluviale) de Guerrara.

Pour ce, 30 puits à l'intérieur de l'ancienne palmeraie ont été étudiés. Il s'agit d'un échantillonnage de l'eau des puits en plus des prises des données géographiques et piézométriques des puits.

Ce travail a été réalisé sur deux campagnes d'échantillonnage ; une au mois de Janvier et l'autre au mois de Avril 2013.

Les échantillons d'eau sont analysés par la suite au laboratoire pour déterminer certains paramètres physico-chimique de cette eau, à savoir la CE, pH et le bilan ionique. Ces paramètres vont servir pour la détermination du faciès chimique de l'eau et sa qualité chimique en générale.

Des programmes informatiques ont été utilisés pour représenter les paramètres sus indiqués et en tirer des renseignements particuliers.

Le thème proposé est structuré selon cinq chapitres. Au cours du *premier chapitre*, on présente les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre physique de notre région d'étude, les principales caractéristiques physicochimiques et hydrogéochimiques des eaux des différentes nappes.

Dans le *deuxième chapitre*, nous présentons la nappe alluviale et leurs caractéristiques, et aussi l'alimentation de cette nappe, la relation avec le cours d'eau, ainsi que l'étendus d'utilisation dans la région.

Dans le *troisième chapitre*, nous présentons la qualité chimique de l'eau et les critères d'évolution de cette qualité.

Le *quatrième chapitre* est consacré aux conditions et aux modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse de nos échantillons ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.

Le *cinquième chapitre*, est réservé à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus pour chaque compagne.



Chapitre I

Le cadre physique de la zone d'étude

Chapitre I : Le cadre physique de la zone d'étude

L'objet de ce chapitre est la présentation du contexte général de la région étudiée en tenant compte des données géographiques, hydrologiques, géomorphologiques et climatiques.

I.1- Situation géographique.

La zone d'étude est localisée dans la région de Guerrara. Située à près de 110Km au nord - est de Ghardaïa (chef-lieu de wilaya) et à 630 Km au sud d'Alger (figure 1).

La commune de Guerrara couvre une superficie totale de 2600 Km². Ses coordonnées géographiques sont : 32°50' Nord et 4°30' Est. L'oasis est à une altitude moyenne de 303 m (HAMDI-AISSA, 2008).

Elle est limitée :

- Au nord : par la Daïra de Messaad (wilaya de Djelfa)
- A l'est : par la Daïra d'El hadjira (wilaya de Ouargla).
- A l'ouest : par la Daïra de Barraian et Bounora.
- Au sud : par la Daïra de Zelfana et alattaf.

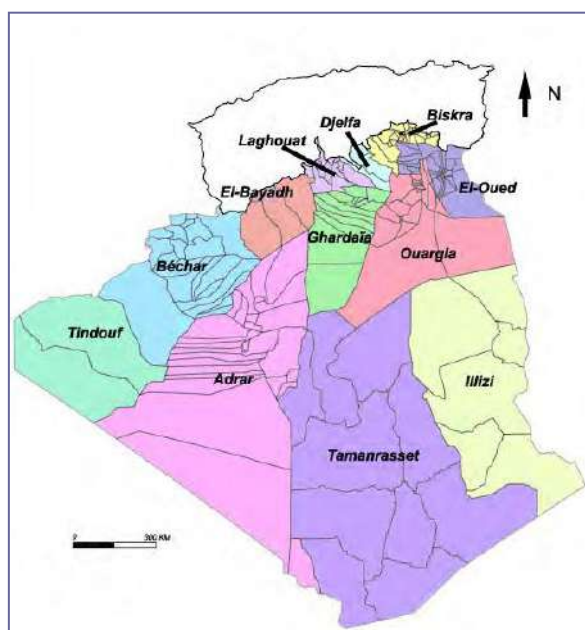
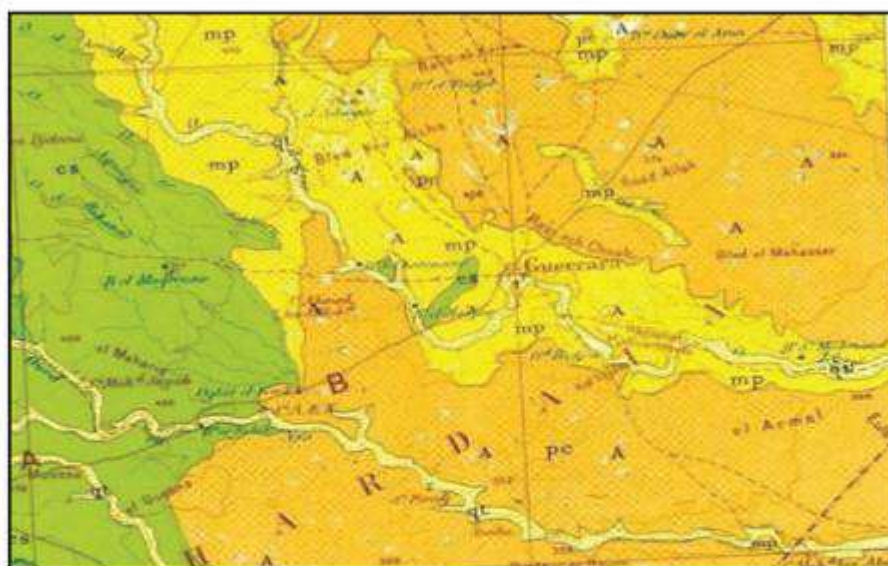


Figure .1: Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (NEZLI, 2009)

I.2. Le contexte géologique

Selon la carte géologique de Guerrara présentée dans la figure 02, on trouve trois types de formations géologiques:

- **Le Crétacé supérieur (CS)** la coupe ouest-est, permet de constaté l'existence d'affleurement secondaire représentent le crétacé supérieure et occupe la zone de Bled Bouaïcha au Nord-Ouest de Guerrara
- **Le Néogène** (en jaune) présenté par la dépression de Guerrara qui est creusée dans le Pontien. Il s'agit du Mio-Pliocène (mp). Le reste du terrain est constitué du **Pliocène continental (pc)** comme des étendus formes de calcaire épais et continus. Cette formation s'étend dans la région des Dayas.



Echelle: 1/500000



Figure 02 : Carte géologique de Guerrara (HADJ-SAÏD et al, 2008).

I.3. Contexte hydrogéologique

L'Oasis de Guerrara referme des réserves d'eau souterraines, il s'agit de deux principales nappes qui représentent les ressources en eaux non renouvelables ; la nappe du complexe terminal (Moi-Pliocène) et la nappe du continental Intercalaire (Albien), et une autre renouvelable qui inclut la nappe libre (nappe alluviale) logée dans les alluvions quaternaires de l'oued Zegrir.

I.3.1- La nappe du continental Intercalaire

Cette formation occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trais et le sommet de l'albien. L'aquifère est constitué de formations détritiques, il s'agit de sable, grès, argiles avec un passage dolomitique attribué à l'aptien, sa puissance dépasse 500m.

Dans la région de Guerrara, la nappe est captée par 26 forages artésiens jaillissants de 950 m de profondeur (HADJ-SAID et al, 2007).

I.3.2- La nappe phréatique

Il s'agit de nappes superficielles ou alluviales, généralement exploitées par puits. Ce sont des nappes peu profondes, et variées selon la saison ; 0.4 à 6m en période de hautes eaux et de 10 à 35m en période des basses eaux. La nappe alluviale de Guerrara est alimentée par les crues d'Oued Zegrir.

I.4- Hydrologie superficielle (Oued Zigrir).

I.4.1- Généralités sur Oued Zegrir.

C'est l'un des grands Oueds qui traversent le M'zab. Limité à la hauteur de Guerrara, Il est d'une longueur de 270 Km à la daya ben Feïla (300 m d'altitude), et son origine la tête de l'Oued Ajerma (860 m d'altitude) (DUBIFE, 1953 in DJILI, 2004).

Il est constitué de tributaires irréguliers ramifiés autour d'un tronc principal et raccordé selon des angles variés généralement très inférieur à 90°. (PEULVAST et VANNEY, 2001 in DJILI, 2004).

I.4.2- épandages des eaux de crues d'Oued Zegrir

Dans le but d'une bonne gestion des eaux de Oued Zegrir, les habitants de Guerrara ont mis en place un dispositif qui permet de guider les eaux des crues vers la palmeraie, inondation pendant des jours à des semaines pour assurer une bonne alimentation de la nappe alluviale et par la suite évacuer les eaux en surplus (KHEMGANI, 2010).

Ce dispositif relativement simple et peu coûteux, canoniste en :

- Une digue de dérivation des eaux de la crue vers un barrage de dérivation
- Le barrage de dérivation qui s'ouvre soit vers l'ancienne oasis soit vers l'extérieure ou vers les deux
- L'acheminement à l'intérieur de l'ancienne oasis est contrôlé par des canaux et diguettes (DJILI, 2004).

I.5- Contexte climatique

Les données climatiques (2003-2012), fournies par la station métrologique de Ghardaïa, montrent que la zone d'étude est caractérisée par un climat saharien hyper aride à hiver tempéré, et d'une sécheresse permanente et où les précipitations sont toujours inférieures au double des températures.

I.5.1. Aperçu sur quelques composantes du climat de Guerrara

➤ Les précipitations

Tableau 01 : Précipitations mensuelles durant l'année 2003 à 2012

Années		Mois												Total
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
P (mm)	2012	9,91	2,04	5,59	7,11	0	2,03	0	0	7,37	0,25	5,59	0	39,89
	2003 à 2012	9,91	7,08	10,1	13,2	15,2	19	23	26,2	26,7	21,6	18	11,1	201,09*

* Cumulé annuel

Les précipitations sont très faibles et très irrégulières. Elles sont insignifiantes pendant toute l'année. Durant l'année 2012, les précipitations sont nulles pendant les mois de mai, juillet, août et décembre (tableau 01). La moyenne annuelle calculée au cours des ces dernières années (2003-2012) est de 201,09 mm/an.

➤ Les températures

La température est un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud (juillet) dépasse 34°C et celle du mois le plus froid (janvier) est de 11.82°C. De telles températures sont caractéristiques du climat saharien (tableau 02).

Tableau 02 : Température mensuelles durant les années 2003 à 2012

Années	T (°C.)	Mois											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2012	M.	16,6	14,9	21,8	27,4	33,6	40,8	42,9	41,2	35,6	30,8	23,3	18,3
	m.	5,5	4,4	10,4	14,5	20,1	27,2	29,9	28,3	22,6	19,4	12,6	6,9
	Moy.	11,05	9,65	16,1	20,95	26,85	34	36,4	34,75	29,1	25,1	17,95	12,6
2003 à 2012	M.	17,39	18,88	24,47	28,58	33,16	38,37	42,07	41,09	35,85	28,47	22,93	17,95
	m.	6,13	7,40	10,96	14,88	18,66	24,34	27,29	27,49	22,65	17,96	11,45	7,17
	Moy.	11,82	13,40	17,68	21,66	26,05	31,75	34,97	34,34	29,53	23,54	17,42	12,63

(O.N.M., Ghardaïa 2012)

➤ **Vent**

Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux, qui exerce une action modification indirecte sur la température et l'humidité (DAJOZ, 2006).

D'après DUBIEF (1964), le vent est un phénomène continu au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuses qu'il transporte.

Tableau 03 - Valeurs du vent (m/s) enregistrées dans la région de Ghardaïa de l'année 2012

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Moy.
V (m/s)		3,9	3,8	3,1	4,1	3,7	3,2	2,4	2,2	2,4	2,4	2,6	2,2

V (m/s) : Vitesse du vent exprimée en mètre par seconde

Du tableau 05 qui représente la vitesse du vent durant l'année 2012, on constate que la valeur maximale du vent est de 4,1 m/s enregistrée en Avril, alors que sa vitesse minimale est de l'ordre de 2,2 m/s au mois d'août et décembre.

➤ **Humidité relative.**

Tableau 04 : Humidité relative de l'aire (H%) de l'année 2012 dans la région de Ghardaïa

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Moy. An.
H(%)	51	45,5	42,1	34,2	26,3	22,5	19,7	23	30,5	37,7	56,6	53,2	36,9

H% : Humidité relative en pourcentage

(O.N.M. Ghardaïa, 2012)

L'humidité relative de l'air à Ghardaïa est très faible avec une moyenne annuelle de 36,86% (Tabl. 06). Elle atteint son maximum au mois de novembre (56,6%) et son minimum au mois de juillet (19,7%).

I.5.2- Synthèse des données climatiques.

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres (DAJOZ, 2006). Il est par conséquent important d'étudier l'impact de la combinaison de ces facteurs, notamment la température et les précipitations, sur le milieu. Pour caractériser le climat de la région de Ghardaïa et préciser sa localisation à l'échelle méditerranéenne, le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) et le climagramme D'EMBERGER. Dans la présente étude, seulement les deux derniers indices cités dessus sont utilisés.

I.5.2.1- Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.

Le diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa indique le prolongement de la période sèche sur les dix dernières années allant de 2003 à 2012 (Figure 03).

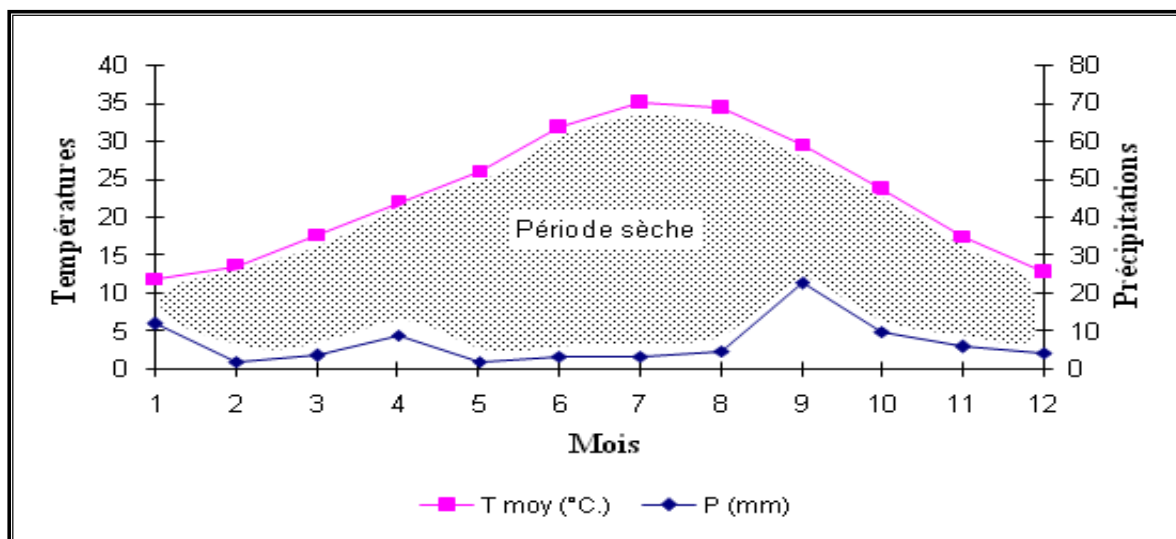


Figure 03 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de la région de Ghardaïa (2003-2012)

I.5.2.2- Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger permet la classification des différents types de climats méditerranéens (DAJOZ, 1971). Le quotient pluviométrique D'EMBERGER est déterminé selon la formule suivante (STEWART, 1969).

$$Q_3 = \frac{3,43 \times P}{M - m}$$

Q_3 : Quotient pluviométrique D'EMBERGER ;

P : Somme des précipitations annuelles en mm ;

M : Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud ;

m : Moyennes des températures minimales du mois le plus froid.

Le quotient Q_3 de la région d'étude calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période qui s'étalant sur les 10 ans (2003 à 2012) est égal à 7,6. Les températures moyennes des minima des mois les plus froids égalent à 5,9 °C. En rapportant ces valeurs sur le climagramme d'Emberger (Figure 04), on constate que la région de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.

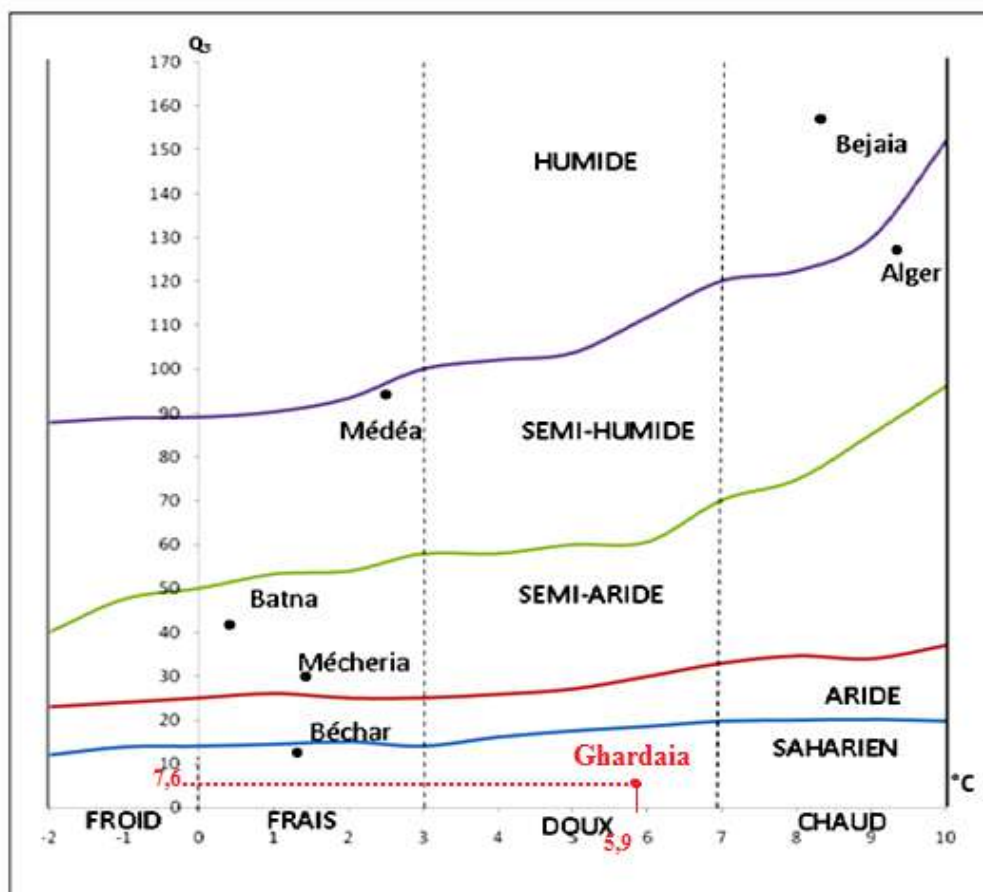


Figure 04: Diagramme de l'EMBERGER de la région de Ghardaïa (2012)

Conclusion

Notre zone d'étude s'inscrit dans un vaste bassin sédimentaire du Sahara septentrional. Elle est creusée dans un dépôt détritique de terrains tertiaires (Mio-Pliocène) et de dépôts détritiques quaternaires de basse vallée fossile de l'oued zegrir.

La nappe alluviale de cette région présente un intérêt très important dans le domaine agricole. Elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie.

Les précipitations atmosphériques à Geurrara sont très faibles. Elles sont de l'ordre de 201,09 mm/an (2003-2012). La température maximale dépasse souvent les 30°C pendant juillet ($\max_{\text{moy}} 36,4^{\circ}\text{C}$) et août ($\max_{\text{moy}} 34,75^{\circ}\text{C}$).

La correspondance entre ces hautes températures et faibles précipitations acquièrent un climat saharien hyper aride à la zone d'étude.



Chapitre II

Les nappes alluviales

Chapitre II : Les nappes alluviales

II.1- La nappe alluviale

C'est l'ensemble des dépôts compris entre deux phases érosives intenses qui ont laissé leur empreinte dans le bed-rock par un palier d'érosion d'altimétrie facilement repérable et de présence régionale constante (LECOLE, 1980 in CHAUSSE, 2003).

Les systèmes alluviaux sont une partie de l'hydro système fluvial, définie comme un ensemble fonctionnel en interaction avec un cours d'eau, grâce à des flux des matières (eau, soluté, charge solide), d'organismes et d'énergie (AMOROS et PETTS, 1993 in KHEMGANI, 2010).

La nappe alluviale est une nappe libre qui circule dans les alluvions de la rivière, qui se trouve à une profondeur faible, ce qui facilite son exploitation par des puits et forage (LENOBLE, 1995).

Les alluviaux déposés par les cours d'eau, sont généralement accompagnés d'une nappe alluviale, dont la qualité de l'eau est meilleure que celle du cours d'eau, du fait qu'elle a été filtrée par le sous-sol. Cette eau utilisée comme eau potable et en agriculture (BANTON et BANGOY, 1999).

II.1.1- Caractéristiques de la nappe alluviale

Elle est caractérisée par la porosité des milieux qui détermine l'espace disponible pour l'eau, ses dimensions, sa hauteur, la vitesse et sens d'écoulement (LENOBLE, 1995).

Elle est formée d'alluvions et de sables du quaternaire, constituées de galets et des poudingues tapissant les lits des oueds. Les alluvions reposent sur les couches calcaires dures de turonien, l'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres (KHADRAOUI, 2008).

II.1.2 –Alimentation de la nappe alluviale

Selon BEAUCHAMP (1995), la source d'alimentation en eau d'un bassin hydrologique est fournie par les précipitations efficaces, c'est à dire par le volume d'eau qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle. L'eau se répartit en deux fractions :

- le ruissellement qui alimente l'écoulement de surface collecté par le réseau hydrographique;

- l'infiltration qui alimente le stock d'eau souterrain.

D'après SORMAN et ABDULRAZZAK (1993) : L'alimentation en eau des nappes alluviales dans les régions arides est intermittente en résulte des pertes de transmission des eaux de crue dans les lits dessellés des oueds. Le volume d'eau alimente la nappe dépend principalement de largeur périmètre humidifiés et la durée de submersion. On note aussi, qu'une partie importante des eaux de crue est perdue suite aux variations de débit en amont.

II.1.3- Relation de la nappe alluviale et court d'eau

Il y a toujours une relation entre nappe alluviale et cour d'eau (rivière, oued ...), de sorte que : soit la nappe alluviale soutien les cours d'eau ou inversement c'est la rivière qui alimente la nappe. Cette relation peut être identifiée par l'observation de la variation de charge près de la rivière; s'il y a une décroissance des charges vers les cours d'eau, cela signifie qu'on est en situation d'un écoulement vers la rivière. Si par contre les charges sont croissantes, on parle d'un écoulement rivière nappe (KHEMGANI, 2010).

Le mouvement des eaux d'alimentation est lié à certaines propriétés de sol et de l'eau à savoir; le coefficient des conductivités hydraulique, la pression, la structure des sols. L'infiltration des eaux de rivière et de lac peut aussi contribuer de façon significative à la recharge de la nappe. Latéralement, d'autres aquifères peuvent alimenter la nappe. De même, les écoulements de la nappe en aval peuvent alimenter les courants d'eau et des sources (BANTON et BANGOY, 1999).

II.2- Exploitation de nappe alluviale

La nappe phréatique (alluviale) de Guerrara présente un intérêt très important dans le domaine agricole. Elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée et elle sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont. Cette nappe est exploitée par des puits traditionnels et elle est alimentée essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et par les eaux de la nappe profonde (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable (KHADRAOUI, 2008).

Dans la région de Guerrara, la nappe superficielle est sollicitée par un grand nombre de puits traditionnels (1300 puits) utilisés à l'irrigation de la palmeraie (HADJ SAID et al, 2008)

Dans ces dernières années l'eau de la nappe alluviale est utilisée uniquement pour l'irrigation de la palmeraie, après l'utilisation de l'eau des nappes profondes pour l'AEP.



Chapitre III
Qualité chimique des eaux

Chapitre III : Qualité chimique des eaux

III.1- critère d'évaluation des eaux d'irrigation

L'aptitude des eaux pour l'irrigation doit être définie selon des critères physico-chimiques en tenant compte des conditions du sol, du climat et des plantes.

La qualité chimique de l'eau est fonction des sels que l'eau contient en solution.

Pour l'eau d'irrigation, on tiendra compte des caractéristiques suivantes : la dureté, la salinité, l'alcalinité et la toxicité (CHOSSAT, 2007).

III.1.1- Dureté

La dureté totale ou degré hydrométrique (TH) représente principalement les sels de calcium et de magnésium, elle est exprimée en degré Français (°F).

La dureté de l'eau est calculée par la formule suivante :

$$TH = (Ca^{++} + Mg^{++}) \times 5 ; Ca^{++} \text{ et } Mg^{++} \text{ en meq/l}$$

Tableau 05 : les classes d'eau selon la dureté

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 - 32	32 – 54	>54
dureté de l'eau	douce	modérant douce	assez douce	Dure	très dure

III.1.2- Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium, magnésium, sodium, les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par la matière dissoutes totales qui s'exprime en mg/l ou plus couramment par la conductivité électrique.

D'après DURAND (1958), ce caractère permet de déterminer cinq classes d'eau d'après la relation entre la conductivité électrique à 25°C de l'eau et le change de salinisation du sol. (BEN BRAHIM, 2000)

- C1 : C.E < 0,250 ds/m ———> eau non saline.
- C2 : 0,250 < C.E < 0,750 ds/m ———> eau à salinité moyenne.
- C3 : 0,750 < C.E < 2,250 ds/m ———> eau à fort salinité.
- C4 : 2,250 < C.E < 5 ds/m ———> eau à très forte salinité.
- C5 : C.E > 5 ds/m ———> eau à salinité excessive.

III.1.3-Alcalinité

Le sodium est l'un des éléments (cations) les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. De grande quantité en sodium combiné avec le chlore donne à l'eau un goût salé.

En fonction d'alcalinisation des sols quatre classes ont été distinguées par l'U.S.S.L (1954), ces classes ne sont pas délimitées par des valeurs absolues mais par des droites à pente négatives en fonction le croisement des salinités. Donc cette classification tient aussi compte non seulement du S.A.R mais aussi de la quantité totale des sels dissous dans l'eau.

Le taux de sodium adsorbé (S.A.R) est calculé par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \text{ avec : } Na^+, Ca^{++} \text{ et } Mg^{++} \text{ en méq/l.}$$

- S1 : S.A.R < 10 : l'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait des difficultés d'alcalinisation.
- S2 : 10 < S.A.R < 18 : l'eau contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelque difficulté dans les sols à texture fine. Si le sol contient du gypse ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- S3 : 18 < S.A.R < 26 : contenant une quantité élevée de sodium, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important.
- S4 : S.A.R > 26 : les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendement analogues permet l'utilisation. (GUARCH, 2005 in GULHATI, 1976).

III.1.4- Toxicité

Certains éléments dans l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Les éléments potentiellement dangereux de l'eau peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien accumulés dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

- **Les chlorures** : peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation (supérieur à 140 ppm).

- **Les sulfates** : ces éléments sont toxiques pour les plantes, si on les trouve dans l'eau à teneur supérieure à 240 ppm

III.2- pH de l'eau d'irrigation

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺).

L'échelle des pH s'étend de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés (RODIER 2009).

Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique.



Chapitre IV
Matériels et Méthodes

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

Avant d'exposer les résultats des mesures et d'analyses physico-chimiques obtenus sur les eaux de la nappe alluviale nous jugeons utile de présenter les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse de nos échantillons. Des outils informatiques (logiciels), employés pour le traitement de nos résultats, nécessitent d'être brièvement présentés.

IV.1- Méthode d'échantillonnage sur terrain

L'étude de la nappe a été menée en deux campagnes, une durant le moi de Janvier et une deuxième en Avril 2013 sur 30 puits.

L'étude piézométrique de la nappe consiste en la mesure de la profondeur de la nappe, ses coordonnées géographiques et sa cote dans chaque puits. Cela dans le but de déterminer le sens d'écoulement de cette nappe. Par la suite, nous avons analysé au laboratoire les échantillons d'eau (analyse chimique).

- La mesure de la profondeur de la nappe a été effectuée par une sonde électrique graduée
- Les coordonnées géographiques des points d'eau ont été mesurés par un GPS.

IV.1.1- Répartition spatiale des puits analysés

Les échantillons d'eau analysés sont prélevés des puits répartis sur toute la palmeraie, 30 puits se fait échantillonner durant le mois de Janvier (la première campagne), et la deuxième était pendant le mois de Avril 2013 sur le même puits.

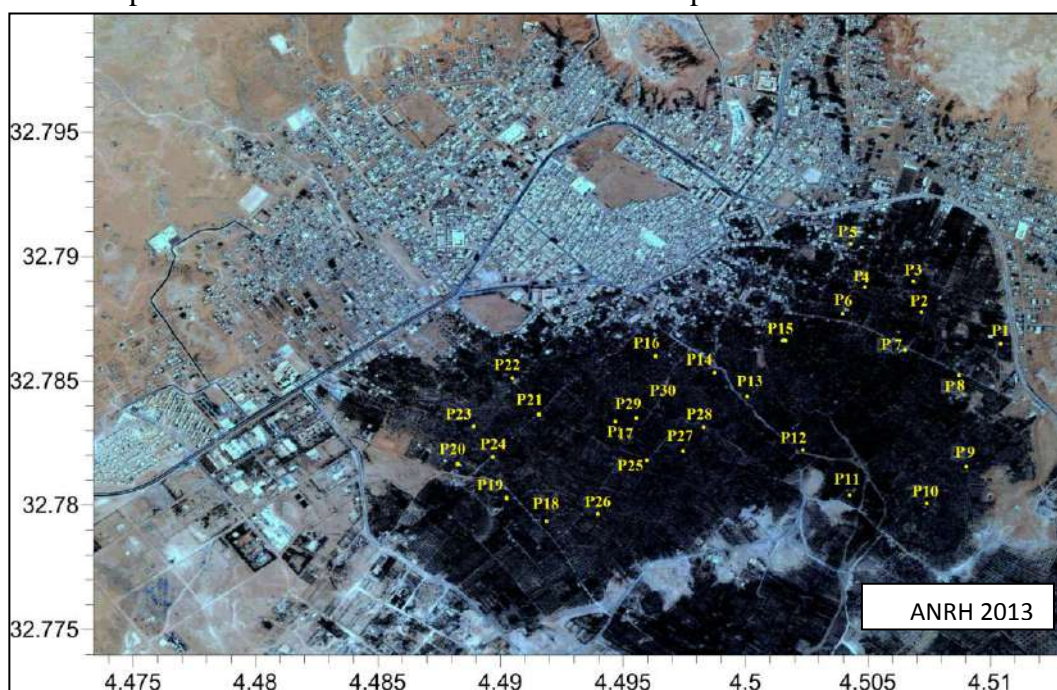


Figure 05 : répartition spatiale des puits analysés

Les résultats des mesures des coordonnées géographiques des puits et des profondeurs de la nappe sont présentés dans les tableaux 10 en annexe II.

IV.2- Méthode d'analyse au laboratoire

IV.2.1- Les paramètres physiques

➤ Potentiel Hydrogène et température

Pour déterminer le pH, nous avons utilisé une méthode électro-métrique avec électrode ; et le lecteur de valeur afficher directement sur l'écran de l'appareil.

➤ La conductivité

La conductivité électrique a été mesurée au laboratoire à l'aide d'un conductimètre. L'unité de conductivité est exprimée par le déci Siemens par mètre (dS/m).

IV.2.2- Les paramètres chimiques

Les paramètres à étudiées sont les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), par différents méthodes comme suit :

➤ Par titrimétrie

Les Chlorures, les carbonates et les bicarbonates HCO_3^- , ainsi que le calcium ont été dosés par titrimétrie.

- ✓ Les chlorures Cl^- , selon la méthode de MOHR, basée sur le titrage d'un volume d'eau avec une solution AgNO_3 concentrée en présence de l'indicateur K_2CrO_4 , jusqu'à changement de la coloration et le début du dépôt d'un précipité rouge.
- ✓ Les carbonates CO_3^{2-} et les bicarbonates HCO_3^- , par ajustement de pH à 8.3 par H_2SO_4 diluée. Les concentrations des carbonates et bicarbonate qui donne se que n'appelle l'alcalinité ou la Titre Alcalimétrique Complet (TAC) ; elle s'exprime en Degré Français ($^\circ\text{F}$).
- ✓ Le calcium Ca^{2+} , ajustée à un pH =13 par la soude (NaOH), avec ajout d'une pincée de murexide, puis titrage d'un volume d'eau avec une solution d'EDTA concentrée jusqu'à changement de la coloration vers le violet.

➤ Par complexométrie

La dureté totale a été déterminée par complexométrie, en utilisant l'EDTA comme réactif et le noir d'Eriochrome T comme indicateur coloré. Ce dosage représente la mesure de la dureté de l'eau (TH) en degré Français, avec $\text{TH} (^\circ\text{F}) = [\text{Ca}^{2+} (\text{még}^{-1}) + \text{Mg}^{2+} (\text{még}^{-1})] * 5$, et par conséquent : $\text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$

➤ **Par photométrie de flamme**

Le sodium Na^+ , et le potassium K^+ : sont analysés par le photomètre à flamme.

➤ **Résidu sec**

Le résidu sec est obtenu par dessiccation à 105°C , il correspond à la totalité des sels dissous et donne donc une idée sur le degré de minéralisation des eaux.

IV.3- Outils informatiques

Les résultats d'analyses physico-chimiques sont présentés sous forme de diagrammes qui permettent une interprétation aisée des résultats (le diagramme de Piper et le diagramme de Schoeller-Berkaloff).



Chapitre V
Résultats et Discussions

Chapitre V: Résultats et Discussions

Dans ce chapitre, nous rapporterons niveau piézométrique et les résultats des mesures et d'analyses physicochimiques que nous avons effectuées sur les eaux échantillonnées de notre région d'étude. Sous forme de tableaux, les valeurs des différents paramètres seront présentés pour chaque puits et seront accompagnées des principales observations.

V.1- Résultats piézométriques

La piézométrie d'une nappe est la mesure de son état de charge. Alors que l'établissement de la carte piézométrique d'une nappe, c'est la cartographie de l'énergie utilisable pour les écoulements (KHEMGANI, 2010).

V.1.1- Etablissement des cartes piézométriques de la nappe

La mesure de la profondeur de la nappe dans les puits a été effectuée par une sonde électrique, constituée d'un ruban gradue relié à une électrode. Une fois la sonde est en contact avec la surface d'eau, il y'a déclenchement d'un signal sonore et lumineux.

➤ Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Janvier 2013)

La piézométrie de la nappe est réalisée après les mesures des profondeurs et des coordonnées géographiques des puits (Tableau 10).

Les résultats des mesures de la cote de la nappe et des coordonnées géographiques des puits ont servi à la réalisation de la carte piézométrique de la nappe.

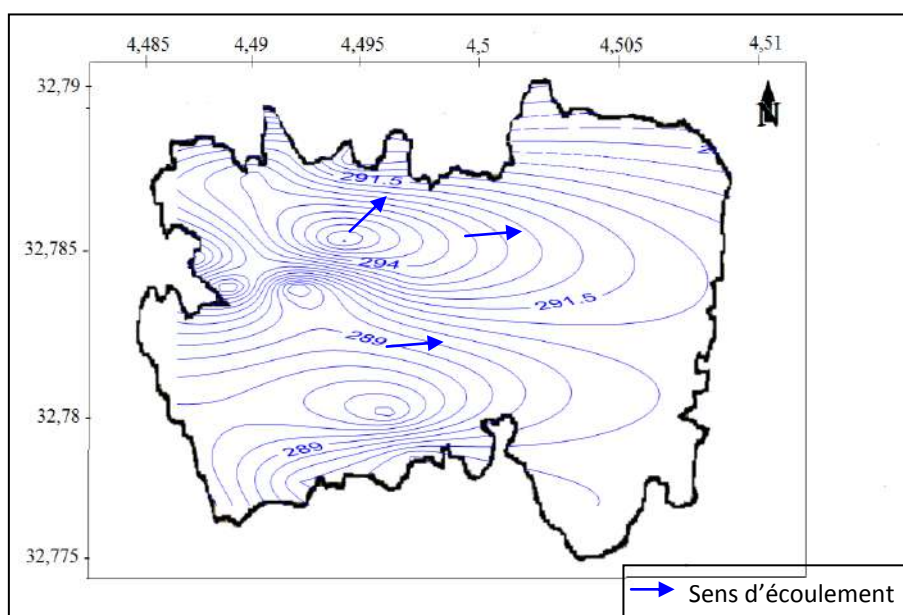


Figure 06 : Carte piézométrique de la nappe alluviale (Janvier 2013)

La carte piézométrique de la nappe établie pendant Janvier 2013, montre que le sens de l'écoulement principal des eaux de la nappe phréatique (alluviale) se fait, en général, suivant une direction du Sud-ouest vers Nord-est et Est (figure 6).

➤ **Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Avril 2013)**

Elle possède la même morphologie piézométrique que la carte précédente ; ceci est dû à la faible recharge qui n'arrive pas à combler l'exhaure de la nappe.

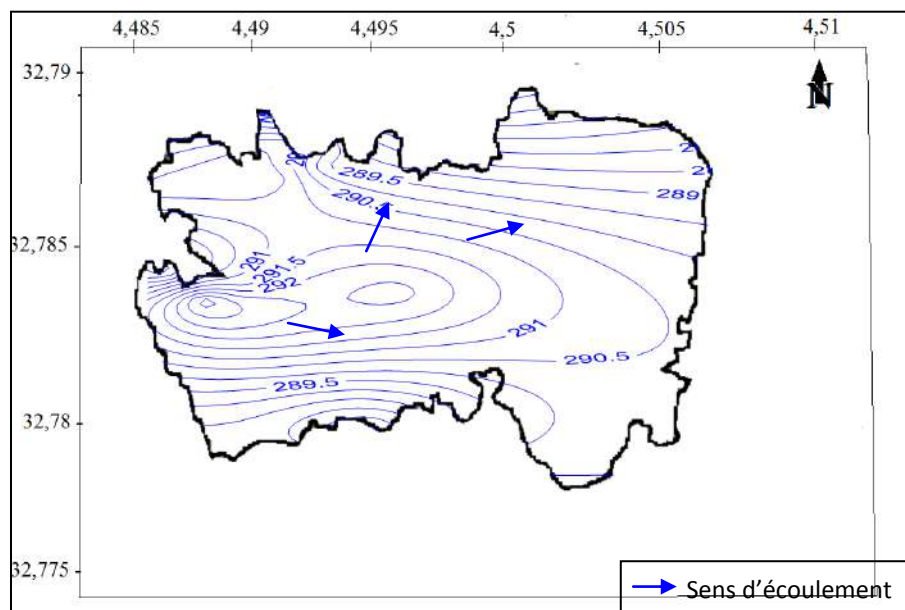


Figure 07 : Carte piézométrique de la nappe alluviale (Avril 2013)

Néanmoins, on remarque une certaine fluctuation de la surface piézométrique au côté ouest de la nappe et quelques perturbations dues parfois au pompage.

Conclusion

L'étude de l'eau de la nappe alluviale de Guerrara a été menée en deux campagnes. L'étude piézométrique de la nappe nous a permis d'établir des cartes piézométriques et de déterminer le sens d'écoulement pour chaque campagne.

Le sens d'écoulement de la nappe peut être identifié par le tracé de la carte piézométrique. Il s'agit des mesures du niveau de la nappe dans des puits et forages.

L'écoulement souterrain se fait, en général, selon une direction Sud-ouest vers le Nord-est et l'Est.

V.2- Résultats des mesures et des analyses physicochimiques de l'eau

V.2.1- Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. La plupart des eaux présentent aussi un caractère alcalin bicarbonaté du fait que le pH est souvent inférieur à 8,3. Il est compris entre 6,71 et 7,83 pour la première campagne, et entre 6,51 et 7,61 pour la deuxième.

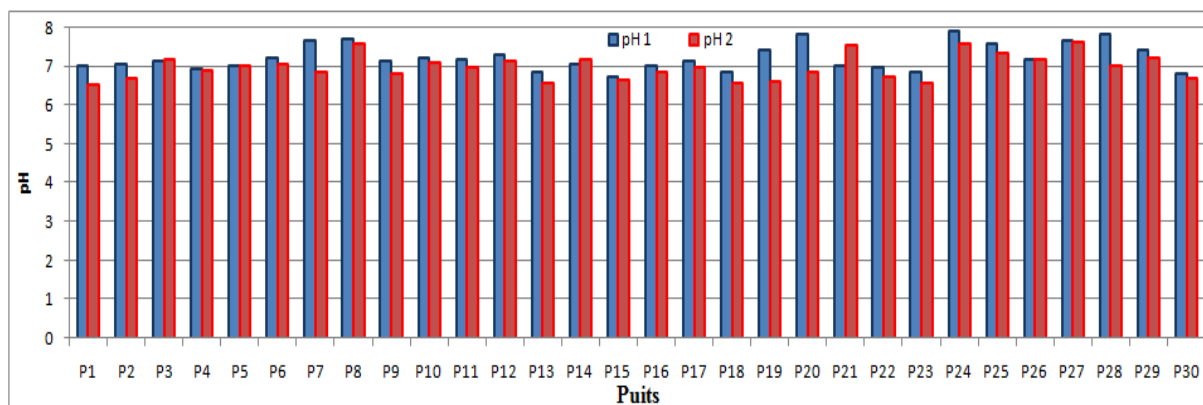


Figure 08 : variation du pH de la nappe des deux campagnes

V.2.2- Conductivité (CE)

Toutes Les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les mesures de la conductivité électrique de l'ensemble des échantillons montrent qu'elles sont comprises entre 1,6 dS/m et 12,4 dS/m au cours de la première ; De même au cours de la deuxième campagne, les valeurs de la conductivité électrique oscillent entre 2,25 dS/m et 19,04 dS/m.

Les valeurs de la conductivité électrique montrent que les puits sont divisés sur deux classes ; où de 53,33% en classe d'eau à très fort salinité et de 46,67% en classe d'eau à salinité excessive

➤ Relation cations- Conductivité Électrique

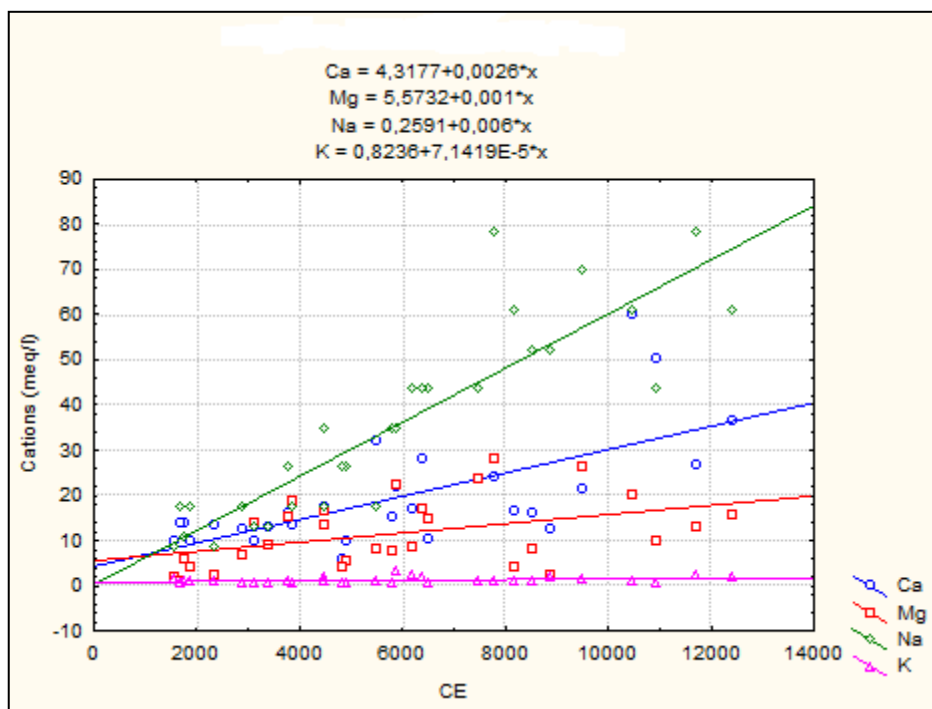


Figure 09 : la relation cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+})- Conductivité Électrique

D'après la dispersion des points sur les diagrammes de la relation; les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+}) et la conductivité électrique, on remarque qu'il existe des relations inversement proportionnelles positive entre les cations et la CE.

Nous observons une augmentation des concentrations en Na^{+} et Mg^{2+} accompagnée d'une augmentation de la CE, ce qui indique la minéralisation excessive des eaux de cette nappe conduit à une conductivité électrique très importante des eaux de la nappe phréatique. Cette dernière se trouve influencée, par les évaporites que par les carbonates.

➤ Relation anions- Conductivité Électrique

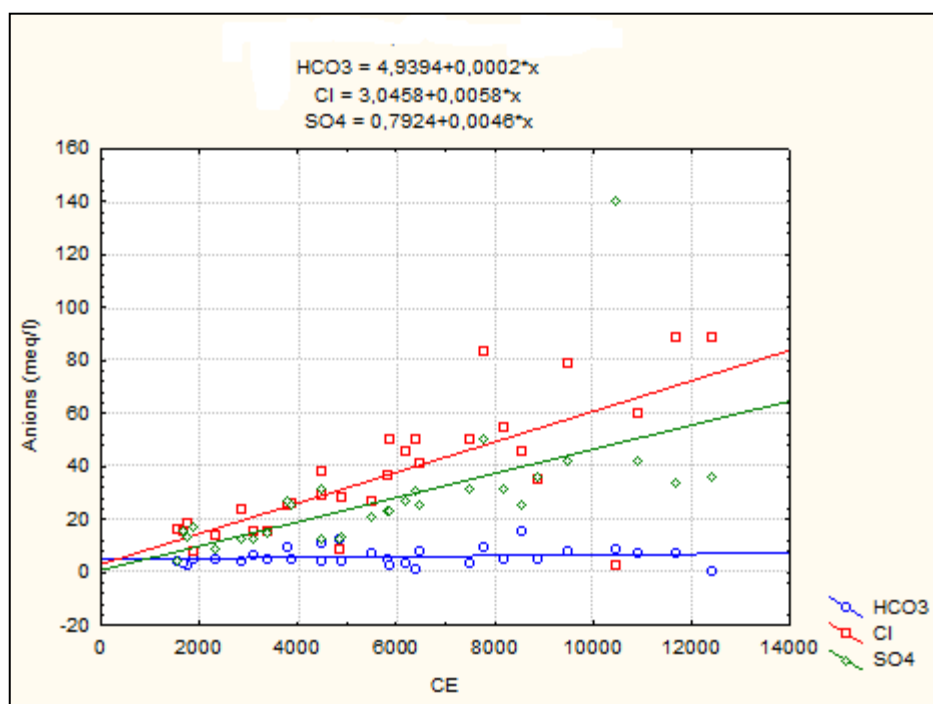


Figure 10 : la relation anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)- Conductivité Électrique

D'après la dispersion des points sur les diagrammes de la relation entre la concentration des anions (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et la conductivité électrique on peut montrer qu'il existe des relations proportionnelles positives entre Cl^- et SO_4^{2-} avec la CE. Et concernant HCO_3^- aussi la relation est inversement proportionnelle négative, nous observons une augmentation en concentrations de Cl^- et SO_4^{2-} accompagnée d'une augmentation en CE, ce qui indique la minéralisation excessive des eaux de cette nappe conduit à une conductivité électrique très importante des eaux de la nappe phréatique, qui se trouve influencée, par les chlorures que par les sulfates.

V.2.3- Minéralisation

Dans la zone d'étude, les résultats obtenus par les analyses chimiques montrent une certaine variabilité de la minéralisation

Pendant la première campagne, on observe que les valeurs calculées sont comprises entre 1,23 et 10,55 g/l, où les valeurs les plus élevées sont remarquées au niveau des puits 10, 12, 28. Les plus faibles valeurs avec un minimum de 1,23 g/l dans le puits 20.

Dans la deuxième campagne, on observe que les valeurs enregistrées sont plus fortes que la première avec un maximum de 16,19 g/l.

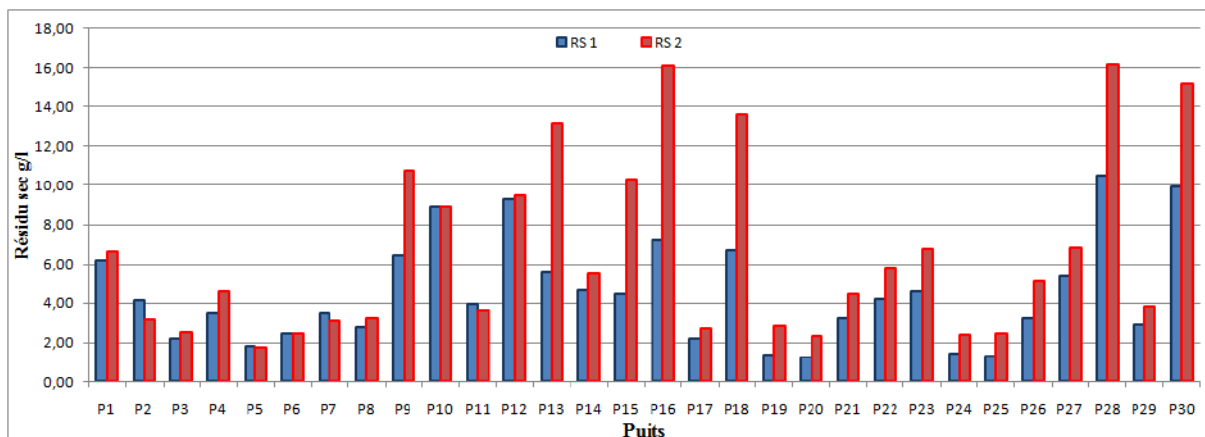


Figure 11 : variation du résidu sec de la nappe des deux compagnes

➤ **Relation : Résidu sec – Conductivité**

La relation entre le résidu sec et la conductivité est une relation proportionnelle avec une bonne corrélation de $r = 0,99$.

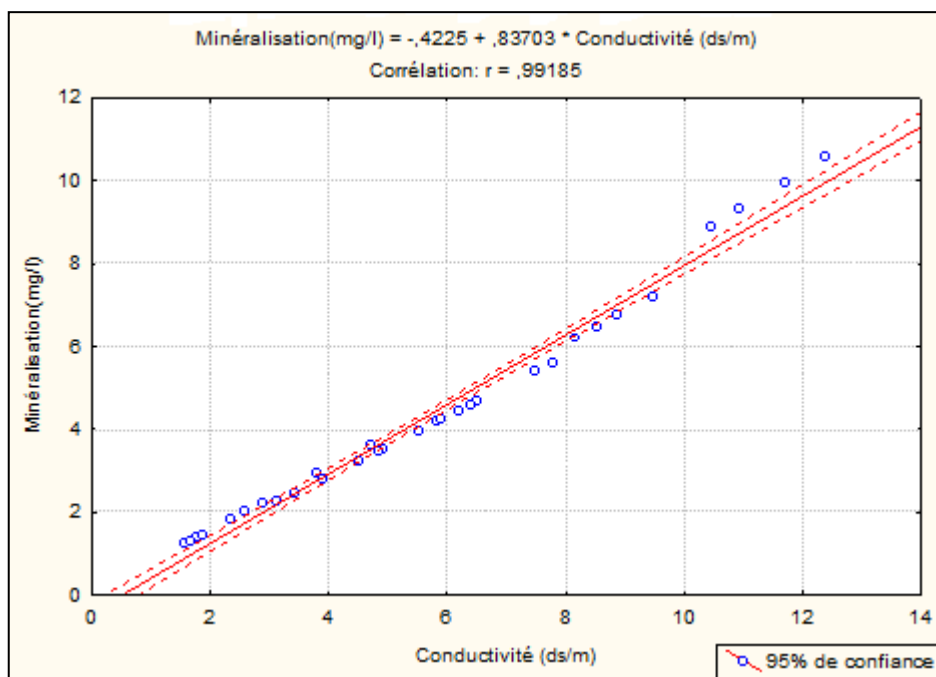


Figure 12 : relation Résidu sec – Conductivité

La courbe Résidu sec – Conductivité montre que les zones de fortes valeurs conductivité électrique se coïncident avec celles de fortes valeurs de minéralisation durant la période d’observation.

V.2.4- Dureté total (TH)

Elle indique la teneur totale des sels de Calcium (Ca^{2+}) et de Magnésium (Mg^{2+}) qui trouve dans l'eau.

Pendant la période d'observation, les valeurs de la dureté totale calculée pour les eaux des points de prélèvement varient entre 50 et 715°F. On signale que la totalité des puits ont une eau très dure (la dureté $> 54^\circ\text{F}$).

Les valeurs les plus faibles sont observées pendant la première campagne, avec un minimum de 50°F dans le puits 7, où l'eau de ce puits est dure.

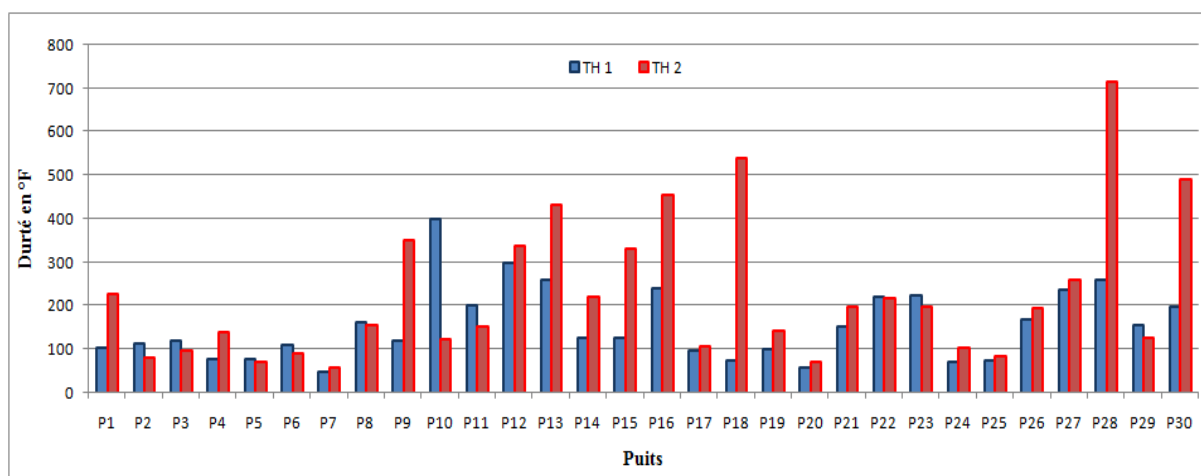


Figure 13 : variation de la dureté totale de la nappe des deux campagnes

V.3- Chimie et qualité de la nappe

L'étude de la qualité chimique de la nappe permet de déterminer le faciès chimique de l'eau de la nappe et de comprendre les relations qui existent entre les paramètres chimiques de cette eau ainsi que les origines.

Tableau 06 : Le bilan ionique (en méq/l) (Janvier 2013).

Puits	Na+	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃
1	60,87	1,08	16,4	4,2	54,89	31,25	4,8
2	34,78	0,77	15,2	7,8	36,56	22,92	5,23
3	13,04	0,62	10	14	15,18	12,5	6,29
4	26,09	0,77	10	5,6	27,88	12,84	4,13
5	8,7	0,92	13,4	2,4	13,78	8,96	5,04
6	13,04	0,62	13	9	15,75	14,58	4,76
7	26,09	0,77	6	4	8,68	12,5	12,16
8	17,39	0,62	13,37	19	25,78	25	5,07
9	52,17	0,92	16	8	45,35	25	15,3
10	60,87	1,08	60	20	74,65	50	8,61
11	17,39	0,92	32	8	26,73	20,83	6,93
12	43,48	0,62	50	10	59,67	41,67	6,93
13	78,26	0,92	24	28	83,53	50	9,07
14	43,48	0,77	10,4	14,8	40,69	25	8
15	43,48	2,46	16,8	8,4	45,35	27,08	3,72
16	69,57	1,54	21,6	26,4	78,76	41,67	8
17	17,39	0,77	12,4	6,8	23,58	12,5	3,93
18	52,17	1,85	12,4	2,4	35,32	35,42	4,8
19	10,87	0,92	14	6	18,59	13,44	2,67
20	8,7	1,38	9,88	1,9	15,83	3,96	3,93
21	17,39	2,15	17,2	13,6	28,64	12,5	10,67
22	34,78	3,23	22	22,4	50,12	22,92	2,67
23	43,48	1,85	28	16,8	50,12	30,83	1,07
24	17,39	1,08	10	4	8,13	17,08	5,11
25	17,39	0,77	13,77	1,1	15,15	15,63	3,51
26	34,78	1,15	17,6	16,4	37,69	31,25	4,48
27	43,48	1,23	23,6	23,6	50,12	31,25	3,72
28	60,87	2	36,4	15,6	88,31	35,83	0,53
29	26,09	1,15	16,2	15,2	25,3	27,08	9,28
30	78,26	2,46	26,8	13,2	88,31	33,75	6,92

Tableau 07 : Le bilan ionique (en méq/l) (Avril 2013).

Puits	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1	43,48	1,28	28,8	16,7	47,86	31,25	6,18
2	32,61	0,67	10,4	5,6	30,99	18,75	4,52
3	13,04	0,72	10,4	8,8	15,21	13,54	3,87
4	34,78	0,97	19,6	8,3	36,62	21,88	5,36
5	8,7	0,97	9,4	4,8	12,68	8,75	4,85
6	13,04	0,82	9,2	9,2	15,79	13,54	3,62
7	26,09	0,72	7,03	4,9	12,45	17,71	12,3
8	17,39	0,67	12,48	18,8	27,49	22,92	3,79
9	52,17	0,72	24	46,0	80,56	38,54	15,74
10	60,87	1,18	15	10,0	17,38	64,2	2,72
11	17,39	1,13	20,8	10,0	26,76	20,83	7,05
12	43,48	0,82	50,4	17,5	63,15	43,75	6,93
13	69,57	0,77	20	66,7	87,46	51,46	7,79
14	43,48	0,77	18,4	25,6	44,25	31,25	5,36
15	43,48	1,85	47,7	18,4	69,58	51,67	1,64
16	69,57	1,54	49,83	41,3	87,89	58,33	11,08
17	17,39	0,77	13,46	8,2	23,49	12,5	6,59
18	52,17	1,79	31	77,0	126,7	34,24	7,82
19	10,87	0,56	8,8	20,0	17,21	16,67	3,62
20	15,22	0,87	8	6,2	13,35	12,5	3,13
21	17,39	2,15	16,8	23,2	30,99	20,42	3,89
22	34,78	3,23	28,4	15,0	49,46	33,33	2,05
23	43,48	1,79	16,4	23,6	53,11	38,52	1,23
24	17,39	0,97	15,2	5,4	14,24	17,12	4,52
25	17,39	0,72	11,48	5,3	18,05	12,5	2,8
26	34,78	1,33	12,53	26,4	41,04	27,08	3,7
27	43,48	1,54	20,8	31,2	54,31	37,5	4,11
28	60,87	1,44	58	85,0	144,03	55,64	4,52
29	26,09	0,97	19,51	5,6	27,04	21,04	7,9
30	78,26	1,54	58	40,0	108,99	54,17	7,48

On remarque une dominance du sodium puis le calcium par rapport aux autres cations (Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺), et le chlorure puis le sulfate (Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻) pour les anions durant les deux campagnes.

V.3.1- Cation

➤ Sodium (Na⁺)

La présence de cet élément à forte concentration, qu'il dépasse la norme d'irrigation (50mg/l), les valeurs les plus élevées avec un maximum de 1800mg/l.

Les plus faibles valeurs, de l'ordre de 200mg/l dans le puits P20 à la première campagne et le puits P5 au cours de deuxième campagne.

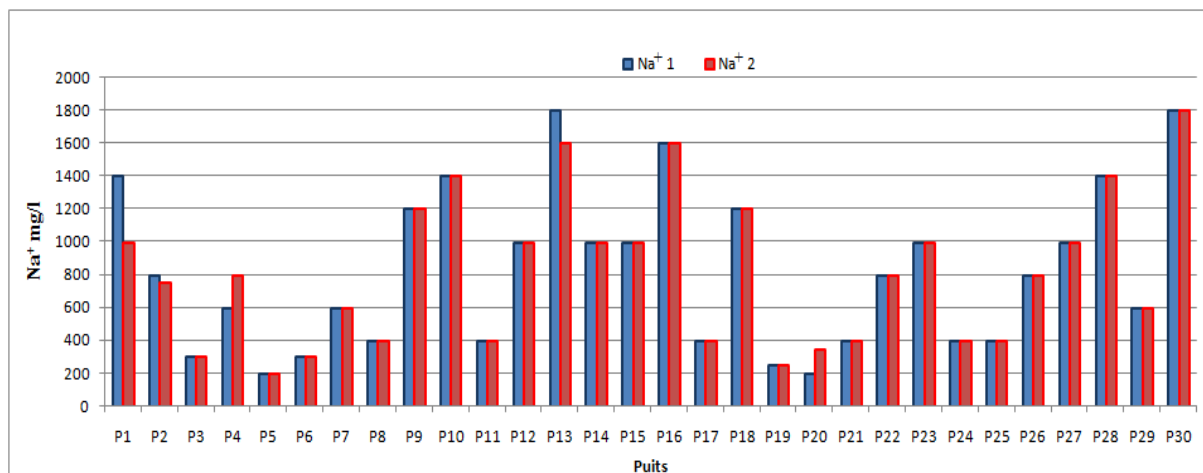


Figure 14 : variation des concentrations en Sodium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara des deux campagnes.

➤ **Calcium (Ca²⁺)**

La plupart des puits présentent des teneurs supérieures à la norme de l'irrigation (150 mg/l) les valeurs les plus élevées avec un maximum de 1202,4 mg/l sont observées au centre de la zone d'étude (ancienne palmeraie) durant la première campagne.

Les valeurs les plus faibles, avec un minimum de 120 mg/l sont observées au niveau des puits situés aux bordures de la palmeraie.

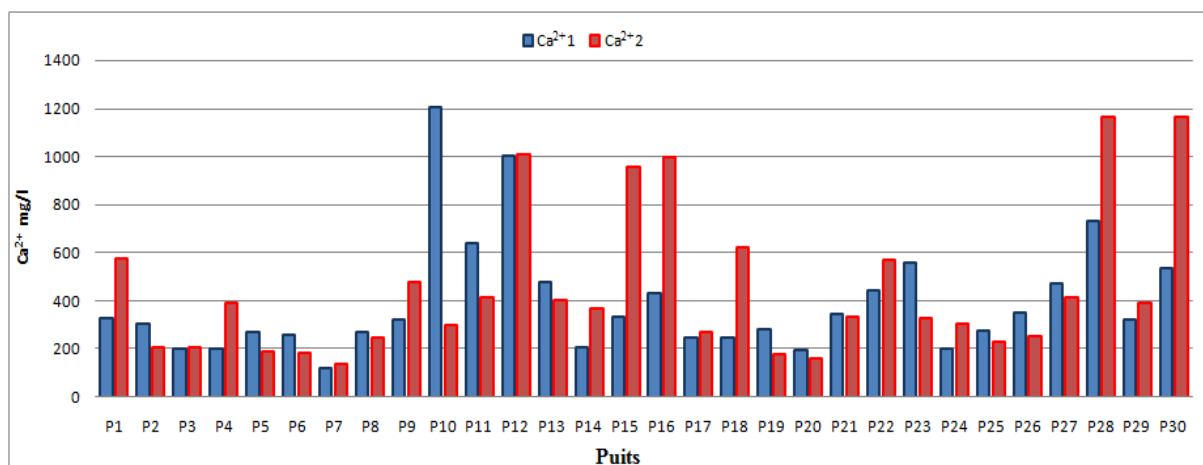
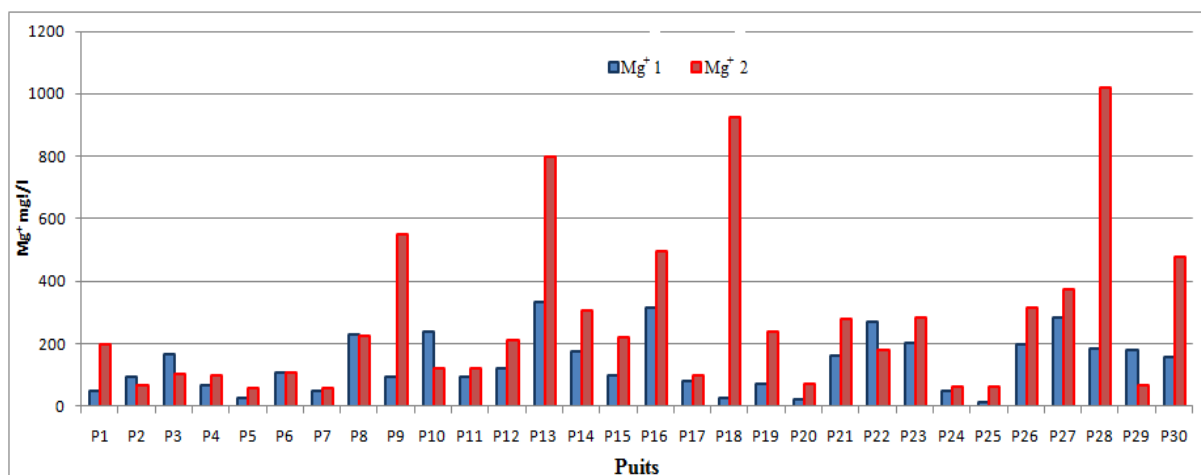


Figure 15 : variation des concentrations en Calcium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara des deux campagnes.

On signale que nous avons remarqué une augmentation des valeurs de la deuxième campagne par rapport à celle de la première.



➤ Magnésium (Mg²⁺)

Les valeurs de magnésium sont généralement inférieures à celles du calcium, avec une moyenne de 139,4 mg/l pendant la première campagne et 277,58 mg/l dans la deuxième. Les valeurs les plus élevées sont celles au centre de la région.

Figure 16 : variation des concentrations en Magnésium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara des deux campagnes.

On signale que nous avons remarqué une augmentation des valeurs de la deuxième campagne par rapport à celle de la première.

➤ Potassium (K⁺)

Les valeurs de potassium sont relativement comprises entre 22 mg/l et de 45,86 mg/l avec une moyenne de 45,86 mg/l.

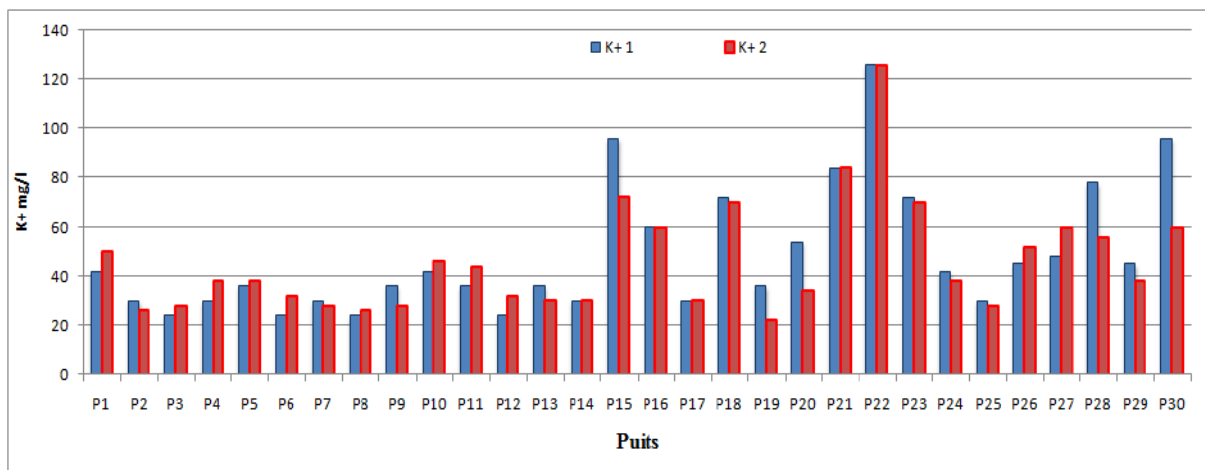


Figure 17 : variation des concentrations en Potassium des eaux de la nappe alluviale de Guerrara des deux compagnes.

Généralement les valeurs les plus élevées sont observées à l’Est Est de la palmeraie pendant les deux compagnes, par contre les valeurs à faible concertation sont répartir à l’Ouest.

V.3.2- Anion

➤ **Chlorure (Cl)**

Les teneurs enregistrées pendant tout la période d’observation montrent des valeurs importantes qui dépassent la norme d’irrigation (140 mg/l), avec une concentration maximum de 3869 mg/l au cours de la première compagne.

Les concentrations les plus faibles sont enregistrées dans la première compagne avec une teneur de 288,7 mg/l concerne le puits 24.

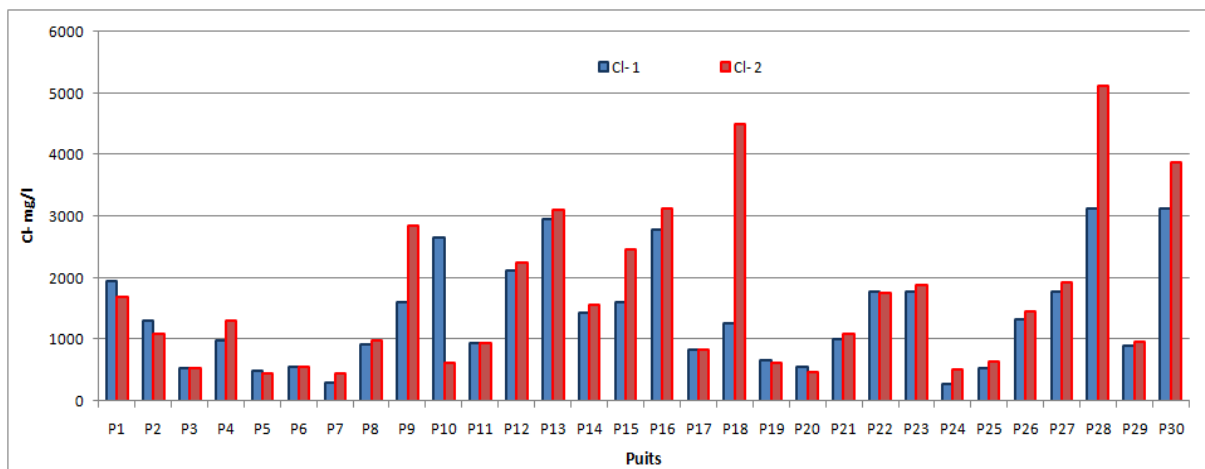


Figure 18 : variation des concentrations en chlore des eaux des la nappe alluviale de Guerrara de deux compagnes.

➤ **Sulfate (SO_4^{2-})**

C'est élément est fortement présent dans les eaux de la nappe de notre zone d'étude, les plus fortes valeurs sont notées pendant la deuxième campagne, avec une moyenne de 2800mg/l. Les valeurs les plus faibles sont observées durant le premier prélèvement avec une teneur de 120 mg/l.

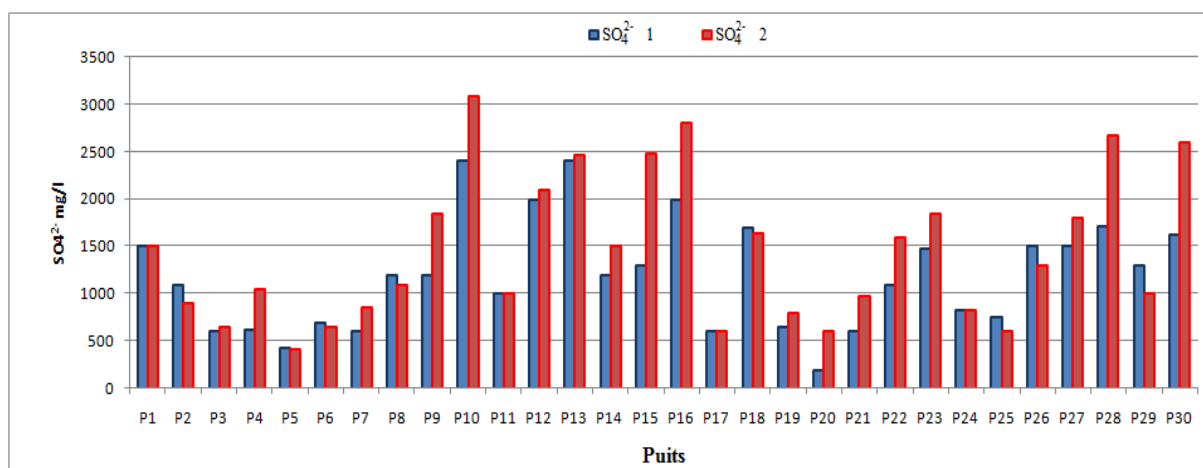


Figure 19 : variation des concentrations en Sulfate des eaux de la nappe alluviale de Guerrara des deux campagnes.

On signale que toutes les valeurs dépassent les normes d'irrigation (240mg/l) ; sauf le puits 20 à l'Ouest, qui a une valeur de 120 mg/l.

➤ **Bicarbonate (HCO_3^-)**

Cet élément est faible réparti par rapport aux autres anions existante dans l'eau durant la période d'observation. Les valeurs enregistrées pendant la première campagne sont plus élevées par rapport à la deuxième, avec des valeurs maximales de 933,33mg/l et 960mg/l respectivement.

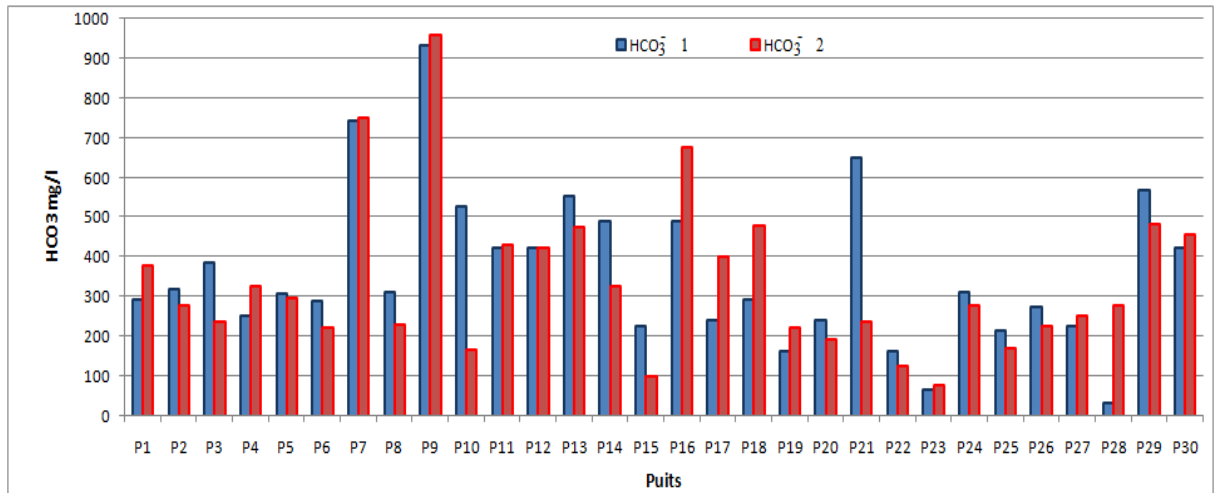


Figure 20 : variation des concentrations en Bicarbonate des eaux de la nappe alluviale Guerrara des deux compagnes.

On signale que la majorité des puits dépassent les normes d’irrigation, et les valeurs de faibles concentrations se localisent à l’Ouest de la palmeraie.

V.3.3- Indice d’échange de base

Schoeller définie en 1943, l’indice d’échange de base selon l’expression suivant :

$$I.E.B = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Tableau 08 : Indice d’échange de base

Puits	I.E.B 1	I E B 2	Puits	I.E.B 1	I E B 2
P1	-0,13	0,06	P16	0,1	0,19
P2	0,03	-0,07	P17	0,23	0,23
P3	0,1	0,1	P18	-0,53	0,57
P4	0,04	0,02	P19	0,37	0,34
P5	0,3	0,24	P20	0,36	-0,2
P6	0,13	0,12	P21	0,32	0,37
P7	-2,09	-1,15	P22	0,24	0,23
P8	0,3	0,34	P23	0,1	0,15
P9	-0,17	0,34	P24	-1,27	-0,29
P10	0,17	-2,57	P25	-0,2	0
P11	0,31	0,31	P26	0,05	0,12
P12	0,26	0,3	P27	0,11	0,17
P13	0,05	0,2	P28	0,29	0,57
P14	-0,09	0	P29	-0,08	0
P15	-0,01	0,35	P30	0,09	0,27

Si l'I.E.B > 0 → les eaux échangent des ions Na^+ , K^+ contre les ions Ca^{++} , Mg^{++} du terrain encaissant, c'est le cas de la majorité des puits, où représentées de 70% dans la première campagne et de 73,33% dans la deuxième.

Si l'I.E.B < 0 → l'encaissement libre les ions Na^+ , K^+ et fixe les ions Ca^{++} , Mg^{++} de l'eau, ces le cas de 8 puits pendant la première campagne qui sont les puits 1, 7, 9, 14, 15, 24 et 25, et 5 puits dans la deuxième qui sont 2, 7, 10, 20 et 24.

Si l'I.E.B = 0 → il y'a 3 puits dans ce cas, sont les puits 14, 25 et 29 concerne la deuxième campagne.

V.4- Détermination des principaux faciès

V.4.1- Représentation sur le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est utilisé pour définir le faciès type des eaux. Il permet de présenter sur un même schéma un grand nombre d'analyses qui peuvent être comparées visuellement de façon simple.

D'après le diagramme de Piper (Figure 20), et durant la période d'observation, les eaux de la nappe alluviale, montrent trois familles de faciès :

- une famille chlorurée sodique.
- une famille chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.
- Une famille sulfatée calcique et magnésienne.

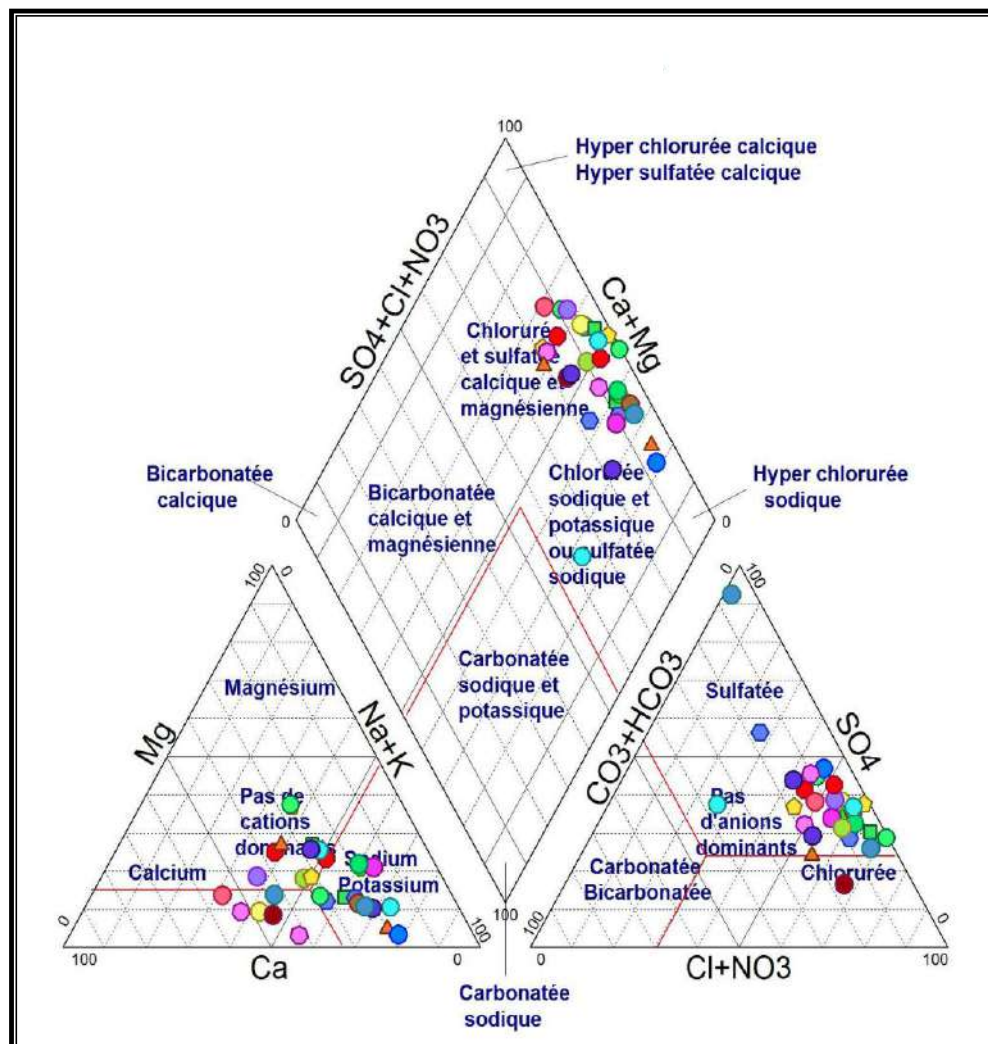


Figure 21 : Diagramme de Piper (Janvier 2013)

En observant le diagramme ternaire des anions, nous constatons, que le nuage de points a une tendance vers les chlorures, en se rapprochant des sulfates, jusqu'au domaine d'aucun anion dominant. Cependant, pour les cations, nous observons une tendance vers le sodium, en se rapprochant légèrement vers le calcium, jusqu'au domaine d'aucun cation dominant.

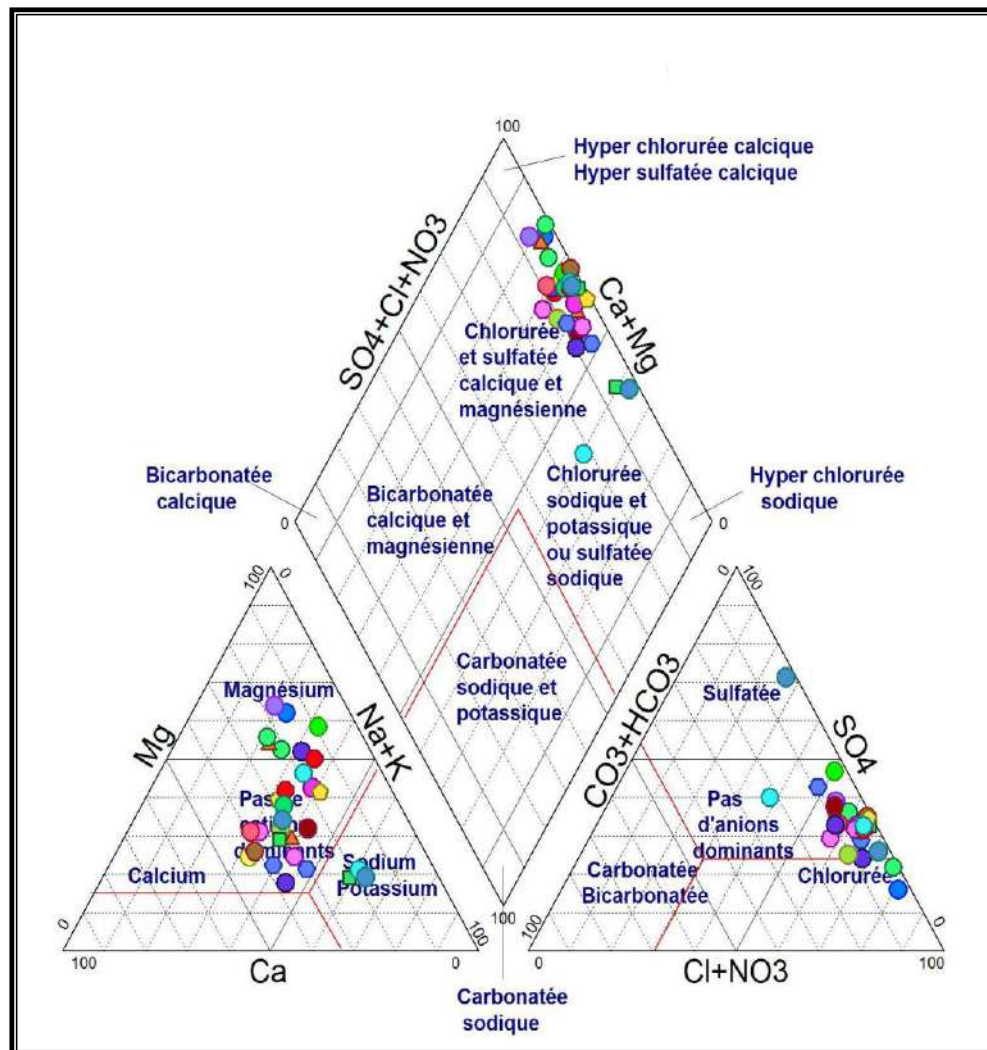


Figure 22 : Diagramme de Piper (Avril 2013)

La prédominance des ions Na^+ vis-à-vis de Ca^{2+} et Mg^{2+} , parmi les cations, ainsi que l'abondance des ions Cl^- , et SO_4^{2-} parmi les anions dans les eaux de cette nappe.

Le rapport $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ (annexe III) montre des valeurs inférieures à 1, indiquant un enrichissement en ion chlore, alors que le rapport $r\text{Na}/r\text{Ca}$ (annexe III) montre des valeurs supérieures à 1, indiquant un enrichissement en sodium, et le rapport $r\text{Na}/r\text{Mg}$ (annexe III)

est, également, supérieur à 1. Ceci explique la prédominance du faciès chloruré sodique, observée sur les deux diagrammes (Figure 21 et Figure 22).

V.4.2- Représentation sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

C'est un diagramme semi-logarithmique qui permet de donner des indications sur certains paramètres chimiques des eaux.

➤ **La première campagne (Janvier 2013)**

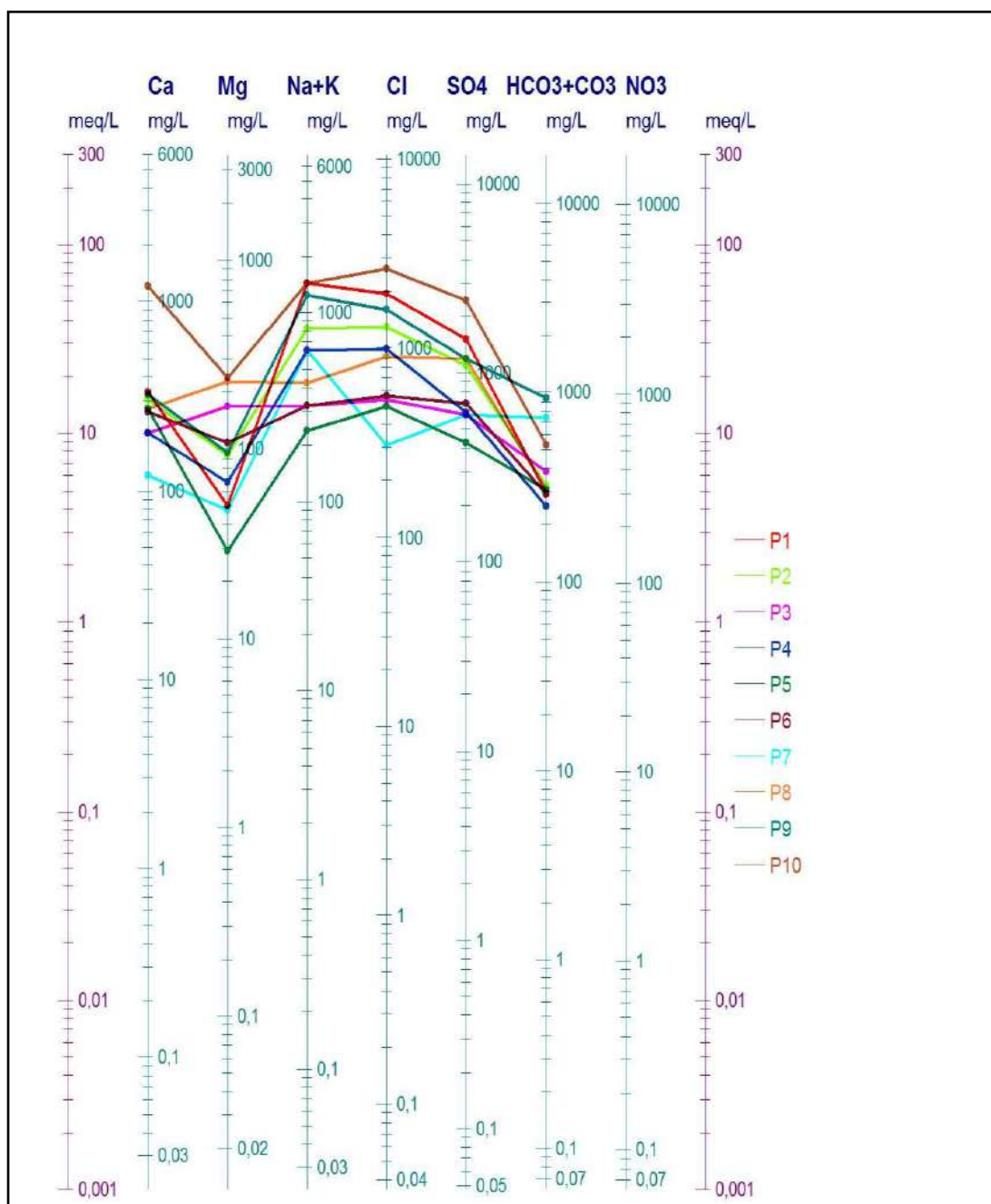


Figure 23 : diagramme de Schoeller-Berkaloff (P1-P10) (Janvier 2013)

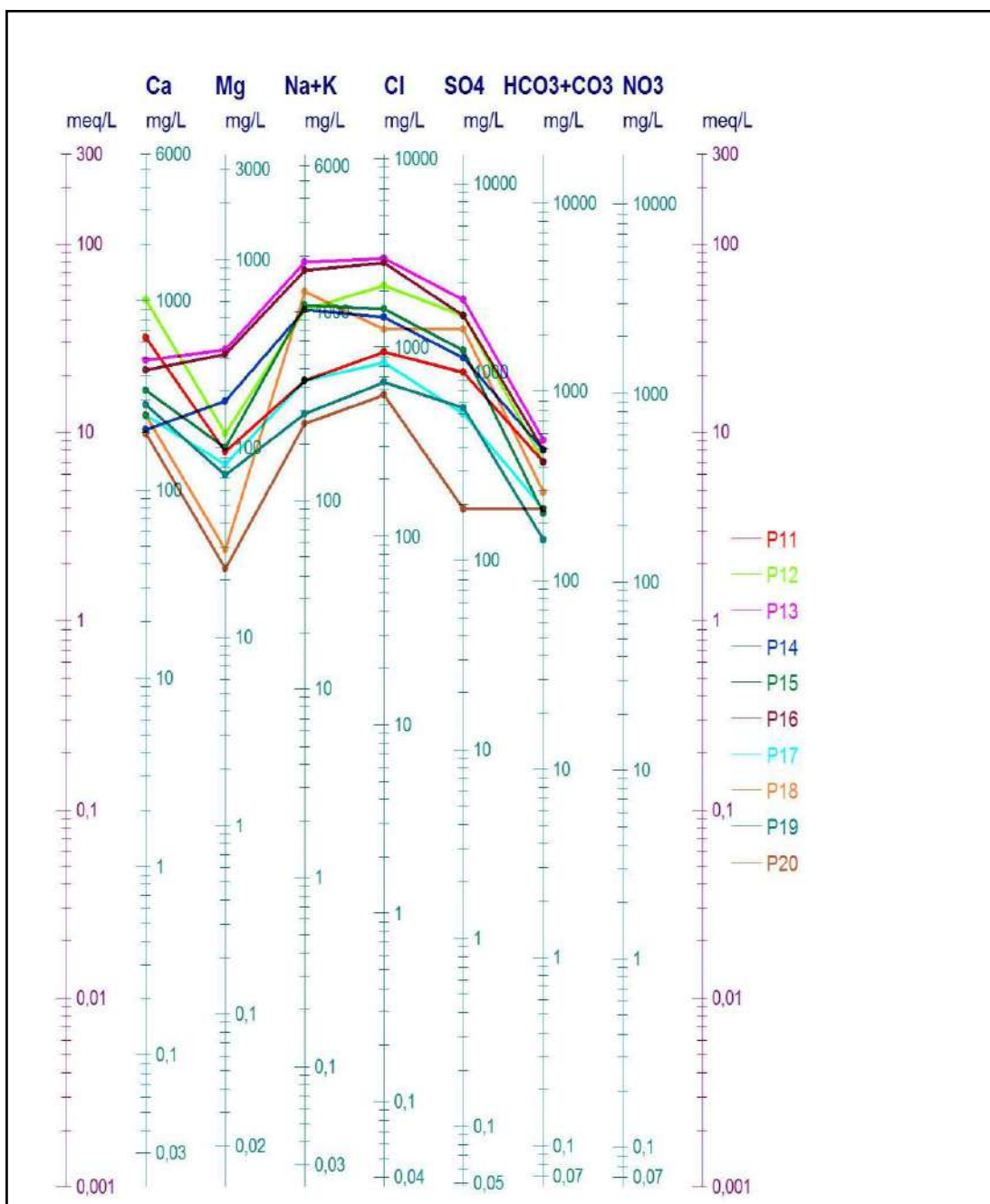


Figure 24 : diagramme de Schoeller-Berkaloff (P11-P20) (Janvier 2013)

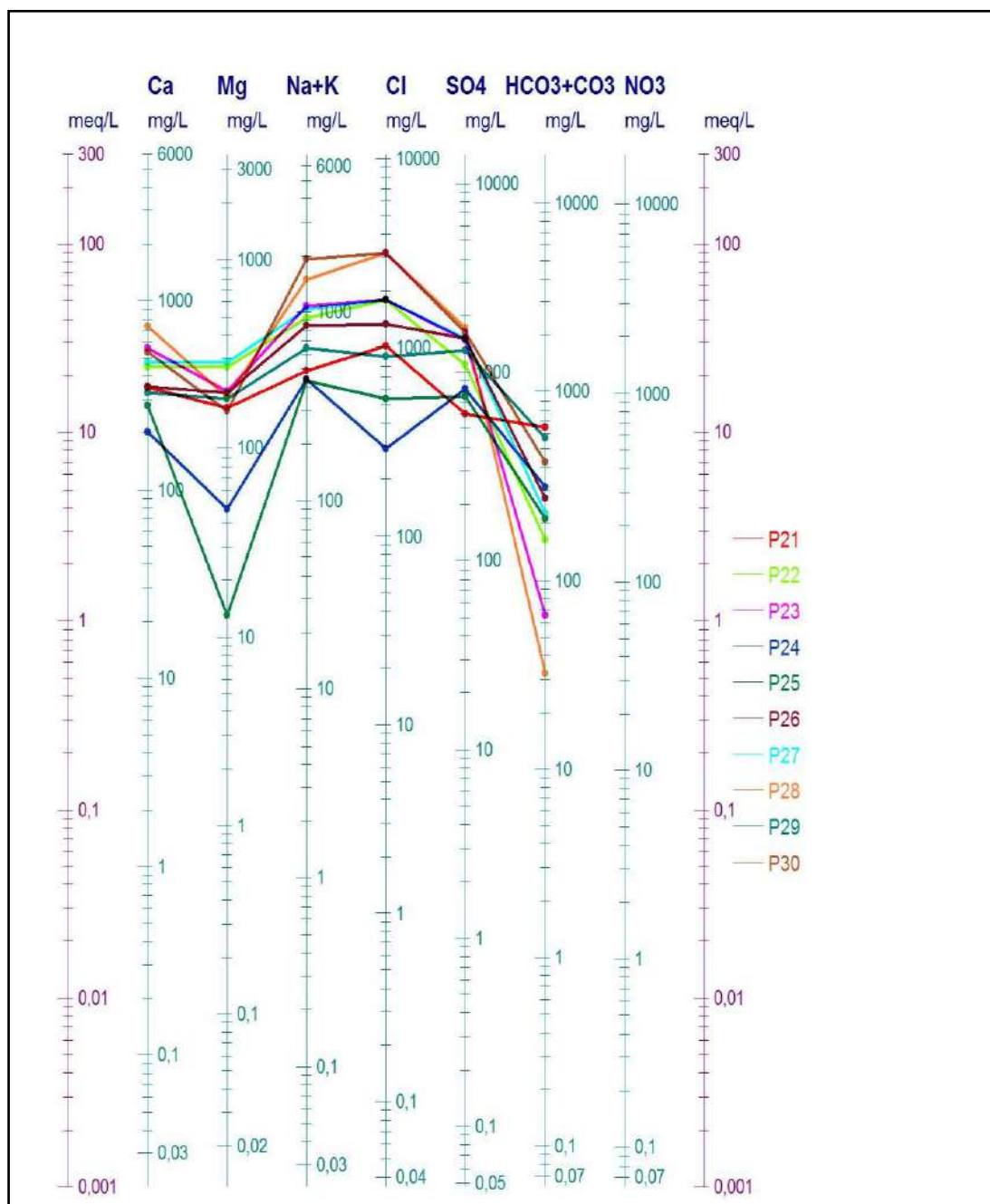


Figure 25 : diagramme de Schoeller-Berkaloff (P21-P30) (Janvier 2013)

La représentation de la teneur chimique des points d'eau sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff présente la même allure que le diagramme de Piper, et on constate que le faciès dominant c'est le faciès chlorurée sodique.

➤ **La deuxième campagne (Avril 2013)**

Les fortes concentrations de Cl⁻, SO₄²⁻, (Na⁺+K⁺) ont donné un faciès dominante qui est chlorurée sodique ; suivit de faciès chlorurée et sulfatée sodique et calcique. Ces résultats ne représentent pas un grand changement par rapport aux premières analyses.

On signale que la teneur en bicarbonates est faible par rapport à celle des autres anions, ce qui explique la très faible répartition du faciès bicarbonaté.

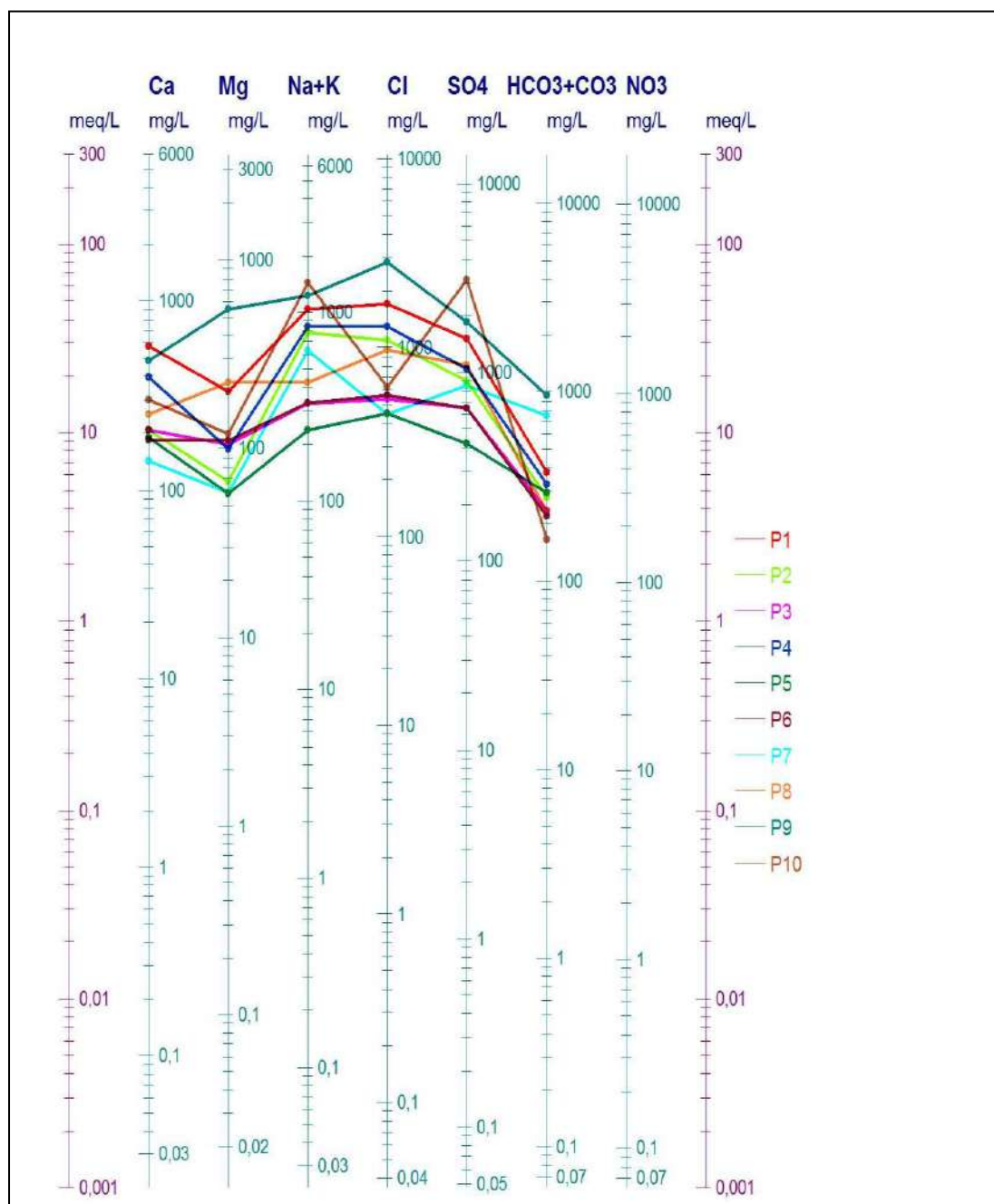


Figure 26 : diagramme de Schoeller-Berkaloff (P1-P10) (Avril 2013)

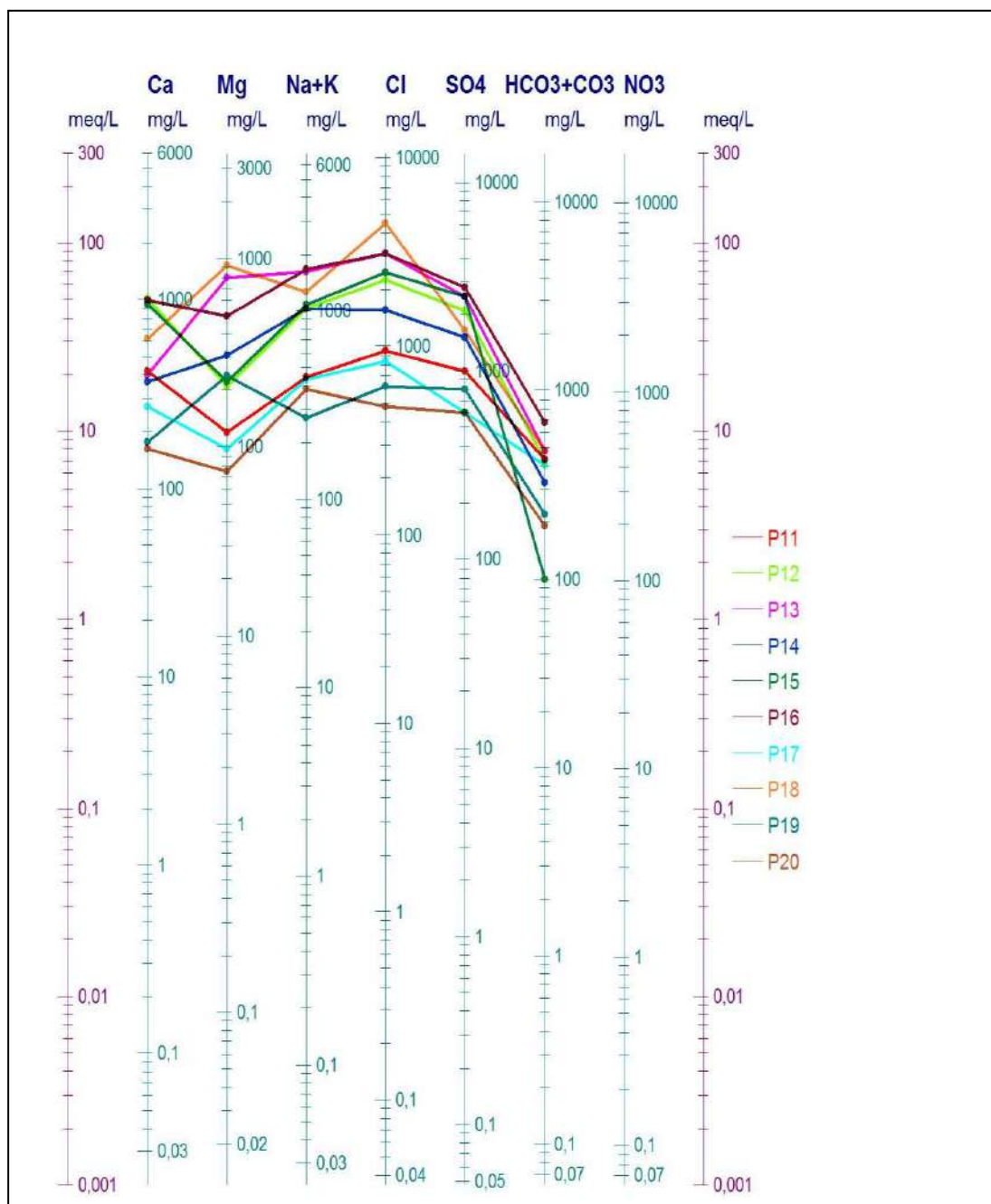


Figure 27 : diagramme de Schoeller-Berkaloff (P11-P20) (Avril 2013)

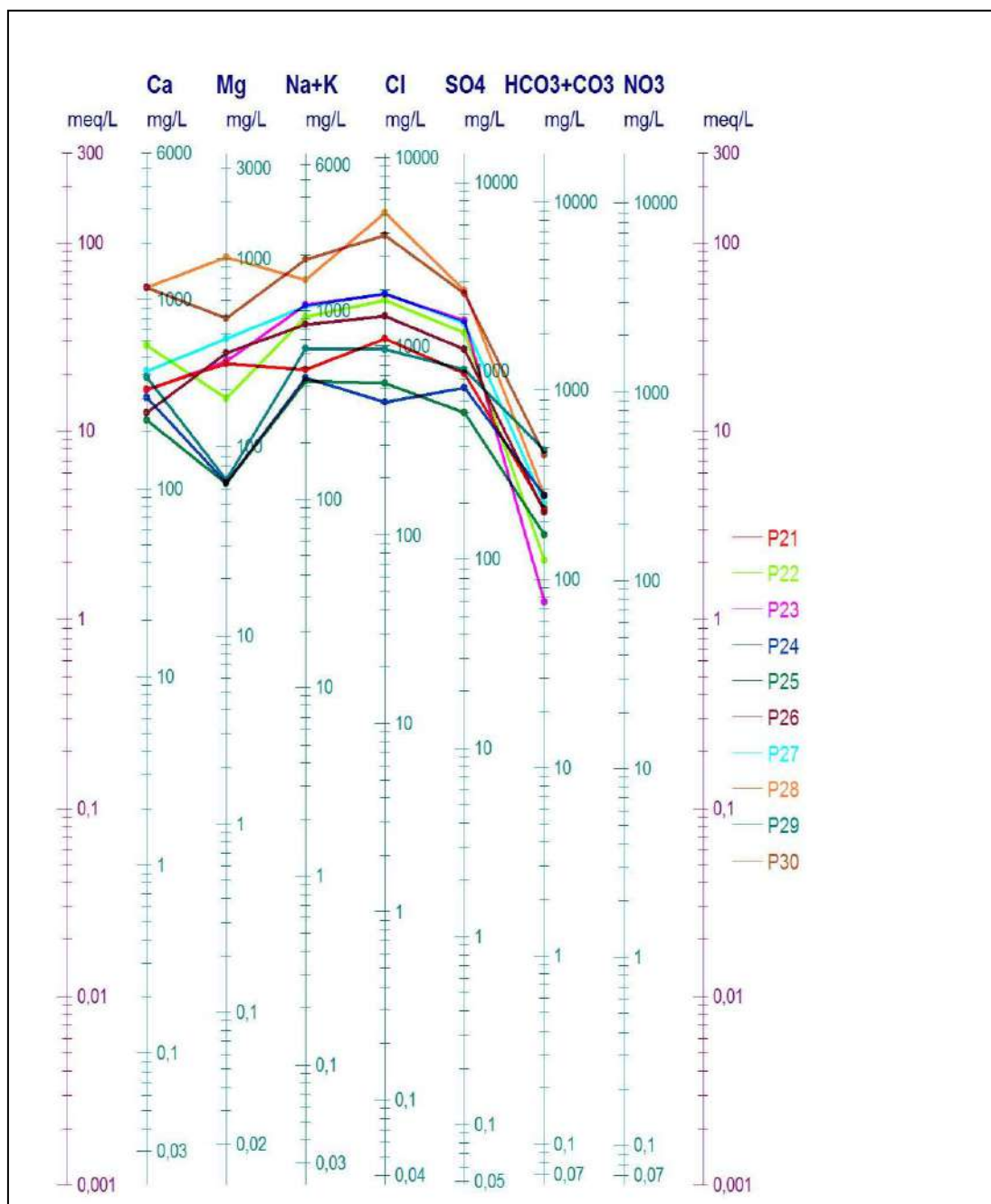


Figure 28 : diagramme de Schoeller-Berkaloff (P21-P30) (Avril 2013)

Conclusion

L'étude physico-chimique de l'eau de la nappe alluviale de Guerrara permet de déduire les conclusions suivantes :

Le pH des échantillons d'eaux analysés varie entre 6,51 à 7,83, ce qui reflète une eau plus ou moins acide.

Les valeurs de la conductivité électrique dans la plupart des puits sont supérieures à 1ds/m, montrent que les eaux de puits sont très fort salinité à salinité excessive.

Des eaux qui sont les plus souvent fortement chargées en sel dissous et de qualité mauvaise à médiocre.

La prédominance des ions Na^+ vis-à-vis de Ca^{2+} et Mg^{2+} , parmi les cations, ainsi que l'abondance des ions Cl^- , et SO_4^{2-} parmi les anions, reflète la prédominance de faciès chloruré sodique.

V.5- Origine de chimisme des eaux de la nappe

C'est la représentation des éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques qui présentent une influence sur la qualité des eaux.

➤ Les éléments Ca^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-}

Le calcium se libère par la dissolution des roches gypseuses ainsi que par l'attaque des eaux en présence des gaz carbonique CO_2 dans le cas des roches carboniques. La détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

Le graphe ci-dessous représente le calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates, l'analyse de ce graphe montre que 21 échantillons ou 70% de l'ensemble des échantillons ont une origine carbonatée.

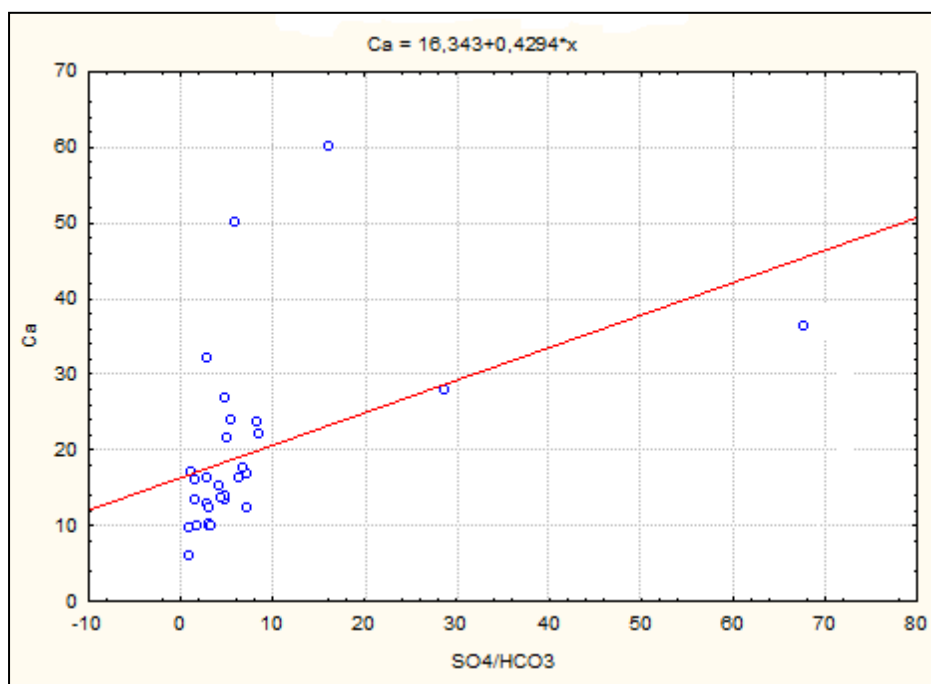


Figure 29 : Schéma représentative de la détermination de l'origine du Calcium

➤ Ions Na^+ et Cl^-

D'après la figure 30, on observe une répartition linéaire des ions Na^+ et Cl^- ce qui indique l'origine chlorurée sodique commune (Halite) de ces deux éléments chimiques.

L'augmentation des teneurs en Na^+ qui a accompagné les fortes teneurs en Cl^- est due au phénomène d'échange de base, car les argiles des formations géologique peuvent libérer des ions Na^+ après avoir fixé le calcium.

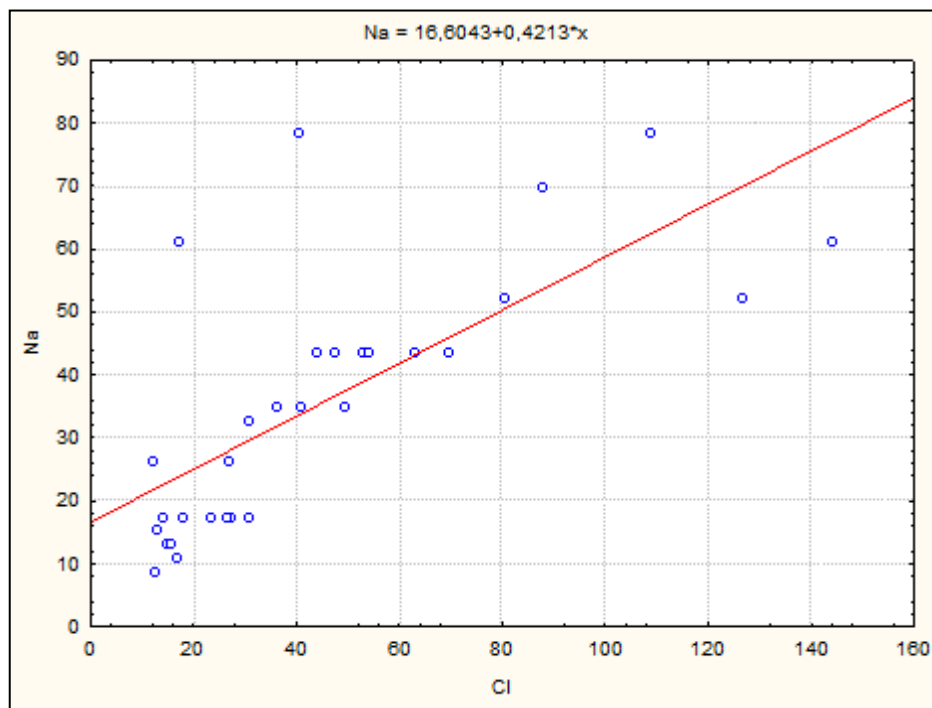


Figure 30 : Schéma représentative de la détermination de l'origine du Sodium

➤ **Relation entre la concentration Sulfate (SO_4^{2-}) et calcium (Ca^{2+})**

La représentation graphique de la relation entre SO_4^{2-} et Ca^{2+} dans la (Figure 31) montre que la majorité des points se trouvent sous forme linéaire ce qui indique que ces deux éléments SO_4^{2-} et Ca^{2+} sont à l'origine de la dissolution des formations (gypseuses et dolomitiques).

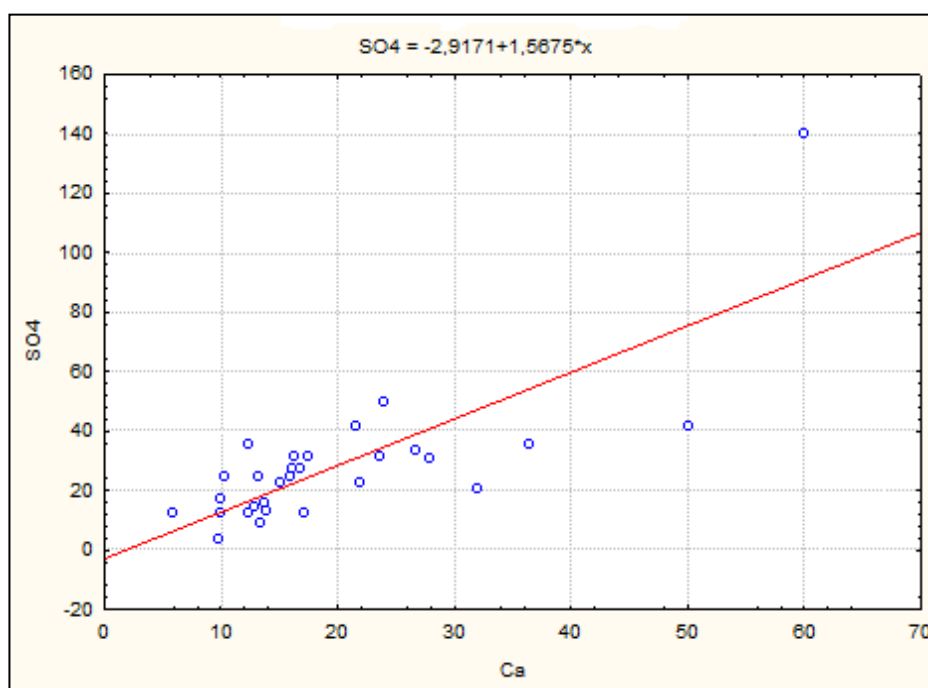


Figure 31: Relation entre la concentration Sulfate (SO_4^{2-}) et calcium (Ca^{2+}).

L'excès en Ca^{2+} par rapport au SO_4^{2-} indique l'origine évaporitique de Ca^{2+} par le gypse et d'autre part, on observe un excès en Ca^{2+} interprété comme le résultat de la dissolution des formations carbonatées.

➤ **Relation entre la concentration Sulfate (SO_4^{2-}) et Magnésium (Mg^{2+})**

La représentation graphique de la relation entre SO_4^{2-} et Mg^{2+} dans la (Figure 32) montre que la majorité des points se trouvent sous forme linéaire ce qui confirme la même origine, la dissolution des sels CaSO_4 (Gypse).

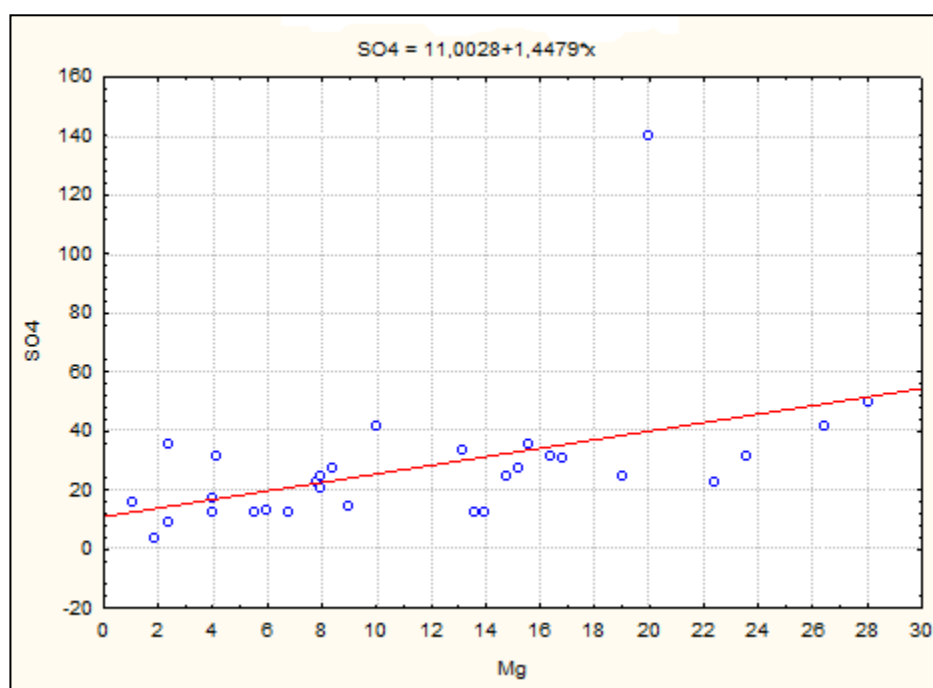


Figure 32 : Relation entre la concentration Sulfate (SO_4^{2-}) et calcium (Ca^{2+}).

L'évolution de la teneur de calcium en fonction SO_4^{2-} nous résulte deux origines de calcium l'un est évaporitique par les sels de CaSO_4 , et l'autre est carbonatée par la dissolution des formations carbonatées par exemple Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Calcite, Anhydrite et Aragonite).

V.6- Aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'irrigation

Pour étudier la qualité des eaux nous avons utilisé le diagramme de la détermination des qualités des eaux d'irrigation de *Durand* (1958), après la détermination de coefficient du sodium adsorbé (SAR) avec la CE en dS/m.

Tableau 09 : Ration d'Adsorption de Sodium

Puits	SAR 1	SAR 2	Puits	SAR 1	SAR 2
P1	18,97	9,12	P16	14,20	10,30
P2	10,26	11,53	P17	5,61	5,29
P3	3,77	4,21	P18	19,18	7,10
P4	9,34	9,31	P19	3,44	2,86
P5	3,09	3,26	P20	3,58	5,71
P6	3,93	4,30	P21	4,43	3,89
P7	11,67	10,67	P22	7,38	7,47
P8	4,32	4,40	P23	9,19	9,72
P9	15,06	8,82	P24	6,57	5,42
P10	9,62	17,22	P25	6,38	6,00
P11	3,89	4,43	P26	8,44	7,88
P12	7,94	7,46	P27	8,95	8,53
P13	15,35	10,57	P28	11,94	7,20
P14	12,25	9,27	P29	6,58	7,36
P15	12,25	7,56	P30	17,50	11,18

Les résultats obtenus dans le (tableau 11 en annexe III) montrent que les valeurs de la CE en dS/m des eaux de la nappe alluviale sont largement supérieures à 5 d'où une salinité excessive. Les valeurs de SAR sont comprises entre 2,86 et 18,96 ce qui indique que les eaux de cette nappe sont sodiques à très fortement sodique.

Les figures 33 et 34 donnent la classification de l'eau selon son degré d'aptitude à l'irrigation. Et montre que les eaux de la nappe en Janvier et Avril 2013 se situent en général, dans quatre classes principales (Tableau 15 en annexe III) :

- C3-S1 : eau de qualité admissible, convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- C4-S1 : eau de qualité médiocre, fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés Les eaux de la nappe alluviale.
- C5-S1 et C5-S2 : eau de qualité médiocre, fortement minéralisée ne convenir pas à l'irrigation.

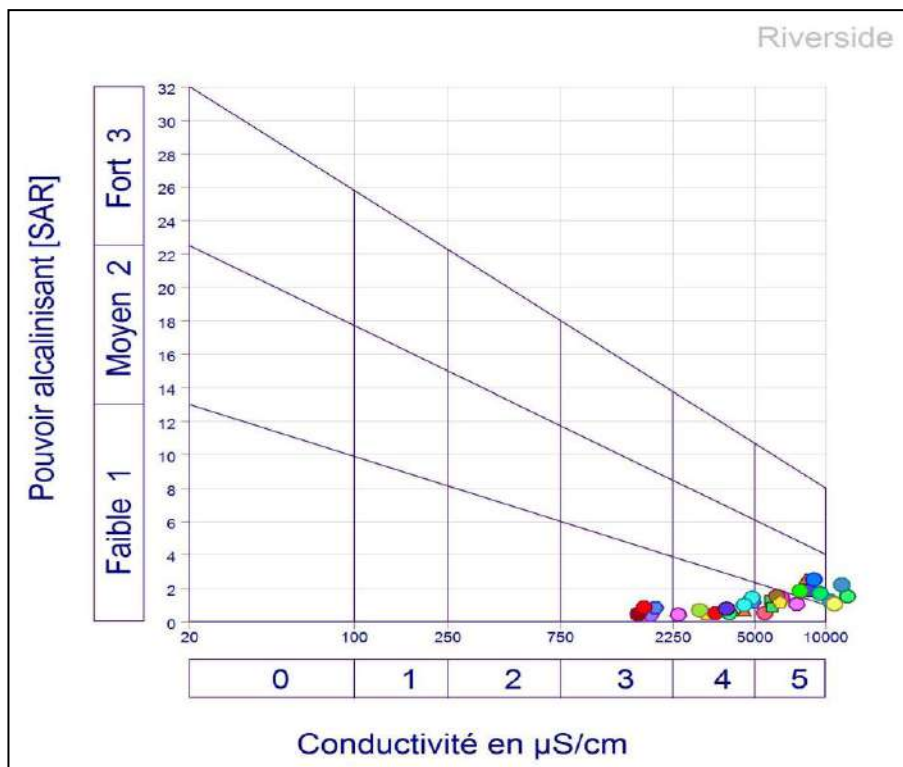


Figure 33 : diagrammes de Riverside (Janvier 2013).

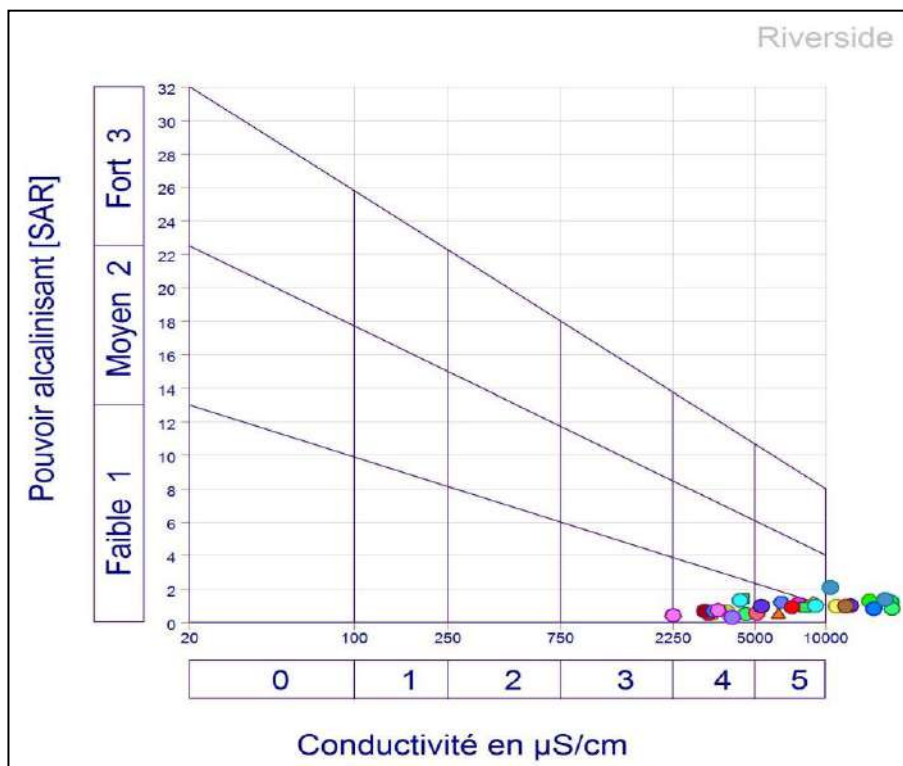


Figure 34 : diagrammes de Riverside (Avril 2013).

5.7- Discussion générale

Les analyses physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale a été menée en deux campagnes; Janvier et Avril 2013, et sur 30 puits, nous ont permis d'avoir quelques caractéristiques de cette nappe.

L'étude qualitative de la nappe indique que la qualité de cette eau présente un caractère alcalin bicarbonaté, et une salinité de classe d'eau très forte salinité, à salinité excessive, ce qui indique la minéralisation excessive des eaux de cette nappe qui conduit a une conductivité électrique très importante des eaux de la nappe. Cette dernière se trouve influencée, par les chlorures et les sulfates.

L'étude de la qualité chimique de la nappe a permis de déterminer que les bilans ionique des eaux sont caractérisées par une dominance du sodium puis le calcium parmi les cations, et le chlorure puis le sulfate parmi les anions.

Le faciès chimique de l'eau de la nappe alluviale permet de comprendre les relations qui existent entre les paramètres chimiques de cette eau ainsi que leurs origines. Le faciès le plus prédominant de ces eaux est le faciès chloruré sodique, à cause du rapport rSO_4^{2-}/rCl^- qui donne des valeurs inférieures à 1, indiquant un enrichissement en ion chlore. Alors que le rapport rNa^{2+}/rCa^{2+} montre des valeurs supérieures à 1, indiquant un enrichissement en sodium, et le rapport rNa^{2+}/rMg^+ est, également, supérieur à 1.

Conclusion



Conclusion générale

L'étude de la qualité chimique de l'eau de la nappe phréatique ou alluviale de Guerrara a été réalisée en deux campagnes d'échantillonnage ; la première en Janvier et la deuxième en Avril 2013.

30 puits à l'intérieur de l'ancienne palmeraie ont été choisis pour l'étude de la qualité chimique de l'eau de ces puits et le comportement des éléments chimiques, à travers la caractéristique géochimique.

L'étude piézométrique de la nappe indique que le sens d'écoulement converge vers le Nord-est.

A la lumière des résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale, on a pu déduire que :

- Les eaux de la nappe alluviale sont fortement à extrêmement salées et leurs conductivités électriques sont comprises entre 1,6 et 12,4 dS/m. Le pH varie entre 6,71- 7,83, et l'indice de sodicité (SAR) est de l'ordre de 8,61 en moyenne.
- La représentation graphique des éléments chimiques a montré une augmentation des teneurs en éléments solubles comme les (chlorure, magnésium, sodium, et sulfate) avec l'augmentation de la conductivité électrique.
- Les eaux de cette nappe sont dures à très dures, le plus souvent incrustantes et peuvent être utilisées pour l'irrigation avec un danger moyen d'alcalinisation du sol.
- D'après la classification sur le diagramme de Durand (1958), les eaux de la nappe alluviale appartenant généralement à quatre classes principales C3S1, C4S1, C5S1 et C5S2.
- La comparaison des concentrations en éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-) qui caractérisent les formations géologiques principales de la région, a mis en relief la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et les ions gypsifères (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-).
- Le faciès chimique le plus dominant est chlorure sodique, en suite le faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

Enfin, cette étude sur la qualité chimique de l'eau de la nappe alluviale de Guerrara, a pu exprimer l'état actuelle de ces eaux vis-à-vis un changement graduel de la qualité chimique de ces eaux, par une augmentation de la salinité et des résidus sec ainsi que la concentration

en certains éléments chimique. Cela confirme l'idée des agriculteurs ayant soulevé cette problématique.

Il est nécessaire de poursuivre ce travail par d'autres travaux dans le but de cerner les causes de ce changement dans la qualité des eaux de cette nappe.

A grayscale photograph of a hand holding a pen, writing on a notepad. The image is partially obscured by a rounded rectangular frame.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ACHOUR. S., YUCEF. L. (2001).** Excès des fluorures dans les eaux du Sahara septentrional oriental et possibilité de traitement. E.I.N. International, N°6, pp 47-54.
2. **AMOROS, C., et PETTS, G.E., 1993.** Les hydrosystèmes fluviaux. Masson, Paris.
3. **BANTON D et BANGOY L.M., 1999.** Hydrogéologie- Multi-sciences environnementale des eaux souterraines. Ed. Presses de l'université de Québec. AUPLEF, 460 P.
4. **BEAUCHAMP J., 1995.** L'eau souterraine « éléments d'hydrogéologie ». www.u-picardie.fr/beaucham/mst/mst-plan.11-08-2011.
5. **BOUCHAHM. N., ACHOUR.S. (2008).** Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. La houille blanche, N° 02, pp76-82.
6. **CHAUSSE CH., 2003.** Les nappes alluviales de la base vallée de l'Yonne, approche géométrique et chronostratigraphique et l'apport de l'étude de la nappe de Soucy à la compréhension des occupations du paléolithique inférieur de Soucy. Thèse Doc. Université de Lille I, p 25.
7. **CLIMENT M., AUDOYE P., CLAUD CHOSSAT J., 2007.** Base technique de l'irrigation par aspersion, pp 8-9, 20-21.
8. **DAJOZ R., 1971.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434p.
9. **DAJOZ R., 2006.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 631p.
10. **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 Mag. Agro. Université de Ouargla, pp 8, 11, 15, 5.
11. **DUBIEF J., 1964.** Evaporation et coefficient climatiques au Sahara. Tra. Inst. Rech. Sci. Paris, Tom 6, 344p.
12. **DURAND, J.H., 1983.** Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris, Hydrogeology science journal. Ed: IAHS press. Vol. 38. n°3. (pp 173-186).
13. **HADJ-SAID, S., HAMDI-AISSA B., TOUIL Y., 2008.** Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agrosystème oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab). Bull. du Groupe Francophone Humidité et Transferts en Milieux Poreux, 54, 195-198.

14. **KHADRAOUI A et TALEB S., 2008.** Qualité des eaux dans le sud algérien. potabilité-pollution et impact sur le milieu. paris : khyam. P 49.
15. **KHADRAOUI, A (a)., 2007.** Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes. 305P.
16. **KHADRAOUI, A., 2010.** Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes. 305P.
17. **KHEMGANI M.A., 2010.** Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Mémoire Mag. Agro. Université de Ouargla P 76.
18. **LENOBLE J.A., 1995.** Géologie et hydrogéologie des Pyrénées orientales-relation rivière-nappe. L'exemple du fleuve Têt et de la nappe alluviale de la Salanique.
19. **MEGDOUD.M. 2003.** QUALITÉ DES EAUX DU SAHARA SEPTENTRIONAL. Journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud, El Oued, les 19 et 20 mai 2003.
20. **NEZLI I. D., 2009.** Approche hydrogéochimique a l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla). Thèse Doctorat Hydraulique, Université Mohamed Kheider , Biskra, 111p.
21. **O.N.M. 2013.** Bulletin climatique et agronomique. Office National de Météorologie, Ghardaïa, 2p.
22. **OMEIRI N., 1994.** Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Thèse Ing, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72 p.
23. **RODIER. J., (2009).** L'analyse de l'eau, 9^{ème} éd, Paris, 1579p.
24. **SORMAN, A.V., et ABDULRAZZAK, M.J., 1993.** Recharge through wadi beds in arid regions
25. **STEWART P., 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Bull.soc.hist. nat.Agro. p24, 25.

Annexes



Annexe I : quelques puits échantillonnés



Annexe II : l'étude piézométrique

Tableau 10 : résultats des mesures des coordonnées géographiques et des profondeurs des deux compagnes

Nom	CX	CY	Alt.	pro. 1	pro. 2	NP 1	NP 2
P1	32,7885833	4,51044444	284	25,55	27,3	258,45	256,7
P2	32,7889167	4,508	281	20,4	21	260,6	260
P3	32,7912778	4,50686111	280	19,6	14,3	260,4	265,7
P4	32,7902222	4,50625	280	10	11,5	270	268,5
P5	32,7905	4,50530556	285	16,5	16,95	268,5	268,05
P6	32,7884444	4,50477778	281	14	14,8	267	266,2
P7	32,7865833	4,50597222	283	10,9	11,9	272,1	271,1
P8	32,7856389	4,50808333	284	11,75	13,3	272,25	270,7
P9	32,7835833	4,50883333	187	8,9	13,63	178,1	173,37
P10	32,7815556	4,50677778	288	7,45	7,7	280,55	280,3
P11	32,7977222	4,50402778	290	3,75	2,7	286,25	287,3
P12	32,7825	4,50175	291	6,26	6,18	284,74	284,82
P13	32,7847778	4,5005	291	6,2	6,05	284,8	284,95
P14	32,7851111	4,48211111	291	4,8	4,52	286,2	286,48
P15	32,78725	4,50086111	294	7,6	9,1	286,4	284,9
P16	32,78575	4,47977778	296	4,42	4,6	291,58	291,4
P17	32,7829444	4,47833333	298	4,5	5,25	293,5	292,75
P18	32,7799444	4,47697222	295	4,5	5	290,5	290
P19	32,7803056	4,49075	295	8,75	9,5	286,25	285,5
P20	32,78125	4,48916667	298	9	9,86	289	288,14
P21	32,7839444	4,49177778	300	5,7	6,15	294,3	293,85
P22	32,7858056	4,48961111	300	3,25	8,5	296,75	291,5
P23	32,7828333	4,48916667	299	11,36	6,38	287,64	292,62
P24	32,7821667	4,48994444	299	7,1	7,54	291,9	291,46
P25	32,7818889	4,4955	298	4,35	6,3	293,65	291,7
P26	32,78	4,49491667	296	3,36	4,3	292,64	291,7
P27	32,7823611	4,49719444	296	4,3	4,5	291,7	291,5
P28	32,7834444	4,49744444	296	4,7	4,8	291,3	291,2
P29	32,783	4,49558333	296	3,8	4,26	292,2	291,74
P30	32,7841667	4,49622222	294	4,45	4,58	289,55	289,42

*Annexe III : l'étude chimique***Tableau 11** : CE, pH mesurés dans l'eau échantillonné.

PUITS	CE 1	pH 1	CE 1	pH 2
1	8190	7,02	8790	6,51
2	5830	7,06	4470	6,67
3	3130	7,14	3300	7,16
4	4930	6,94	6450	6,91
5	2370	7,02	2250	7,02
6	3420	7,23	3180	7,05
7	4860	7,68	4360	6,85
8	3890	7,7	4560	7,57
9	8550	7,13	12700	6,79
10	10465	7,21	10480	7,08
11	5510	7,16	5080	6,96
12	10930	7,29	11120	7,13
13	7800	6,87	15510	6,57
14	6500	7,05	7640	7,18
15	6200	6,71	12160	6,63
16	9500	7,02	18960	6,83
17	2900	7,14	3790	6,98
18	8900	6,87	16040	6,58
19	1800	7,4	3990	6,61
20	1600	7,82	3070	6,86
21	4500	7,01	6280	7,53
22	5900	6,98	8140	6,72
23	6400	6,83	8920	6,56
24	1900	7,89	3340	7,6
25	1700	7,58	3470	7,33
26	4500	7,17	7180	7,18
27	7500	7,67	9050	7,61
28	12400	7,83	19040	7,03
29	3800	7,4	5340	7,2
30	11700	6,81	17910	6,67

Tableau 12 : Classe de salinité en fonction de la CE de l'extrait saturé et de la somme des Anions (SERVANT in KHEMGANI, 2010)

Classes	Désignation	CE (mmhos/cm à 25°C)	Somme des anions (méq/l)
0	Non salé	< 2.5	< 25
1	Faiblement salé	2.5 – 5	23 – 50
2	Moyennement salé	5 – 10	50 – 105
3	Salé	10 – 15	105 – 165
4	Fortement salé	15 – 20	165 – 225
5	Très fortement salé	20 – 27.5	225 – 315
6	Excessivement salé	27.5 – 40	315 – 620
7	Hyper salé	>40	>620

Tableau 13: Classification des eaux phréatique (OUMERI, 1994).

Résidus sec en g/l	Déférents types d'eau de nappe
$\leq 0,5$	Eau douce
$0,5 < R.S \leq 4,5$	Eau très faiblement salée
$4,5 < R.S \leq 10$	Eau faiblement salée
$10 < R.S \leq 25$	Eau moyennement salée
$25 < R.S \leq 45$	Eau fortement salée
$45 < R.S \leq 100$	Eau très fortement salée
>100	Eau excessivement salée

Tableau 14 : la dureté totale de l'eau durant les deux campagnes.

Puits	Dureté 1	Dureté 2	Puits	Dureté 1	Dureté 2
P1	103	227	P16	240	456
P2	115	80	P17	96	108
P3	120	96	P18	74	540
P4	78	140	P19	100	144
P5	79	71	P20	59	71
P6	110	92	P21	154	200
P7	50	60	P22	222	217
P8	162	156	P23	224	200
P9	120	350	P24	70	103
P10	400	125	P25	74	84
P11	200	154	P26	170	195
P12	300	339	P27	236	260
P13	260	433	P28	260	715
P14	126	220	P29	157	126
P15	126	330	P30	200	490

Tableau 15 : les rapports caractéristiques des ions d'eau durant la première campagne (Janvier 2013)

Puits	Ca/Mg	SO4/Cl	(Na+K)/Cl
1	3,90469062	0,56928686	1,1284903
2	1,94866677	0,62676071	0,9723271
3	0,71428571	0,82349775	0,89984343
4	1,78571429	0,46060569	0,96340442
5	5,58320858	0,65008347	0,69800671
6	1,44444444	0,9258183	0,86712858
7	1,499501	1,43929811	3,09232477
8	0,70385545	0,96990296	0,69858963
9	2	0,55129017	1,17087395
10	3	0,66981132	0,82984918
11	4	0,77938661	0,68515121
12	5	0,69832622	0,73900197
13	0,85714286	0,59856412	0,94793339
14	0,70268247	0,61446325	1,08753831
15	1,99998812	0,59725328	1,01308416
16	0,81817426	0,52903524	0,90279245
17	1,82348538	0,53016726	0,7702497
18	5,16654192	1,00266491	1,52933719
19	2,33333333	0,72277462	0,63430121
20	5,15490758	0,25003707	0,63674288
21	1,26467653	0,43645681	0,68244912
22	0,98214286	0,45723854	0,75845155
23	1,66666667	0,61519367	0,90432301
24	2,5	2,10065235	2,27094587
25	12,7130355	1,03101766	1,19832527
26	1,07315856	0,8291293	0,95347096
27	0,99999154	0,6235071	0,89204472
28	2,33331414	0,40578374	0,71194737
29	1,06576321	1,0706663	1,07689142
30	2,03029547	0,38219166	0,91411648

Tableau 16 : les rapports caractéristiques des ions d'eau durant la deuxième campagne (Avril 2013)

Puits	Ca/Mg	SO ₄ /Cl	(Na+K)/Cl
1	1,72799401	0,65295762	0,93525
2	1,85708939	0,60511364	1,07389
3	1,18178416	0,8902392	0,90469
4	2,35668943	0,59735577	0,97644
5	1,95827096	0,69027778	0,76286
6	1,00359281	0,85767916	0,87809
7	1,43002131	1,42227564	2,15288
8	0,66533599	0,83354679	0,65682
9	0,52173913	0,47840181	0,65652
10	1,5	3,69384117	3,57008
11	2,07999002	0,77850877	0,69204
12	2,87995438	0,69274086	0,70143
13	0,3	0,58833199	0,80415
14	0,7187383	0,7061585	0,99986
15	2,59499134	0,7425776	0,65142
16	1,20557273	0,66372863	0,80903
17	1,64518214	0,53207434	0,77302
18	0,4025974	0,27023566	0,42594
19	0,43999501	0,96835788	0,66431
20	1,29032258	0,93618143	1,20499
21	0,72413363	0,65890152	0,63078
22	1,89331337	0,67388003	0,76849
23	0,69490257	0,72534677	0,85251
24	2,81474089	1,20205696	1,28952
25	2,15194611	0,69251537	1,00327
26	0,47450553	0,65997964	0,88009
27	0,66666347	0,69048237	0,82889
28	0,68235294	0,38631332	0,43259
29	3,48410322	0,7781033	1,0007
30	1,45	0,49700612	0,7322

Tableau 17 : indice croisé SAR/conductivité

Indice croisé SAR/conductivité	Indication
C1-S1	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols
C1-S2	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées - le sol doit être bien drainé et lessivé
C1S3	- le sol doit être bien préparé, bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'ajonction de Gypse
C1-S4	- eau difficilement utilisable dans les sols peu perméables - le sol doit être bien préparé, très bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'ajonction de Gypse
C2-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel
C2-S2	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité
C2-S3	- eau convenant aux plantes qui présentent une certaine tolérance au sel - sol grossier et bien préparé (bon drainage, bon lessivage, addition de matières organiques) - l'ajonction périodique de Gypse peu être bénéfique
C2-S4	- eau ne convient généralement pas pour l'irrigation
C3-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - sol bien aménagé (bon drainage) - contrôle périodique de l'évolution de la salinité
C3-S2	- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage - contrôle périodique de l'évolution de la salinité - l'ajonction périodique de Gypse peu être bénéfique
C3-S3	- espèces tolérantes au sel - sol très perméable et bien drainé
C3-S4	- eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S1	- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
C4-S2	- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
C4-S3	- eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S4	- eau ne convient pas à l'irrigation

Tableau 18: Les indicateurs de qualité.

Objectifs	Indicateurs
Recherche d'une pollution fécale	<ul style="list-style-type: none"> • enquête sanitaire • analyse bactériologique
Analyse avant traitement de l'eau (filtration, chloration, floculation)	<ul style="list-style-type: none"> • analyse bactériologique • demande en chlore • pH • turbidité • conductivité
Analyses après traitement de l'eau (chloration, floculation)	<ul style="list-style-type: none"> • analyse bactériologique • chlore résiduel libre • Aluminium • pH • turbidité • conductivité
Analyses en vue de caractériser le milieu (eau souterraine)	<ul style="list-style-type: none"> • conductivité • température • pH • Cations (calcium, magnésium, potassium et sodium) • Anions (chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate) • Eléments traces (Fer, Manganèse, Fluorure...)
Analyses en vue de caractériser le milieu (eau de surface)	<ul style="list-style-type: none"> • Conductivité • température • turbidité • pH • Cations (ammoniaque et potassium) • Anions (nitrate et nitrite) • Eléments traces (Fer / Manganèse) • oxydabilité et DBO • Oxygène dissous • Indice biologique
Analyses en vue de caractériser l'aptitude de l'eau à l'irrigation	<ul style="list-style-type: none"> • Conductivité • Cations (calcium, magnésium et sodium)

Résumé

Qualité chimique de l'eau de la nappe alluviale de Guerrara.

La région de Guerrara fait partie des zones arides du sud Algérien et elle est caractérisée par l'irrégularité des précipitations et la présence d'une nappe alluviale alimentée par Oued Zegrir.

Cette une nappe superficielle qui est sollicitée par un grand nombre de puits traditionnels destinés à l'irrigation de la palmeraie. Les eaux issues de cette nappe posent de sérieux problèmes de qualité chimique.

Notre travail a pour objectif principal l'étude de la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique (alluviale).

Les principaux résultats obtenus après échantillonnage et analyses physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale

sont:

- Le sens d'écoulement des eaux est orienté vers le Nord-est.
- Les eaux phréatiques de notre région d'étude sont fortement à extrêmement salées et leurs conductivités électriques sont comprises entre 1,6 et 12,4 dS/m.
- Le pH varie entre 6,71 et 7,83.
- L'indice de sodicité (SAR) est de l'ordre de 8,61 en moyenne.
- D'après la comparaison des concentrations des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+), Na^+ est l'élément dominant pour les cations et Cl^- pour les anions, ce qui confère donc le faciès géochimique dominant chloruré sodique.
- Les eaux de la nappe alluviale appartenant généralement à quatre classes principales C3S1, C4S1, C5S1 et C5S2.

Mots clés : qualité chimique, l'eau, physico-chimique, nappe alluviale, Guerrara.

ملخص:

النوعية الكيميائية لمياه الطبقة الغرينية للقرارة

منطقة القرارة هي جزء من الجنوب الجزائري القاحل حيث تتميز بعدم انتظام سقوط الأمطار ووجود طبقة مياه سطحية تغذى بمياه وادي زقير. هي عبارة عن طبقة مياه سطحية تستغل بواسطة العديد من الآبار التقليدية لري واحة النخيل. مياه هذه الطبقة تشكل مشكل حقيقي من ناحية نوعيتها الكيميائية.

إن الهدف الرئيسي لهذا العمل هو دراسة كيميائية لمياه هذه الطبقة السطحية.

أهم النتائج المتحصل عليها بعد اخذ عينات المياه و تحليلها جيوكيميائيا هي:

- اتجاه جريان المياه كون باتجاه الشمال الشرقي.
- مياه منطقة الدراسة ذات ملوحة عالية و ناقليتها الكهربائية تتراوح بين 1.6 و 12.4 dS/m.
- درجة الحموضة تختلف بين 6,71 - 7,83.
- مؤشر الصوديوم (SAR) مقدر ب 8,61.
- بعد مقارنة تركيز المواد الكيميائية (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+)، هو العنصر السائد بالنسبة للكاتيونات و Cl^- بالنسبة للأيونات هذا ما يؤكد الفصل الجيو كيميائية السائدة للكور و الصوديوم.
- المياه الجوفية في معظم الأحيان تندرج ضمن أربع أقسام C3S1, C4S1, C5S1 و C5S2.

الكلمات المفتاحية: نوعية الكيميائية، الماء، جيوكيمياء، الطبقة الغرينية، القرارة.

Summary

Chemical quality of the alluvial water in Guerrara.

The region of Guerrara is part of the arid southern of Algeria wich is characterized by irregular rainfall and the presence of alluvial groundwater powered by Oued Zegrir.

It's a shallow groundwater which is loaded by a large number of traditional wells used for the irrigation of the palm grove. The water of this aquifer is a serious chemical quality problem.

Our work's main objective is the study of the chemical water quality of the alluvial groundwater.

The main results obtained after sampling and physico-chemical analyzes of water from the alluvial aquifer are:

- The flow of water is directed towards the North-East.
- Waters of the study area are highly to extremely high salt and the electrical conductivities are between 1.6 and 12.4 dS / m.
- The pH varies between 6.71 and 7.83.
- The index of sodicity (SAR) is about 8.61 as average.
- According to the comparison of concentrations of chemical elements (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+), Na^+ is the dominant element for cations and Cl^- for anions, which gives therefore the dominant geochemical facies chlorinated sodium.
- Waters of the alluvial aquifer are generally from four main classes C3S1, C4S1, C5S1 and C5S2.

Keywords: chemical quality, water, physico-chemical, alluvial, Guerrara