

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



N° d'ordre:

N° de série:

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Magister

Spécialité : Biologie

Option : Eco-pédologie et environnement

Par **MEZZAR Laid**

THEME

**Etat de la qualité chimique et bactériologique de la nappe
alluviale de Guerrara**

Soutenu publiquement le : 19/11/2015

Devant le jury :

Mr. HADJ MAHAMMED M.	Professeur	Université d'Ouargla	Président
Mr. HADJ- SAID S.	Professeur	Université d'Ouargla	Promotrice
Mme. HAMDI AÏSSA B.	Professeur	Université d'Ouargla	Examineur
Mr. IDDER M.T.	MCA	Université d'Ouargla	Examineur

Année universitaire 2015/2016

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ceux qui m'ont particulièrement encouragé et motivé au cours de ces longues années d'études :

A ma très chère et tendre mère, pour son soutien et ses sacrifices ;

A mon très chère père pour son soutien et ses encouragements;

A mes chers frères et sœurs;

A ma fiancée ;

A tous mes nièces et neveux : Amel, Cherif, Azzeddine ; les petites Sarah , Islam et Hodhaiifa ;

A mes amis : Boubaker, Laid

Laid

Remerciements

Je remercie tout d'abord Allah de m'avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

Mon profond remerciement à ma promotrice Madame **HADJ-SAID S.** d'avoir proposé ce thème et accepté de diriger ce mémoire dans toutes ses étapes, et pour toutes les heures qu'elle a consacrées à diriger cette recherche. Je tiens également à remercier mon co-promoteur monsieur **MESSEN N.** pour son aide et ses conseils judicieux.

Au terme de ce travail, il est de mon devoir de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste mémoire. Je dois remercier particulièrement:

Monsieur le professeur **HADJ MAHAMMED M.** pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le Jury.

Messieurs le professeur **HAMDI AISSA B.** et le docteur **IDDER M.T.** qui ont bien voulu examiner ce travail.

Je remercie monsieur **MANSOURI Saleh** qui m'a aidé sur le terrain.

Je remercie aussi l'ensemble des membres des laboratoires l'Algérienne Des Eaux d'Ouargla, de Ghardaïa, de l'établissement hospitalier spécialisé de Touggourt et du laboratoire Biogéochimie des Milieux Désertiques pour leurs aides.

Je remercie par la même occasion tous mes amis de la promotion de magistère Ecopédologie et Environnement : Smail, Nasser Eddine, Adel, Messaouda, Mabrouka, Sara, Samia.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à élaborer ce modeste travail.

Résumé

Cette étude a pour objectif de déterminer la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara par l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eaux prélevés au niveau des puits répartis dans la région au cours de deux campagnes, la première en Mars et la deuxième en Aout 2014.

Les résultats de notre étude montrent que les eaux de la nappe alluviale de Guerrara s'écoulent du Sud vers le Nord et vers l'Ouest. Elles sont fortement minéralisées, la conductivité électrique varie de 771 μ S/cm à 16020 μ S/cm, et le pH de 6.74 à 8.64. Le faciès chimique de la nappe est sulfatés calcique et magnésique.

Les eaux de la nappe sont dans l'ensemble de mauvaise qualité et ne répondent pas aux normes de potabilité, et ne conviennent qu'à l'irrigation des espèces très tolérantes à la salinité.

Plusieurs sources de pollution sont à l'origine de cette dégradation de la qualité des eaux tels que les rejets de l'agglomération urbaine proche de la palmeraie surtout dans la partie Nord, les activités industrielles par les rejets dans le partie Nord-Ouest et les activités agricoles telles que l'élevage bovin et l'utilisation irrationnelle du fumier pour les cultures.

Mots clés: qualité chimique, pollution, qualité bactériologique, nappe alluviale, activités anthropiques, zone aride

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى بيان النوعية الكيميائية والبكتريولوجية لطبقة المياه الجوفية لمنطقة القرارة بناء على التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لعينات المياه المأخوذة من الآبار المنتشرة عبر أنحاء المنطقة وذلك خلال فترتين الأولى في شهر مارس و الثانية في شهر اوت 2014.

وأظهرت نتائج هذه الدراسة أن اتجاه سريان طبقة المياه الجوفية في القرارة يتم نحو الشمال ونحو الغرب كما بينت النتائج ان هذه المياه مالحة حيث ان الناقلية الكهربائية تتراوح بين 771 و 16020 ميكوسيمينس/سم، لديها درجة حموضة تتراوح بين 6.74 و 8.64 وتمتاز بسحنة هيدروكيميائية كبريتو كلسية و مغنسية.

نوعية المياه عموماً رديئة ولا تتفق مع معايير مياه الشرب، وتستعمل فقط لسقي المزروعات التي تتحمل المياه المالحة.

العديد من مصادر التلوث هي سبب تدهور نوعية طبقة المياه الجوفية للقرارة مثل مخلفات المناطق الحضرية التي هي بالقرب من الغابة خصوصاً في الجزء الشمالي منها ، وكذا مخلفات الأنشطة الصناعية في الجزء الشمالي الغربي والأنشطة الزراعية مثل تربية الأبقار والاستخدام غير الرشيد للسماد.

كلمات مفتاحية : النوعية الكيميائية ، التلوث ، ، النوعية البكتريولوجية ، طبقة المياه الجوفية ،الانشطة البشرية ،المناطق الجافة.

Abstract

This study aims to determine the chemical and bacteriological quality of the water table of Guerrara by interpreting the results of physicochemical and bacteriological analysis of water samples taken from wells in the region during two periods, the first in March and the second in August 2014.

The results of our study show that the waters of the alluvial aquifer of Guerrara are flowing from South to the North and to the West. They are highly mineralized, the electric conductivity varies from 771 μ S/cm to 16020 μ S/cm, and pH from 6.74 to 8.64. The hydrochemical facies type of the water is Ca-Mg-SO₄²⁻.

The waters are generally of poor quality and do not meet drinking water standards, and are suitable only for irrigation of salt's tolerant species.

Several sources of pollution are causing this degradation of water quality such as discharges of urban agglomeration close to the palmeraie especially in the northern part, the industrial activities of its discharges into the northwestern part and agricultural activities such as cattle breeding and irrational use of manure for crops.

Keywords: chemical quality, pollution, bacteriological quality, alluvial aquifer, anthropic activities, aride zone

Liste des figures et des photos

	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Chapitre I: Généralités		
Fig.I.01	: Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques	04
Fig.I.02	: Schéma de deux types des nappes (libre et captive).....	05
Chapitre II: Présentation de la région d'étude		
Fig.II.01	: Situation géographique de la région de Guerrara	18
Fig.II.02	: Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région de Ghardaïa	23
Fig.II.03	: Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ghardaïa.....	24
Fig.II.04	: Carte géologique de la région de Guerrara (1/500 000)	25
Fig.II.05	: Carte du réseau hydrographique de l'oued Zegrir	28
Photo II.1	: Une crue d'oued Zegrir en Mars 2015.....	29
Photo II.2	: Biodiversité culturelle de l'oasis de Guerrara.....	30
Chapitre III: Matériels et méthodes		
Photo III.1	: Evacuation des rejets des mini laiteries dans des fosses	32
Photo III.2	: Les déchets solides d'abattoir	33
Photo III.3	: Diversement directe des rejets d'une unité d'élevage	34
Fig.III.01	: Le plan du réseau d'assainissement de Guerrara.....	35
Fig.III.02	: Les puits choisis pour les prélèvements.....	36
Photo III.4	: Les instruments utilisés dans les mesures in situ	38
Photo III.5	: Détecteur de gaz de type "ALTAIR 4"	40
Chapitre IV: Résultats et discussions		
Fig.IV.01	: Localisation des puits dans la région d'étude	43
Fig.IV.02	: La carte piézométrique de la nappe de Guerrara en Mars 2014.....	43
Fig.IV.03	: Carte piézométrique de la nappe de Guerrara en Aout 2014	44
Fig.IV.04	: Variation des températures des eaux de la nappe de Guerrara.....	45
Fig.IV.05	: Variation du pH des eaux de la nappe de Guerrara	45
Fig.IV.06	: La répartition de la C.E. des eaux de la nappe de Guerrara (Mars 2014)	46
Fig.IV.07	: La répartition de la C.E. des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	47
Fig.IV.08	: Variation de la salinité des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	48
Fig.IV.09	: La turbidité des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	48
Fig.IV.10	: Variation de l'oxygène dissous des eaux de la nappe de Guerrara (Mars 2014) ...	49
Fig.IV.11	: Variation des teneurs en calcium dans la nappe de Guerrara (Aout 2014)	50

Liste des tableaux

Fig.IV.12	: Variation des teneurs en magnésium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	51
Fig.IV.13	: Variation des teneurs en sodium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	51
Fig.IV.14	: Variation des teneurs en potassium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	52
Fig.IV.15	: Variation des teneurs en ammonium de la nappe de Guerrara (Aout 2014).....	53
Fig.IV.16	: Variation des teneurs en fer de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	53
Fig.IV.17	: Variation des teneurs en chlorures de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	54
Fig.IV.18	: Évolution spatiale des teneurs en sulfate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	55
Fig.IV.19	: Variation des teneurs en bicarbonate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	55
Fig.IV.20	: Variation des teneurs en nitrate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	56
Fig.IV.21	: Variation des teneurs en nitrite de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	57
Fig.IV.22	: Variation des teneurs en orthophosphate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	57
Fig.IV.23	: Variation de la DCO de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	58
Fig.IV.24	: Variation de la DBO5 de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	59
Fig.IV.25	: Carte de répartition spatiale de sodium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	59
Fig.IV.26	: Carte de répartition spatiale de chlorure de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	60
Fig.IV.27	: Carte de répartition spatiale de nitrate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	61
Fig.IV.28	: Carte de répartition spatiale d'orthophosphate de la nappe de Guerrara (Aout 2014) ...	62
Fig.IV.29	: Diagramme de Piper de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	64
Fig.IV.30	: Répartition du rapport ($R = CF/SF$) des eaux de la nappe de Guerrara(Aout2014)	68
Fig.IV.31	: Répartition des puits ciblés pour la détection des biogaz dans la nappe de Guerrara	71
Fig.IV.32	: Diagramme d'aptitude de la nappe de Guerrara à l'irrigation (Aout 2014)	78
Fig.IV.33	: Diagramme de Wilcox de la nappe de Guerrara (Aout 2014)	79
Fig.IV.34	: Cercle de corrélation F1- F2	83
Fig.IV.35	: Cercle de corrélation F1- F3	83
Fig.IV.36	: Projection des individus sur les facteurs F1-F2	85
Fig.IV.37	: Projection des individus sur les facteurs F1-F3	86
Fig.IV.38	: La répartition spatiale d'indice de pollution organique des eaux du nappe de Guerrara (Aout 2014)	89

Chapitre I: Généralités

Tab.I.1	Les classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau.....	09
Tab.I.2	La potabilité en fonction des résidus secs	09
Tab.I.3	Classification de l'eau selon la dureté totale.....	10

Chapitre II: Présentation de la région d'étude

Tab.II.1	Températures mensuelles de la région de Ghardaïa (2004-2013).....	21
Tab.II.2	Les précipitations mensuelles de la région de Ghardaïa (1994-2013).....	21
Tab.II.3	L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa (2004-2013).....	22
Tab.II.4	L'humidité mensuelle de la région de Ghardaïa (2004-2013).....	22
Tab.II.5	La durée d'insolation mensuelle à la région de Ghardaïa (2004-2013).....	22

Chapitre IV: Résultats et discussions

Tab.IV.1	Le nombre de germes des bactéries dans la nappe de Guerrara (Mars2014)	66
Tab.IV.2	Le nombre de germes des bactéries dans la nappe de Guerrara (Aout 2014)	66
Tab.IV.3	Origine de la pollution selon le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux ($R = CF/SF$).....	68
Tab.IV.4	Concentrations des biogaz dans les eaux de la nappe de Guerrara.....	70
Tab.IV.5	Potabilité des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014).....	72
Tab.IV.6	Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation "salinité".....	75
Tab.IV.7	Degré d'aptitude de la nappe de Guerrara à l'irrigation selon le SAR.....	76
Tab.IV.8	Classification des eaux d'irrigation de la nappe de Guerrara selon Wilcox	79
Tab.IV.9	Les corrélations entre les variables deux à deux	80
Tab.IV.10	Pourcentage de variance exprimée.....	81
Tab.IV.11	Corrélation facteurs-variables.....	82
Tab.IV.12	Les classes des paramètres retenus pour le calcul d'IPO	88
Tab.IV.13	Les valeurs d'IPO des eaux de la nappe de Guerrara	88
Tab.IV.14	Les classes des paramètres retenus pour le calcul de Lisec-Index.....	89
Tab.IV.15	Les valeurs de Lisec-Index de la nappe de Guerrara (Aout 2014).....	90
Tab.IV.16	Les classes des paramètres retenus pour le calcul de "IHE"	90
Tab.IV.17	valeurs d'IHE de la nappe de Guerrara.....	90
Tab.IV.18	Les valeurs d'IHE de la nappe de Guerrara.....	91

Table des matières

	<i>Page</i>
Introduction générale	01
Chapitre I: Généralités	
I.1. Les eaux souterraines	03
I.1.1.Caractérisation des eaux souterraines	03
I.2.Les systèmes aquifères.....	03
I.3.Les différents types de nappes	04
I.3.1.Nappe libre.....	04
I.3.2.Nappe captive.....	05
I.4. La nappe alluviale	05
I.5. La qualité des eaux.....	06
I.5.1. Les paramètres de la qualité des eaux.....	06
I.5.1.1. Paramètres organoleptiques.....	06
I.5.1.1.1. L'odeur.....	07
I.5.1.1.2. La couleur.....	07
I.5.1.1.3. Goût et saveur.....	07
I.5.1.2. Les paramètres physico-chimiques.....	08
I.5.1.2.1. La température.....	08
I.5.1.2.2. pH.....	08
I.5.1.2.3. La conductivité électrique.....	08
I.5.1.2.4. La turbidité.....	08
I.5.1.2.5. Les résidu sec.....	09
I.5.1.2.6. Matières en suspension.....	09
I.5.1.2.7. La dureté totale.....	10
I.5.1.2.8. L'alcalinité.....	10
I.5.1.2.9. L'oxygène dissous.....	10
I.5.1.2.10. Les Nitrates.....	11
I.5.1.2.11. Les Nitrites.....	11
I.5.1.2.12. L'ammonium	11
I.5.1.2.13. Le Sodium.....	12
I.5.1.2.14. Le potassium.....	12
I.5.1.2.15. Les Chlorures.....	12
I.5.1.2.16. Carbonates et Bicarbonates.....	12
I.5.1.2.17. Les Sulfates.....	13
I.5.1.2.18. Phosphates	13

I.5.1.2.19. Le Fer total.....	13
I.5.1.2.20. Demande biochimique en oxygène.....	13
I.5.1.2.21. La demande chimique en oxygène.....	14
I.5.1.3. Les paramètres bactériologiques	14
I.5.1.3.1.Les coliformes	14
I.5.1.3.1.1.Les coliformes fécaux ou Coliformes thermo-tolérants	14
I.5.1.3.2.Les streptocoques fécaux.....	15
I.5.1.3.3. Les clostridium sulfito-réducteurs.....	15
I.5.1.4.Les gaz dissous	15
I.5.1.4.1. Mécanisme de formation H ₂ S	16
I.5.1.4.2. Effets de H ₂ S sur la santé	16
I.5.2. Normes applicables aux eaux de consommation.....	17

Chapitre II: présentation de la région d'étude

II.1.Localisation géographique	18
II.2.La géomorphologie.....	19
II.3. Contexte climatique.....	20
II.3.1. Les composantes du climat de Guerrara.....	20
II.3.1.1.Les températures.....	21
II.3.1.2. Les précipitations.....	21
II.3.1.3. Evaporation.....	21
II.3.1.4. L'humidité	22
II.3.1.5. L'insolation.....	22
II.3.2. Synthèse climatique.....	23
II.3.2.1. Diagramme Ombrothermique.....	23
II.3.2.2. Classification bioclimatique.....	23
II.4. La géologie.....	24
II.4.1. Le Crétacé supérieur.....	24
II.4.2. Le Néogène.....	25
II.4.3. Le Quaternaire continental (q t)	25
II.5. L'hydrogéologie.....	26
II.5.1. Nappe du Mio-pliocène et Eocène	26
II.5.2. Nappe du Sénonien carbonaté.....	26
II.5.3. Nappe du Turonien carbonaté.....	26

II.5.4. Nappe du Continental intercalaire.....	26
II.5.5. Nappe superficielle.....	27
II.6. Hydrologie superficielle.....	27
II.6.1. Présentation de l'oued Zegrir.....	27
II.7. Biodiversité et terroir	29

Chapitre III: Matériels et Méthodes

Introduction	31
III. 1. Collecte des données.....	31
III.2. Les sources de pollution.....	31
III.2.1. Les activités industrielles	32
III.2.2. Les activités Agricoles	33
III.2.3. L'état du réseau d'assainissement.....	34
III.3. Les campagnes des mesures et de prélèvements.....	35
III.4. Echantillonnage	37
III.5. Méthodes d'analyse au laboratoire.....	37
III.5.1. Les méthodes d'analyses.....	38
III.5.1.1. Paramètres physiques.....	38
III.5.1.2. Paramètres chimiques.....	39
III.5.1.3. Paramètres bactériologiques.....	39
III.5.2. Détection des bio gaz.....	40
Conclusion.....	41

Chapitre IV: Résultats et discussions

Introduction	42
IV.1. Répartition spatiale des puits des mesures.....	42
IV.2. Piézométrie et sens de l'écoulement de la nappe	43
IV.3. Les paramètres physico-chimiques	44
IV.3.1. Les paramètres physiques.....	44
IV.3.1.1. La Température.....	44
IV.3.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)	45
IV.3.1.3. La conductivité électrique (CE)	46
IV.3.1.4. La salinité (S)	48
IV.3.1.5. La turbidité (T)	48
IV.3.1.6. L'oxygène dissous (OD)	49

IV.3.2. Les paramètres chimiques.....	49
IV.3.2.1. Le calcium (Ca^{+2})	49
IV.3.2.2. Le magnésium (Mg^{+2})	50
IV.3.2.3. Le sodium (Na^{+}).....	52
IV.3.2.4. Le potassium (K^{+}).....	52
IV.3.2.5. L'ammonium (NH_4^{+})	52
IV.3.2.6. Le fer (Fe^{+2})	53
IV.3.2.7. Le chlorures (Cl^{-}).....	54
IV.3.2.8. Les sulfates (SO_4^{-2})	54
IV.3.2.9. Les bicarbonates (HCO_3^{-})	55
IV.3.2.10. Les nitrates (NO_3^{-})	56
IV.3.2.11. Les nitrites (NO_2^{-})	56
IV.3.2.12. L'orthophosphate (PO_4^{-3})	57
IV.3.2.13. La demande chimique en oxygène (DCO)	58
IV.3.2.14. La demande biochimique en oxygène (DBO 5)	58
IV.3.3. Répartition spatiale des éléments.....	59
IV.3.3.1. Cartes de répartition spatiale de sodium.....	59
IV.3.3.2. Cartes de répartition spatiale de chlorure.....	60
IV.3.3.3. Carte de répartition spatiale des nitrates.....	61
IV.3.3.4. Carte de répartition spatiale d'orthophosphate	62
IV.3.4. Faciès chimiques de la nappe alluviale.....	63
IV.3.4.1. Diagramme de Piper.....	63
IV.3.5. Les paramètres bactériologiques.....	65
IV.4. Présence de biogaz dans l'eau.....	69
IV.5. Etat de la qualité de la nappe à l'AEP.....	71
IV.6. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	74
IV.6.1. La salinité.....	74
IV.6.2. Classification de RICHARDS (1954).....	75
IV.6.3. Classification de Wilcox (1948)	78
IV.7. Analyse en composantes principales (ACP)	80
IV.7.1. Application de l'ACP aux données chimiques des eaux de Guerrara....	80
IV.7.2. Etude des variables.....	81
IV.7.2.1. Projection des variables.....	81

IV.7.2.2. Projection des individus.....	84
IV.8. Evaluation de la pollution organique.....	87
IV.8.1. L'indice de pollution organique.....	87
IV.8.2. Lisec-Index.....	89
IV.8.3. Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie	90
Conclusion.....	91
Conclusion générale	93
Références bibliographiques.....	95

Introduction générale

Les ressources en eau souterraines au Sahara Algérien sont importantes mais la plus-part sont non renouvelables donc fossiles (LOUCIF SEIAD, 2003). La difficulté des conditions climatiques (rareté de pluies et évaporation intense) et l'augmentation des besoins sans cesse croissante pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrie rendent ces ressources en eaux de plus en plus sollicitées.

Dans certaines Oasis comme celle de Guerrara, les alluvions apportés et déposés par le cours d'eau temporaire (Oued Zegrir) ont permis l'existence d'une nappe alluviale; anciennement considérée comme l'unique et la principale ressource en eau captée par des puits dispersés dans l'oasis, avant l'apparition des forages vers les années cinquante.

Actuellement une dégradation de la qualité de ces eaux a été constatée et qui résulte de la pollution issue des activités anthropiques. Cette situation va amplifier le problème de disponibilité des eaux surtout dans les écosystèmes oasiens telle que la région de Guerrara (KHEMGANI, 2010).

L'étude de la qualité des eaux s'avère très importante grâce à sa place dans la prévention contre les maladies à transmission hydrique et la détermination des sources de pollution réparties dans la région.

L'objectif de notre travail c'est la mise en évidence de l'état de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale dans le but de protéger les ressources superficielles en eaux dans la région de Guerrara. Pour ce faire, des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été faites pour des échantillons prélevés au niveau des puits répartis à l'intérieur de la palmeraie au cours de deux campagnes.

Pour atteindre notre objectif de travail nous avons organisé notre mémoire en quatre chapitres:

- Le premier chapitre est généralité sur les eaux souterraines et leur caractérisation avec des paramètres de qualité.
- Le deuxième chapitre présente les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre physique de notre région d'étude.
- Le troisième chapitre dévoile la méthodologie de travail tel que les modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse de nos échantillons.
- Le dernier chapitre comprend l'interprétation et la discussion des résultats obtenues après les analyses des échantillons.

I.1. Les eaux souterraines

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

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère.

I.1.1. Caractérisation des eaux souterraines

Selon JAMET (2004), les eaux souterraines se caractérisent par rapport aux eaux superficielles par certaines particularités:

La présence d'eau souterraine n'est pas liée forcément à l'abondance des pluies sur place, car la recharge de ces nappes dépend des zones d'infiltration, généralement situées plus loin. De ce fait, les zones arides, disposant de grandes potentialités en eaux souterraines, sont soumises à des conditions climatiques (pluies rares et irrégulières) qui ne permettent pas la formation de telles ressources en eaux.

Les eaux des nappes sont tamponnées par les roches qu'elles traversent lors de l'écoulement, et aussi altérées. Ces roches, par l'adsorption, jouent le rôle d'épuration de ces nappes en cas de contamination par des polluants (surtout les métaux lourds).

L'écoulement des nappes souterraines est beaucoup plus lent et différent que celui des eaux de surface, et qui peut prendre des années, siècle ou plus.

I.2. Les systèmes aquifères

Un aquifère est une formation perméable saturée (imprégnée d'eau) qui peut fournir des quantités utiles d'eau par pompage. Les aquifères les plus productifs, constitués de sable et de gravier, sont habituellement vastes et profonds et sont alimentés par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le sol (SIMPSON et *al*, 2007).

Selon BROUSSAUD (2010), Un aquifère remplit deux fonctions :

- Stockage de l'eau grâce à sa porosité, celle-ci se mesure par le volume d'eau contenu par unité de volume de roche saturée d'eau.

- Circulation de l'eau grâce à sa perméabilité, elle correspond à l'aptitude de la roche à laisser circuler l'eau. Une roche est aquifère si sa perméabilité est supérieure à 10^{-4} m par seconde. L'argile a une perméabilité de 10^{-7} à 10^{-10} ms^{-1} (figure I.1).

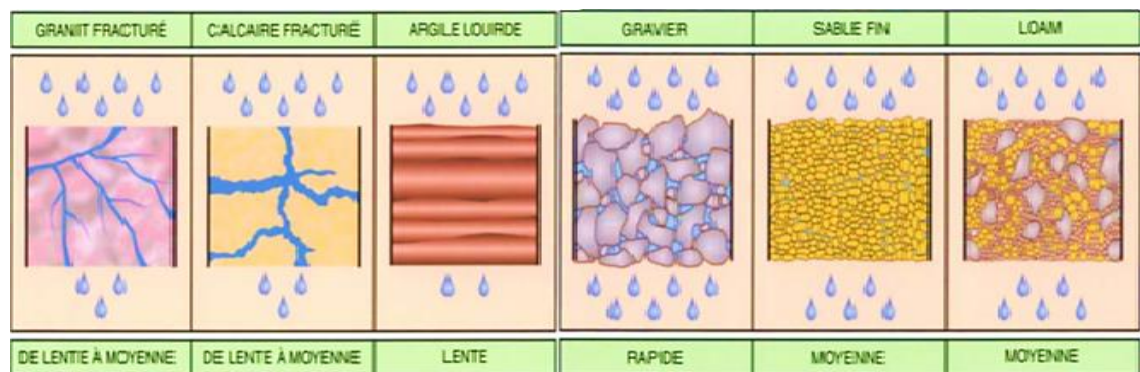


Fig.I.1- Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques

(SIMPSON et al., 2007)

I.3. Les différents types de nappes

Une nappe souterraine représente spécifiquement la partie saturée en eau de l'aquifère. D'une manière générale, on distingue deux types de nappes (ou aquifères) : libres et captives ou semi captives :

I.3.1. Nappe libre

C'est une nappe aquifère en affleurement (En communication directe avec l'air libre) dans ce cas elle est directement alimentée par infiltration des eaux de pluie (OUALI, 2006).

La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe, qui est surmontée par une zone non saturée. Lorsque le sol est uniformément poreux et perméable l'eau de pluie s'infiltré jusqu'à une couche imperméable et sature la roche jusqu'à un certain niveau appelé (surface libre de la nappe). Dans cette nappe, l'eau

circule jusqu'à des exutoires qui se trouvent dans des points bas (BANTON ET BANGOY, 1999).

I.3.2. Nappe captive

C'est une nappe aquifère profonde située dans un réservoir recouvert par une formation imperméable. Elle n'est pas donc directement alimentée à partir du sol. La nappe captive peut-être artésienne (Dans le forage qui la capte l'eau jailli au sol) (OUALI, 2006).

Une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure au toit de la nappe (A.E.R.M.C., 2010).

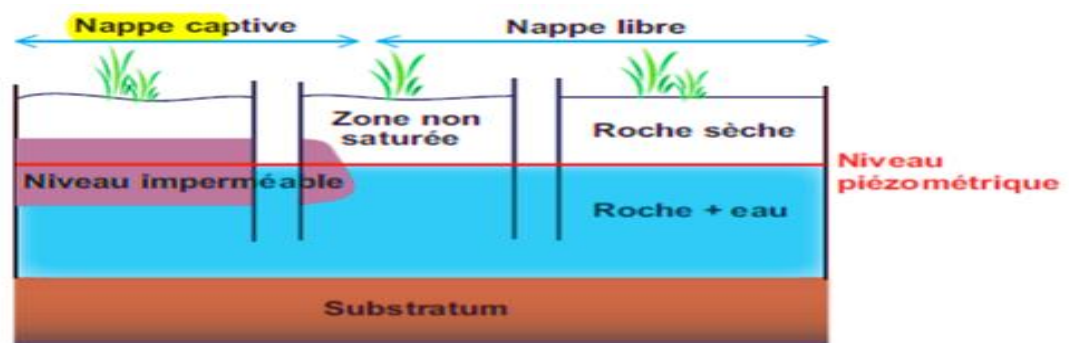


Fig.I.2- Schéma de deux types des nappes (libre et captive) (B.R.G.M., 2006)

-Si la position de la surface de cette nappe ne peut pas varier, la nappe est dite captive ou semi captive. Le degré de captivité de la nappe est déterminé par le contraste de perméabilité des matériaux (BANTON ET BANGOY, 1999).

Nappe semi-captive où le toit ou le substratum (ou les deux) de l'aquifère sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable (A.E.R.M.C., 2010).

I.4. La nappe alluviale

Les systèmes alluviaux sont une partie de l'hydrosystème fluvial, définie comme un ensemble fonctionnel en interaction avec un cours d'eau, grâce à des flux de 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, et qui se trouve à une profondeur faible, ce qui facilite son exploitation par des puits.

Les alluvions déposées par les cours d'eau, sont généralement accompagnées d'une nappe alluviale, dont la qualité de l'eau sera 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).

L'alimentation en eau des nappes alluviales dans les régions arides est intermittente et résulte des pertes de transmission des eaux de crue dans les lits dessellés des oueds. Le volume d'eau alimentant la nappe dépend principalement de la largeur du périmètre humidifiés et de la durée de submersion. On note aussi, qu'une partie importante des eaux de crue est perdue suite aux variations de débit en amont. (SORMAN ET ABDERRAZZAK, 1993, *in* KHAMGANI 2010).

I.5. La qualité des eaux

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur.

I.5.1. Les paramètres de la qualité des eaux

I.5.1.1. Paramètres organoleptiques

Les facteurs organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur) constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (GENOUDET, 2001).

Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable.

I.5.1.1.1. L'odeur

Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniacale, mercaptans, etc. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H_2S), qui possède une odeur caractéristique d'œuf pourri.

Selon RODIER, 2005; Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition.

L'odeur peut être définie comme :

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances.

I.5.1.1.2. La couleur

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et/ou de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation (substances humiques, tanins, lignine). IL ne faut pas confondre couleur et turbidité. La couleur est très préjudiciable pour l'esthétique.

I.5.1.1.3. Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (RODIER,2005).

I.5.1.2. Les paramètres physico-chimiques

I.5.1.2.1. La température

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006).

I.5.1.2.2. pH

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (DUSSART, 1966; BERMOND et VUICHARD, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci peut être compris entre 5 et 9 (HCEFLCD, 2007).

I.5.1.2.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) : $1\text{ S/m} = 10^4\ \mu\text{S/cm} = 10^{-3}\text{ S/mm}$. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006). En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation.

I.5.1.2.4. La turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute (LANTEIGNE, 2003). C'est le premier paramètre perçu par le consommateur (ANDRIAMIRADIS, 2005).

La turbidité se mesure en unité néphelométrique. (NTU = Nephelometric Turbidity Unit), elle est classé en quatre classes montré dans le tableau I.1

Tab. I.1- Les classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau

<i>Turbidité NTU</i>	<i>Qualité de l'eau</i>
<5	Eau claire
5 < T < 30	Eau légèrement trouble
>50	Eau trouble

I.5.1.2.5. Les résidu sec

Ce sont les solides dissous et les solides en suspension qui restent après évaporation à 180°.

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau (RODIER J., 2005).

Tab. I.2- La potabilité en fonction des résidus secs

<i>Résidu sec (mg/L)</i>	<i>Potabilité</i>
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
3000 < RS < 4000	Mauvaise

I.5.1.2.6. Matières en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (RODIER, 1984).

Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide (HEBERT et LEGARE, 2000).

I.5.1.2.7. La dureté totale

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque par le CO₂ dissout des roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés.

En fonction de leur dureté totale, les eaux peuvent être classées suivant les indicateurs du tableau suivant: (BERNE et CORDONNIER, 1991)

Tab.I.3- Classification de l'eau selon la dureté totale

<i>TH en degrés français (°F)</i>	<i>Spécificité de l'eau</i>
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

I.5.1.2.8. L'alcalinité

L'alcalinité représente la capacité de l'eau à neutraliser des acides. Elle est appelée la dureté carbonatée "TAC" (Titre Alcalimétrie Complet), et s'exprime en degrés français. Le TAC correspond à la concentration des ions bicarbonates HCO₃⁻.

I.5.1.2.9. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous (O₂) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (HCEFLCD, 2007). Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'auto-épuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau.

I.5.1.2.10. Les Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (SAMAK, 2002). L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée, etc.). Ces différentes formes de l'azote sont en perpétuelle évolution. Elles passent de l'une à l'autre par des processus physico-chimiques et surtout biochimiques. Les nitrates ne représentent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, tout en constituant, en général, la forme la plus abondante de l'azote minéral.

I.5.1.2.11. Les Nitrites

Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates. Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (BENGOUMI et *al.*, 2013).

I.5.1.2.12. L'ammonium

L'ammonium est une forme réduite de l'azote (NH_4^+) et avec sa forme non-ionisée (NH_3), ils composent l'ammoniaque. L'ammoniaque est fréquemment présente dans des sources d'eaux souterraines où il n'y a pas d'oxygène. Les ions d'ammoniaque jouent un rôle important dans le traitement à l'eau dans la mesure où ils doivent être enlevés avant que la chloration puisse être réalisée. Le processus est obligatoire pour être en conformité avec les directives canadiennes sur la désinfection.

L'ammoniaque, provient essentiellement de plantes et animaux en décomposition, de l'agriculture (pour laquelle de grandes quantités de fertilisants à base d'ammoniaque sont utilisés), et des processus industriels. L'utilisation d'eaux souterraines contenant

beaucoup d'ammoniaque et la chloramination de l'eau sont également partiellement responsables des niveaux d'ammoniaque (F.E.P.S, 2009).

I.5.1.2.13. Le Sodium

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères, des nombreux usages industriels etc... (RODIER, 1978).

I.5.1.2.14. Le potassium

Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature (KEMMER, 1984).

I.5.1.2.15. Les Chlorures

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (HUMBERT et POMMIER, 1988 *in* TARIK, 2005). La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé.

Les chlorures peuvent avoir une provenance agricole (irrigation, drainage), industrielle (industrie pétrolière, agro-alimentaire) ou urbaine (rejets domestiques).

Les formes les plus répandues des chlorures dans l'environnement sont le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl₂) et le chlorure de potassium (KCl).

I.5.1.2.16. Les carbonates et les bicarbonates

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO₂ à partir des minéraux contenant des carbonates (RODIER, 2005).

I.5.1.2.17. Les Sulfates

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate (HCEFLCD, 2006).

I.5.1.2.18. Les phosphates

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (RODIER, 2005).

I.5.1.2.19. Le Fer total

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcasite (sulfure); les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe^{++} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{+++} (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydo-réduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer. Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices: leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant) (GUILLEMIN et ROUX, 1992).

I.5.1.2.20. Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Il permet l'évaluation des matières organiques biodégradables. (BERRAHOU et *al.*, 2011).

I.5.1.2.21. La demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures...etc). (BERRAHOU et *al.*, 2011).

La mesure de demande biochimique en oxygène correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, qu'elle soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures). (RODIER, 2005).

I.5.1.3. Les paramètres bactériologiques

I.5.1.3.1. Les Coliformes

Les coliformes appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*. Le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram-négatifs, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatif, capable de fermenter le lactose (et mannitol) avec production d'acide et gaz en 48 heures à des températures de 35 et 37 °C.

Les coliformes comprennent les genres: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia*. (Rodier, 2005).

I.5.1.3.1.1. Coliformes fécaux ou Coliformes thermo-tolérants

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo tolérants correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C (EDBERG et *al.*, 2000). *Escherichia coli* est sans doute le plus spécifique de tous les germes de contamination fécale. Le terme « *Escherichia coli* présumé » correspond à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et ont des caractères biochimiques propres à cette espèce (BOURGOIS et MESCLE, 1996).

I.5.1.3.2. Les streptocoques fécaux

L'ensemble des streptocoques possédant une substance antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield. (RODIER, 2005). Ils sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale. Ils sont des Gram positifs, groupes en chaînettes, anaérobies facultatifs, catalase négatif et immobiles. (BOURGEOIS et MESCLE, 1996).

I.5.1.3.3. Les clostridium sulfito-réducteurs

Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale ancienne ou intermittente. Leur permanence marque la défaillance en un point donné du processus de filtration naturelle (ARMAND, 1996). Ce sont des bacilles Gram positifs, anaérobies stricts, isolés ou en chaînettes, mobiles, catalase positif, réduisent le sulfite de sodium en sulfure.

La forme sporulée des Clostridium sulfito-réducteurs est beaucoup plus résistante que les formes végétatives (BOURGEOIS et MESCLE, 1996).

I.5.1.4. Les gaz dissous

Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est un gaz dissous qui procure à l'eau une odeur et un goût rappelant les œufs pourris.

Le sulfure d'hydrogène peut être présent dans la nappe phréatique à l'état naturel. Il peut provenir de la décomposition des matières organiques qui se trouvent sous la terre comme les végétaux, ou encore de la réduction chimique des sulfates par les bactéries sulfatoréductrices.

L'hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène (H_2S) est un sous-produit de différentes opérations de l'industrie. Il est utilisé dans la fabrication de sulfures métalliques, notamment sulfure de sodium et hydrosulfure de sodium pour l'industrie du papier, dans la fabrication de mercaptans, dans l'industrie des colorants, du caoutchouc, du cuir, des pesticides, chimique (polymères et additifs des plastiques), pharmaceutique, nucléaire (fabrication de l'eau lourde) et en métallurgie extractive de l'or. Le H_2S peut aussi produit naturellement par dégradation anaérobie par les microorganismes (ADAM et *al.*, 2011).

I.5.1.2.4.1. Mécanisme de formation H₂S

Le premier processus intervenant dans le mécanisme de l'attaque par l'acide sulfurique biogénique, dite corrosion par H₂S, est la réduction en sulfures, par des bactéries anaérobies, des ions sulfates présents dans les eaux usées. Les bactéries se trouvent dans la couche visqueuse de la surface de la conduite immergée par les eaux usées. Les bactéries captent l'oxygène des ions sulfates (SO₄²⁻) et l'utilisent pour oxyder les matières organiques. Le soufre, qui apparaît sous la forme d'ions sulfures, se transforme instantanément, au contact de l'eau, en un mélange de H₂S et HS⁻, ou en SO₄²⁻ en présence d'oxygène (ADAM et al., 2011).

I.5.1.2.4.2. Effets de H₂S sur la santé

L'exposition à ce gaz provoque des irritations des yeux, de la gorge, un souffle court et affecte les poumons. Le sulfure d'hydrogène est considéré comme un poison. Il peut provoquer des pertes de connaissances ou la mort après quelques mouvements respiratoires.

D'après SAUVE (2014), selon la concentration du sulfure d'hydrogène les effets est variées sur les humains (tableau I.4).

Tab I.4- Effets du sulfure d'hydrogène sur les humains, selon la concentration

<i>Concentration de H₂S (ppm)</i>	<i>Effets sur les humains</i>
4	Odeur modérée, facilement détectable
10	Irritation des yeux
27	Odeur désagréable
100	irritation des yeux, perte de l'odorat au bout de 2-15 minutes
200-300	Inflammation des yeux et irritation de l'appareil respiratoire au bout d'1 heure
500-700	Perte de conscience et mort éventuelle au bout de 30-60 minutes
800-1 000	Perte de conscience rapide, arrêt de la respiration et mort
> 1 000	Paralysie du diaphragme dès la première inhalation, asphyxie rapide
Source : American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE EP470 Standard, 2005.	

I.5.2. Normes applicables aux eaux de consommation

L'eau potable doit obéir aux normes définies par la réglementation nationale. Si un des paramètres dépasse les concentrations limites autorisées , il y'a absence de conformité aux normes établies, mais si on est en présence d'un faible dépassement limité dans le temps et en absence de pollution accidentelle importante le dépassement de la norme ne doit être systématiquement considéré comme introduisant un risque significatif pour la population (RODIER,1998).

Plusieurs normes sont établies tel que les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les normes de la communauté Économique Européenne (CEE) et les normes Algérienne qui sont tirés du journal officiel de la république Algérienne (N°3517-AoulSafar 1419/27 Mai 1998).

La présente norme Algérienne NA 6360-1992 est inspirée des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la communauté Économique Européenne (CEE).

La présente norme a pour objet de fixer les spécifications organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques et toxicologiques des eaux destinées à la consommation.

II.1. Localisation géographique

La zone d'étude est localisée dans la commune de Guerrara, située à 110 Km au Nord-Est de Ghardaïa (chef-lieu de wilaya) (figure II.1), aux points 32°50' Nord et 4°30' Est et à 630 Km au sud d'Alger; et couvre une superficie totale de 2600 Km².

Guerrara est le septième et le dernier Ksar du Mزاب, fondée depuis les années quarante de dix-septième siècle, au fond d'une grande dépression qu'occupe le lit de l'oued Zegrir (HAMDI-AISSA, 2008).

Le mot Guerrara prend son origine de Garas, certains expliquent le mot de Guerrara comme vaste dépression en forme des cuvettes où l'eau de surface stagne périodiquement.

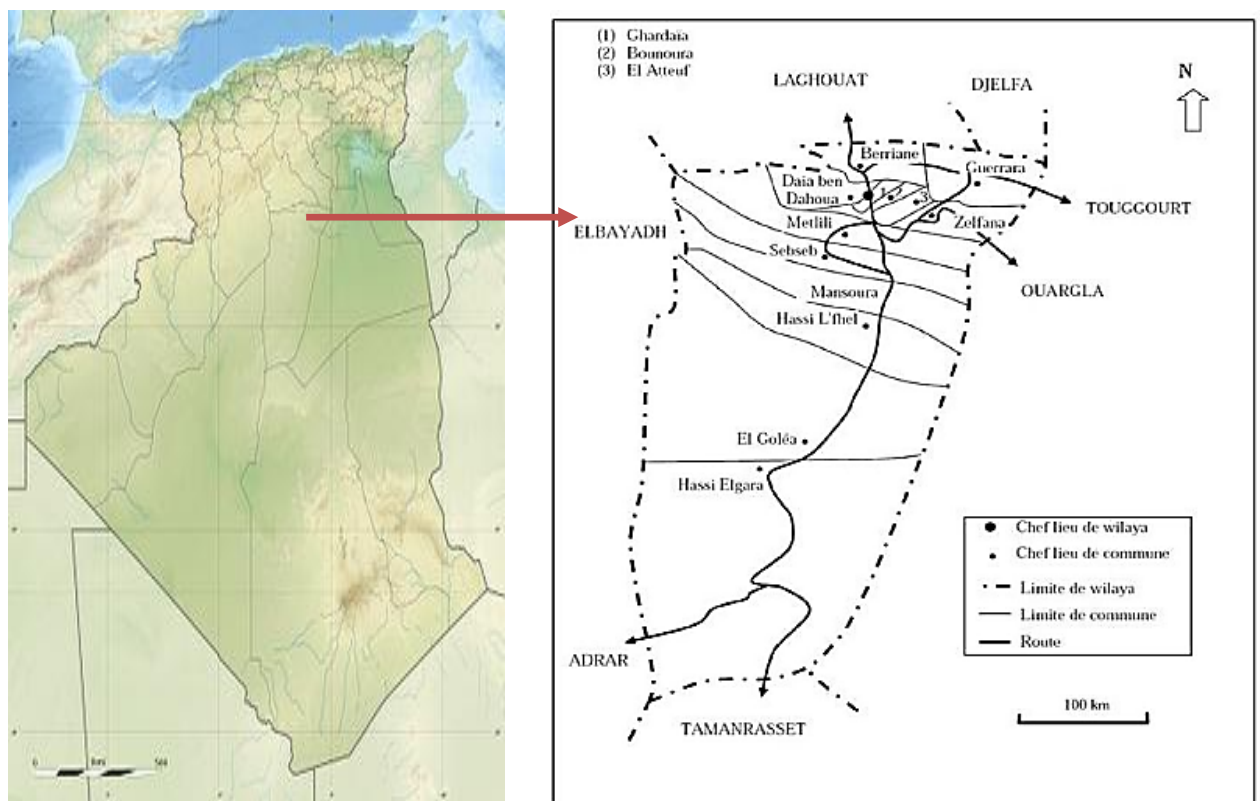


Fig.II.1- Situation géographique de la région de Guerrara

(BEN KENZOU et al., 2007)

En plus des limites avec les Daïras de Ghardaïa, elle est limitée au Nord par la Daïra de Messaad (wilaya de Djelfa) et à l'Est par la Daïra d'El hadjira (wilaya d'Ouargla).

II.2. La géomorphologie

Selon HAMDI-AISSA (2008), les terrains autour de la région de Guerrara sont fortement dénudés. Ils résultent d'une forte érosion fluviale qui a entaillé les plateaux de Pliocène Continental et remodelé par la suite, par l'érosion éolienne (HAMDANI et AITOUR, 2006). De ce fait nous trouvons plusieurs ensembles paysagiques à savoir :

-Le plateau du Pliocène, de 380 à 450 m d'altitude. Il occupe quelques parties au nord et au sud de la région de Guerrara. Il s'abaisse légèrement d'ouest en est. Dans la partie Nord les terrains s'étendent sur une région appelée communément « plateau des dayas ». Alors que, dans le sud le plateau est appelé localement « plateau des Gantras ».

-Les Glacis: le versant Nord de la grande dépression de Guerrara, présente deux niveaux d'étage de glacis (glacis de terrasse). Il se caractérise par l'affleurement du substrat gréseux de Mio-Pliocène. Ce dernier est souvent de sable et de gravier gréseux. Le Ksar de Guerrara a été édifié sur cette formation géologique.

- Les alluvions récentes : ces formations sédimentaires, spécifiquement sahariennes, sont des alluvions quaternaires fluviales qui ne se trouvent pas exclusivement dans les vallées de ruissellements. Mais elles remplissent aussi de grandes aires déprimées « Dayas ». L'oasis de Guerrara est planté sur ces alluvions récentes, caractérisées par des sols relativement riches en éléments fins.

-Le réseau hydrographique: représenté principalement par Oued Zegrir et son prolongement Oued Zgag. L'écoulement des eaux de la crue dans le lit d'oued dépose des matériaux différents de point de vue texture et épaisseur. La surface du sol peut être unie pour une grande partie du lit d'oued ou alternativement d'un côté à l'autre du lit en fonction des méandres (terrasse de méandre), ou bien, entaillée par des petites incisions linéaires lorsque le ruissellement se concentre avec une pente plus forte et des débits plus importants (POUGET, 1980).

-Les Dayas: il y a deux types de Dayas à citer dans la région de Guerrara :

1. Des Dayas isolées sur le plateau et le Glacis (plateaux des dayas).

2. Des dayas liées au réseau de l'oued Zegrir, comme zones d'épandage fermées (Dayet Ben feïlah à l'Est du Guerrara), ou possédant un exutoire prolongeant ainsi le lit de l'oued (Dayet El Ameid).

-Les Garas: la plaine de la Daya d'El-Amied est limitée au sud et au sud-est par une série de Garas qui la sépare de la zone de Drin et de la Daya d'El-Guartoufa. Ces Garas sont façonnées par le fonctionnement passé du réseau hydrographique.

-Les formations dunaires: ce sont des dunes d'obstacle développées à l'abri d'une butte témoin (Gara) et des buissons de la végétation naturelle dans le lit majeur de l'Oued Zegrir au sud de la région de Guerrara. Les modelés dunaires existant sont : les rides, les voiles sableux, les Nebkas et les massifs dunaires.

II.3. Contexte climatique

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (OZENDA, 1991).

II.3.1. Les composantes du climat de Guerrara

L'étude climatique de la région d'études est basée sur les données climatiques enregistrées entre 2004 et 2013 au niveau de la station de Ghardaïa.

II.3.1.1. Les températures

Les valeurs des températures enregistrées et qui sont représentées sur le tableau 01, montrent que la température moyenne annuelle est de 22.93°C. La température du mois le plus froid est observée durant le mois de Janvier avec 5.69°C tandis que la température du mois le plus chaud est observée durant le mois d'Aout avec 41.34°C.

Tab.II.1- Températures mensuelles de la région de Ghardaïa (2004-2013)
(O.N.M. Ouargla, 2014)

Mois T(°C)	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
T max.	18.18	19.67	25.4	29.3	33.92	38.97	40.37	41.34	36.54	29.24	23.65	18.46	29.59
T min.	5.69	7.06	10.47	14.19	18.08	23.49	26.68	27.14	22.36	17.46	10.81	6.84	15.86
T moy.	11.99	13.62	17.89	21.72	26.14	31.62	33.81	34.79	29.72	23.67	17.46	12.73	22.93

II.3.1.2. Les précipitations

Les précipitations sont très faibles et très irrégulières. Elles sont insignifiantes pendant toute l'année. Durant la période 1994/2013, le taux annuel des précipitations recueillis dans la région est de l'ordre de 89.82 mm/an. Par ailleurs, on remarque que les faibles taux de pluies sont enregistrés au mois de février avec une valeur de 3.03 mm et les fortes pluies de l'ordre de 18.69 mm sont observées au mois de septembre.

Tab.II.2- Les précipitations mensuelles de la région de Ghardaïa (1994-2013)
(O.N.M. Ouargla, 2014)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
P (mm)	9.84	3.03	6.41	13.38	2.29	3.46	6.45	6.45	18.69	8.21	6.86	7.91	89.82

II.3.1.3. Evaporation

L'évaporation est très importante, le cumul annuel est de 2275.4 mm. Le maximum est atteint en période de juillet avec une moyenne de 331.4mm. Le minimal est enregistré durant le mois de janvier 78.5mm. (tableau 03)

L'intensité de l'évaporation au Sahara est fortement renforcée par les vents et notamment ceux qui sont chauds (TOUTAIN, 1979).

Tab. II.3- L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa (2004-2013)
(O.N.M. Ouargla, 2014)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	annuel
Evap (mm)	78.5	97.3	149.9	197.5	244.9	318.2	331.4	323.8	216.9	136	97.7	83.3	2275.4

II.3.1.4. L'humidité

L'observation du tableau II.4 montre que la moyenne annuelle de l'humidité est de 37.44%. La moyenne maximale est enregistrée durant les mois de novembre et décembre avec des valeurs de l'ordre de 54.4%, 48.7% et la moyenne minimale est enregistrée durant le mois de juillet avec une valeur de 21.8%.

Tab.II.4- L'humidité mensuelle de la région de Ghardaïa (2004-2013)
(O.N.M. Ouargla, 2014)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
H (%)	47.7	43.2	37.7	34.1	29	25.5	21.8	26.1	36.8	44.3	48.7	54.4	37.44

II.3.1.5. L'insolation

L'observation du tableau 05 montre que la moyenne annuelle de la durée d'insolation est de 303.85h et la durée la plus faible est enregistrée au mois de décembre avec 242.1 heures. Toutefois, la durée la plus importante est enregistrée durant le mois de juillet avec 348.9 heures.

Tab. II.5- La durée d'insolation mensuelle à la région de Ghardaïa (2004-2013)
(O.N.M. Ouargla, 2014)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
Insol.(h)	425.5	247.9	268.8	304.4	322.1	333.6	348.9	317.2	305.6	269.8	260.3	242.1	303.85

II.3.2. Synthèse climatique

II.3.2.1. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique (figure 04) montre que la période sèche s'étale sur toute l'année (Notant que $P=2t$ avec P : précipitation en mm, t : température en °C).

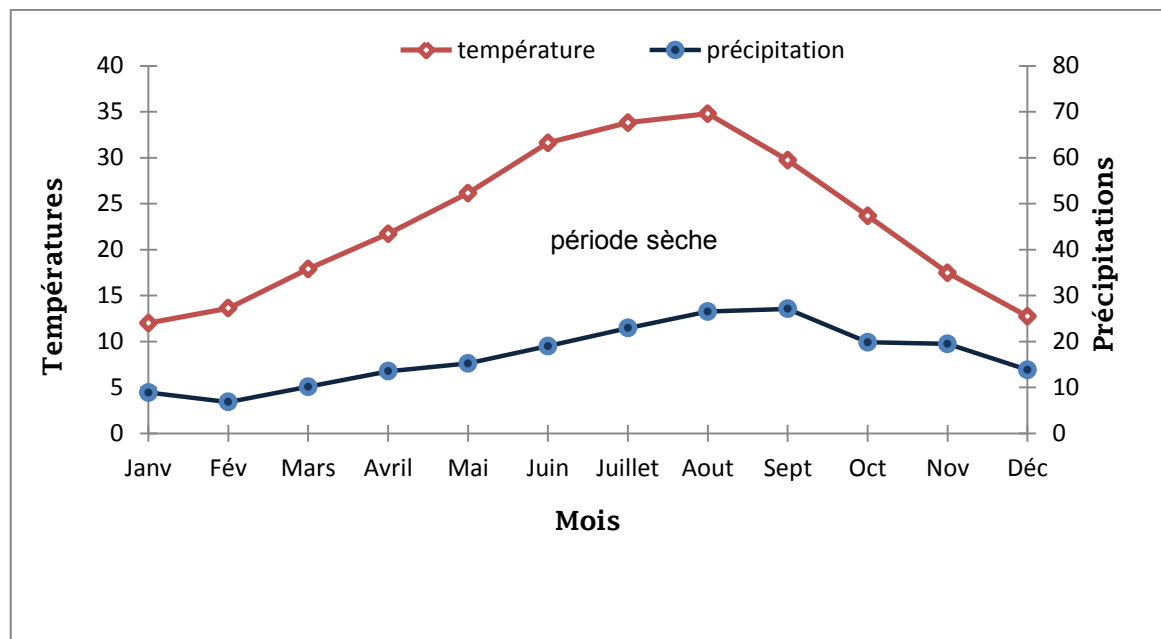


Fig. II.2 - Diagramme Ombrothermique de Gausson de la région de Ghardaïa (2004-2013)

II.3.2.2. Classification bioclimatique

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'EMBERGER(Q_2) spécifique au climat méditerranéen. Dont la formule est :

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

Et de fait que M et m, les températures maxima et minima exprimées en degrés absolus (°K), pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire (LE HOUEROU, 1995) :

$$Q_3 = 3,43 * P / M - m \text{ Avec}$$

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.

Les températures moyennes des minima des mois les plus froids égalent à 5,69 °C et d'après le climagramme d'EMBERGER pour la station de Ghardaïa (figure 05) durant la période 2004-2013 et avec $Q_3 = 4.22$, on constate que la région de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique de type hyper aride (saharien) à hivers doux.

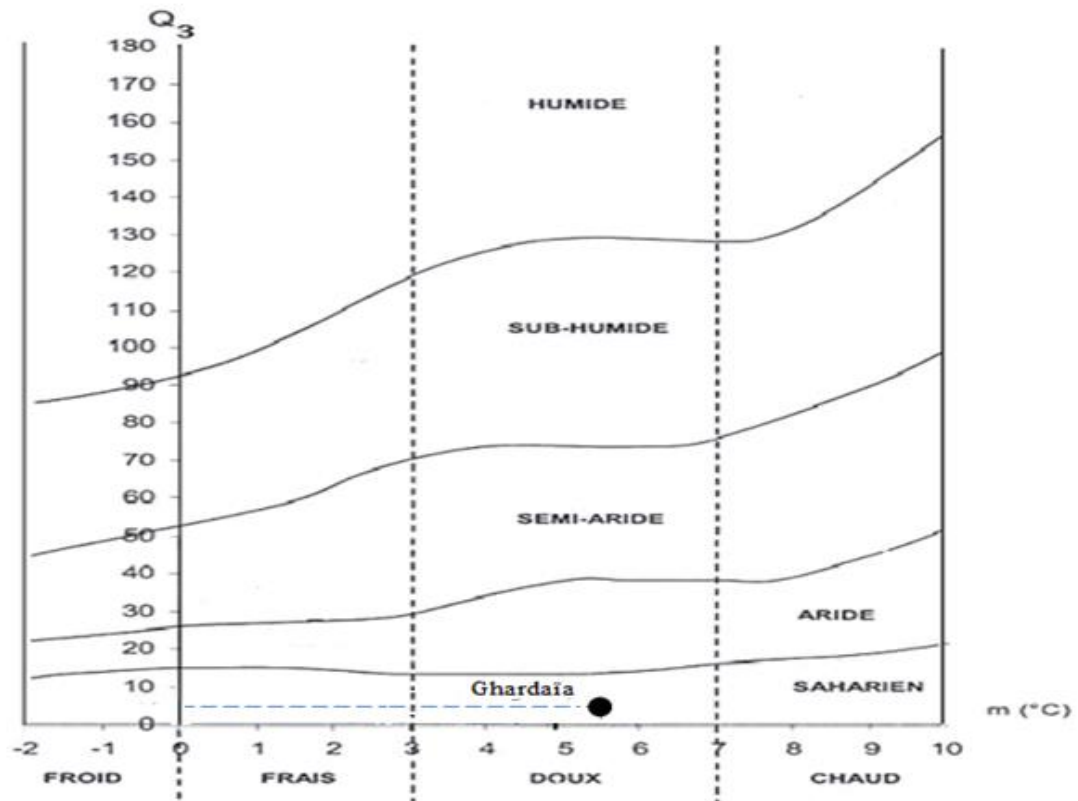


Fig. II.3- Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ghardaïa

II.4. La géologie

Selon DJILI (2004), l'observation de la carte géologique de l'Algérie (figure II.4), met en évidence les formations géologiques suivantes :

II.4.1. Le Crétacé supérieur

Il est marqué par l'existence d'une double dalle de nature calcaro-dolomitique renfermant un contenu fossilifère composée essentiellement de coquilles marines. Cette formation 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.

II.4.2. Le Néogène

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.

Le Pliocène continental (pc) constitue tout le reste des terrains Tertiaires. Ce sont des dépôts lacustres à forts étendus, formé de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace hamadienne plus ou moins continue, plus ou moins épaisse.

D'une manière générale, cette formation calcaire, avec phénomènes superficiels de corrosion et de décalcification, s'étend principalement dans la région des Dayas (S.C.G, 1939 in DJILI, 2004).

II.4.3. Le Quaternaire continental (q t)

Ces formations sédimentaires, spécifiquement sahariennes, sont 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 in DJILI, 2004).

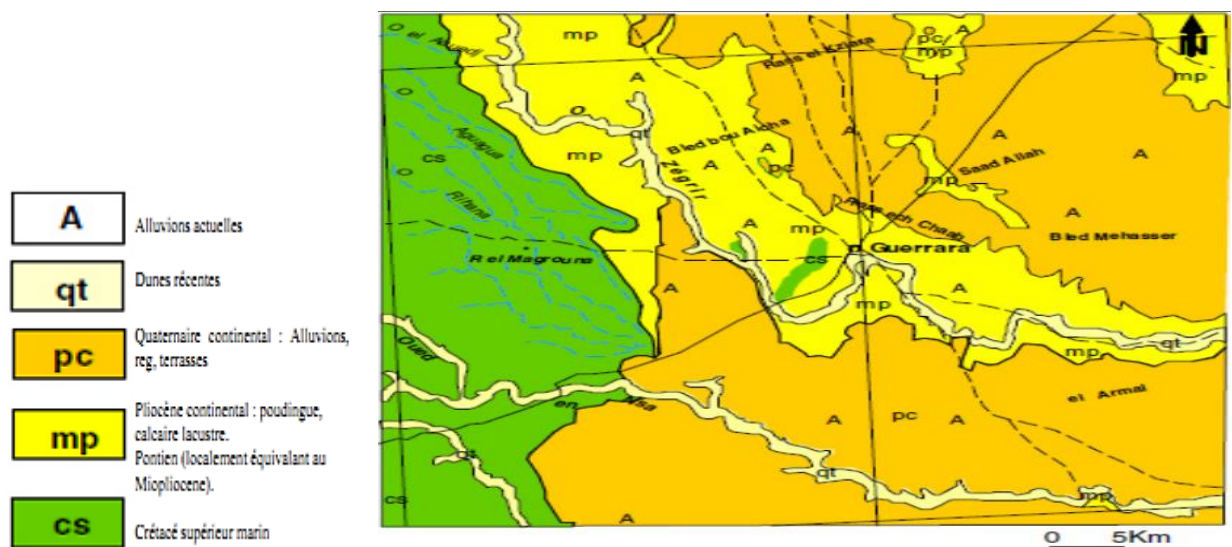


Fig.II.4- la Carte géologique de la région de Guerrara (1/500 000) (DJILI, 2004).

II.5. L'hydrogéologie

Selon HELIMI (2013), dans la région d'étude cinq aquifères sont exploitables qui sont:

II.5.1. Nappe du Mio-pliocène et Eocène

Cet aquifère peut être exploité dans la partie Est de la région de Guerrara, à partir de longitude 4°35' Est. Il est constitué d'une nappe contenue dans le Mio-Pliocène sableux d'une épaisseur moyenne de 125 m et d'une nappe d'Eocène contenue dans des calcaires fins à moyens avec une épaisseur de 100 m. L'épaisseur totale de l'aquifère est de 225 m avec un niveau statique estimé à 123m du sol.

II.5.2. Nappe du Sénonien carbonaté

Dans la partie Ouest de la région de Guerrara les dépôts du Mio-Pliocène sont réduits et reposent directement sur le Sénonien carbonaté.

Cet aquifère est en continuité hydraulique avec la nappe de Mio-Pliocène. De ce fait seul l'aquifère formé par les calcaire du sénonien peut constituer un aquifère exploitable.

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.

II.5.3. Nappe du Turonien carbonaté

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

II.5.4. Nappe du Continental intercalaire

Elle regroupe les formations de l'Albien jusqu'à la base du Barrémien, dans le bassin triasique. Elle constitue la plus grande réserve d'eau souterraine vue son extension dans le Sahara algérien.

Cet aquifère est constitué de formations détritiques (sable, grès, argile) avec un passage dolomitique attribué à l'Aptien avec une épaisseur moyenne de l'ordre de 650 m. Le toit de l'aquifère est situé entre 500 et 900 m de profondeur dans le sens Ouest-Est dans la région de Guerrara.

II.5.5. Nappe superficielle

Il s'agit d'une nappe d'oued dont l'alimentation est assurée principalement par les crues occasionnelles de l'Oued Zegrir qui traverse la région

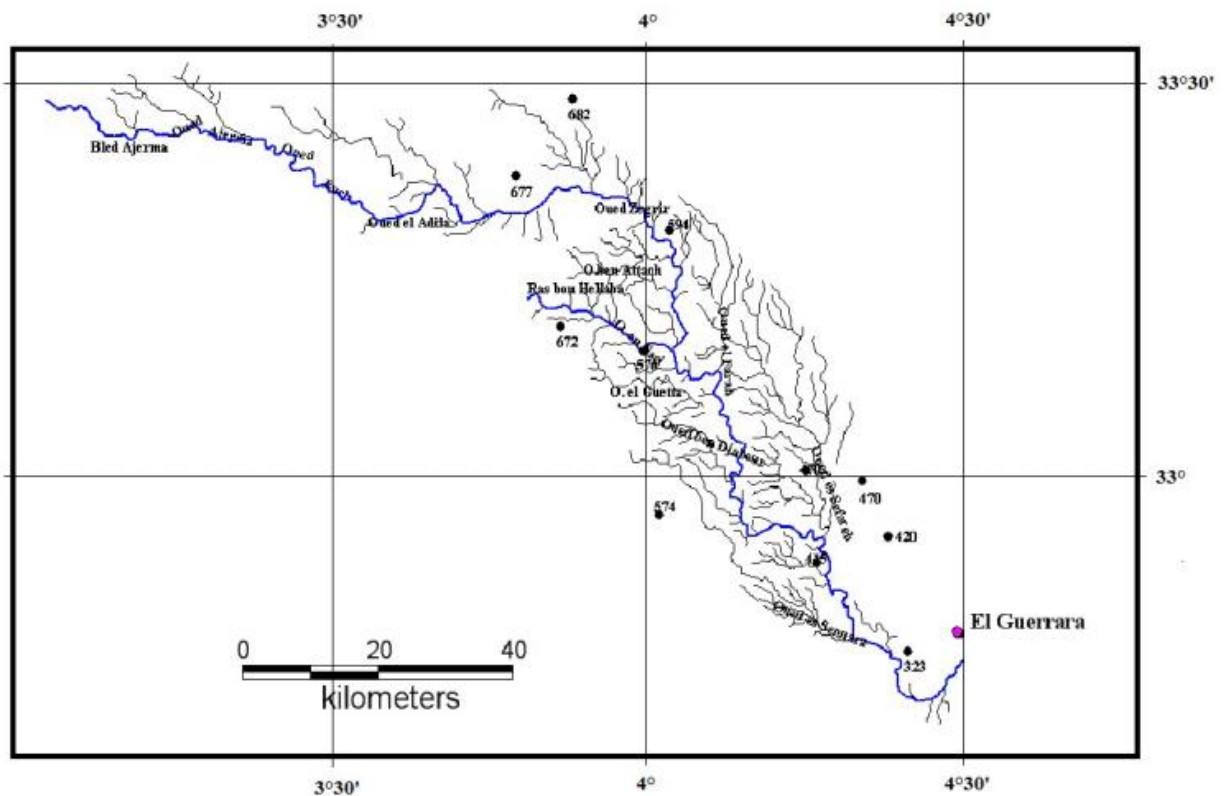
Avant l'exploitation du continental intercalaire, cette nappe artificiellement gonflée par un petit barrage « garde-crue » représentait l'unique ressource en eau souterraines de l'oasis de Guerrara.

Actuellement, le niveau piézométrique est toujours élevé, car les agriculteurs exploitent peu cette nappe. Ils utilisent pour l'irrigation la nappe du continental intercalaire avec parfois des excès et pertes importantes qui s'ajoute ainsi aux crues d'oued Zegrir pour contribuer à la recharge de la nappe

II.6. Hydrologie superficielle

II.6.1. Présentation de l'oued Zegrir

C'est l'un des grands Oueds qui traversent le M'zab. Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 Km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux (figure 07), il est parsemé de nombreuses dayas parfois drainées par des oueds. Ces derniers, par suite des phénomènes karstiques qui se produisent dans ces régions disparaissent souvent avant d'atteindre leurs confluents avec le Zegrir ou son prolongement le Zgag. Les limites nord et sud sont de ce fait peu précises. La longueur de l'artère maîtresse, en prenant pour origine la tête de l'Oued Ajerma (860 m d'altitude), atteint 270 Km à la daya Ben Feïlah (300 m d'altitude), limite normale des grandes crues (DUBIEF, 1953 *in* DJILI, 2004).



**Fig. II.5- Carte du réseau hydrographique de l'oued Zegrir
Extrait de la carte topographique de Ghardaïa (1/500.000) (HELIMI ,2013)**

Les intervalles de crue d'oued Zegrir sont très variables et allant de quelques mois à quelques années (28 mois sans crue entre mai 1946 et août 1948). Les crues sont observées généralement en automne ou en printemps au cours des mois d'avril, mais, septembre et octobre, et en d'autre année sont moins fréquentes. D'où une forte irrégularité inter et intra-annuelle.

Oued Zegrir avec sa crue permet par son évacuation une irrigation à grande échelle, donc ils permet le lessivage total des sols et un enrichissement des sols avec une couche importante des alluvions d'environ de 1 cm qui doit être très riche en éléments nutritifs. Les eaux d'oued adhèrent aussi à l'alimentation de la nappe phréatique (photo II. 1).

Du fait de l'irrégularité du régime des crues d'oued Zegrir d'une année à une autre les agriculteurs de la région de Guerrara ont adoptés des mesures simples pour gérer et bénéficier des eaux de l'oued. Ainsi, une digue de dérivation des eaux de la

crue vers un barrage a été construite qui peut atteint 1000m long. Le barrage de dérivation est mené de portes (buses) permettant le passage de l'eau vers la palmeraie et vers l'extérieur. Et pour assurer l'acheminement de l'eau vers les différentes parcelles à l'intérieur de la palmeraie, des drains ont été réalisés.



Photo II.1- Une crue d'oued Zegrir en Mars 2015

II.7. Biodiversité et terroir

Le système cultural oasien est de densité élevée en nombre de pieds des palmiers par unité de surface de terres, d'où la création d'un microclimat favorable à la mise en culture sous-jacentes : arboriculture, culture maraichères, fourrages, ..etc., ceci constitue un système cultural étagé à trois niveaux: phoeniculture, arboriculture et cultures herbacées (photo 02).



PhotoII.2- Biodiversité culturelle de l'oasis de Guerrara

L'ancienne oasis est caractérisée par une grande biodiversité variétale en palmiers dattiers (IPGRI-PNUD, 2005 *in* HAMDI-AISSA, 2008) et également un agrosystème à forte diversité des terroirs (HAMDI-AISSA et *al.*, 2005). Plus de 40 variétés sont recensés: Ghars, Daglet-nour, Tafiziouin, Azerza, Tamdjouhert, Dala, Taisibbi, Taneslit, Outekbala,.. etc. L'arboriculture est présentée par une douzaine d'espèces fruitières: olivier, vigne, agrumes, figuier, grenadier, ..etc.

Introduction

L'étude de la qualité chimique et bactériologique de la nappe de la région de Guerrara a pour objectif de mettre à jour l'état de la qualité de la nappe alluviale avec l'évolution continue des différentes activités agricoles et industrielle dans la région. En vue d'atteindre cet objectif, nous avons procédé par une démarche qui commence par la collecte des données et informations sur la région et sur les travaux qui ont été préalablement réalisés. Des campagnes de mesures piézométriques, de mesures in situ et d'échantillonnages d'eau pour des analyses physico-chimiques, bactériologiques et une campagne de prélèvement pour l'analyse de gaz.

III.1. Collecte des données

Dans le but de l'étude de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de la région de Guerrara nous avons commencé à recueillir le maximum de documents scientifiques et techniques sur la thématique de notre travail et des données et information sur notre région d'étude que nous avons obtenus auprès des différents services administratives régionales et locales tel que l'office national d'assainissement (O.N.A), direction des services agricole (D.S.A), l'office nationale de météorologie (O.N.M) pour faire une synthèse bibliographique avant de procéder aux prochaines étapes de notre travail.

III.2. Les sources de pollution

L'étape suivante de ce travail était de mener une enquête sur les activités économiques exercées dans la région ainsi que la procédure d'évacuation de leurs rejets.

Cette enquête a été faite le 21 Décembre 2013 et avait pour but la localisation et la cartographie des différentes sources de pollution résultant des différentes activités économique notamment l'agriculture et l'industrie mais aussi des rejets domestiques. Par ailleurs, par cette démarche nous visons l'identification de la nature des rejets et la connaissance des procédures et des conditions de leur évacuation pour détecter d'éventuel impact sur la qualité de la nappe et avoir ainsi plus d'informations pour appuyer les interprétations des résultats.

Les différentes sources de pollution que nous avons discernées dans la région sont:

III.2.1. Les activités industrielles

La région de Guerrara à sa place économique par l'industrie agroalimentaire, l'abattoir, tannerie et l'industrie de transformation tel que le fer, cuire, papier, plusieurs usines localisées dans la partie Ouest de la commune en plus des deux mini laiteries : la laiterie de KHOBZI localisée dans la partie Nord de la commune et la laiterie de CHIHIA qui se retrouve dans l'ancienne palmeraie. Les rejets de ses deux mini laiteries sont évacués dans des fosses (photo III.1) mal liées au réseau d'assainissement après leur traitement par le chlore. Les rejets sont transvasés dans le sol pouvant atteindre ainsi la nappe superficielle et ainsi la contaminer.



Photo III.1- Evacuation des rejets des mini laiteries dans des fosses

Les déchets solides de l'abattoir communal sont rejetés directement dans la nature sans aucun traitement et ses rejets liquides dans des fosses liées simultanément au réseau d'assainissement (photo III.2)



Photo III.2- Les déchets solides d'abattoir

III.2.2. Les activités Agricoles

La région d'étude est à vocation agricole, ces dernières années la région de Guerrara a connu une extension des terres agricoles par la création de nouveaux périmètres agricole.

Après des statistiques du D.S.A de Guerrara, la culture Guerrarienne présentée par plus de 230 milles de palmiers, 50 milles arbres d'oliviers, de 50 milles ha cultures maraichères, l'élevage de plus de 1400 tête de bovin et 80 milles tête des caprins.

Les cultures maraichères et de palmeraies nécessitent l'utilisation des engrais commerciales tel que fertilisant minérale pour améliorer le rendement. Cependant, par les effets de lessivage et infiltration des sels, elle conduit à la dégradation de la qualité de la nappe. De même, l'élevage intense des bovins, caprin et aviculture répartis dans toute la région ce qui contribue à la pollution organique par les composés azotés et phosphatés par l'usage des déchets animaux comme fertilisants.



Photo III.3- Diversement directe des rejets d'une unité d'élevage (A gauche : unité d'élevage de Chihia (à l'Ouest de la palmeraie; A droite : unité d'élevage à l'Est de la palmeraie)

III.2.3. L'état du réseau d'assainissement

Ce réseau d'assainissement passe à travers la palmeraie (figure III.1) et à chaque période de crue, il subit un état de dysfonctionnement et blocage provoqué par la pénétration des alluvions l'un des principales causes des fuites remarquées dans la palmeraie. Les eaux usées (matière organique, détergents, solvants, micro-organismes...) sont ainsi en contact avec le sol ce qui permet la diffusion des polluants et engendre la contamination de la nappe.

Ce réseau d'assainissement est acheminé vers l'exutoire de l'oued dans la partie Sud-Est de la région où ces eaux sont rejetées directement dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable.

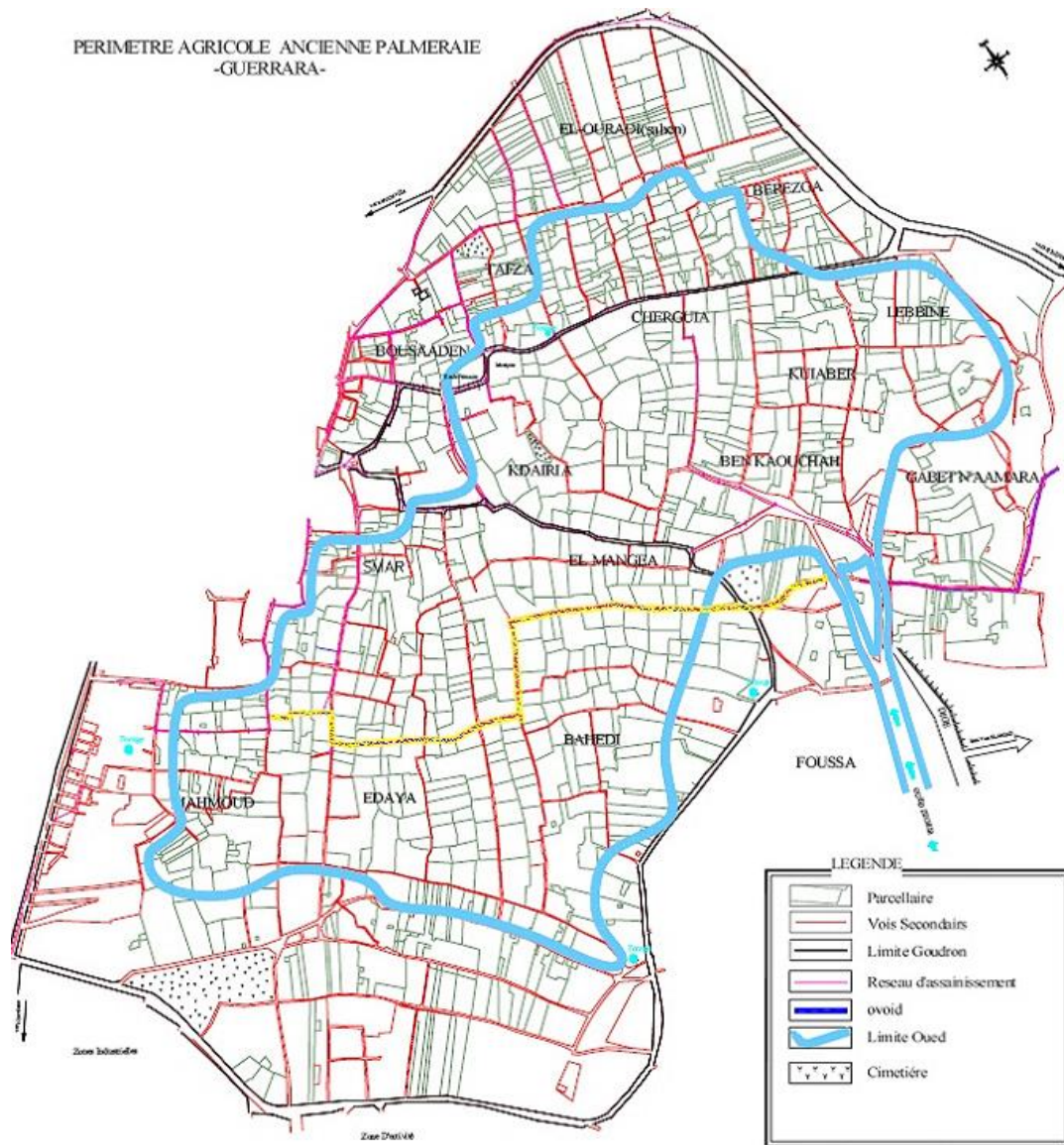


Fig.III.1- Le plan du réseau d'assainissement de Guerrara
(GUEMARI, 2008 in HEMIDI, 2013)

III.3. Les campagnes de mesures et de prélèvements

La zone d'étude est localisée dans l'ancienne palmeraie de Guerrara (400 ha), et pour bien étudier la qualité chimique et bactériologique des eaux de la nappe et détecter d'éventuelles contaminations, plusieurs campagnes ont été réalisées. Au cours de la première période, une première campagne a été effectuée le 1^{er} Mars 2014 et avait pour but le prélèvement des échantillons d'eau pour des analyses physico-chimiques. Ainsi, 23 puits ont été choisis avec une bonne répartition de façon à couvrir toute la surface de la région d'étude et les puits ciblés sont situés au voisinage de la trajectoire du réseau d'assainissement et des différentes sources de pollution existantes dans la région.

La deuxième campagne a été faite le 20 Avril 2014 et avait pour objectif le prélèvement des échantillons d'eau pour des analyses bactériologiques où 07 puits ont été choisis parmi les 23 points précédents (18, 20, 21, 23, 24, 25, B.O) pour l'étude de la qualité bactériologique de la nappe.

Une troisième campagne a été réalisée les 19 et 20 Avril 2014. Ces sorties avait pour objectif la prospection pour détecter la présence des bio gazes (CO, CH₄, H₂S...) au cours de laquelle 09 puits ont été ciblés et choisis (figure III.3) pour assurer le recouvrement de la palmeraie et cibler les puits dans lesquelles les bio gazes sont détecter par les citoyens (odeur, morts ...).

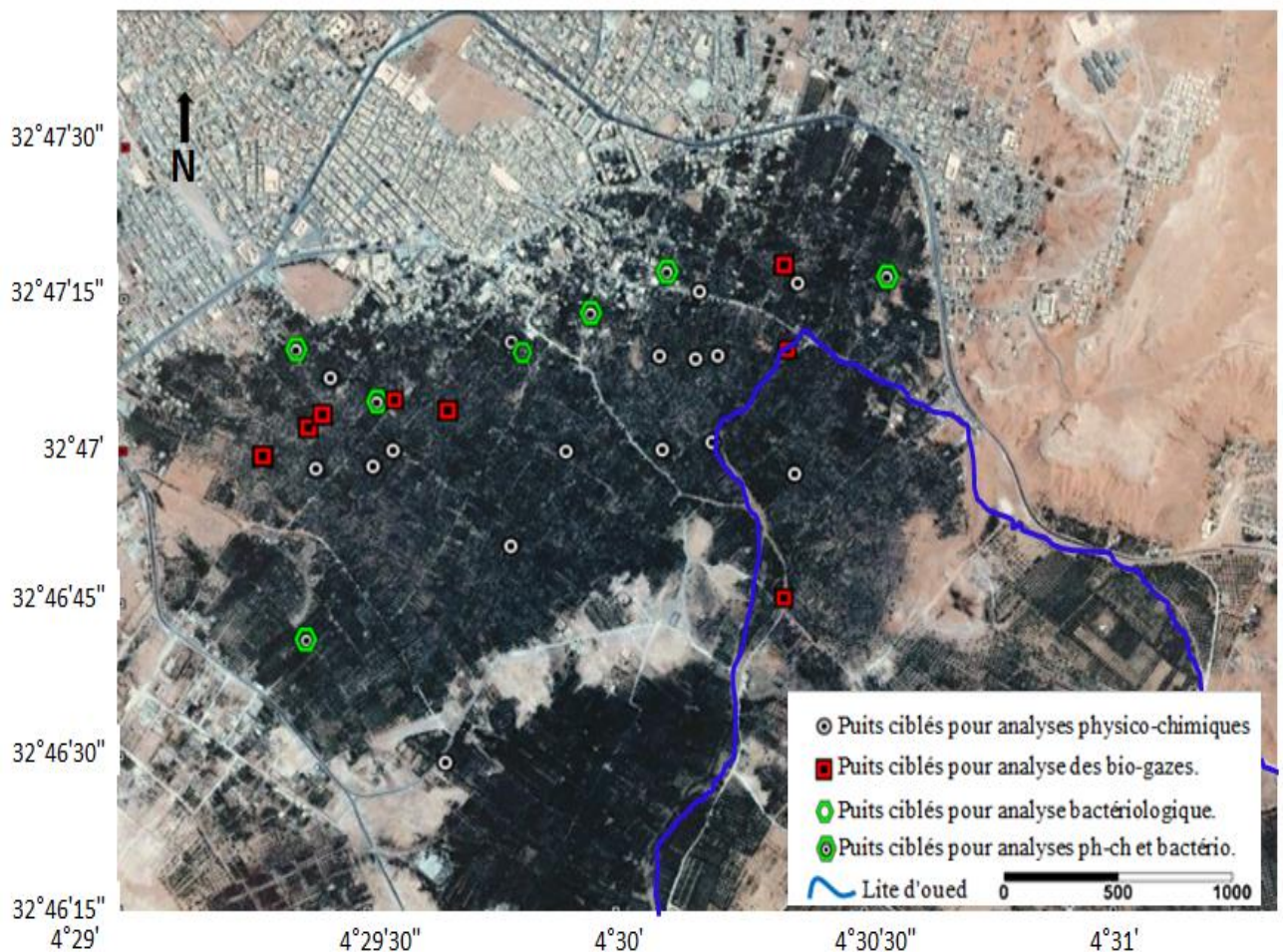


Fig.III.3 - Les puits choisis pour les prélèvements

Au cours de la deuxième période, comme pour la première période plusieurs campagnes ont été effectuées pour les mêmes objectifs mais dans des conditions climatiques différentes et ce afin de suivre les variations des différents paramètres à savoir : la piézométrie, les paramètres physico-chimiques, les paramètres bactériologiques et les gaz. La première a été réalisée les 25 et 26 Aout 2014 où les 23 puits ont été les points de prélèvement pour les analyses physico-chimiques. La deuxième campagne était le 08 Septembre 2014 avec le prélèvement au niveau des 07 puits pour les analyses bactériologiques et la troisième campagne était le 08 Novembre 2014 effectuée au niveau des 09 puits ciblés pour détecter la présence ou l'absence des bio gaz.

III.4. Echantillonnage

Durant notre étude nous avons réalisés différents échantillonnages en respectant d'une part le critère bonne répartition des points d'eau et d'autre part, les conditions de prélèvement de l'analyse à effectuer.

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques ont été prélevés dans des flacons en plastique d'un litre, le dosage de certains ions a été fait directement après prélèvement afin d'éviter qu'il y est des modifications tel que les nitrates, nitrites, ammoniums.... Etc. Des mesures de paramètres physico-chimiques ont été effectués in situ tel que : la Température, Conductivité électrique et le pH.

Pour les analyses bactériologiques, les échantillons ont été prélevés dans des flacons en verre stérilisés par la chaleur et conservés dans un milieu où la température ne dépasse pas 4°C et ont été transportés à temps (moins de 4 heures) au laboratoire.

III.5. Méthodes d'analyse au laboratoire

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe ont été effectuées au niveau des laboratoires de l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) d'Ouargla et de Ghardaïa.

Les analyses des paramètres bactériologiques ont été effectuées au niveau de l'établissement hospitalier spécialisé de Touggourt.

III.5.1. Les méthodes d'analyses

III.5.1.1. Paramètres physiques

La profondeur de la nappe a été mesurée par une sonde électrique composée d'un ruban gradué relié à une électrode. Une fois la sonde est en contact avec la surface de l'eau il y'a un déclenchement d'un signal sonore et lumineux.

L'étude piézométrique d'une nappe fournit des renseignements de première importance sur les caractéristiques de l'aquifère et permet d'apprécier les conditions d'écoulement des eaux souterraines et leurs conditions d'alimentation et de drainage.

L'étude piézométrique nécessite de disposer d'un nivellement très précis des points d'observation (puits, piézomètres ...) qui permet de garantir la précision dans l'établissement d'une carte piézométrique. Pour la réalisation des cartes nous avons utilisé le logiciel Surfer 11.

La température, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés par un multi paramètres de type "HANNA HI9829". (Photo III.4) (A.D.E, 2009).

La turbidité a été mesurée par un spectrophotomètre de type DR2100 (HACH).

La salinité a été mesurée avec un conductimètre (LF538 -WTW).



Photo III.4- Les instruments utilisés dans les mesures in situ

III.5.1.2. Paramètres chimiques

Les paramètres qui ont été étudiés sont les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et NH_4^+) et les anions (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-)

Les ions de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , et PO_4^{3-} ont été analysés par le spectrophotomètre de type DR 2100 (HACH).

Les anions Cl^- ont été dosés par la méthode Argentométrique de Mohr.

Les anions HCO_3^- sont dosés par titrimétrie au H_2SO_4 .

Les cations Na^+ et K^+ ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF).

Les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} sont titrés avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA) à pH10 (A.D.E, 2009).

La demande biologique d'oxygène à 5 jours (DBO5) qui reflète le niveau de pollution organique d'une eau a été mesurée par la méthode OXITOP®. Le principe de la méthode est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire aux décomposeurs pour dégrader et minéraliser les matières organiques présentes dans un litre d'eau.

La demande chimique en oxygène (DCO) qui est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables présentes dans l'eau (quelle que soit leur origine : organique ou minérale, fer ferreux, nitrites, ammoniacales, sulfures et chlorures) dans des conditions définies, a été mesurée grâce à un dispositif d'agitation couplé à un dispositif de chauffage placé sous un ballon.

III.5.1.3. Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique avait pour but de dénombrer les germes des souches bactériennes dans l'eau ce qui peut nous donner une idée sur l'origine des polluants.

La recherche et le dénombrement des Coliformes (fécaux et totaux) et Streptocoques a été faite par la méthode par ensemencement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP).

III.5.2. Détection des bio gaz

Cette méthode se base sur l'utilisation d'un détecteur des multi-gaz de type "ALTAIR 4". Il est conçu pour être utilisé lors d'une évaluation des risques de l'exposition potentielle à des gaz combustibles et toxiques et les vapeurs ainsi qu'une faible teneur en oxygène. Il peut être équipé pour détecter les gaz inflammables et certaines vapeurs combustibles et la teneur en oxygène et des autres gaz toxiques spécifiques pour lesquels un capteur est installé (CO, H₂S, CH₄) (Photo III.5) (MSA, 2014).



Photo III.5- Détecteur de gaz de type "ALTAIR 4"

Pour assurer que les gaz qui se trouvent dans l'eau se libèrent, l'eau doit être bien mélangée et faire descendre ensuite l'instrument "ALTAIR 4" jusqu'à la surface de l'eau à l'aide d'une corde.

"ALTAIR 4" est programmé pour émettre un signal sonore et lumineux lorsqu'il détecte un taux d'oxygène inférieur à un seuil de 25% ou lorsqu'il détecte la présence d'un gaz combustible.

Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présentés la démarche entreprise pour atteindre les objectifs de notre étude. Ainsi, au cours de cette étude plusieurs campagnes de mesures sur terrains (piézométrie, mesures de paramètres physico-chimiques et mesure des gaz in situ) et aux laboratoires (analyses physico-chimiques et bactériologiques) ont été réalisées. Les activités socio-économiques exercées dans la région d'étude qui constituent une source potentielle de pollution de la nappe ont été évoqués et qui sont l'agriculture, l'élevage et l'industrie auxquels s'ajoute l'état du réseau d'assainissement qui traverse la palmeraie. Enfin ont été présentées les méthodes et les conditions d'échantillonnage ainsi que les méthodes des différents types d'analyses qui ont été faites sur le terrain et aux laboratoires.

Introduction

La région de Guerrara est caractérisée par une nappe alimentée par les crues occasionnelles d'oued Zegrir. Notre étude a pour objectif de mettre en évidence l'état de la qualité chimique et bactériologique de cette nappe et cerner les sources de pollution potentielle existantes dans la région et démontrer leurs effets.

Les résultats des deux campagnes de mesures et d'échantillonnage nous ont permis d'établir des cartes piézométriques et des cartes de l'évolution spatiale de la minéralisation de la nappe et de certains ions chimiques et ceux de la pollution. L'étude de la variation des paramètres physicochimiques notamment les ions chimiques et leur origine, l'étude de la qualité bactériologique et la mesure des gaz et leur origine, évaluation de l'indice de pollution.

IV.1. Répartition spatiale des puits des mesures

La première étape de notre travail était de sélectionner un nombre de puits de mesures et d'échantillonnage bien réparties qui couvrent la totalité de l'ancienne palmeraie. Ainsi, vingt-trois (23) puits ont été choisis et sont présentés sur la carte de la figure IV.1.

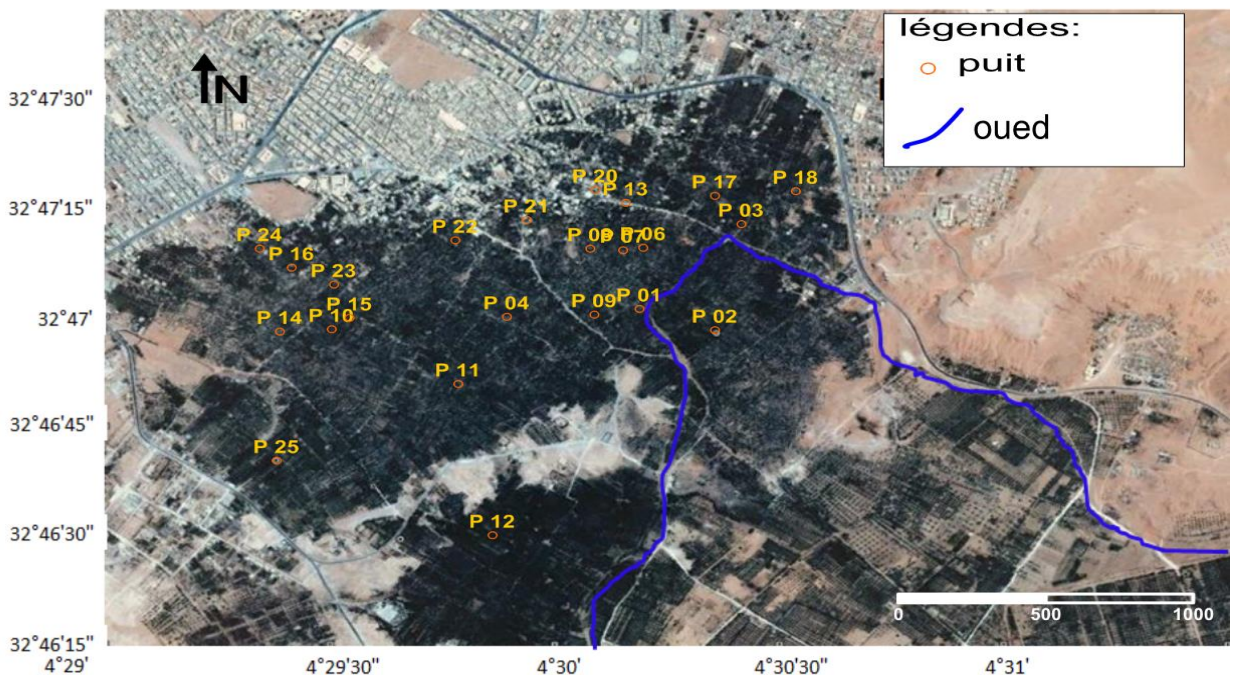


Fig.IV.1- Localisation des puits dans la région d'étude

IV.2. Piézométrie et sens de l'écoulement de la nappe

Les mesures de la profondeur de la nappe au niveau de chaque puits nous ont permis d'établir des cartes piézométriques des deux campagnes Mars et Aout où la profondeur de la nappe est variable d'un puits à un autre selon la topographie du terrain.

La carte piézométrique de la nappe de Guerrara en Mars 2014 (figure IV.2) montre que le sens d'écoulement de la nappe est de la partie Sud vers le Nord et vers l'Ouest avec un niveau piézométrique maximal au niveau du P12 (339.5 m). Il s'agit d'une zone d'alimentation à partir de laquelle l'écoulement est divergeant vers le Nord et l'Ouest et qui concorde bien avec le sens de circulation de l'Oued Zegrir à l'intérieur de la palmeraie. Cette alimentation aurait pour origine l'oued et les eaux d'irrigation par les forages dans cette partie de la palmeraie.

Au Sud-Ouest de la carte les courbes piézométriques sont serrées, indiquant un gradient hydraulique élevé de l'ordre de 0.09 donc une faible perméabilité. Dans le reste de la palmeraie, les courbes sont espacées, ce qui indique un gradient faible de l'ordre de 0.03 donc une forte perméabilité des formations.

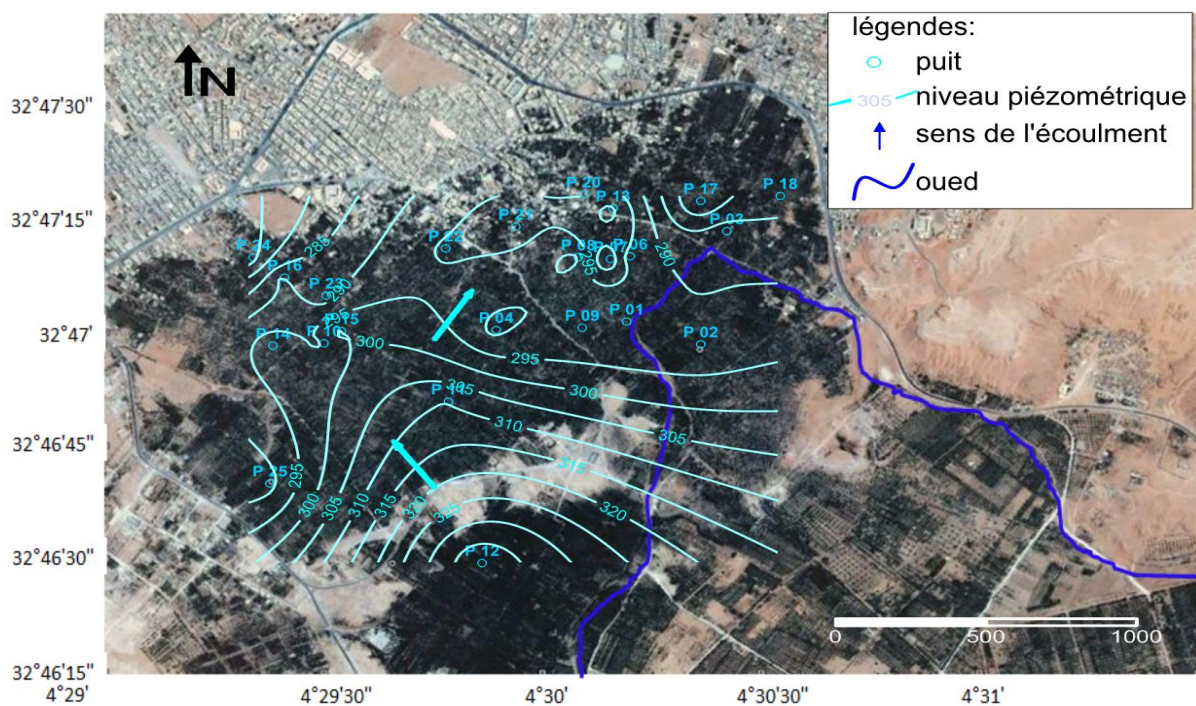


Fig. IV.2-La carte piézométrique de la nappe de Guerrara en Mars 2014

La figure IV.3 représente la carte piézométrique de la deuxième campagne (Aout 2014), elle montre que l'écoulement est divergeant vers le Nord et vers l'Ouest, avec une diminution de niveau piézométrique qui est due à la forte évaporation estivale.

Le gradient hydraulique est élevé (0.088) aussi au Sud-Ouest de la palmeraie où les courbes piézométriques sont resserrées ce qu'indique une faible perméabilité, et dans le reste de la palmeraie, les courbes sont espacées ce qu'indique un gradient faible de l'ordre 0.034 de donc une forte perméabilité des formations.

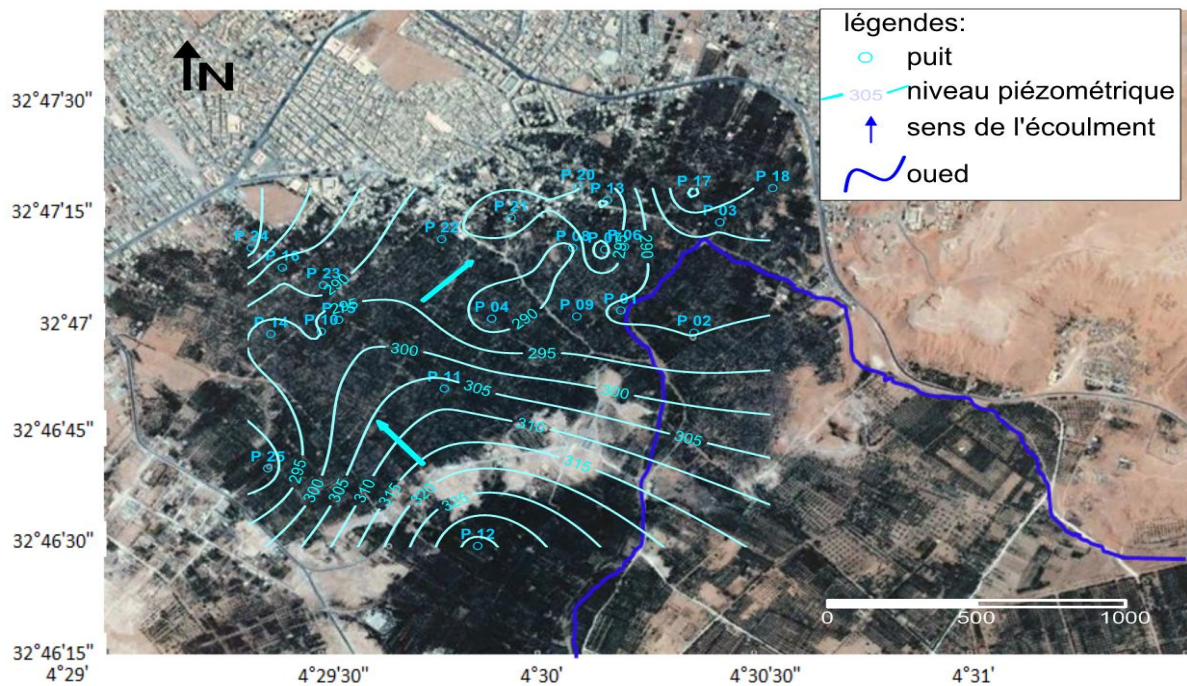


Fig. IV.3- Carte piézométrique de la nappe de Guerrara en Aout 2014

IV.3. Les paramètres physico-chimiques

IV.3.1. Les paramètres physiques

IV.3.1.1. La Température

La mesure de la température de l'eau est très importante car elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissolution des sels donc sur la conductivité, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (RODIER, 1984).

La température des eaux de la nappe dans la région du Guerrara varie selon les conditions climatiques ambiantes. Elle est de 13.92 (P25) à 22.36°C (P16) durant la première campagne et de 20.6 (P25) à 23.1 °C (P12) à la deuxième campagne, donc la température reste voisine de la température moyenne en Mars et en Aout (figure IV.4).

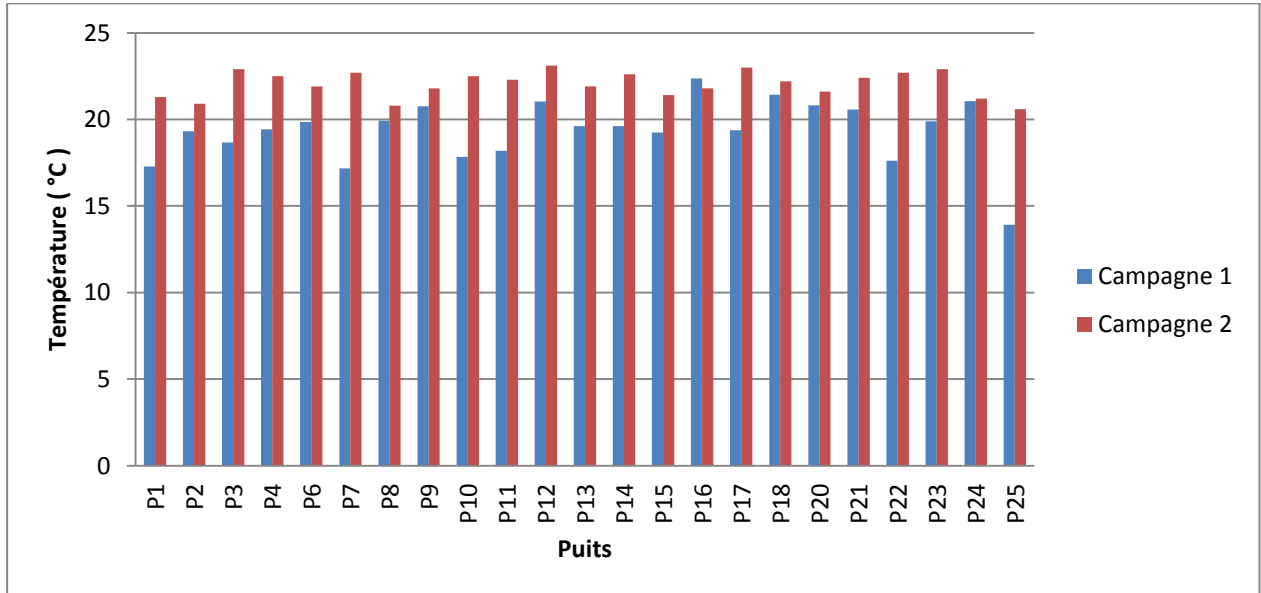


Fig.IV.4- Variation des températures des eaux de la nappe de Guerrara

IV.3.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Les valeurs sont proches de la neutralité et se situent entre 7.08 à P17 et 8.64 à P7 durant la première campagne et entre 6.74 au P18 et 7.78 au P17 au cours de la deuxième campagne. La figure IV.5 montre une diminution des valeurs de pH à la deuxième campagne.

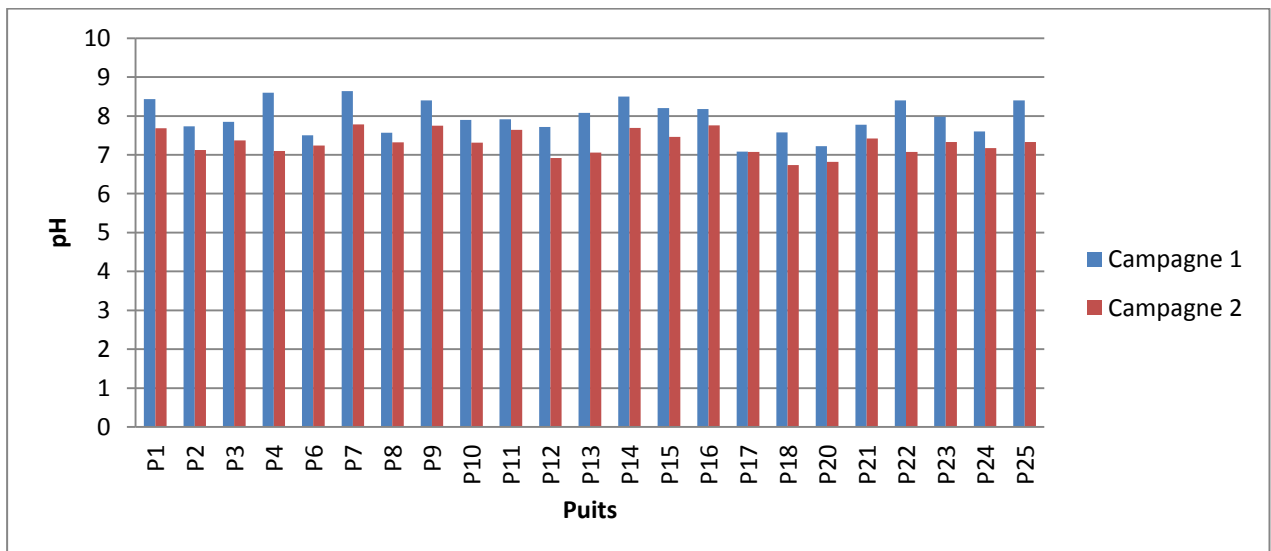


Fig.IV.5- Variation du pH des eaux de la nappe de Guerrara

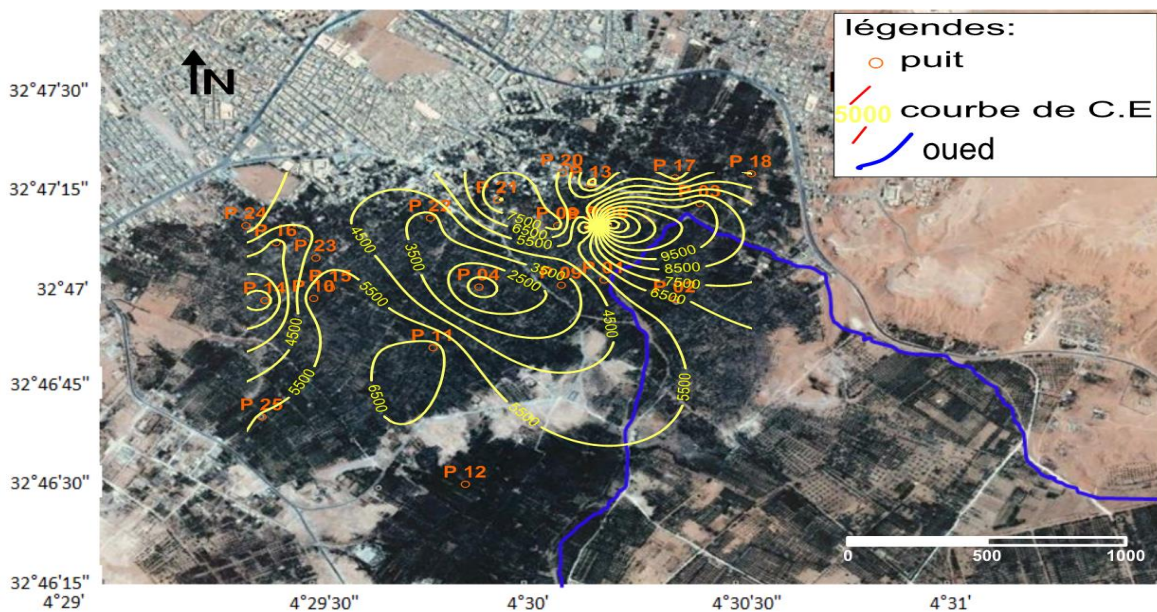
IV.3.1.3. La conductivité électrique (C.E.)

La C.E. donne une idée sur la minéralisation des eaux, elle accroît avec l'augmentation de la teneur de l'eau en sels dissous.

Dans la région d'étude, la C.E. est variable d'un puits à un autre. Durant la première campagne, on remarque une valeur minimale 771 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits P4 et une valeur maximale de 16020 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au P6. Au cours de la deuxième campagne, on remarque qu'elle varie entre 780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits P14 et de 8710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au P22.

Ces valeurs importantes de la C.E. de la nappe montrent que les eaux sont fortement minéralisées. Donc on peut dire que ces eaux ont subis une contamination qui serait par les eaux domestiques (présence du réseau d'assainissement) ou par le lessivage des sels de la zone non saturée par les eaux d'irrigation.

La carte de répartition de la C.E. permet de suivre l'évolution spatiale de la minéralisation de la nappe. On remarque à partir de figure IV.6 la répartition de la conductivité durant la première campagne que les plus fortes valeurs sont aux puits P6 et P 22 dans la partie Nord-Est et Nord de la palmeraie qui sont proches de la zone urbaine et des faibles valeurs aux puits P4 et P14 situés au centre et à l'Ouest de palmeraie.



En ce qui concerne la répartition de la conductivité électrique pour la deuxième campagne (figure IV.7), on remarque que les fortes valeurs se localisent dans la partie Nord et les faibles valeurs dans la partie Sud de la palmeraie. Comme pour la première campagne, cela montre que la minéralisation de la nappe augmente du Sud vers le Nord avec le sens de l'écoulement de la nappe.

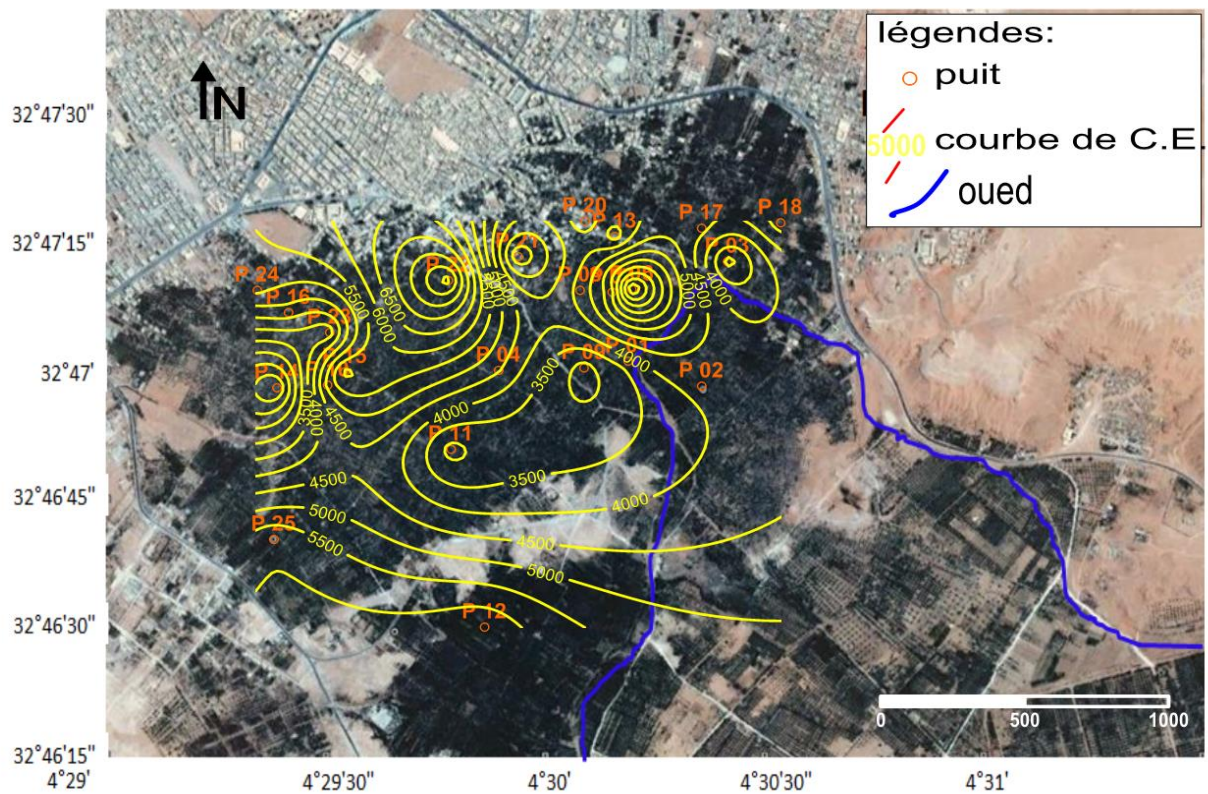


Fig.IV.7- La répartition de la conductivité électrique des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.1.4. La salinité (S)

A partir de la figure IV.8 qui illustre les valeurs de la salinité de la nappe durant la deuxième campagne, on remarque que ces valeurs varient entre 0.2% au puits P14 et 4.9% au P22.

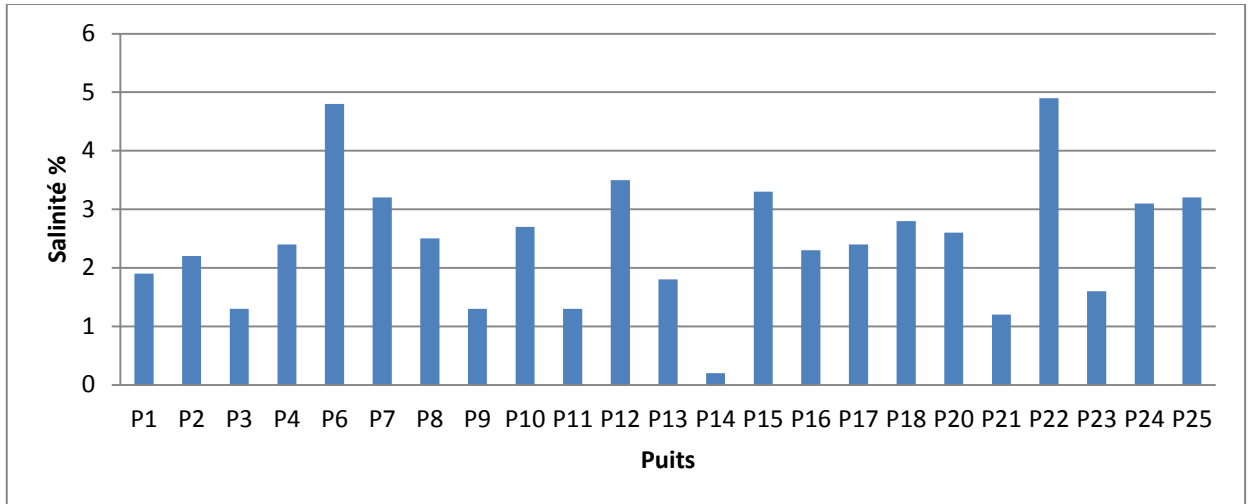


Fig. IV.8 - Variation de la salinité des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.1.5. La turbidité (T)

Les résultats des mesures de la turbidité des eaux de la nappe montrent des valeurs élevées observées au niveau des puits P20 et P22 avec une valeur de 10 UTN et la valeur la plus faible au puits P11 avec 0.62 UTN (figure IV.9). En se référant aux normes de l'OMS qui fixent la valeur 5 NTU comme seuil de turbidité pour l'eau potable, neuf (09) puits ont des valeurs de turbidité supérieure à ce seuil.

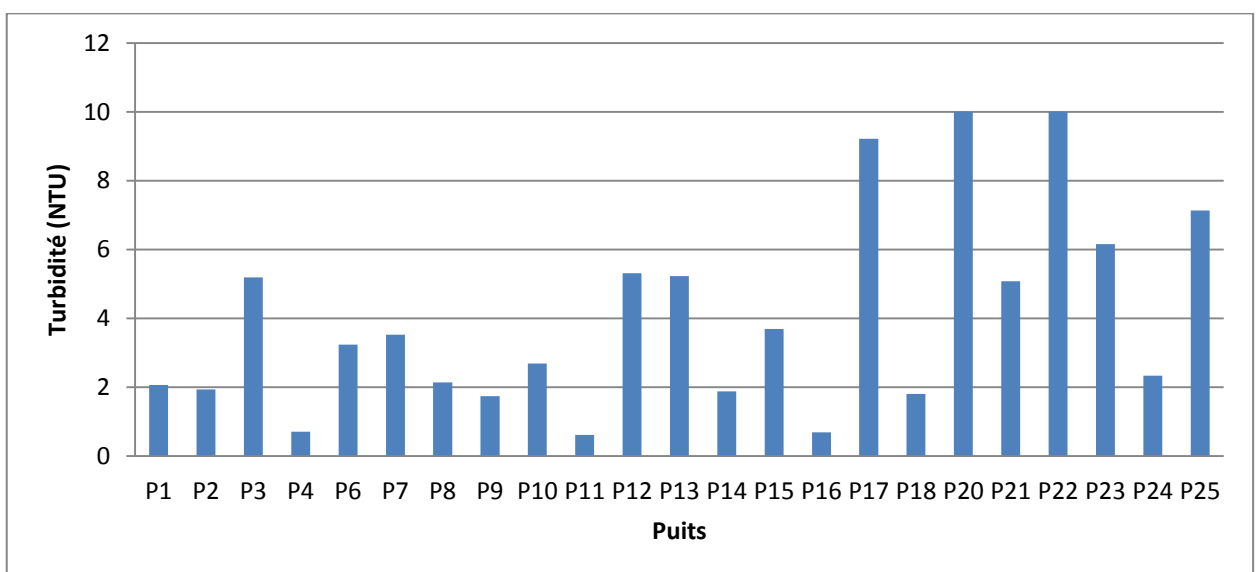


Fig. IV.9 - La turbidité des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.1.6. L'oxygène dissous (OD)

Les concentrations de l'oxygène dissous durant la première campagne (figure IV.10) sont variées entre 5.65 mg/l à P11 et 1.05 mg/l à P23.

La présence d'OD. dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau.

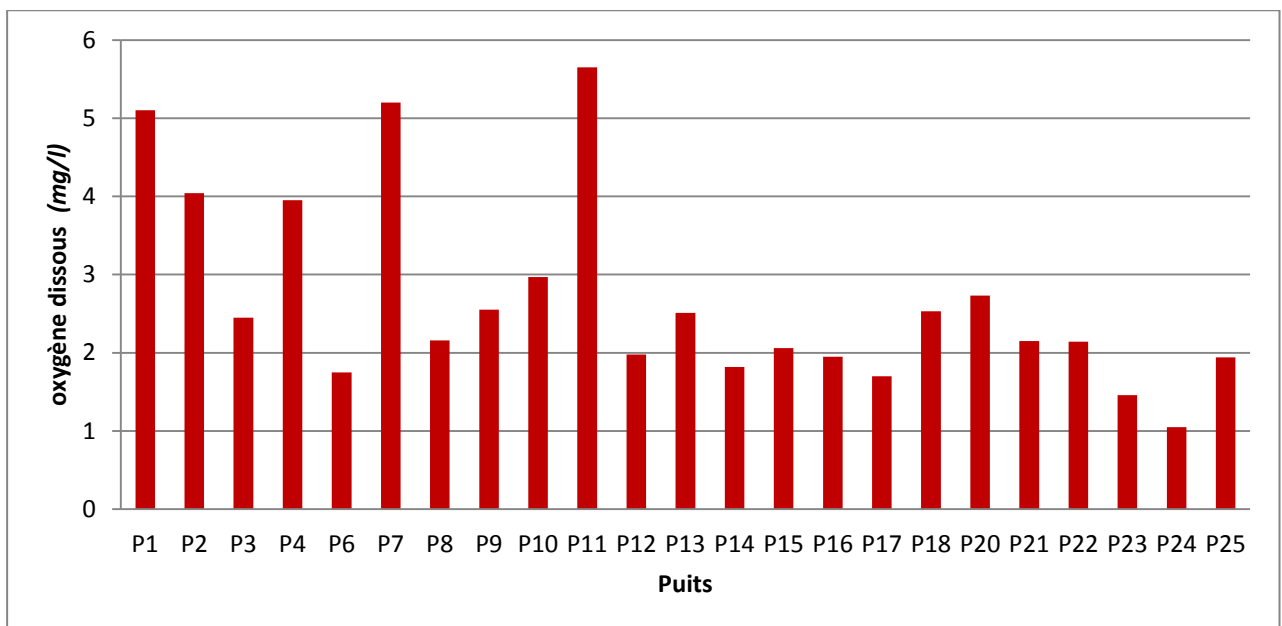


Fig. IV.10 - Variation de l'oxygène dissous des eaux de la nappe de Guerrara (Mars 2014)

IV.3.2. Les paramètres chimiques

IV.3.2.1. Le calcium (Ca^{+2})

La plupart des puits ont des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux fixée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) qui limite la teneur en calcium dans l'eau destinée à la consommation humaine à 100 mg/l. Les teneurs maximales enregistrées ont été observées au puits P6 (1210.416 mg/l) (figure IV.11) et les minimums au P14 (97.79 mg/l).

Le calcium est un élément très répandu dans la nature, et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, sulfate et de chlorure.

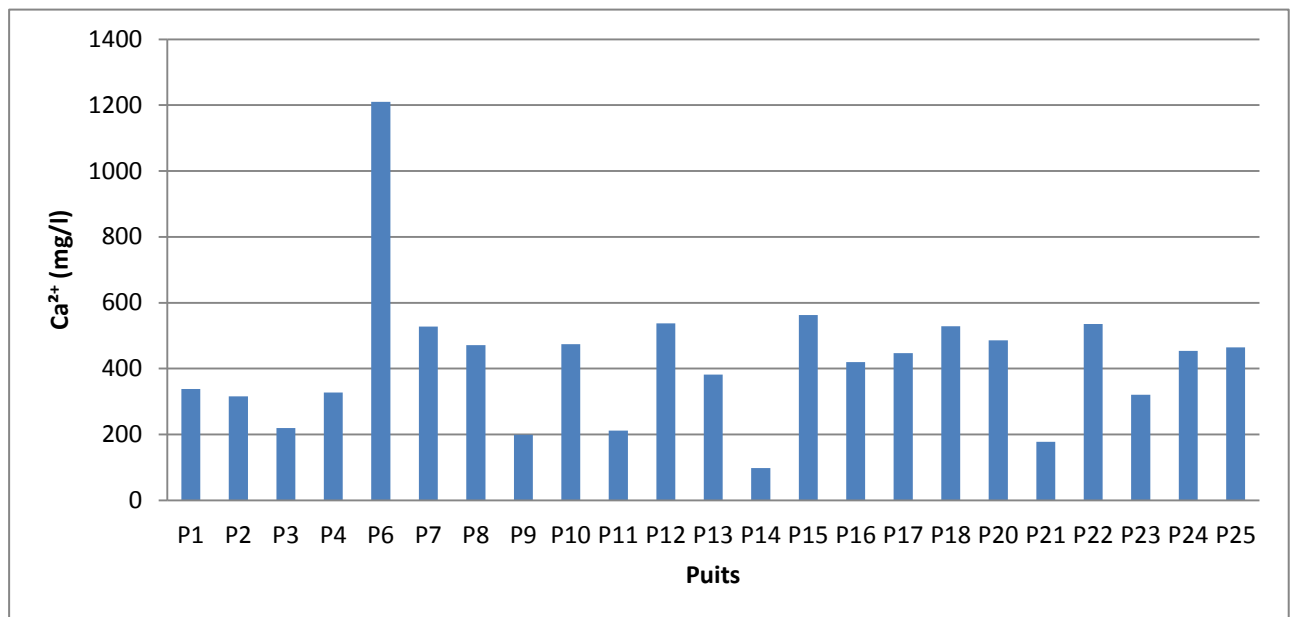


Fig.IV.11- Variation des teneurs en calcium dans la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.2. Le magnésium (Mg⁺²)

La teneur des eaux en magnésium est variable d'un puits à un autre comme on le remarque sur la figure IV.12, la teneur maximale a été observée au puits P6 avec 490 mg/l. La teneur minimale a été observée au puits P24 avec 15.36 mg/l.

Au niveau de la majorité des puits les teneurs en magnésium sont supérieures à la norme de l'OMS fixée à 50 mg/l.

Le magnésium comme le calcium constitue un des composants significatifs de la dureté de l'eau. Il provient de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite) et des évaporites.

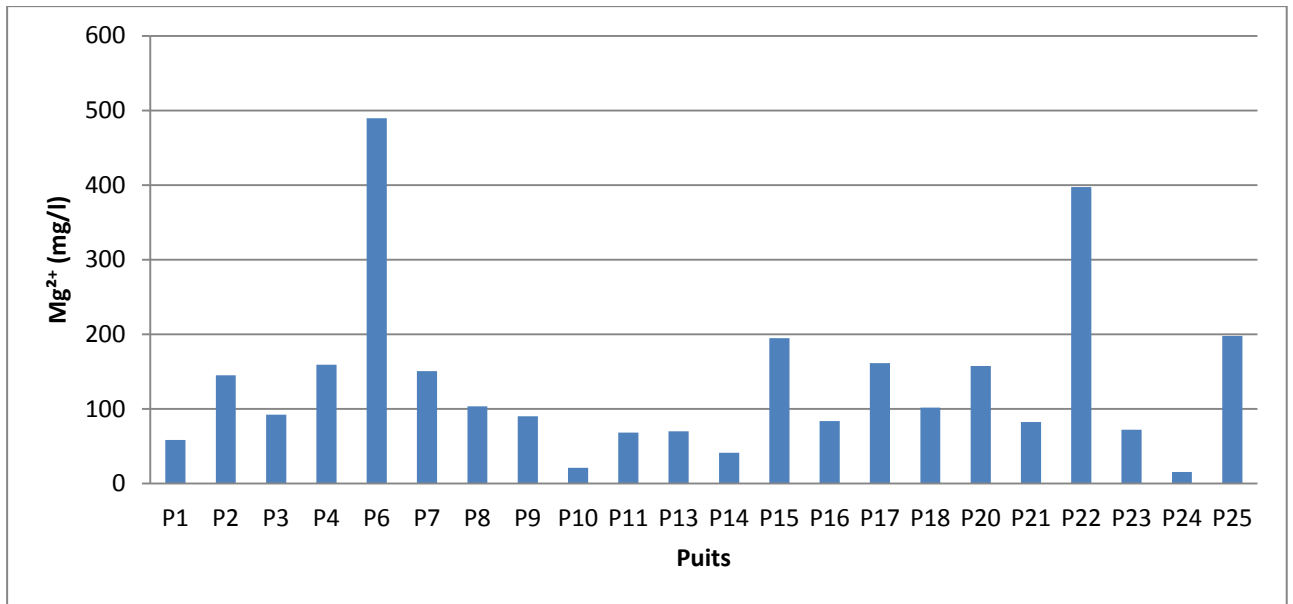


Fig.IV.12- Variation des teneurs en magnésium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.3. Le sodium (Na⁺)

Les concentrations des eaux en sodium sont pour l'ensemble des puits supérieurs à la norme d'OMS fixée à 150 mg/l. Les teneurs maximales ont été observées au puits P7 avec 900 mg/l et les teneurs minimales au P14 avec 50 mg/l (figure IV.13).

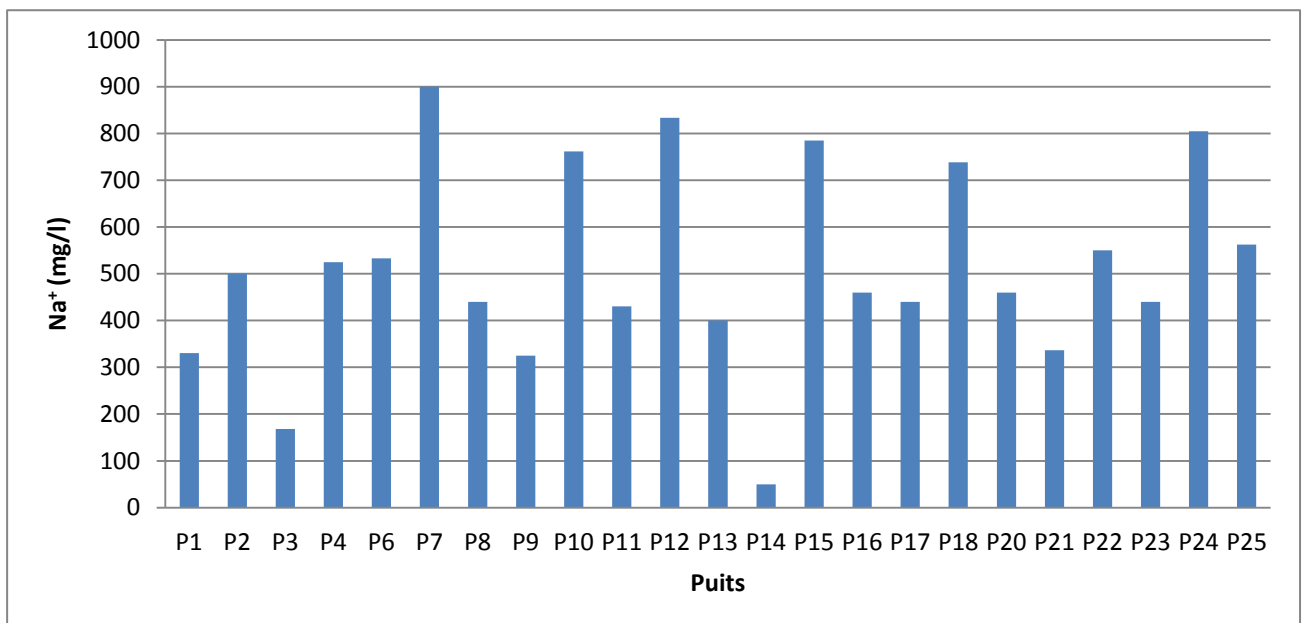


Fig.IV.13- Variation des teneurs en sodium de la nappe de Guerrara

IV.3.2.4. Le potassium (K^+)

Les concentrations des eaux en potassium varient entre 16.6 mg/l au puits P14 et 62.6mg/l aux puits P11 et P22 (figure IV.14). D'après la norme de l'OMS le potassium dans l'eau ne doit pas dépasser 12 mg/l.

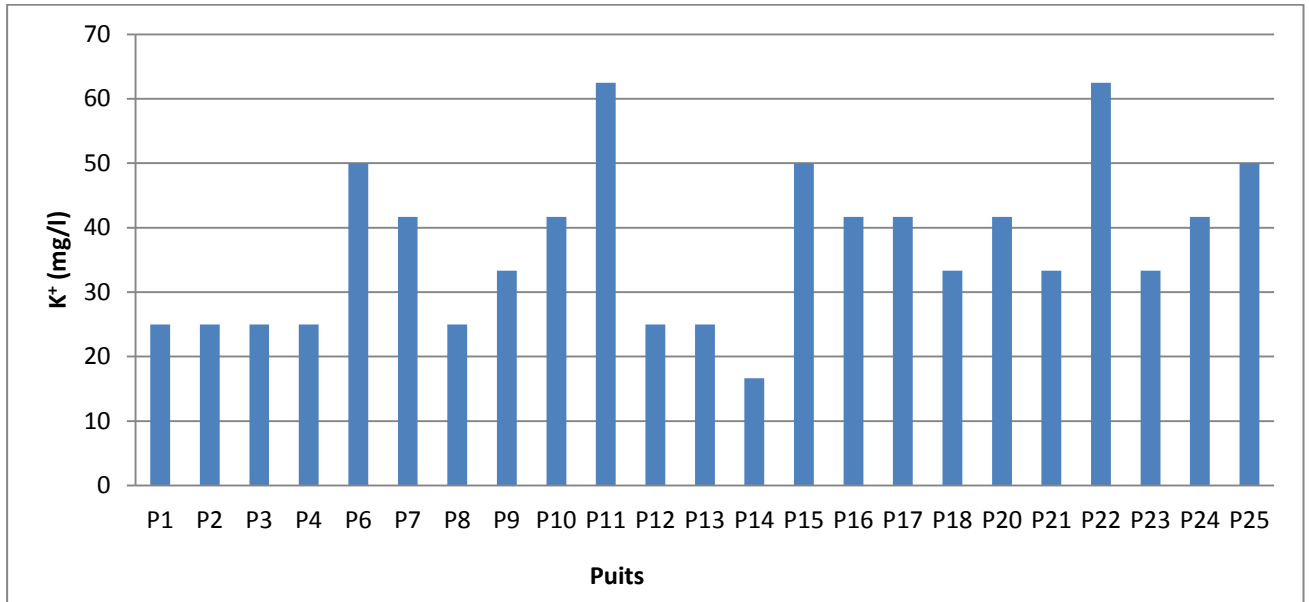


Fig.IV.14- Variation des teneurs en potassium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.5. L'ammonium (NH_4^+)

Les concentrations des eaux en ammonium sont variables d'un puits à un autre, la valeur maximale est observée au puits P7 avec 0.891 mg/l et la valeur minimale au P14 avec 0.062 mg/l (figure IV.15).

L'ammonium est un ion qui provient des activités humaines notamment l'agricoles (emploi des engrais et le fumier) ou bien des rejets et déchets industriels.

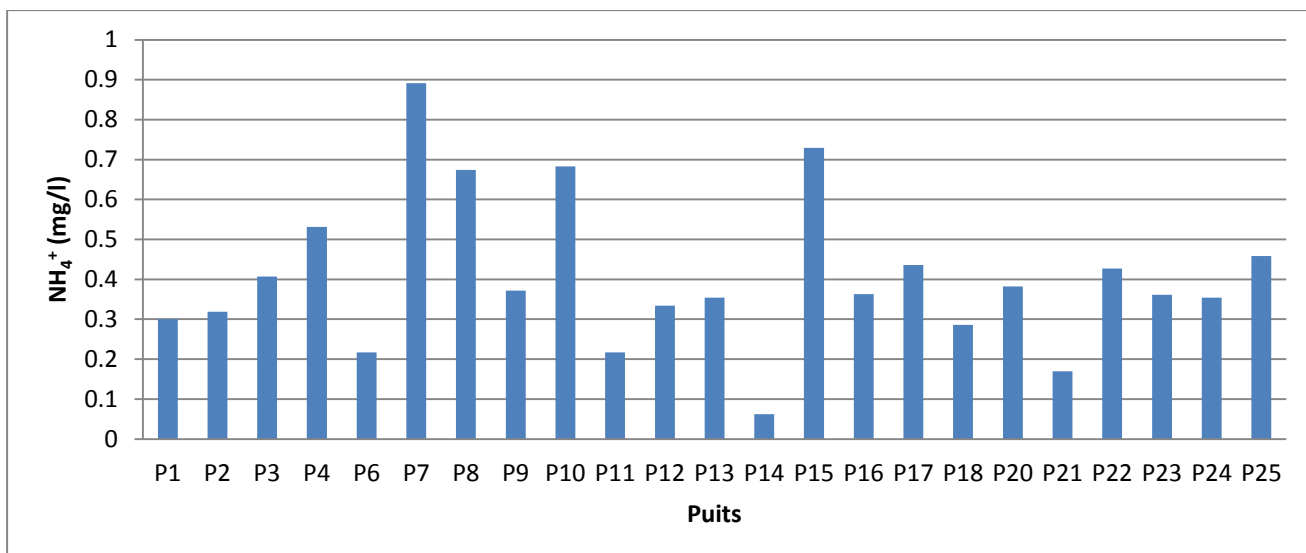


Fig.IV.15- Variation des teneurs en ammonium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.6. Le fer (Fe⁺²)

D'après la figure IV.16, les concentrations des eaux en fer sont variables d'un puits à un autre. La concentration maximale a été observée au puits P17 avec 1.32 mg/l. Les puits : P12, P16, P17, P21, P22, P23 et P24 présentent des teneurs supérieures au seuil fixé par l'OMS (0.3 mg/l).

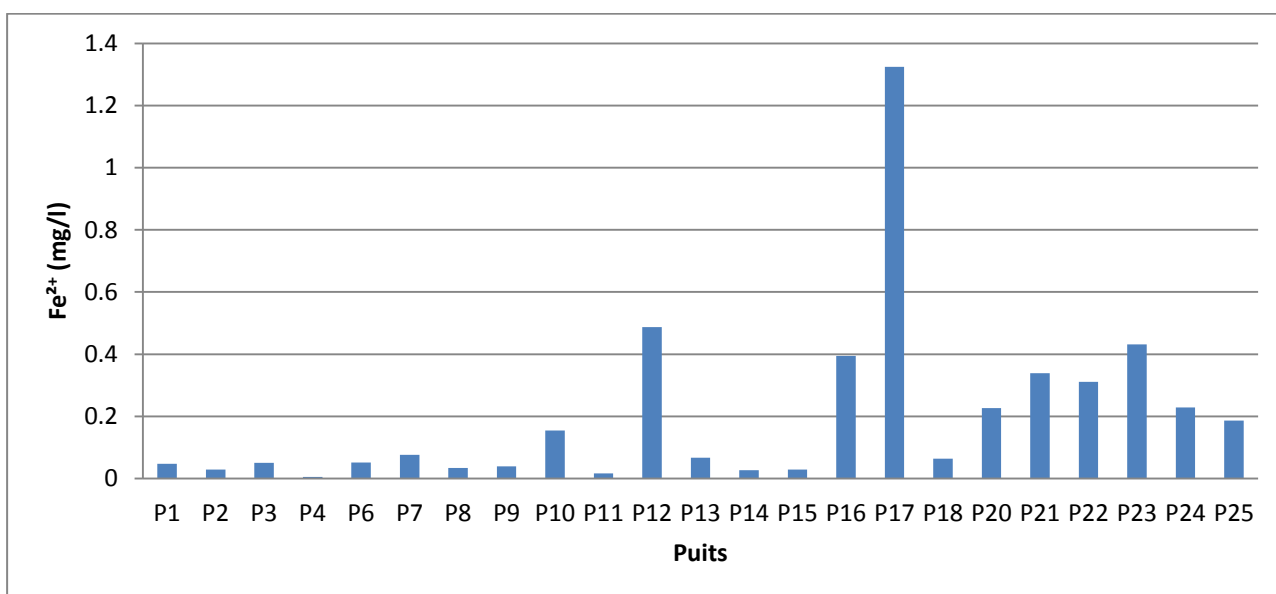


Fig.IV.16- Variation des teneurs en fer de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.7. Le chlorures (Cl⁻)

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (HUMBERT et POMMIER, 1988 in TARIK, 2005). La concentration des chlorures dans l'eau dépend du terrain traversé. Dans notre région les teneurs en chlorures varient entre 138.27 mg/l au puits P14 et 823.5 mg/l au P22 (figure IV.17).

Ainsi, dans la plus parts des points d'eau les teneurs en chlorures dépassent la norme fixée par l'OMS (250 mg/l).

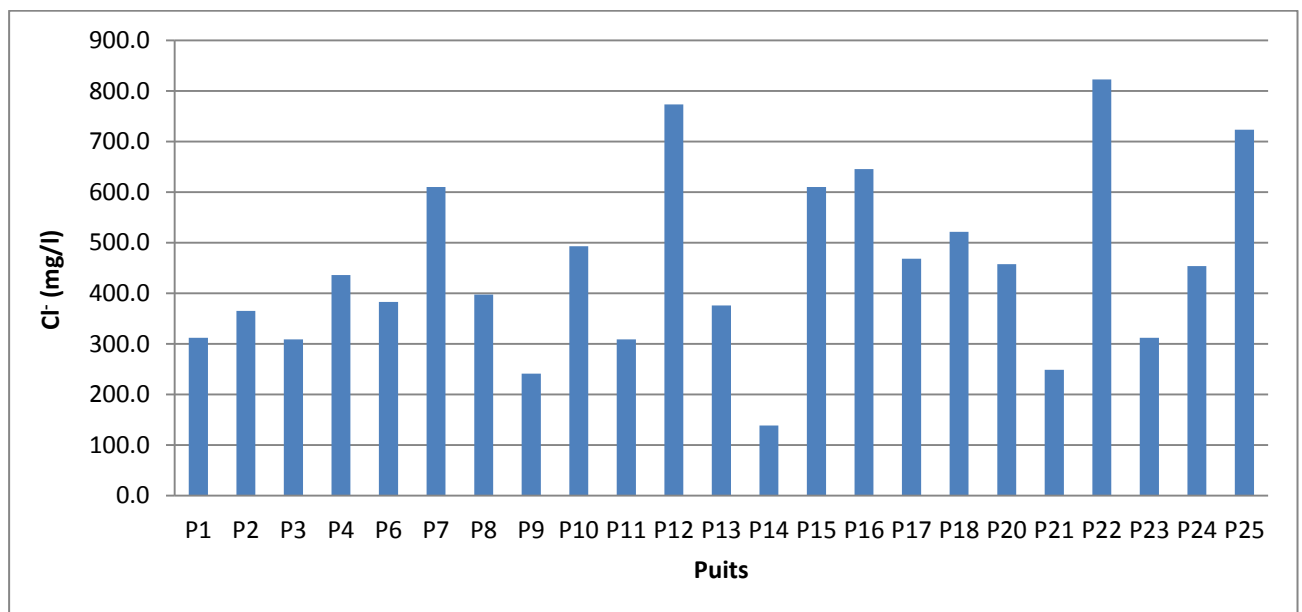


Fig.IV.17- Variation des teneurs en chlorures de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.8. Les sulfates (SO₄⁻²)

On remarque à partir de la figure IV.18 que la concentration maximale a été observée au niveau de P12 avec 2121 mg/l et une concentration minimale observée au niveau de P14 avec 154 mg/l. Ces concentrations sont en général supérieures aux normes d'OMS (500 mg/l), seulement le P14 avec 154 mg/l qui reste inférieur au seuil.

Les origines de SO₄⁻² sont naturelles dans l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO₄), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques, ou anthropiques issues par la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures et l'utilisation d'engrais chimique.

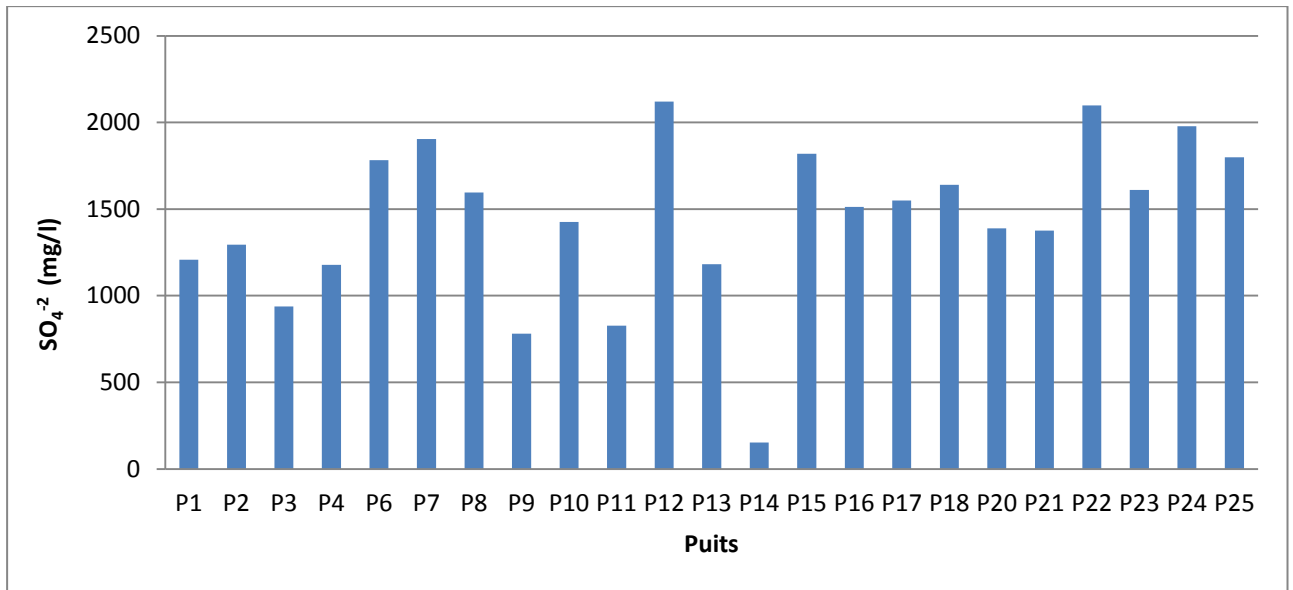


Fig.IV.18- Variation des teneurs en sulfate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.9. Les bicarbonates (HCO₃⁻)

Les teneurs en bicarbonates varient entre 97.60 mg/l au puits P9 et 348.92 mg/l au P12 (figure IV.19).

Dans notre région les teneurs en bicarbonates sont supérieures aux normes de l'OMS (250 mg/l).

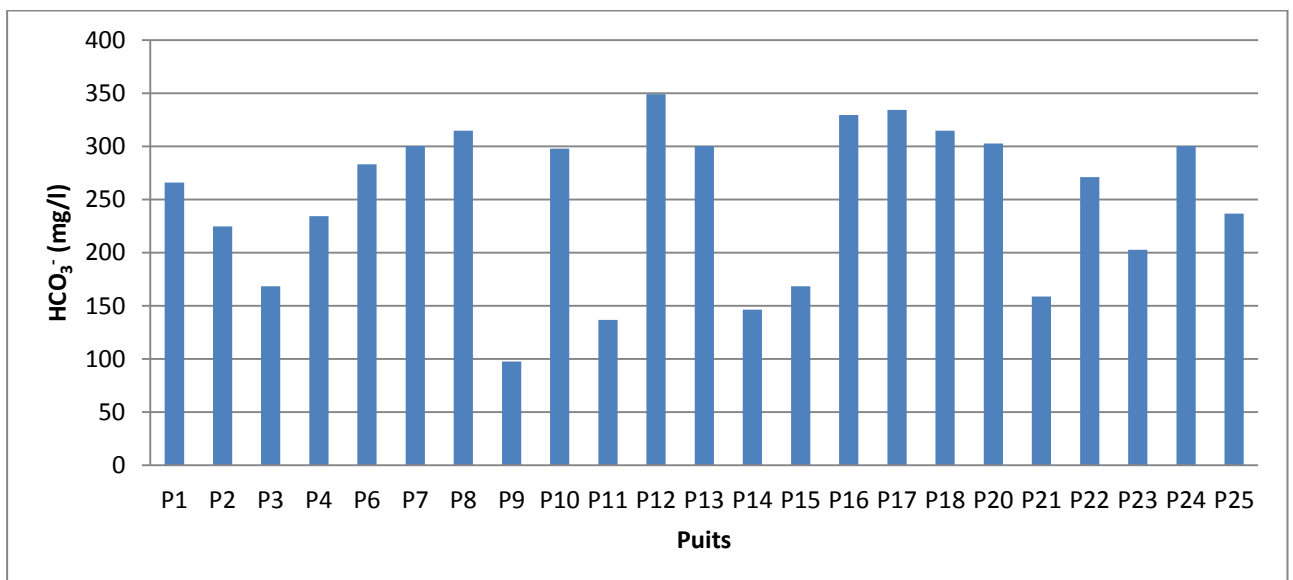


Fig.IV.19- Variation des teneurs en bicarbonate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.10. Les nitrates (NO_3^-)

Les teneurs en nitrates sont très faibles et inférieures aux normes de l'OMS (50 mg/l). Les teneurs varient entre 0.1 mg/l au puits P21 et 2.3 mg/l au P11 (figure IV.20).

Les nitrates peuvent avoir plusieurs origines : l'entraînement par le lessivage des produits azotés tel que les engrais minéraux ou organiques non utilisés par les plantes, les rejets d'eau usée domestique ou industrielle. Ils peuvent également s'adsorber et se fixer sur les argiles et humus.

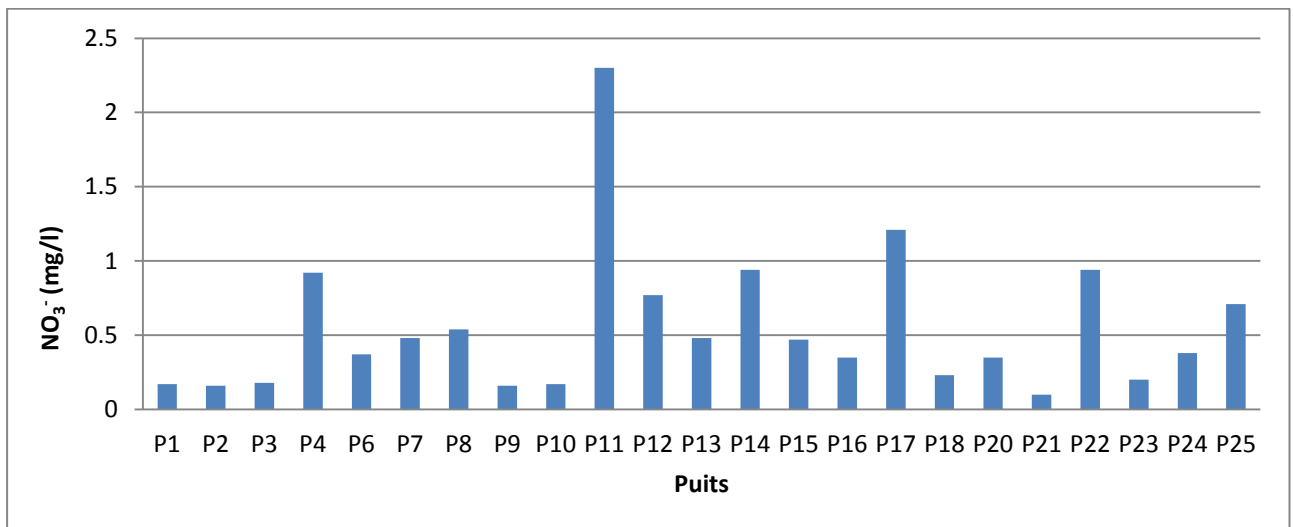


Fig.IV.20- Variation des teneurs en nitrate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.11. Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les Nitrates.

Les teneurs en nitrite sont faibles et ne dépassent pas le seuil fixé par l'OMS (égale 3 mg/l), elles varient entre 0.01 mg/l et 0.36 mg/l. Des teneurs nulles ont été observées au niveau des puits : P14 et P18 (figure IV.21)

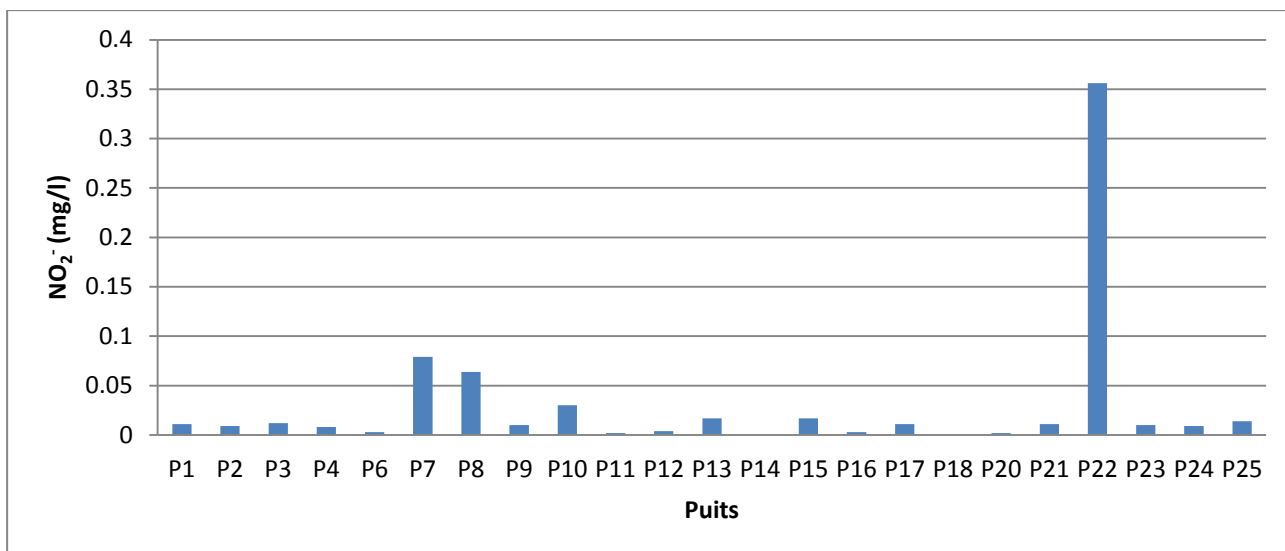


Fig.IV.21- Variation des teneurs en nitrite de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.11. L'orthophosphate (PO₄³⁻)

Les concentrations des eaux en orthophosphate sont variables d'un puits à un autre. Cependant, certains puits ont des teneurs nulles tels que P11, P12, P13, P18, P21, P22 et dans les autres puits les concentrations varient entre 0.11 mg/l au puits P1 et 5.89 mg/l au P10 (figure IV.22).

Les orthophosphates proviennent en grande partie des activités domestiques, puis des activités agricoles et industrielles.

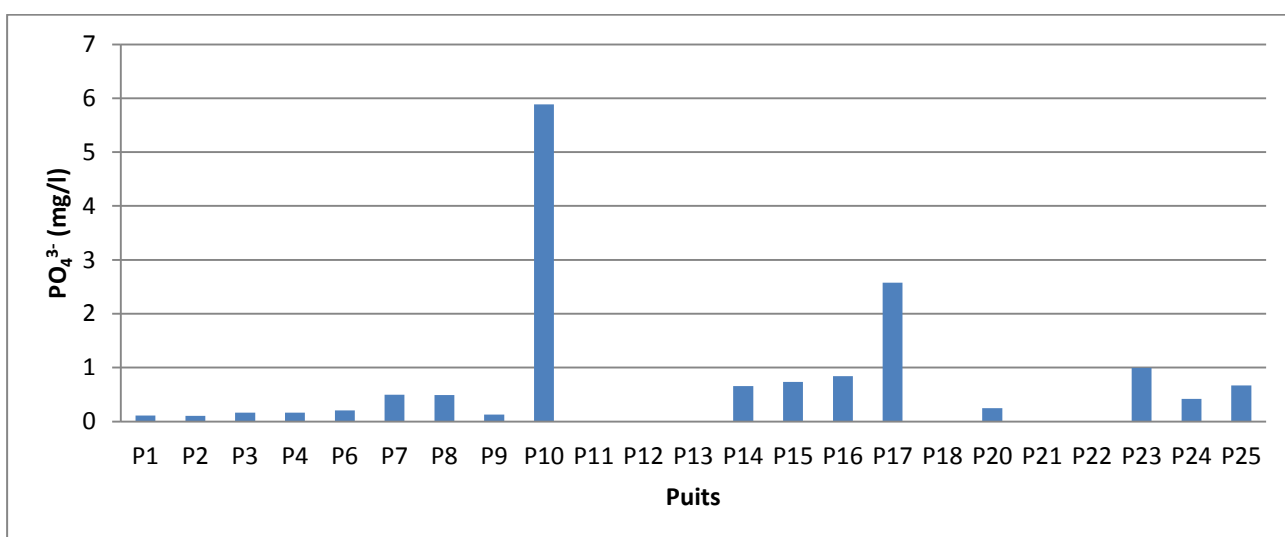


Fig.IV.22- Variation des teneurs en orthophosphate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.12. La demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs de la DCO mesurée au niveau des sept (07) puits varient entre 143 mg/l au puits B.O et 334.2 mg/l au P18 (figure IV.23). Ses valeurs élevées sont des indices de biodégradation de la matière organique et indique la présence de pollution organique dans la région de Guerrara.

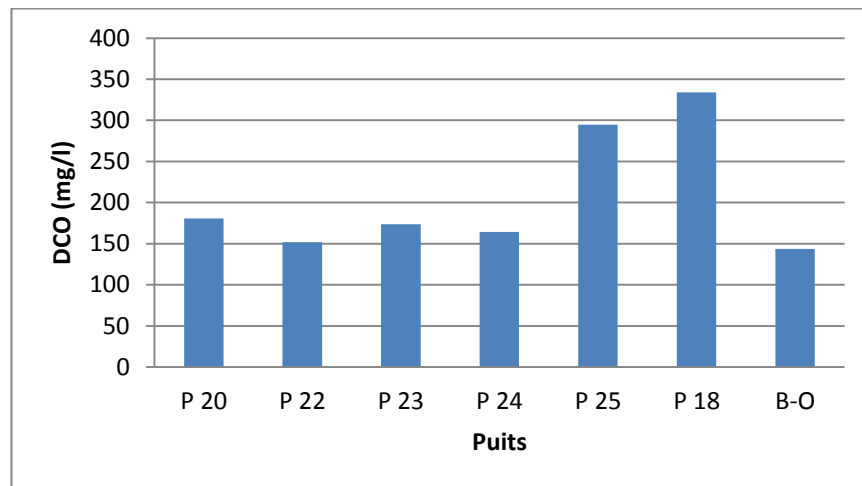


Fig.IV.23- Variation de la DCO de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.2.13. La demande biochimique en oxygène (DBO 5)

D'après la figure IV.24 qui représente la variation de la DBO5 des eaux, les concentrations de la DBO5 sont élevées et varient entre 55mg/l au puits P24, P BO et 110 mg/l au P18.

Le rapport DCO/DBO5 varie entre 2 et 3 ce qui confirme que les eaux des puits ciblés sont pollués.

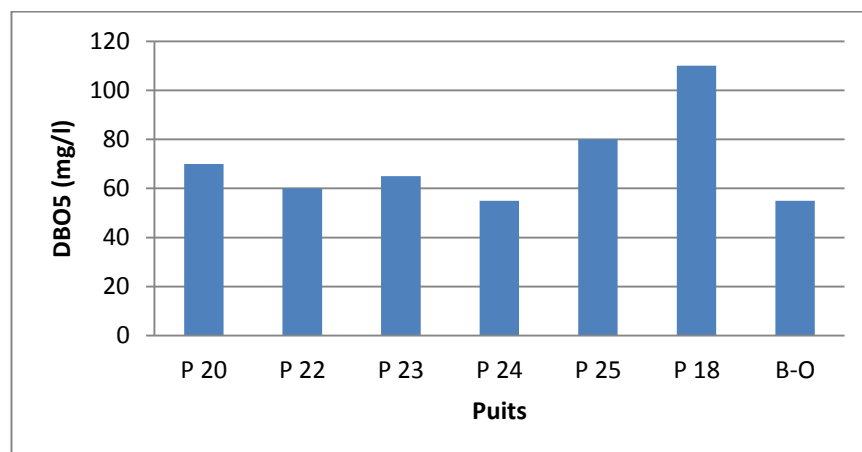


Fig.IV.24- Variation de la DBO5 de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.3. Répartition spatial des éléments

L'établissement des cartes de répartition des ions permet de suivre l'évolution spatiale de certains ions surtout les indicateurs de pollution comme les chlorures, sodium, nitrate et les orthophosphates, ce qui nous permet de ressortir les origines probables de la pollution.

IV.3.3.1. Cartes de répartition spatiale de sodium

L'observation de la carte de répartition spatiale de sodium (figure IV.25) nous permet de voir que ces concentrations élevées de sodium sont marquées dans la partie Sud au puits P12, au Nord et à l'Ouest de la palmeraie. Ces fortes concentrations auraient pour origine la nature géologique des formations.

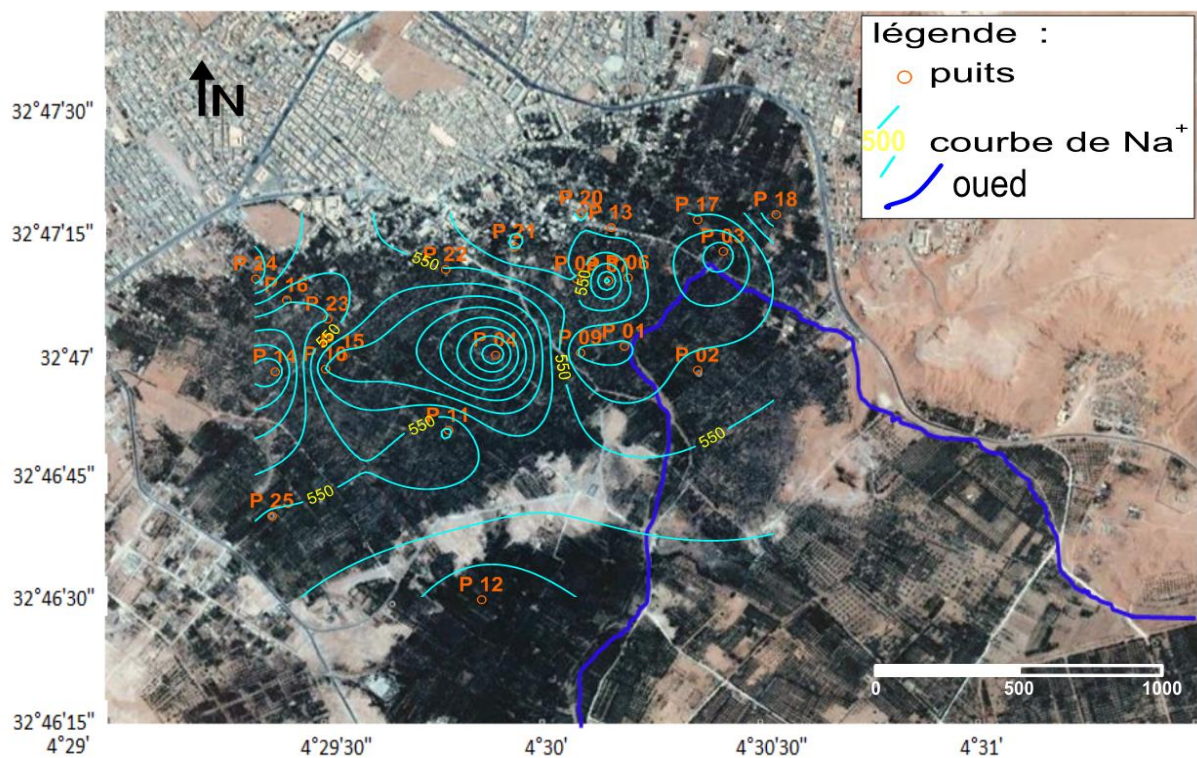


Fig.IV.25- Carte de répartition spatiale du sodium de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.3.2. Cartes de répartition spatiale des chlorures

A partir de la figure IV.26 qui représente la carte de répartition des teneurs en chlorures pour la deuxième campagne, on observe des concentrations fortes localisées dans la partie Sud, Nord-Ouest et Ouest de la palmeraie ce qui coïncide avec la répartition du sodium. Ceci nous permet de dire qu'ils ont la même origine.

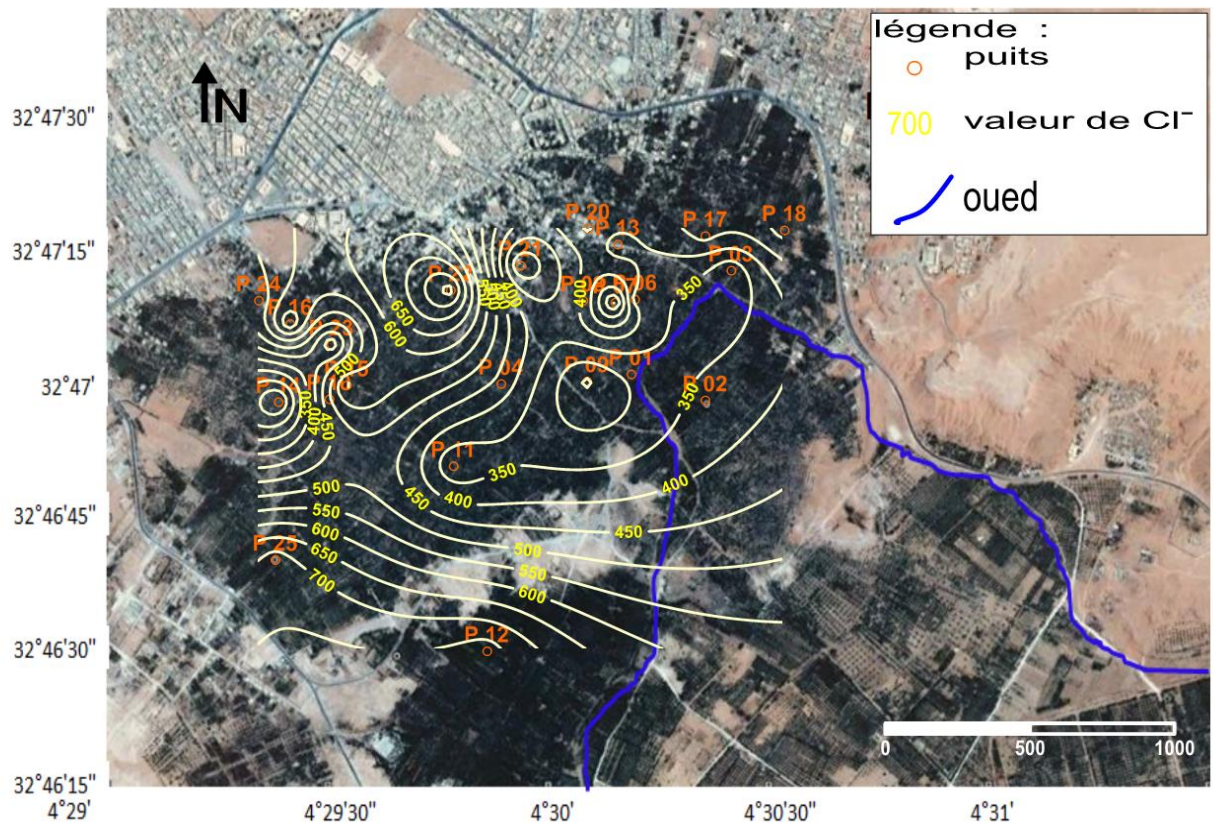


Fig.IV.26- Carte de répartition spatiale de chlorure de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.3.3. Carte de répartition spatiale des nitrates

La carte de répartition spatiale des nitrates (figure IV.27) montre que les fortes concentrations se localisent au centre de la palmeraie au niveau du puits P11 au voisinage des locaux d'activité d'élevage et d'agriculture qui constituent une source des nitrates.

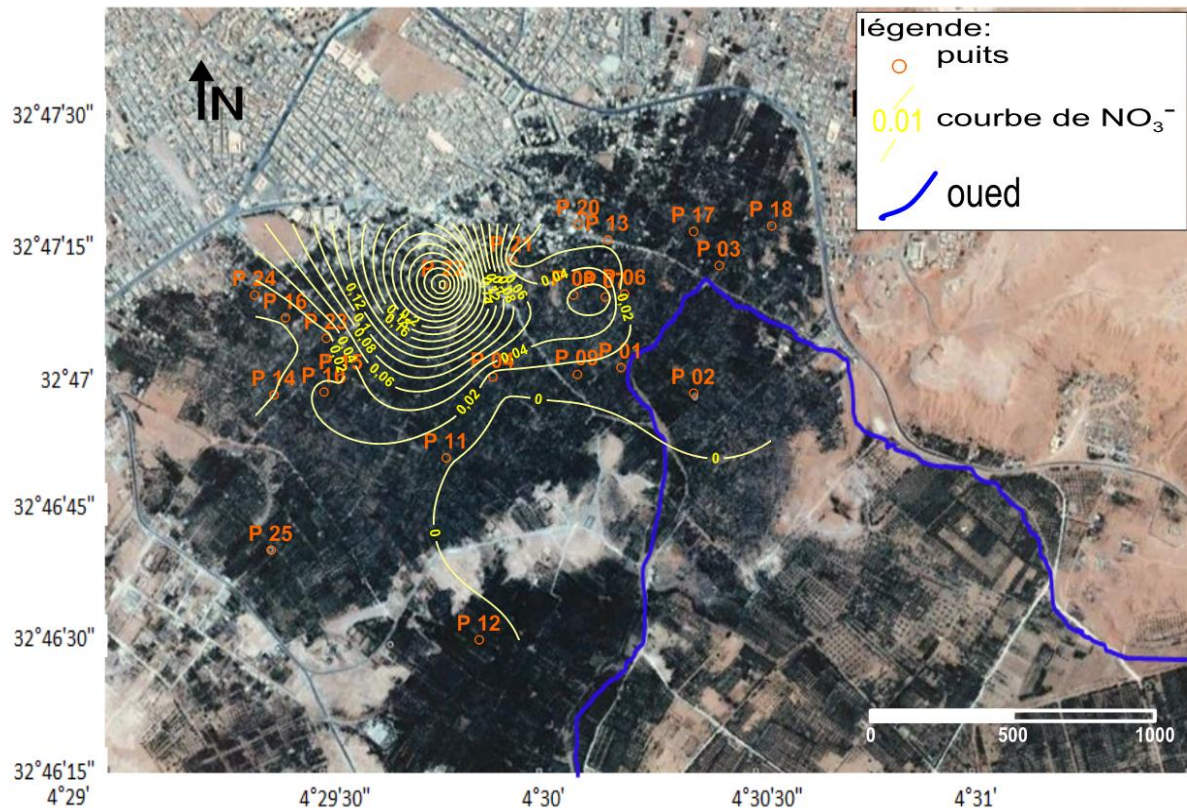


Fig.IV.27- Carte de répartition spatiale de nitrate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.3.4. Carte de répartition spatiale d'orthophosphate

La carte de la répartition spatiale de l'orthophosphate (figure IV.28) montre de fortes concentrations sont marquées à l'Ouest de la palmeraie au niveau du puits P10 et des concentrations nulles à l'Est et au Sud de la palmeraie. Ces concentrations élevées auraient pour origine les activités agroalimentaires et de transformations comme la tannerie.

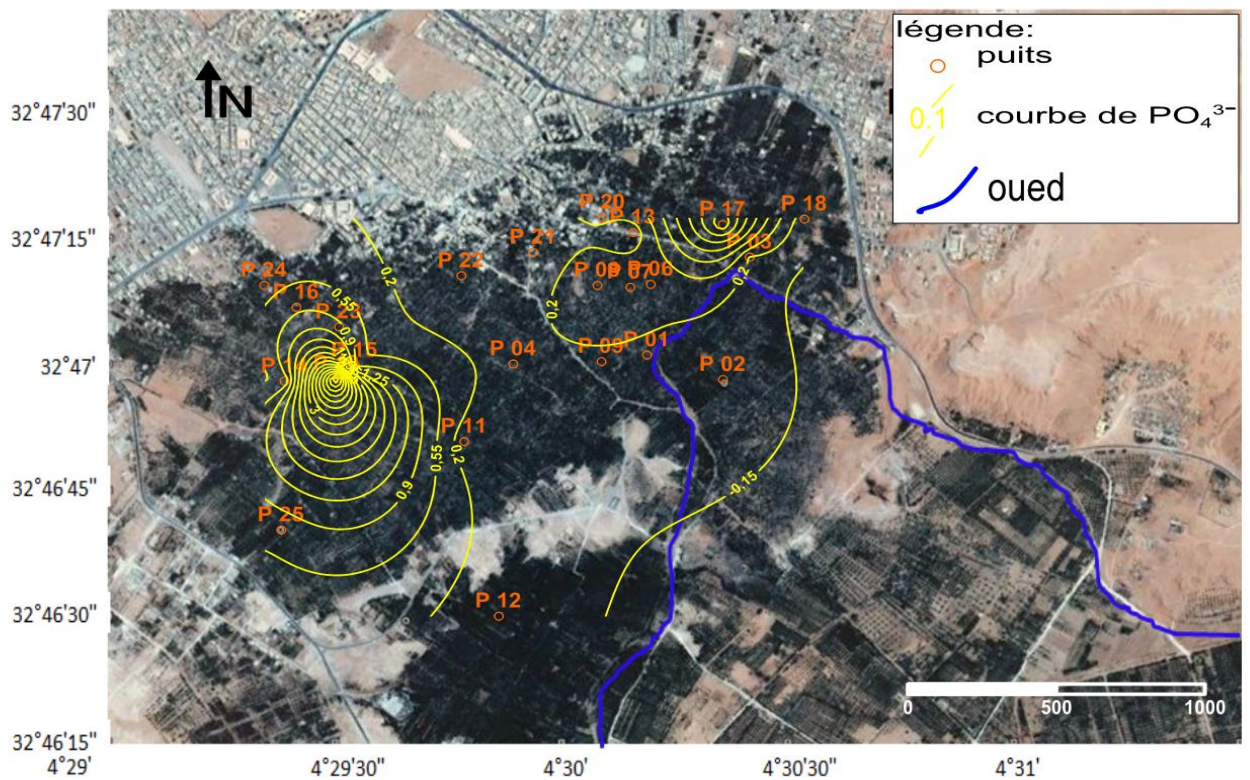


Fig.IV.28- Carte de répartition spatiale d'orthophosphate de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.4. Faciès chimiques de la nappe alluviale

La détermination du faciès chimique des eaux des nappes peut nous donner une idée sur l'origine de la composition chimique des eaux, pour cela on utilise la méthode graphique de Piper (1944).

IV.3.4.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux. Il s'agit d'une approche descriptive et comparative qui permet de représenter sur un même graphique un grand nombre de puits de suivi autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires.

A partir de la figure IV.29 qui représente le diagramme de piper de la deuxième campagne, on remarque à partir du triangle des anions la concentration de la majorité des puits dans le pôle sulfaté. Par ailleurs à partir du triangle des cations, on observe une dominance calcique dans 25 % des puits (P1, P10, P13, P16, P18, P24) et un puits (P12) tend vers le pôle magnésique, P11 vers le pôle sodi-potassique.

Le faciès chimique dominant dans la nappe de Guerrara est sulfatée calcique et magnésique et sulfatée sodique dans quelques sites de la région. Cette dominance sulfatée calcique et magnésique peut être interpréter par la présence des formations carbonatées et gypsifères.

Diagramme de Piper

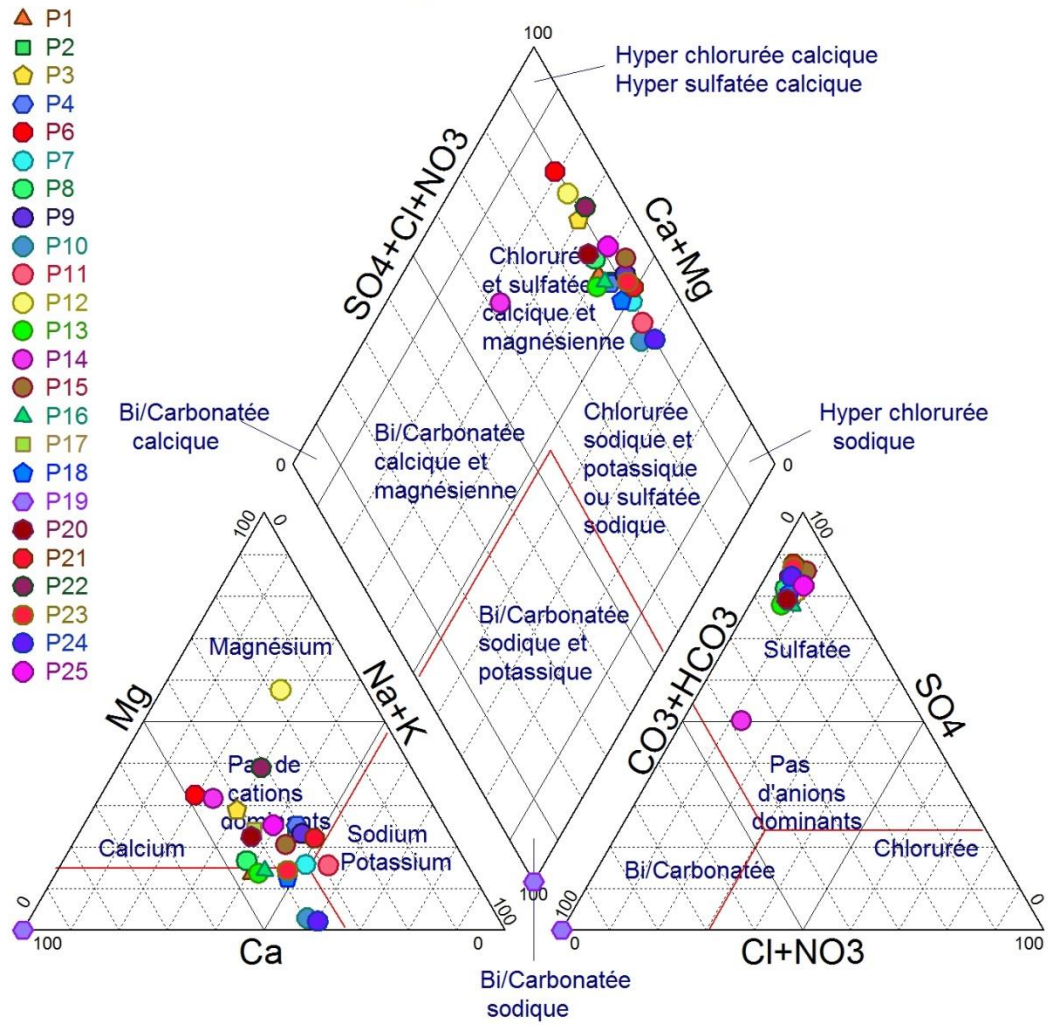


Fig.IV.29- Diagramme de Piper de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.3.5. Les paramètres bactériologiques

L'étude bactériologique des eaux de notre nappe a mis en évidence le degré de pollution de ses eaux et avoir l'origine de ses polluants. Les germes que nous avons dénombrés sont les indicateurs de pollution tels que les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

D'après le tableau IV.1 qui illustre les concentrations des différents germes durant la première campagne dans les sept (07) puits échantillonnés, on remarque des concentrations très variables d'un puits à un autre.

Les concentrations des coliformes totaux sont très variables, on remarque que les plus grandes concentrations sont au niveau des puits P22, P25 et B-O avec plus de 110 UFC/ml. Des concentrations aussi variables des coliformes fécaux où on marque 110 UFC/ml au puits P22 et leur absence au puits P20, P23, et P24.

Ses concentrations sont des indices de présence des excédents des eaux usées qui seraient dus aux fuites du réseau d'assainissement. Le lessivage des fumiers animaux surtout au voisinage de P25 pourraient être à l'origine de ses fortes concentrations.

L'absence des germes de coliformes fécaux indique que la pollution de ses puits n'est pas d'origine fécale.

Les normes de l'OMS recommandent qu'aucun germes de coliforme ne doit être présent dans l'eau potable. Nous pouvons donc conclure que les eaux de la nappe sont de mauvaise qualité.

Les concentrations des streptocoques fécaux varient entre 0 UFC/ml au puits B-O et 110 UFC/ml au P20. Les puits P22, P23, P24 et P18 ont des concentrations inférieures à 10 ml. Ces concentrations sont des indices de contamination d'origine fécale.

Tab. IV.1- Le nombre de germes des bactéries dans la nappe de Guerrara (Mars 2014)

<i>Puits</i>	<i>Coliformes/ml</i>		<i>Streptocoques Fécaux/ml</i>
	<i>Totaux</i>	<i>Fécaux</i>	
<i>P18</i>	4.3	0.36	9.3
<i>P20</i>	2.3	0	110
<i>P22</i>	110	110	2.3
<i>P23</i>	9.3	0	2.3
<i>P24</i>	2.3	0	9.3
<i>P25</i>	> 110	1.1	46
<i>B-O</i>	> 110	0.61	0

Pour la deuxième campagne, on observe des concentrations élevées des coliformes totaux et qui varient entre 4.3 UFC/ml aux puits P20 ; P24 et 110 UFC/ml aux puits P22 et B-O. Les concentrations des coliformes fécaux sont également élevées et varient entre 0 UFC/ml aux puits P20 et P24 et 110 UFC/ml au puits P22 (tableau IV.2).

Les concentrations des streptocoques fécaux varient entre 0 UFC/ml au puits B-O et 21 UFC/ml aux puits P20, P24 et P18.

Tab. IV.2- Le nombre de germes des bactéries dans la nappe de Guerrara (Aout 2014)

<i>Puits</i>	<i>Coliformes/ml</i>		<i>Streptocoques Fécaux /ml</i>
	<i>Totaux</i>	<i>Fécaux</i>	
<i>P18</i>	7.5	2	21
<i>P20</i>	4.3	0	21
<i>P22</i>	> 110	110	9.3
<i>P23</i>	15	0.36	7.5
<i>P24</i>	4.3	0	21
<i>P25</i>	24	2.1	15
<i>B-O</i>	110	1.1	0

D'après l'analyse des tableaux IV.1 et IV.2, on remarque que les concentrations des germes durant la deuxième campagne sont généralement supérieures à celles de la première campagne. Ceci est expliqué par le taux élevé de l'évaporation.

Il n'y a pas de puits qui représentent des valeurs nulles en trois types de germes, donc ces eaux sont de mauvaise qualité puisque les normes de l'OMS recommandent qu'aucun germe ne doit être présent dans l'eau potable.

Depuis plusieurs décennies, le rapport $R = CF/SF$ (coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux) était utilisé comme un élément de premier ordre pour déterminer l'origine de la pollution fécale. Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4 la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées) (BORREGO et ROMERO, 1982). Lorsqu'il est inférieur à 0.7, l'origine est animale. Dans ce cas, le bétail et en particulier les moutons, semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau. BORREGO et ROMERO (1982) ont envisagé différents cas pour expliquer l'origine de la contamination fécale en fonction du rapport de la valeur de R .

Pour les deux campagnes le rapport R (tableau IV.3) est inférieur à 0.7 dans les puits P18, P20, P23, P24, P25, donc la source de pollution est principalement d'origine animale. Ceci confirme les apports des polluants issus du lessivage des rejets d'élevage des animaux non traités ou l'impact des rejets des abattoirs qui sont concentrés par le sang des animaux abattus et par les débris de panse et les rejets de la tannerie proche du P24.

Le rapport R est supérieur à 4 au puits P22, ce qui indique que sa pollution est d'origine exclusivement humaine résultant des rejets urbains et des eaux usées des fosses males construites et non reliées au réseaux d'assainissement, ce puits est proche de l'agglomération urbaine au partie Nord du palmeraie (figure IV.30).

L'absence des streptocoques fécaux au puits B-O durant les deux campagnes signifie la contamination des eaux par les coliformes qui auraient pour origine une contamination due aux fuites dans le réseau d'assainissement.

Tab. IV.3- Origine de la pollution selon le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux ($R = CF/SF$).

Puits	Puits						
	P20	P22	P23	P24	P25	P18	B-O
R = CF/SF							
Campagne Mars 2014	0	47.83	0	0	0.02	0.04	--
Campagne Aout 2014	0	11.83	0.05	0	0.14	0.10	--

" $R < 0.7$ Principalement ou entièrement d'origine animale, R compris entre 0.7 et 1 mixte à prédominance animale, R compris entre 1 et 2 origine incertaine, R compris entre 2 et 4 mixte à prédominance humaine, $R > 4$ source exclusivement humaine"

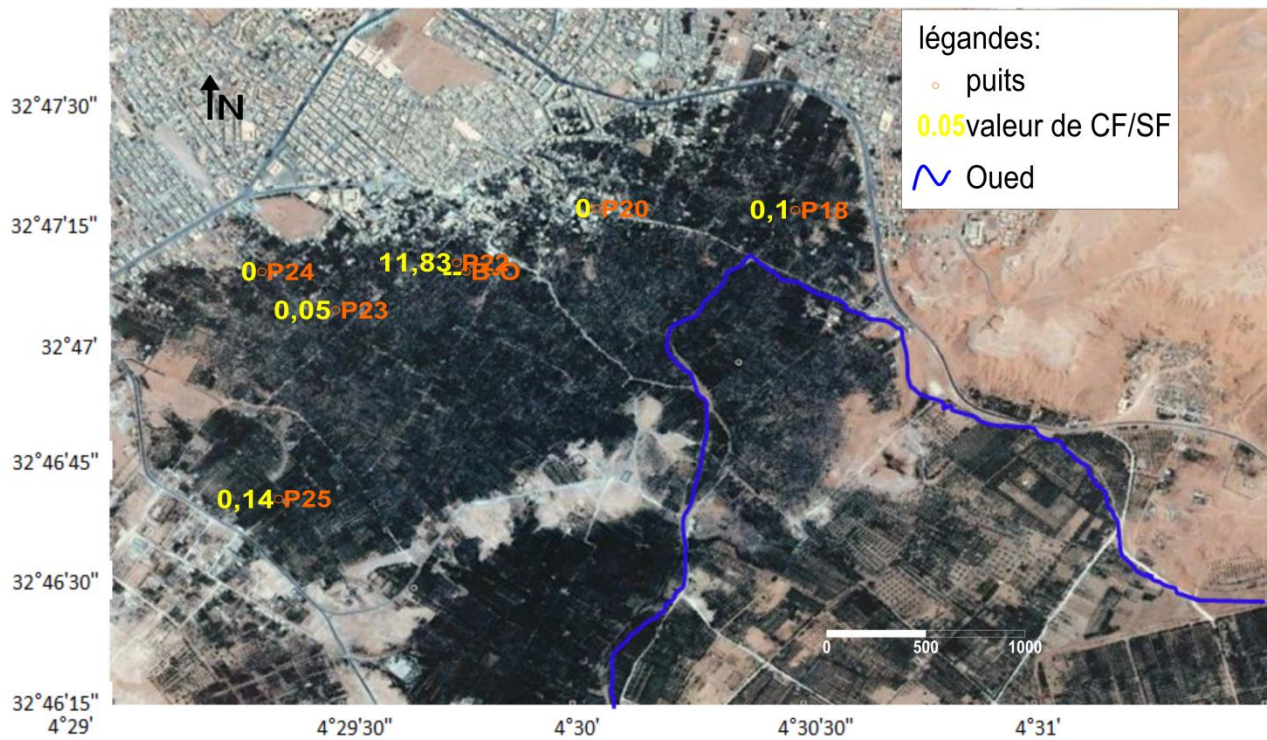


Fig. IV.30 -Répartition du rapport ($R = CF/SF$) des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.4. Présence de biogaz dans l'eau

Le sulfure d'hydrogène est modérément soluble dans l'eau. Dans ce compartiment, l' H_2S ne reste sous sa forme qu'en l'absence d'oxygène. Il peut s'oxyder rapidement en présence d'oxygène dans les eaux de surface, et en présence de peroxyde d'hydrogène dans les eaux de pluie et les aérosols.

Le sulfure d'hydrogène peut s'évaporer rapidement dans l'air en fonction de conditions telles que la température ou le pH.

Les concentrations relatives de H_2S dépendent des conditions physico-chimiques du milieu notamment du pH, de la température, de la salinité, de la force ionique et de la concentration en oxygène dissous

À un pH de 9, environ 1 % du sulfure d'hydrogène est sous forme non dissociée, alors qu'aux pH de 6.7 et de 5, 50 % et environ 99 % respectivement sont sous la forme non dissociée (SMITH et OSEID, 1975).

Les concentrations en sulfure d'hydrogène augmentent avec la diminution du pH et la diminution de la salinité. De même, le taux d'oxydation du sulfure d'hydrogène augmente avec la température. Les sulfures peuvent aussi réagir chimiquement avec l'oxygène dissous.

Le sulfure d'hydrogène en milieu aqueux acide, et en présence de composés sulfurés, est significativement dissocié, ce qui rend parfois difficile de connaître l'origine de l'ion sulfure, il peut provenir de la décomposition des matières organiques qui se trouvent sous la terre ou à l'eau comme les végétaux, ou encore de la réduction chimique des sulfates par les bactéries sulfatoréductrices. (ADAM et *al.*, 2011).

Le tableau IV.4 montre les résultats de suivi de la présence du H_2S dans les eaux de la nappe de Guerrara. Le tableau IV.4 montre l'absence totale des gaz combustibles (limite inférieure d'explosivité, CH_4) dans tous les puits et aussi l'absence de monoxyde de carbone (CO) dans la plus parts des puits sauf BO-1 où la concentration est de 25 mg/l

Tab. IV.4- Concentrations des biogaz dans les eaux de la nappe de Guerrara

Puits	H₂S (mg/l)	Gaz combustibles (%)	CO (mg/l)	O₂ (%)
CH-1	0	0	0	Diminution O ₂
CH-2	0	0	0	Diminution O ₂
AH-1	0	0	0	pas de signal
BO-1	+175	0	25	pas de signal
DA-1	0	0	0	pas de signal
DA-2	0	0	0	pas de signal
SM-1	7	0	0	pas de signal
SM-2	0	0	0	pas de signal
MAH-1	0	0	0	pas de signal

Par ailleurs, on remarque la présence du H₂S dans deux puits, le premier BO-1 qui se trouve dans la partie Nord de la palmeraie et le puits SM-1 au Nord-Ouest de la palmeraie (Figure IV.31) avec des concentrations de 07 mg/l à SM-1 et plus de 175 mg/l à BO-1. Ces valeurs sont supérieures à la norme fixée par l'OMS qui est de 0.05 mg/l.

Les deux puits sont mal entretenus et abandonnés. Ils présentent des conditions confinées avec absence d'une bonne aération et contiennent des déchets et des débris végétaux.

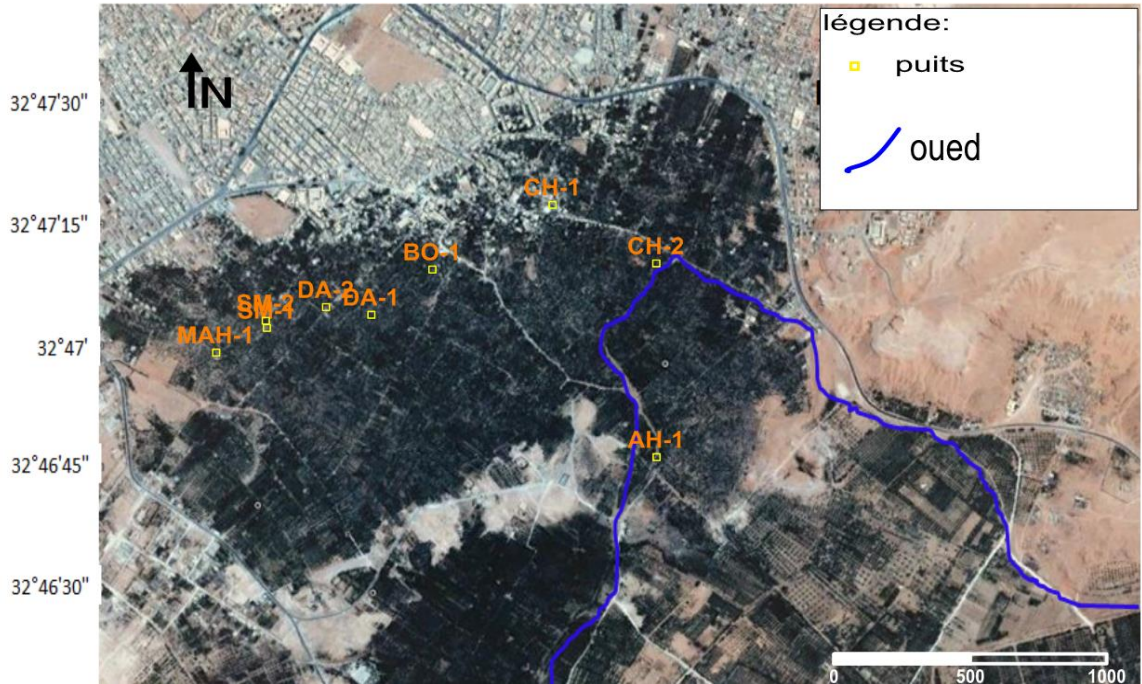


Fig. IV.31- Répartition des puits ciblés pour la détection des biogaz dans la nappe de Guerrara

IV.5. Etat de la qualité de la nappe à l'AEP

Les eaux souterraines ne sont pas chimiquement pures, elles contiennent toujours une certaine quantité de sels dessous qui confèrent une certaine saveur, odeur et couleur acceptable jusqu'à un seuil de potabilité fixé par l'O.M.S.

D'après l'organisation Mondiale de la Santé, l'eau de boisson ou l'eau potable peut être définie comme une eau ne renfermant en quantités dangereuses ni substances chimiques ni germes nocifs pour la santé.

A partir du tableau IV.5 on peut apercevoir la potabilité des eaux de notre nappe par la comparaison entre les concentrations des échantillons d'eau en ions chimiques durant la deuxième campagne et les concentrations fixées par l'OMS.

Tab. IV.5- Potabilité des eaux de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

Paramètres	Normes de l'OMS	Min.	Max.	Moy.
HCO₃⁻ (mg/l)	250	97.60	348.92	249.44
SO₄⁻² (mg/l)	500	153.50	2563.34	1488.55
Cl⁻ (mg/l)	250	138.3	822.5	452.25
NO₃⁻ (mg/l)	50	0.10	2.30	0.60
NO₂⁻ (mg/l)	3	0	0.36	0.03
PO₄⁻³ (mg/l)	5	0	5.89	0.62
Ca⁺² (mg/l)	100	97.80	1210.42	450.97
Mg⁺² (mg/l)	50	15.36	1034.40	173.88
Na⁺ (mg/l)	150	50.00	1375	547.79
K⁺ (mg/l)	12	16.66	100	39.58
Fe⁺² (mg/l)	0.3	0	1.32	0.19
NH₄⁺ (mg/l)	0,2	0.06	0.89	0.41
pH	6.5 < pH < 9.5	6.74	7.78	7.29
CE (dS/cm)	2.5	0.87	11.91	4.95
Tur (UTN)	5	0,58	10	3.87

L'analyse du tableau IV.4 nous permet de constater les résultats suivants :

- Dix puits (41.67%) ont des concentrations en bicarbonates inférieurs à la limite fixée par l'OMS.
- Seulement un puits (P14) a une concentration en sulfates inférieure à la limite fixée par l'OMS.
- Trois puits (P9, P14 et P21) ont des concentrations en chlorures inférieure à la limite fixée par l'OMS.
- Tous les puits ont des concentrations en nitrates inférieure à la limite fixée par l'OMS.
- Tous les puits ont des concentrations en nitrites inférieure à la limite fixée par l'OMS.

-Seulement le puits P14 a une concentration en calcium inférieure à la limite fixée par l'OMS.

-Trois puits (13.04 %) qui sont P10, P14 et P24 ont des concentrations en magnésium inférieure à la limite fixée par l'OMS.

-Seulement le puits P14 à une concentration en sodium inférieure à la limite par l'OMS.

- Aucun puits à une concentration en potassium inférieure à la limite fixée par l'OMS.

-Dix-sept puits (73.91%) ont des concentrations en fer inférieure à la limite fixée par l'OMS.

-Seulement deux puits (8.69%) qui sont P14 et P21 ont des concentrations en ammonium inférieure à la limite fixée par l'OMS.

-Seulement le puits P10 à une concentration en orthophosphate supérieure à la limite fixée par l'OMS

-Tous les puits ont des valeurs en pH qui se situent à la limite d'eau potable.

-Seulement le puits P14 a une valeur de conductivité inférieure à la limite fixée par l'OMS.

Donc on conclue que durant la deuxième campagne seulement les eaux du puits P14 répondent aux normes de l'OMS.

IV.6. Aptitude des eaux à l'irrigation

Etant donnée la rareté des apports pluviométriques dans la région de Guerrara et l'intensité d'évaporation, les agriculteurs sont dans l'obligation de s'orienter vers l'irrigation des cultures.

Par ailleurs, l'exploitation intensive et irrationnelle des eaux pourrait introduire un risque de salinisation et sodisation des sols et dégradation des nappes situées à de faibles profondeurs (HEMIDI, 2013).

Pour voir l'aptitude des eaux de la nappe alluviale à l'irrigation nous avons utilisé deux méthodes qui sont: la méthode de la salinité (CE) et la méthode de l'alcalinité S.A.R (taux d'absorption du sodium).

IV.6.1. La salinité

Selon AYERS et WESTCOT (1988) *in* ZIANI (2009); quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture.

En fonction de la conductivité électrique, l'eau peut être classée en trois catégories :

-Si la salinité exprimée par la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation;

Si la C.E. varient entre 700 et 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne;

-Si elle est supérieure à 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

L'analyse du tableau IV.6 montre que la plupart des puits ont des eaux avec une restriction forte durant les deuxième campagne avec un pourcentage égale à 78.26% (18 puits) donc ses eaux ne sont pas propres à l'irrigation. Etant donné que le reste ont une restriction légère et moyenne avec 21.73%, ses eaux sont acceptables pour les cultures tolérants la salinité comme les palmiers et les cultures aux sols ayant un bon drainage.

**Tableaux IV.6 - Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation
(salinité)**

<i>Restriction pour salinité</i>	<i>Conductivité électrique (µs/cm)</i>	<i>Pourcentage des échantillons Campagne Aout 2014</i>
<i>Aucune</i>	< 700	0
<i>Légère à moyenne</i>	700 < CE < 3000	21.73
<i>Forte</i>	> 3000	78.26

IV.6.2. Classification de RICHARDS (1954)

Pour classer les eaux d'irrigation, il est nécessaire d'évaluer la concentration en ions Na⁺ dans le sol. Cet élément remplace dans le complexe absorbant le calcium ou le magnésium adsorbés sur les feuillets d'argile, donc provoque la dispersion des particules du sol.

La déstructuration des sols argileux due à la réduction de sa perméabilité donc le risques d'asphyxie racinaire.

Si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium il devient extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio) (S.A.R).

Le S.A.R décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium.

Pour l'évaluation de l'aptitude d'une eau pour l'irrigation on utilise le diagramme établi par l'United States Salinity Laboratory Staff de Riverside en Californie (USA) (1954) et qui a été modifié par Durand en 1958.

Ce diagramme est basé sur la concentration du sodium par rapport à celle du calcium et du magnésium selon la relation suivante qui définit le rapport du sodium absorbé.

Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous:

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

Avec :

Na : concentration des ions sodium en méq/l

Ca : concentration des ions calcium en méq/l

Mg : concentration des ions magnésium en méq/l

Quatre classes de risque alcalin ont été définies:

- Si le SAR est inférieur à 10 le risque d'alcalinité est faible;
- Si le SAR est compris entre 10 et 18 le risque d'alcalinité est moyen;
- Si le SAR est compris entre 18 et 26 le risque d'alcalinité est élevé;
- Si le SAR est supérieur à 26 le risque d'alcalinité est très élevé.

Tab. IV.7- Degré d'aptitude de la nappe de Guerrara à l'irrigation selon le SAR

<i>Risque d'alcalinité</i>	<i>SAR</i>	<i>Pourcentage d'échantillons Campagne Aout 2014</i>
<i>Faible</i>	< 10	95.65%
<i>Moyen</i>	10 < SAR < 18	4.35%
<i>Elevé</i>	18 < SAR < 26	0
<i>Très élevé</i>	SAR > 26	0

L'observation du tableau IV.7 montre que la plus part des puits ont un risque d'alcalinité faible durant la deuxième campagne avec un pourcentage de 95.65%. Un puits (P24) a un risque d'alcalinité moyen.

La figure IV.32 donne la classification des eaux par la méthode de S.A.R. de la deuxième campagne.

L'observation de la figure IV.32 permet de conclure que les puits durant la deuxième campagne sont regroupés selon le risque de salinité en trois groupes:

-Classe Moyenne : représentée par puits (P14), dans la classe C3.S1. Ces eaux de qualité admissible sont en général des eaux convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

-Classe élevée: représentée par quatorze puits; Les puits : P1, P3 et P9 appartiennent à la classe C4.S1 et P2, P4, P8, P11, P12, P13, P16, P17, P20, P21 et P23 dans la classe C4.S2.

Ses eaux sont de qualité médiocre, eaux fortement minéralisées pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

-Classe très élevée: nous avons huit puits dans cette classe : P6, P10, P15, P18, P22 et P25 appartenant à la classe C5.S2 et P7 et P24 à la classe C5.S3.

. Ces eaux sont uniquement acceptables pour irriguer des plantes très tolérantes au sel dans des terrains très perméables, avec un drainage et un lessivage conséquents.

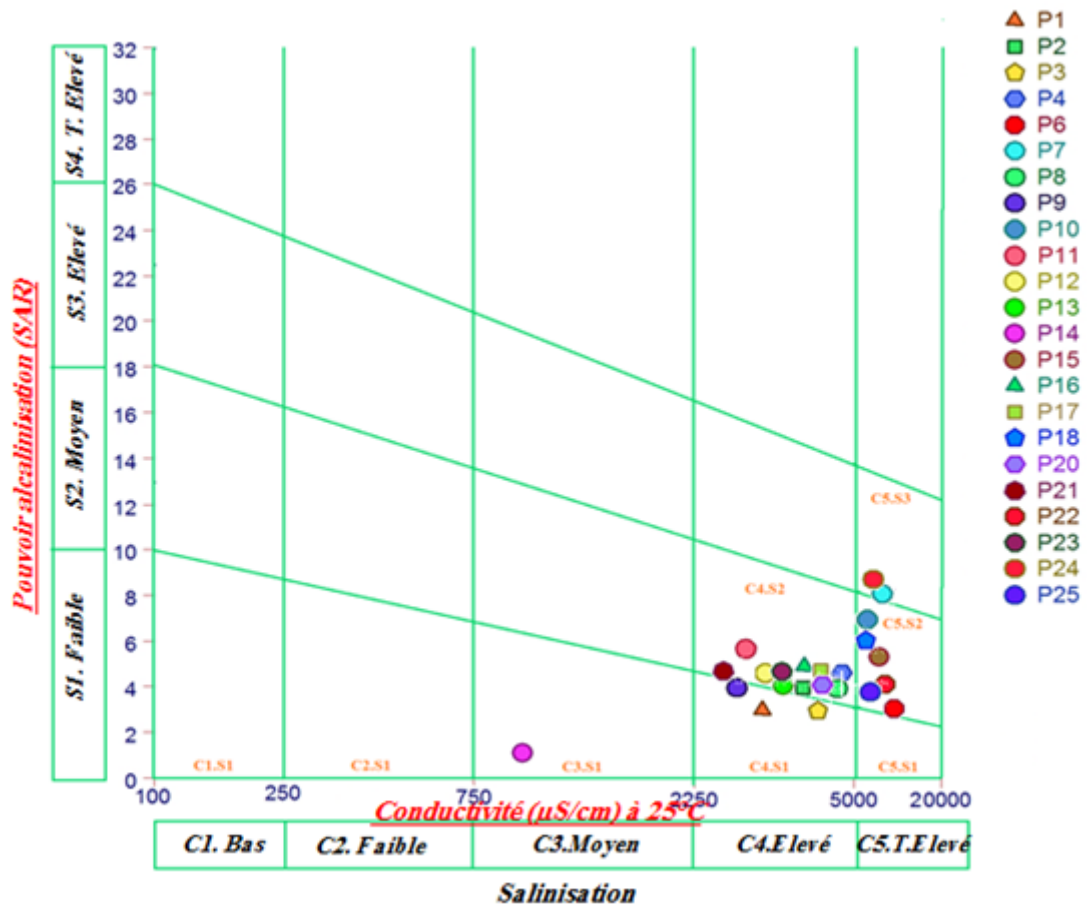


Fig. IV.32- Diagramme d'aptitude de la nappe de Guerrara à l'irrigation (Aout 2014)

IV.6.3. Classification de Wilcox (1948)

Etant donné que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium et en vue de voir l'aptitude de la nappe de Guerrara à l'irrigation nous avons également fait recours à la classification de Wilcox. Cette méthode est basée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau et elle est définie par la relation suivante:

$$Na^+ (\%) = \left[\frac{rNa^+}{r(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right] \times 100$$

Les résultats obtenus sur la figure IV.30 qui représente successivement le diagramme de Wilcox de la deuxième campagne ont été regroupés dans le tableau IV.8.

Tab. IV.8 - Classification des eaux d'irrigation de la nappe de Guerrara selon Wilcox

<i>Classes</i>	<i>Pourcentage des échantillons</i> <i>Campagne Aout 2014</i>
<i>Bonne</i>	4.35
<i>Admissible</i>	0
<i>Médiocre</i>	17.39
<i>Mauvaise</i>	78.26

L'examen du tableau IV.8 montre que durant la deuxième campagne seulement un puits (P14) est de bonne qualité (4.35%), quatre puits (P11, P21, P9 et P3) de qualité médiocre avec 17.39 % et dix-huit puits (78.26%) de mauvaise qualité.

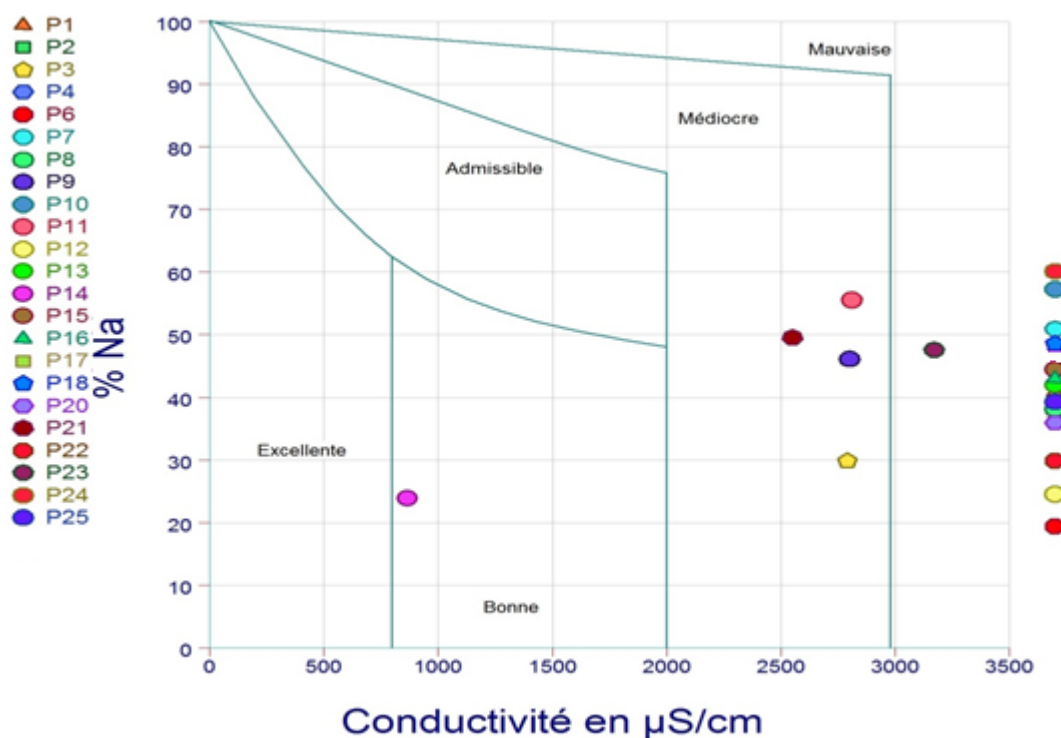


Fig. IV.33 –Diagramme de Wilcox de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.7. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'informations contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (puits) sur lesquels sont mesurées des « variables » quantitatives : conductivité électrique (CE), pH, teneurs en Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

IV.7.1. Application de l'ACP aux données chimiques des eaux de Guerrara

Pour expliquer les origines des ions chimiques présents dans les eaux de la nappe de Guerrara, nous avons réalisé plusieurs scénarios, à partir de l'analyse en composantes principales. Ces ACP représentent les résultats des analyses des eaux de la deuxième campagne.

L'analyse effectuée est une ACP centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau à 14 Variables et à 23 échantillons d'eau prélevés au cours de la deuxième campagne.

L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel STATISTICA.

Tab. IV. 9- Les corrélations entre les variables deux à deux

	pH	CE	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
pH	1.00													
CE	-0.41	1.00												
NO ₂ ⁻	-0.10	0.51	1.00											
PO ₄ ³⁻	0.03	0.02	-0.06	1.00										
HCO ₃ ⁻	-0.50	0.55	0.12	0.22	1.00									
SO ₄ ²⁻	-0.41	0.83	0.37	0.03	0.63	1.00								
NO ₃ ⁻	0.06	-0.02	0.14	-0.08	-0.11	-0.17	1.00							
Cl ⁻	-0.31	0.77	0.48	0.07	0.57	0.79	0.09	1.00						
Fe ²⁺	-0.25	0.09	0.05	0.31	0.38	0.30	0.18	0.24	1.00					
NH ₄ ⁺	0.08	0.37	0.23	0.37	0.27	0.44	-0.13	0.46	-0.05	1.00				
Ca ²⁺	-0.32	0.85	0.14	0.06	0.54	0.65	-0.12	0.45	0.04	0.20	1.00			
Mg ²⁺	-0.36	0.58	0.18	-0.21	0.33	0.50	0.13	0.54	0.21	-0.05	0.48	1.00		
Na ⁺	-0.30	0.67	0.12	0.21	0.52	0.79	-0.06	0.69	0.05	0.57	0.51	0.36	1.00	
K ⁺	0.04	0.55	0.43	0.12	0.01	0.43	0.42	0.47	0.14	0.17	0.40	0.07	0.37	1.00

D'après Mangin la corrélation significatif pour 23 couples de données est de : $r = 0.684$. L'analyse du tableau IV montre des corrélations significatives:

- La conductivité électrique (C.E) est fortement corrélé avec Ca^{2+} , SO_4^{2-} et Cl^- ce qui signifie que l'origine de la salinité est liée aux concentrations élevées en ses ions.
- Les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont fortement corrélés avec Na^+ et Cl^-
- Les chlorures (Cl^-) sont aussi fortement corrélés avec Na^+ ce qui indique leur même origine que serait la dissolution des NaCl.

IV.7.2-Etude des variables

IV.7.2.1-Projection des variables

L'ACP consiste à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs non corrélés entre eux. Ces facteurs rendant compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données. Cette méthode permet de représenter les données originelles (individus et variables) dans un espace de dimension inférieure à l'espace originel tout en limitant la perte d'information. La représentation des données dans des espaces à deux dimensions facilite considérablement l'analyse.

L'analyse a été poussée jusqu'à trois (03) facteurs. A ce stade seulement 63.50% de la variance totale ont pu être exprimées (Tableau IV.10). Le faible pourcentage de la variance exprimée par le troisième facteur est de 11.87%, montre qu'il n'existe pas de structure forte dans l'échantillonnage réalisé. Cela démontre que de nombreux facteurs interviennent sur la structure des échantillons, facteurs qui ne sont pas liées les uns aux autres. Ceci s'est répercuté sur la matrice de corrélation où on a seulement quelques corrélations significatives. Il faut signaler que 23 individus ont été introduits avec 14 variables.

Tab. IV.10- Pourcentage de variance exprimée

	F1	F2	F3
Variance exprimée (%)	39.44	12.19	11.87
Variance cumulée (%)	39.44	51.63	63.50

L'analyse du plan factoriel « F1- F2 » (Figure IV.34) et (Tableau IV.11) où 51.63% de la variance totale sont exprimées. Le facteur F1 est fort déterminé négativement par C.E., HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ ce qui confirme l'origine des éléments dissous dans l'eau de la nappe de Guerrara.

Le facteur F2 est fort déterminé positivement par les ions : NO_3^- , NO_2^- et K^+ .

Sur le plan factoriel « F1- F3 » (Figure IV.35), le facteur F3 qui exprime 11.87% de la variance totale est fort déterminé positivement par Mg^{2+} et déterminé négativement par NH_4^+ et PO_4^{3-} .

Tab. IV. 11- Corrélation facteurs-variables

Variables	F1	F2	F3
pH	0.47	0.42	-0.43
CE	-0.94	0.11	0.09
NO_2^-	-0.44	0.53	0.03
PO_4^{3-}	-0.14	-0.16	-0.67
HCO_3^-	-0.70	-0.45	0.01
SO_4^{2-}	-0.92	-0.08	-0.02
NO_3^-	0.00	0.67	0.26
Cl^-	-0.87	0.15	-0.02
Fe^{2+}	-0.28	-0.12	0.11
NH_4^+	-0.47	0.02	-0.73
Ca^{2+}	-0.75	-0.11	0.11
Mg^{2+}	-0.59	-0.06	0.56
Na^+	-0.80	-0.09	-0.28
K^+	-0.50	0.71	-0.11

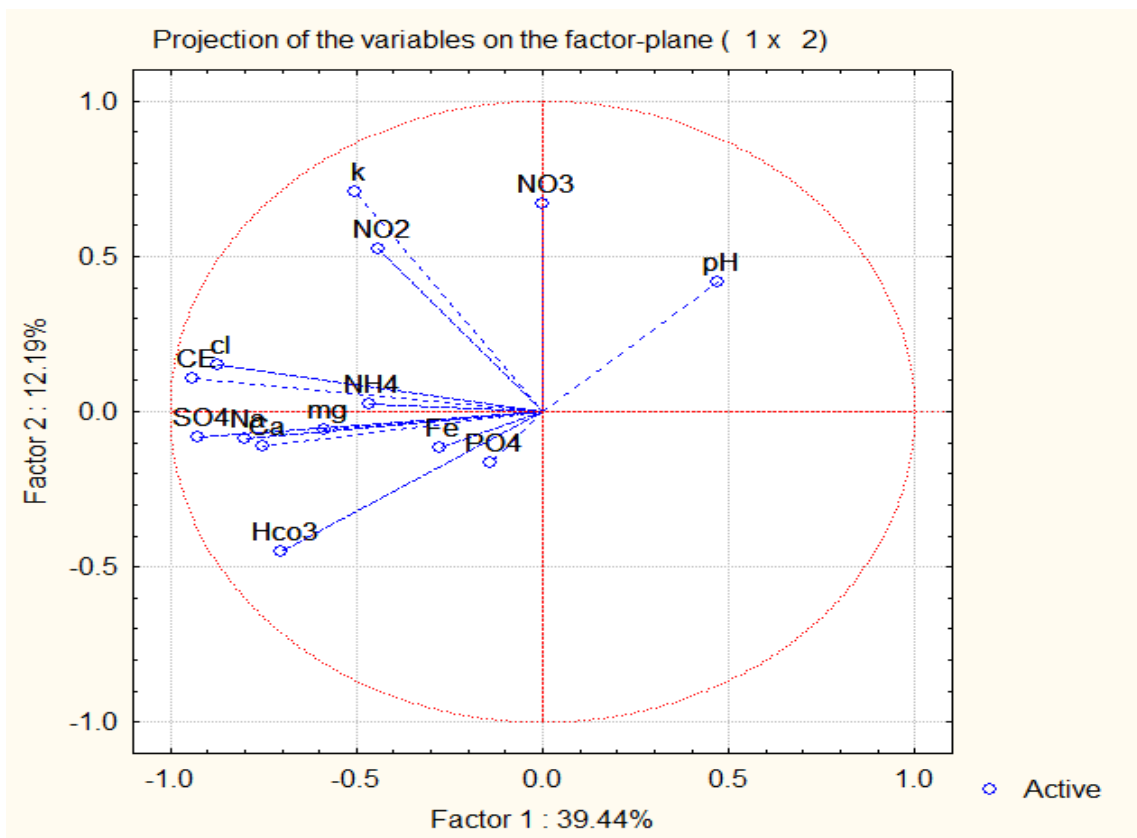


Fig. IV.34-Cercle de corrélation F1- F2

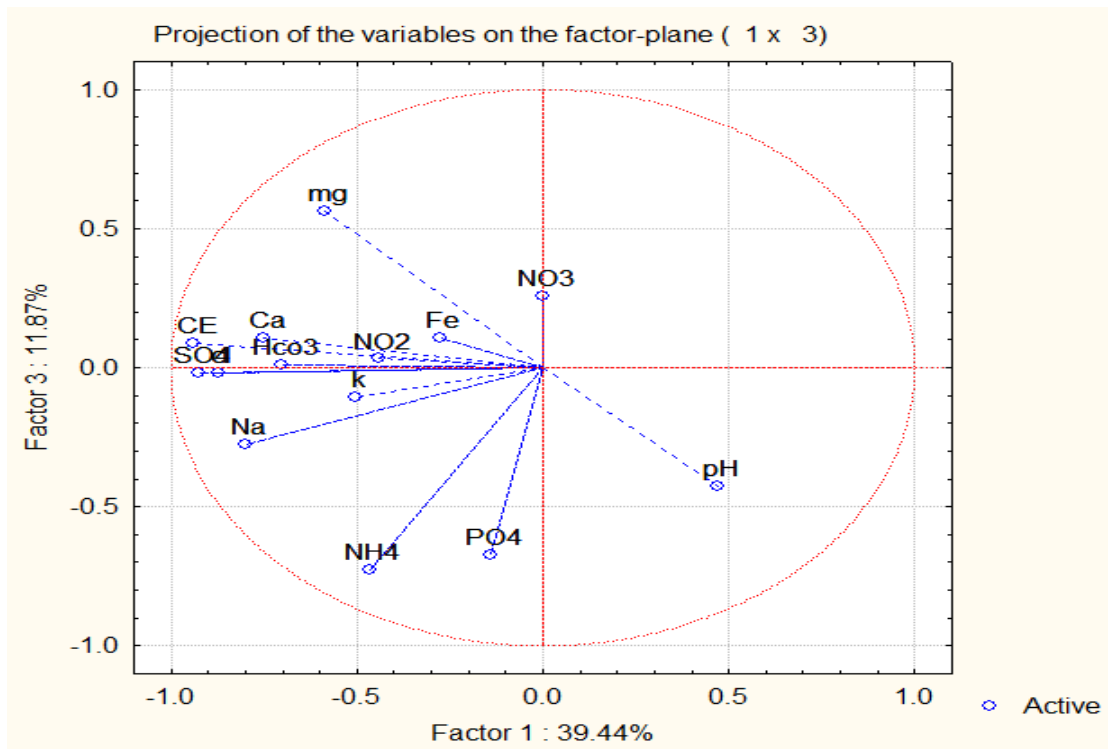


Fig. IV.35- Cercle de corrélation F1- F3

IV.7.2.2. Projection des individus

La projection des individus (puits) sur les facteurs F1-F2 est une méthode permettant de discerner des groupes et de tester l'appartenance d'un individu à un groupe en fonction des valeurs prises par plusieurs variables. La figure IV montre l'apparition de 4 groupes de puits:

-Le premier groupe comporte les individus déterminés négativement avec F1 et positivement avec F2 dont les individus : P7, P15, P22, P25 qui sont en tendance avec NH_4^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- et C.E. et qui sont localisés aux limites (P22, P25) et au centre (P7, P15) de la palmeraie. Ils sont caractérisés par de fortes concentrations en éléments polluants d'origine agricole.

-Le deuxième groupe comporte les individus déterminés négativement avec F1 et F2 dont les individus : P6, P8, P10, P12, P16, P17, P18, P20 et P24 qui sont en tendance avec Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- et PO_4^{3-} . Ces puits dont certains sont localisés au voisinage des zones d'activités industrielles proches de la palmeraie présentant une composition chimique de la nappe en ces ions qui serait donc issue soit de la dissolution du gypse, dolomie, évaporites ou bien serait d'origine industrielle ou agricole.

-Le troisième groupe comporte les individus déterminés positivement avec F1 et F2 dont les individus: P9, P11, P14 qui sont en tendance avec pH.

-Le quatrième groupe comporte les individus déterminés positivement avec F1 et négativement avec F2 dont les individus : P1, P2, P3, P4, P13, P21 et P23

Les puits du troisième et quatrième groupe sont localisés à l'intérieur de la palmeraie et sont caractérisés par l'absence des sources précises des éléments chimiques dominants.

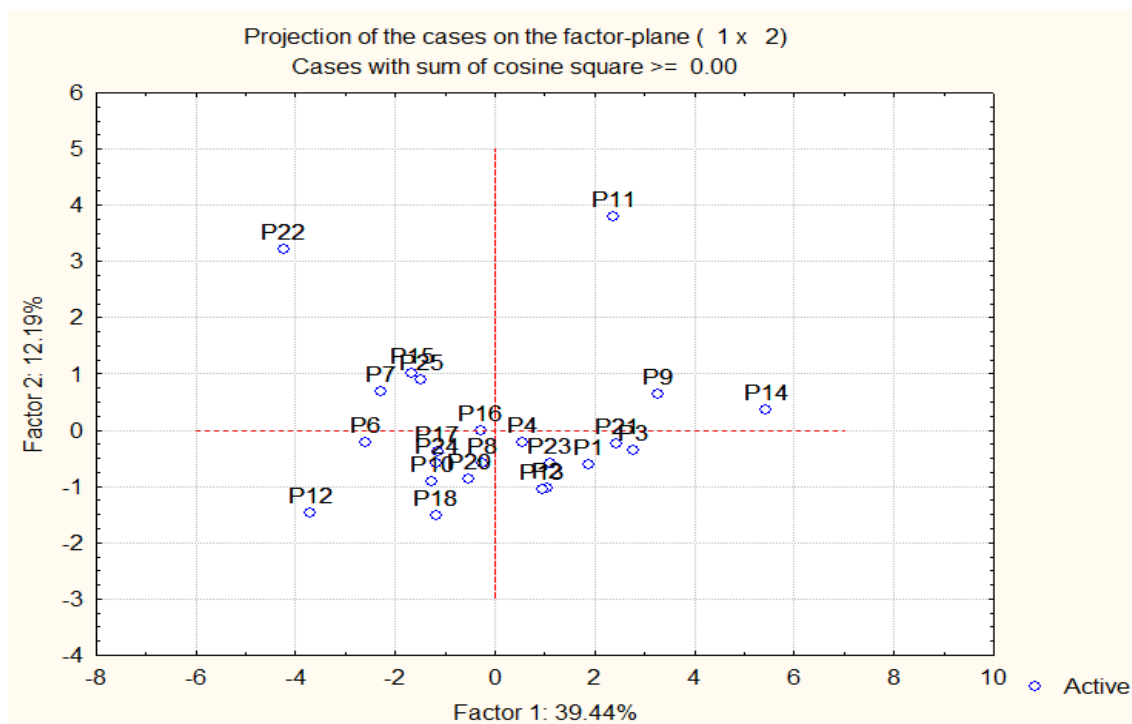


Fig. IV. 35. Projection des individus sur les facteurs F1-F2

L'observation de la figure IV.36 qui illustre la projection des individus sur les facteurs F1-F3 nous permet de distinguer les groupes suivants:

-Le premier groupe comporte les individus déterminés négativement avec F1 et positivement avec F3 dont les individus: P6, P12, P18, P20, P22 qui sont en tendance avec Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- et C.E.

-Le deuxième groupe comporte les individus déterminés négativement avec F1 et F3 dont les individus : P6, P7, P8, P10, P16, P17, P18, P22, P24 et P25 qui sont en tendance avec Na^+ , K^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- et PO_4^{3-} .

-Le troisième groupe comporte les individus déterminés positivement avec F1 et F3 dont les individus P2, P3, P4, P11, P13 et P14.

-Le quatrième groupe comporte les individus déterminés positivement avec F1 et négativement avec F3 dont les individus : P1, P9 et P23 qui sont en tendance avec le pH.

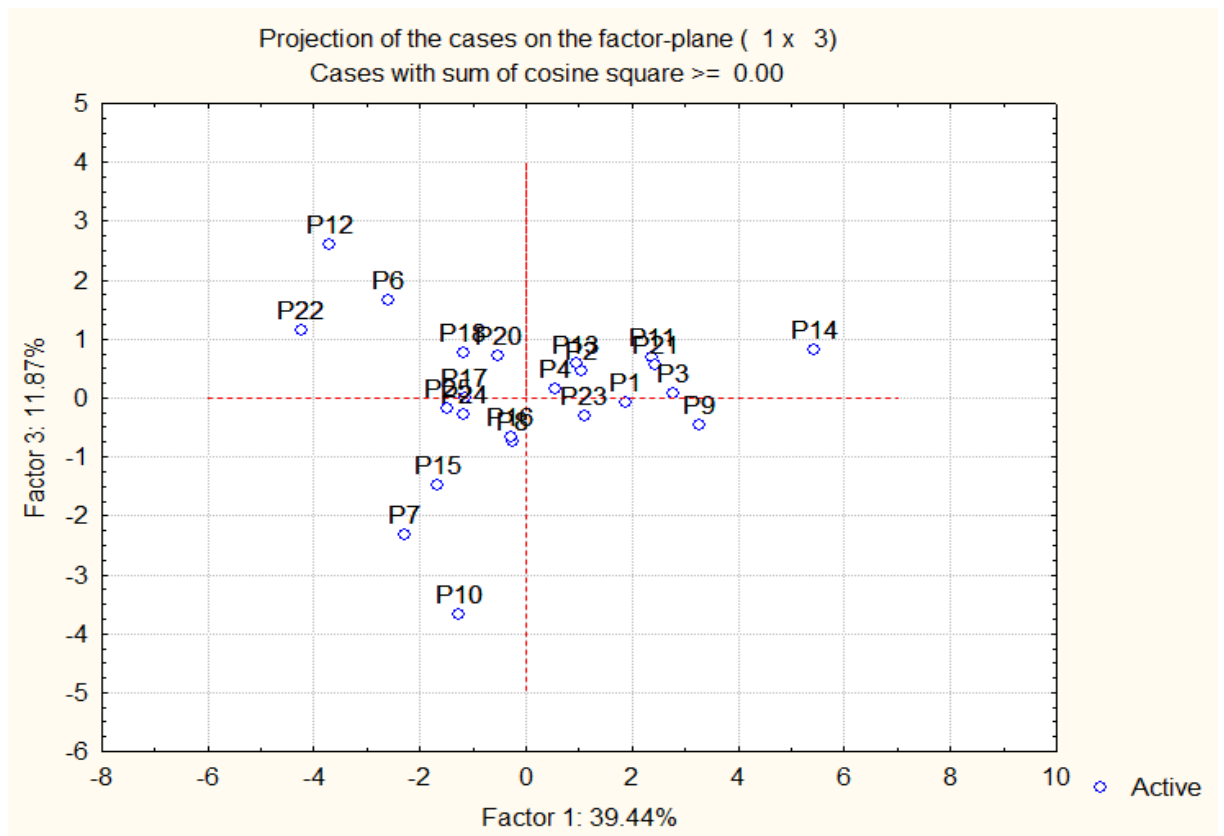


Fig. IV.36- Projection des individus sur les facteurs F1-F3

IV.8. Evaluation de la pollution organique

La pollution organique est un type de pollution chimique provoquée par les polluants carbonés, comme la matière organique (lisier, boues d'épuration, etc.), les organochlorés (pesticide, insecticide).

Pour mieux estimer la qualité des eaux quelques règles d'interprétation des données hydrobiologiques sont introduites tel que les méthodes exprimant essentiellement la pollution organique.

Le code de couleurs est maintenant utilisé partout : rouge pour la pollution organique très forte, l'orange pour la pollution organique forte, jaune pour l'eutrophisation, le vert pour la pollution faible (due à une faible pollution organique ou à une eutrophisation faible) et le bleu pour les eaux naturelles.

Les paramètres retenus pour le calcul des divers indices sont: l'oxygène dissous, la DCO, la DBO5, l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates, le phosphore (orthophosphates et phosphore total), l'oxydabilité.

D'après CHAOUI (2007), les trois indices calculés pour classer notre eau de la nappe sont:

- Indice de pollution organique (IPO, LECLERCQ et MAQUET, 1987)
- Lisec-Index (BECKERS & STEEGMANS, 1979)
- Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE, 1986)

IV.8.1 -L'indice de pollution organique

L'établissement d'une carte de pollution organique des eaux de la nappe de Guerrara nous renseigne sur l'influence des rejets et la qualité des eaux par le biais d'un indice de pollution organique. Ce dernier est calculé selon la méthode de LECLERCQ et MAQUET (1987) dont le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes, de déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne (Tableau IV.12).

L'IPO est la moyenne des quatre paramètres qui sont : DBO 5, l'ammonium, nitrites, et phosphates.

Tab. IV.12- Les classes des paramètres retenus pour le calcul d'IPO

<i>Paramètres Classes</i>	<i>DBO 5 mg-O₂/l</i>	<i>Ammonium mg -N/l</i>	<i>Nitrites µg-N/l</i>	<i>Phosphates µg-P/l</i>
5	< 2	< 0.1	5	15
4	2 – 5	0,1– 0.9	6 – 10	16 – 75
3	5.1 – 10	1– 2.4	11 – 50	76 – 250
2	10.1 – 15	2.5 – 6.0	51 – 150	251 – 900
1	> 15	> 6	> 150	> 900

IPO = moyenne des numéros des classes des 04 paramètres

Le tableau IV. 13 montre les classes de l'IPO et les taux d'IPO au niveau des puits captant la nappe alluviale dans la région du Guerrara .

Tab. IV. 13- Les valeurs d'IPO des eaux de la nappe de Guerrara

<i>Classe</i>	<i>Intervalle d'IPO</i>	<i>Degré de pollution organique</i>	<i>Couleur</i>	<i>Nombre de puits</i>	<i>Pourcentage des puits</i>
5	5.0 – 4.6	nulle	Bleu	2	8.69
4	4.5 – 4.0	faible	Vert	4	17.39
3	3.9 – 3.0	modérée	Jaune	9	39.13
2	2.9 – 2.0	forte	Orange	8	34.78
1	1.9 – 1.0	très forte	Rouge	0	0

A partir du tableau IV.13 on remarque que seulement 8.69% des puits ont un taux de pollution nulle. Cependant, 17.39%, 39.13% et 34.78% ont respectivement un taux de pollution organique faible, modéré et forte.

Les valeurs d'IPO obtenues nous ont permis de tracer la carte de sa répartition spatiale dans la région de Guerrara pour la campagne d'Aout 2014 (figure IV.38)

L'observation de la carte (figure IV.38) montre que la pollution organique augment vers le Nord et le Nord-Ouest. On remarque une pollution organique nulle dans la partie Sud au puits P11 et P12. Elle est faible en allant du centre vers le Sud-Est

et modéré dans la partie Nord, au centre et à l’Ouest (P6, P13, P14 et P21....). La pollution organique est forte dans la partie Nord (P7, P8, P17), Nord-Ouest (P10, P15, P23) et Sud-Ouest (P25).

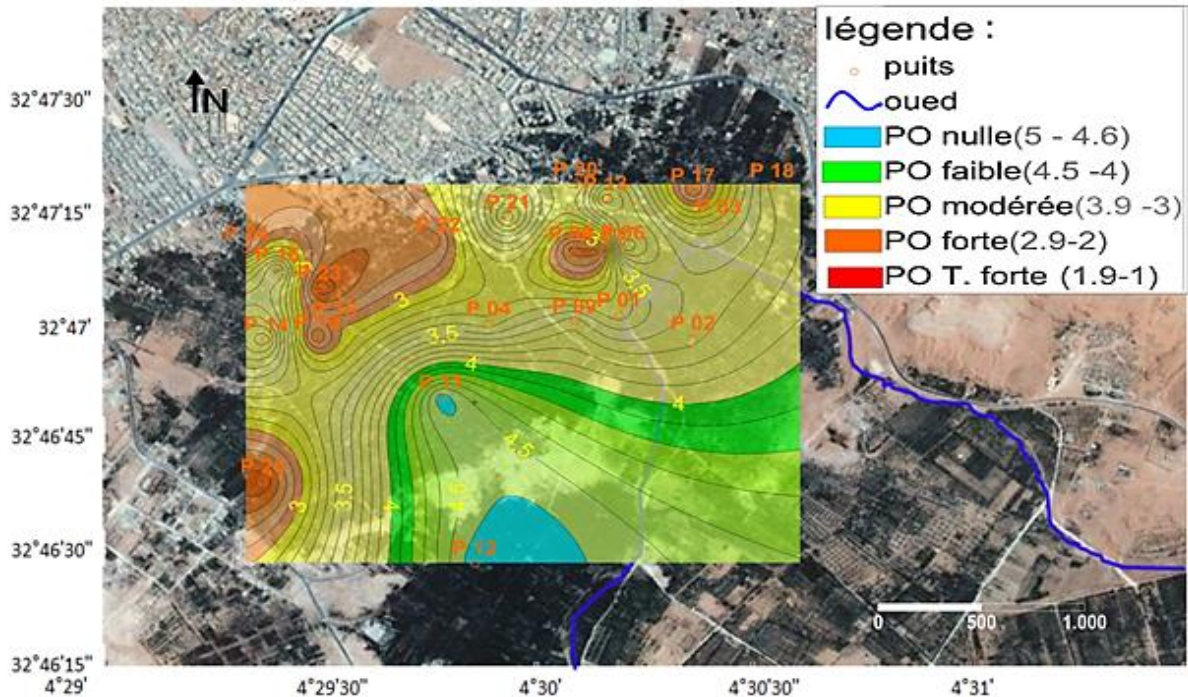


Fig. IV. 38- La répartition spatiale d'indice de pollution organique des eaux du nappe de Guerrara (Aout 2014)

IV.8.2. Lisec-Index

Ayant le même principe que l'indice de de pollution organique, il est basé sur la moyenne de deux paramètres (sur quatre disponibles) qui sont: l'oxygène dissous, la DBO5, l'ammonium et le phosphore total. Les classes sont numérotées en sens inverse de celles de l'IPO (tableau IV.14).

Tab. IV.14 - Les classes des paramètres retenus pour le calcul de Lisec-Index.

<i>N° de classe</i>	<i>Oxygène dissous % de saturation</i>	<i>DBO5 mg-O₂/l</i>	<i>Ammonium mg-N/l</i>	<i>Phosphore total mg-P/l</i>
<i>1</i>	91-110	< 3	< 0.5	< 50
<i>2</i>	71-90	3.1-6.0	0.5-1.0	51-249
<i>3</i>	51-70	6.1-9.0	1.1-2.0	250-899
<i>4</i>	31-50	9.1-15.0	2.1-5.0	900-1499
<i>5</i>	> 30	>15	> 5	> 1500

Le calcul de l'index est basé dans notre cas sur l'ammonium et le phosphate. Le tableau IV.15 qui représente les résultats obtenus, montre que les eaux des puits appartiennent seulement à deux classes: 78.26 % des puits appartiennent à la classe 2 : à degré bon et 21.73 % appartiennent à la classe 3 : à degré modéré (P7, P8, P10, P17, P23).

Tab. IV.15- Les valeurs de Lisec-Index de la nappe de Guerrara (Aout 2014)

<i>Classe</i>	<i>Lisec-index</i>	<i>Degré</i>	<i>Nombre de puits</i>	<i>Pourcentage des puits</i>
1	4 – 6	Très bon	0	0
2	6 – 10	Bon	18	78.26
3	10 – 14	Modéré	5	21.73
4	14 – 18	Mauvais	0	0
5	18 - 20	Très mauvais	0	0

IV.8.3. Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie

Cette méthode a le même principe que l'indice de pollution organique. Elle est basée sur la moyenne des paramètres: oxygène dissous, DCO, DBO5, l'ammonium, nitrites, et phosphates (tableau IV.16).

Tab. IV. 16 - Les classes des paramètres retenus pour le calcul de "IHE"

<i>Paramètres</i> <i>Classes</i>	<i>Oxygène dissous %</i>	<i>DCO mg-O₂/l</i>	<i>DBO5 mg-O₂/l</i>	<i>Ammonium mg-N/l</i>	<i>Phosphates µg-P /l</i>	<i>Phosphore total m g-P /l</i>
5	90-110	< 5,0	< 1,0	< 0,05	< 50	50
4	70-89	5.1-10.0	1.1-3.0	0.06-0.50	51-100	51-100
3	50-69	10.1-20.0	3.1-5.0	0.51-1.00	101-200	101-200
2	30-49	20.1-50.0	5.1-10.0	1.01-2.00	201-400	201-400
1	< 30	> 50.0	> 10.0	> 2.00	> 400	> 400

Tab. IV.17- Les valeurs d'IHE de la nappe de Guerrara

<i>Classe</i>	<i>Intervalle d'IHE</i>	<i>Degré de pollution organique</i>	<i>Nombre de puits</i>	<i>Pourcentage des puits</i>
5	5.0 – 4.6	nulle	0	0
4	4.5 – 4.0	faible	4	17.39
3	3.9 – 3.0	modérée	6	26.08
2	2.9 – 2.0	forte	10	43.47
1	1.9 – 1.0	très forte	3	13.04

A partir du tableau IV.17 on marque que le degré de pollution varie du degré faible au degré très fort. Le pourcentage de puits présentant une pollution organique faible est de 17.39 %, ce sont les puits : P11, P12, P13 et P21. Les puits à pollution organique modérée : P1, P2, P3, P4, P6 et P9 représentent 26.08 %. Les résultats montrent également que 43.47 % et 13.04 % des puits représentent respectivement une pollution forte et très forte (P23, P24, P25) localisés dans la partie ouest et nord-ouest de la palmeraie.

Ces résultats confirment la contamination de la nappe par les sources de la pollution organique indiqués par l'IPO qui sont les rejets urbains, les rejets des activités agroalimentaires (mini laiterie) et aussi le lessivage des sels dessous résultants des activités agricoles.

Conclusion

L'étude de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara a été réalisées par l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux de vingt-trois (23) puits et des analyses bactériologiques de sept (07) puits durant deux campagnes en Mars 2014 et Aout 2014 et avec une campagne de détection de biogaz dans neuf (09) puits en Avril 2014.

L'étude piézométrique de la nappe a permis l'établissement des cartes piézométriques qui nous ont permis de déterminer le sens d'écoulement de la nappe qui se fait vers le Nord et vers l'Ouest de la palmeraie de Guerrara avec un gradient hydraulique fort au Sud-Ouest de la palmeraie et faible dans le reste où la présence d'une forte infiltration des eaux.

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux montre que ses eaux sont fort minéralisées avec une conductivité électrique qui varie entre 771 μ S/cm et 16020 μ S/cm, et avec un pH proche de la neutralité (6.74 -8.64). Par ailleurs, des cartes de répartition spatiale de C.E. et des ions chimiques notamment ceux de la pollution ont été établies. Ceux-ci ont permis de localiser les zones contaminées et d'en déduire l'origine de cette contamination. Le diagramme de Piper a permis de conclure la dominance du faciès sulfaté calcique et magnésique.

Le dénombrement des coliformes (totaux et fécaux) et streptocoques fécaux nous a permis d'identifier les types de pollution dans la région où nous avons constaté que dans les puits analysés les trois types de germes sont présents, donc ces eaux sont de mauvaise qualité puisque les normes de l'OMS recommandent qu'aucun germe ne doit être présent dans l'eau potable.

En ce qui concerne les biogaz, nous avons détecté ce type de pollution par la présence des gaz d'hydrogène sulfuré (H₂S) et du monoxyde de carbone (CO) dans la région.

L'étude de l'état de la qualité physico-chimique de la nappe à l'AEP par comparaison avec les normes de l'OMS indique que seulement un puits (P14) répond à ses normes.

L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation montre que seulement P14 est de bonne qualité et la majorité des puits sont de mauvaise qualité et à risque d'alcalinité faible et à forte restriction pour l'irrigation. Ainsi, la majorité des puits présentent des eaux qui ne sont pas propres à l'irrigation toutefois, quelques-uns présentent des eaux acceptables pour les cultures tolérants la salinité comme les palmiers et les cultures aux sols ayant un bon drainage.

L'analyse statistique par l'ACP nous a permis de regrouper les puits en familles présentant une composition chimique des eaux ayant la même origine chimiques.

L'évaluation de l'indice de pollution organique a permis de confirmer la contamination de la nappe par des sources de la pollution organique qui sont les rejets urbains, les rejets des activités agroalimentaires (mini laiterie) et agricoles.

Conclusion générale

La dégradation de la qualité des eaux dans la région de Guerrara résulte de la pollution produite par les activités anthropiques dans la région.

Pour atteindre l'objectif de notre travail à savoir l'étude de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara nous avons effectué des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la nappe échantillonnées à partir de puits répartis dans la palmeraie en deux campagnes.

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la nappe de Guerrara montrent que ces eaux sont fortement minéralisées (C.E. varie entre 771 μ S/cm et 16020 μ S/cm), avec un pH proche de la neutralité (6.74 -8.64) et présentant un faciès sulfaté calcique et magnésique.

L'eau s'écoule vers le Nord et vers l'Ouest avec un gradient hydraulique fort au Sud-Ouest de la palmeraie et faible dans le reste ce qui reflète une bonne perméabilité.

L'eau de la nappe de Guerrara est de mauvaise qualité sauf au niveau du puits P14, elle présente une forte restriction pour l'irrigation, dans ce cas, il est conseillé d'installer un système de drainage à l'intérieur de la palmeraie.

Nos résultats sur la qualité chimique et bactériologique des eaux de la nappe de Guerrara montrent que ces eaux ont subies une dégradation de leur qualité par les différentes sources de pollution qui sont dues à la contamination par des concentrations importantes des éléments polluants tel que les nitrates (2.3 mg/l), nitrites (0.36 mg/l), ammonium (0.891 mg/l), orthophosphates (5.89 mg/l), DCO (334.2 mg/l), DBO5 (110 mg/l) et la présence des germes bactériologiques (coliformes totaux ,fécaux et des streptocoques fécaux avec plus de 110UFC/ml).

Les rejets urbains et les fuites de réseau d'assainissement causent un grand effet sur la qualité et engendrent des concentrations élevées des ions chimiques polluants surtout dans la partie Nord de la palmeraie.

Les rejets des usines et la mini laiterie sont à l'origine d'une pollution organique concentrée dans la partie Nord-Ouest et Ouest de la palmeraie.

Les activités agricoles (élevage bovin, utilisation du fumier ...) génèrent aussi des éléments polluants tels que les nitrates et l'ammonium qui sont des indicateurs de pollution organique.

Quelques puits sont pollués par des biogaz tel que le sulfure d'hydrogène (+175 mg/l) et le monoxyde de carbone (25 mg/l) qui représentent un problème alarmant par des effets mortels.

L'abandon des puits et leur mauvais entretien est une autre source de pollution qui permet l'accès à la nappe des déchets urbains, des débris des palmiers et tout autres contaminants.

L'évacuation des eaux usées brutalement dans la nature entraîne le lessivage des éléments polluants vers les eaux souterraines.

A la fin il faut signaler que cette étude sur la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara a permis de mettre en évidence l'état de la qualité de cette nappe et de cerner les principales sources de pollution de cette nappe. par ailleurs, nous recommandons de chercher des solutions pour réhabiliter ces ressources en eaux.

Références bibliographiques

- A.E.R.M.C., 2010. Identification et protection des ressources en eau souterraine majeurs pour l'alimentation en eau potable. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. Nappe alluviale du Rhône. Volume 5, 11p.
- ADAM K., BISSON M., DUCHÊNE L., GHILLEBAERT F., GUILLARD D., TACK K., ZDANÉVITCH I., 2011. Sulfure d'hydrogène. fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. INSIES, 106p.
- A.D.E. ,2009. Manuel des analyses physico-chimiques des eaux. Algérienne Des Eaux Direction d'unité Ouargla. 55P.
- ANDRIAMIRADIS L., 2005. Mémento technique de l'eau. 2eme édition: Dégerment. P8.
- ARMAND L., 1996. Mémento technique de l'eau. Edition : Tec et Doc, P37.
- BANTON O. BANGOY L.M., 1999. Hydrogéologie- Multi-sciences environnementale des eaux souterraines. Ed. Presses de l'université de Québec. AUPLEF, 460 p.
- BEAUCHAMP, J., 1995. L'eau souterraine « éléments d'hydrogéologie ». www.u-picardie.fr/~beaucham/mst/mst-plan.htm. 11-08-2011.
- BENGOUMI M., BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI D., EL MOUSTAINE R., 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.
- BENKENZOU D., CHEGMA S., MERAKCHI F., ZIDANE B., 2007. Monographie de la wilaya de Ghardaïa, Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (D.P.A.T.). Statistiques au 31 décembre 2006, 122 p.
- BERNE F. et CORDONNIER J., 1991. Traitement des eaux. Edition : Tec , pp 6-14.
- BERRAHOU A., CLOOSTER M. VAN., MAKHOUKH M., SBAA M., 2001. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux Superficielles de l'oued

Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp 149-169.

BOURGEOIS C.M., MESCLE J.F., 1996. Microbiologie alimentaire: aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Edition Lavoisier ,pp 5- 6.

B.R.G.M., 2006. Kit Pédagogique science de la terre. Hydrogéologie de La Réunion - Informations générales, 10p.

BROUSSAUD, J., 2010. L'hydrogéologie est la source qu'étudie l'eau et son comportement dans les roches. accés.inrp.fr/eduterre-usages/nappe/html/Ressources/hydro/hydro1.htm. 11-08-2011.

CHAOUI W. 2007. impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de bouchegouf (Guelma). Mém. Mag. géologie. Univ. d'Annaba, 104p.

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 d'Ouargla, 91p.

EDBERG R., RACZYNSKI M., PROST J.C. et ELMUR T., 2000. Aide à la fiabilisation de l'eau potable en milieu rural. Aspect techniques et financiers .OI eau, France ,p 5.

F.E.P.S., 2009. Analyse de l'Ammoniaque. Fondation de l'Eau Potable Sure, 5pp.

GUILLEMIN C., ROUX J., 1992. La pollution des eaux souterraines. Manuels et Méthodes n° 23, éd. BRGM, pp1-25.

HAMDANI, A. AITOUR T., 2006. Essai de cartographie géomorphologique en milieu aride, cas de Guerrara. Mémoire Ing. U.S.T.H.B., 75p.

- HAMDI-AISSA, B., 2008. Préservation et restauration du patrimoine lié aux ouvrages hydrauliques traditionnels de l'oasis de Guerrara. Rapport sur l'ancienne oasis de Guerrara M'zab. Projet 2008/ 039- 25. Association pour la sauvegarde du patrimoine/ Guerrara, 32p.
- HCEFLCD. 2006. Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CRdar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.
- HCEFLCD., 2007. Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat Haute Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification (Maroc), 242p.
- HEBERT S., LEGRE S., 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
- HELIMI, L., 2013. Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution. Mémoire Mag. Géologie. Université d'Ouargla, 147 p.
- HEMIDI, L. 2013. Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution. Mémoire Mag. géologie. Université d'Ouargla, 110p
- JAMET P., 2004. Les eaux continentales. Rapport sur la science et la technologie n° 25, Académie des sciences. Les Ulis Cedex A., France.
- KEMMER F., 1984. Manuel de l'eau .Edition : Lavoisier technique et documentation, pp 95- 96-112.
- KHEMGANI, M. A., 2010. Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Mémoire Mag. Université d'Ouargla, 78p.
- LANTEIGNE J., 2003. Encyclopédie de l'agora.
- LE HOUEROU, H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Options méditerranéennes. Série B, Etude et recherché N°10. Ed. CIHEAM. Montpellier, 396 p.

- LOUCIF SEIAD N., 2003. Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteurs agricole en Algérie. Revue H.T.E. N° 125-Mars 2003. Pp 94 -101.
- MSA., 2014. Operating Manual ALTAIR® 4 – Four Gas Multigas Detector. MSA INSTRUMENT DIVISION, Pennsylvania, USA, P/N 10088975. 59P.
- O.N.M., 2014. Donnés climatiques de la région de Ghardaïa. Office Nationale de la Météorologie d’Ouargla, 3p.
- OUALI, S. 2006. Étude géothermique du sud de l’Algérie. Mémoire Mag. Université de Boumerdes, 84p.
- OZENDA, P., 1991. Flore de Sahara (3 édition mise à jour et augmentée) Paris, Editions d’C.N.R.S., 662 p.
- POUGET, M., 1980, Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises, Ed. OROSTOM, Paris, 555 p.
- RODIER J., 2005. L’analyse de l’eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8eme édition: Dunod, Paris, 1394 p.
- RODIER J., 1984. L’analyse de l’eau, eaux naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 7e édition Dunod, Paris, 1579 p.
- RODIER J., 1978. L’analyse de l’eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 6ème édition Dunod, Paris, 1136 p.
- SAMAKE H., 2002. Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, 77p.
- SAUVE T., 2014. Les gaz dangereux dans les exploitations agricoles. Fiche Technique 14-018 AGDEX 721. ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation et le ministère des Affaires rurales de l’Ontario, Canada.8p.
- SIMPSON, H., CONANT, B., & MYSLIK, J., 2007. Les eaux souterraines. Une ressource rurale importante. Comprendre les eaux souterraines, fiche T. n° 06-112. Ministère de l’Agriculture, de l’Alimentation et des Affaires rurales, Ontario, 12p.

- TARIK A. (2005). - Qualité physico-chimique de l'eau de boisson et la solubilité de certains médicaments utilisés chez la volaille dans certaines. Région du Maroc. Thèse pour l'obtention du doctorat vétérinaire IAV Hassan II. Rabat. Maroc, 183p.
- TOUTAIN G., 1974. Conservation des sols en palmeraies sahariennes et bordurières au Sahara. Conservation et utilisation des sols. CIHEAM- Option Méditerranéenne, p 65-69.
- ZIANI D., 2009. Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraine de l'aquifère de Ain Djasser. Mém. Mag. hydraulique .Univ. de Batna.133p.