

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie et Environnement

Thème

**Aptitude à l'irrigation des eaux souterraines de l'oasis de
Guerrara**

Présenté par : BoulebbinaNourElimane
Dlili Kaouther

Soutenu publiquement le :
16/06/2022

Devant le jury :

IDDER Tahar	Professeur	Président	U.K.M.Ouargla
Slimani Rabia	MCA	Promoteur	U.K.M.Ouargla
CharikhMessaouda	MCB	Examinatrice	U.K.M.Ouargla

Année universitaire: 2021/2022

The background of the page is decorated with several large, soft pink flowers with multiple layers of petals, set against a light, pale pink background. The flowers are arranged in a way that they appear to be framing the central text area.

Je dédie ce travail

À ma famille : mon cher père pour son soutien et son aide dans la réalisation de mon travail et de mes études.

A ma chère mère qui me soutient et m'encourage à aller de l'avant afin d'atteindre mes objectifs.

A mes frères ABD ELDJALIL, ABD ELMODJIB et AYOUB. Ma petite sœur ABRAR .

Sans oublier ma chère camarade KAOUTHER DLILI.

Un grand merci pour professeur SLIMANI RABIA pour son soutien, sa patience, ses conseilsses orientations pour mener à bien mon travail et l'accompagnant malgré toutes les circonstances.

Je remercie également tous mes amis du Master II Ecologie et Environnement 2022. A tous mes professeurs du début à la fin de ma carrière académique. A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Nour el imene

DEDICACES

Je dédié ce modeste travail à :

Ma mère et mon père

Toutes mes sœurs et mes frère

Fatima zahra

Ikram

Zakaria

Yahia

Mariam

Mohammed

et a tout ma grande familles

Sans oublier ma chère camarade NourElimaneboulebbina

Un grand merci pour professeur SLIMANI RABIA pour son soutien, sa patience, ses conseilsses orientations pour mener à bien mon travail et l'accompagnant malgré toutes les circonstances.

Je remercie également tous mes amis

Kaouther

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la puissance pour achever nos études supérieures.

Nous tenon à remercier en premier lieu notre promoteur Dr **Slimani Rabia** pour ses remarques, ses conseils considérables et ces critiques constructives.

Nous tenons à remercier Professeur IDDER M^{ed} T. pour l'honneur qu'il nous offre en acceptant la présidence de ce jury. Nous rendons hommage également à CHARIKH M. maître de conférences à l'université d'Ouargla

Nous nous adressons nos remerciements à nos enseignants qui nous ont encadré durant notre cursus universitaire.

Ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Kaouther et Nour elimene

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE :Algérienne des eaux.

CE : Conductivitéélectrique

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

FAO : Food Alimentation Organisation

OMS : Organisation Mondiale de la Sante.

ONM : Office National de la Météorologie

SAR : Taux d'absorption de sodium

TDS:TotalDissolvedSolids

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Pages
	Chapitre I	
I.1	Classification des eaux selon la conductivité électrique	7
I.2	Classification des eaux d'irrigation selon le SAR	8
I.3	Les normes des eaux d'irrigation (FAO, 2003)	9
	Chapitre II	
II.1	Donnés climatique de la région de GUERRAR (1997-2005)	12
	Chapitre III	
III.1	Courbe d'étalonnage (K^+ Na^+)	21
	Chapitre IV	
IV.1	Indicede chlorure	36
IV.2	Indice de SAR	37

Liste desFigure

Figure	Titre	Pages
Chapitre II		
II.1	Localisation géographique de la région de guerrara	11
II.2	Diagramme ombrothémique de la station de Ghardaia (1997-2005)	14
II.3	Diagramme de l'emberger de la région de Ghardaia (1997-2005)	15
II.4	Carte géologique de Guerrara	16
Chapitre III		
III.1	Carte de localisation des points d'échantillonnage	20
Chapitre IV		
IV.1	Variation des parametre physique entre les défférents forage de la nappe du complexe terminale	25
IV.2	Variation de concentration en Ca^+ des eaux de la nappe du CT de Guerrara	26
IV.3	Variation de concentration en Na^+ des eaux de la nappe du CT de Guerrara	26
IV.4	Variation de concentration en K^+ des eaux de la nappe du CT de Guerrara	27
IV.5	Variation de concentration en Mg^+ des eaux de la nappe du CT de Guerrara	28
IV.6	Variation de concentration en Cl des eaux de la nappe du CT de Guerrara	29
IV.7	Variation de concentration en HCO^{-3} des eaux de la nappe du CT de Guerrara	29
IV.8	Variation de concentration en SO_4^{-2} des eaux de la nappe du CT de Guerrara	30
IV.9	Variation de concentration en NO_3^{-2} des eaux de la nappe du CT de Guerrara	31
IV.10	Variation de concentration en NO^{-2} des eaux de la nappe du CT de Guerrara	31
IV.11	Variation de concentration en PO_4^{-3} des eaux de la nappe du CT de Guerrara	32
IV.12	Diagramme de piper des eaux de la nappe du CT de Guerrara	33
IV.13	Variation d'indice d'échange de base des eaux du CT de Guerrara	34
IV.14	Diagramme de Richards des eaux de la nappe du CT de Guerrara	38

Liste des photos

photos	Chapitre III	Pages
III.1	Multi parametre(Marque Multi 3620IDS)	21
III.2	Spéctrophotometre a flamme (MrqueJENWAY)	22

Table des matières

Titres	pages
Introduction	1
Chapitre I –: Eaux souterraines et qualité	
I.1. Définition	5
I.2. Classification des nappes aquifères	5
I.3. Paramètres de qualité	5
I.3.1. Principaux paramètres d'irrigation	5
I.3.2.1. Salinité	6
I.1.3.2. Potentiel hydrogène	6
I.1.3.3. Sodium	6
I.1.3.4. Alcalinité	6
I.1.3.5. Bore	7
I.1.3.6. Dureté de l'eau	7
I.4. Classifications des eaux pour l'usage d'irrigation	7
I.4.1. Classification des eaux selon la conductivité électrique	7
I.4.2. Classification des eaux selon la méthode de Richards	8
I.5. Normes de la qualité des eaux d'irrigation	9
Chapitre II – Description de la région d'étude	
II.1 Situation géographique	11
II.2 Le cadre physique	12
II.3 Le cadre climatique	12
III.3.1. Paramètres climatiques	12
II.3.1 la température	13
II.3.2 la précipitation	13
II.3.3 l'humidité	13
II.3.4 vent	13
II.3.5 l'évaporation	13
II.3.6 l'insolation	13
II.3.2 Synthèse climatique	14
II.3.2.1 Diagramme ombrothermique	14
II.3.2.2 Climagramme d'Emberger	14
II.4 .Le contexte pédologique	15

II.5 Le contexte géologique	15
II.6 Le contexte hydrogéologie	17
II.6.1 La nappe du complexe intercalaire	17
II.6.2 La nappe du complexe terminale	17
II.6.2.1 Nappe du Moi-Poliocene et Eocene	17
II.6.2.2 La nappe sénonien	17
II.6.2.3 La nappe Turonien	17
II.6.2.4 La nappe phréatique	18
Chapitre III – Matriels et Méthode	
III.1 Choix de site	20
III.2. Méthode analytique	20
III.2.1. Mesure in situ	20
III.2.2 Analyse au laboratoire	21
Chapitre IV - Résultats et discussions	
IV.1. Lecture des résultats	24
IV.1.1. Parametres physiques	24
IV.1.1.1. La température	24
IV.1.1.2. La conductivivité électrique	24
IV.1.1.3. Le potentiel d'hydrogene	24
IV.1.2 .Paramètre chimique	25
IV.1.2.1.Calcium	25
IV.1.2.2.Sodium	26
IV.1.2.3. Potassium	27
IV.1.2.4. Magnisium	27
IV.1.2.5.Chlorures	28
IV.1.2.6. Bicarbonates .	29
IV.1.2.7. Sulfates	30
IV.1.3. Les Parametres de pollution	30
IV.1.3.1.Nitrate	30
IV.1.3.2.Nitrite	31
IV.1.3.3. Phosphate	32

IV.2.Caractéristique géochimique	32
IV.2.1.Diagramme de Piper	32
IV.2.2. Indice d'échange de base	33
IV.3.Aptitude des eaux de complexe terminale a l'irriagtion	34
IV.3.1. Salinité TDS	34
IV.3.2. Indice de Chlorures	35
IV.3.3. Sodium adsorption ration (SAR)	36
Conclusion	40
Référence bibliographique	43

Aptitude à l'agriculture des eaux souterraine de l'oasis de Guerrara

Résumé : Guerrara est une zone désertique située au Sud de l'Algérie. Cette région est caractérisée par la pauvreté de la couverture végétale, température élevée avec une moyenne annuelle de 23.5 °C. Des précipitations qui ont très faible environ 6.09* mm.an.

L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eau souterraine. La région d'étude est à vocation agricole, le développement de l'agriculture ces dernières années a fait que la nappe du Complexe Terminal. Les eaux issues de cette nappe posent de sérieux problèmes de qualité chimique. notre travail a pour objectif principal l'étude de la qualité chimique des eaux de la nappe du CT et évaluer l'aptitude à l'irrigation des treesculturées.

Afin d'évaluer la qualité de cette nappe, (15) échantillons Les eaux du CT de notre région d'étude sont fortement à extrêmement salées et leurs conductivités électriques sont comprises entre 0.863 et 5.383 mS/cm et le pH varie entre 6,2 et 7,75.

D'après la comparaison des concentrations des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+), Na^+ est l'élément dominant pour les cations et Cl^- pour les anions, ce qui confère donc le facies géochimique dominant chloruré sodique.

Les eaux du CT appartenant généralement à deux classes principales C3S1, et C4S1, C4S2, et l'indice de sodicité (SAR) permettent de distinguer deux classes ; très bonne et bonne. et l'indice de chlorure permettent de distinguer quatre classes ; bonne moyenne médiocre et mauvaise.

Mots clés : Guerrara, Complexe Terminal, eau souterraine, qualité chimique.

Guerrara Oasis groundwater farming ability

Abstract : Guerrara is a desert area south of Algeria. This area is characterized by poverty of vegetation cover, high temperatures with an annual average of 23.5 ° C. Low rainfall about 6,09* mm year. The water supply of the population depends mainly on groundwater resources. The study area is agricultural. Development of agriculture these last year has been that Terminal Complex. The water of this aquifer is a serious chemical quality problem. Our work's main objective is the study of the chemical water quality of the Terminal Complex and assess the suitability for irrigation of cultivated land .

To assess the quality of this layer, 15 groundwater samples of the study area are highly to extremely high salt and the electrical conductivities are between 0,863 and 5,383 mS/cm and the pH varies between 6,2 and 7,75.

According to the comparison of concentrations of chemical elements (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+), Na^+ is the dominant element for cations and Cl^- for anions, which gives therefore the dominant geochemical facies chlorinated sodium.

Waters Terminal Complex of the aquifer are generally from four main classes C3S1, and C4S1, C4S2 .and The sodicity index (SAR) make it possible to distinguish two classes; very good and good. and the chloride index make it possible to distinguish four classes; good average mediocre and bad.

Keywords: Guerrara, Terminal Complex, groundwater, chemical quality.

ملائمة المياه جوفية للزراعة في واحة لقرارة

ملخص: القرارة منطقة صحراوية جنوب الجزائر. وتتميز هذه المنطقة عن طريق فقر الغطاء النباتي، ارتفاع درجة الحرارة بمعدل 23,5 درجة مئوية. هطول الأمطار أن القليل جدا حول ملم العام 6.09*. تعتمد إمدادات المياه للسكان بشكل أساسي على موارد المياه الجوفية. منطقة الدراسة الزراعية، وتطوير الزراعة في السنوات الأخيرة أدى إلى استعمال مياه مركب نهائي بكثرة. المياه هذه طبقة تشكل مشكل من ناحية نوعيتها الكيميائية. الهدف من هذه دراسة هو دراسة نوعية كيميائية للمياه و تقييم مدى صلاحيتها للري

لتقييم نوعية المياه، اخذنا 15 عينة من مياه منطقة الدراسة، أهم النتائج المتحصل عليها : مياه منطقة الدراسة ذات مموحة عالية و ناقليتها الكهربائية تتراوح ما بين 0.863 و 5.383 mS/cm. ودرجة الحموضة تتراوح ما بين 6.2 و 7.75.

بناء على مقارنة تركيزات العناصر الكيميائية Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+ , هو العنصر السائد للكاتيونات وللأنيونات Cl^- , مما يعطي السلسلة الجيوكيميائية كلوريدات الصوديوم .

مياه منطقة الدراسة تتدرج إلى قسمين: C3S1, C4S1, C4S2 و اما بالنسبة لمؤشر SAR تنقسم إلى قسمين: جيدا جدا و جيدة . و مؤشر Cl^- تنقسم إلى أربع اقسام: جيد، متوسط، أقل من متوسط، سيئ .

الكلمات مفتاحية: القرارة. المركب نهائي. المياه الجوفية. النوعية الكيميائية.

INTRODUCTION

Introduction

Rien ne peut remplacer l'eau en tant qu'ingrédient primaire des êtres vivants et élément fondamental de toute forme de vie. Aucune créature ne peut survivre en l'absence d'eau. Le seul problème est qu'elle n'est pas largement distribuée dans le monde. L'accès à cette denrée précieuse est pour cette raison l'une des difficultés les plus accrues du nouveau millénaire, en particulier sur le continent africain, où elle se fait de plus en plus rare et a été une source de conflits entre les peuples (Boursali, 2008 ; Al-Naner, 2018).

De nombreux pays sont confrontés à des limitations de la disponibilité et de l'accessibilité des eaux de surface. Par conséquent, les ressources en eaux souterraines reçoivent une attention accrue en tant que source la plus fiable de l'eau douce pour différents secteurs (Vrba et van der Gun, 2004 ; Llamas et Martinez Santos, 2005 ; Hammani et *al.*, 2009). Les eaux souterraines constituent le plus grand stock accessible d'eau non gelée de la planète (Chevalking et *al.*, 2008). Elle répond à plus de 75 % des demandes en eau dans des pays comme la Russie, la Jamaïque, l'Arabie saoudite, la Libye (Vrba et van der Gun, 2004), et jusqu'à 100 % au Danemark (FlindtJørgensen et *al.*, 2016). Globalement, on estime que 70 % des eaux souterraines prélevées sont utilisées pour l'agriculture et que les eaux souterraines fournissent près de la moitié de toute l'eau potable dans le monde entier (NGWA, 2016 ; Majd, 2018).

L'utilisation des eaux souterraines a connu une croissance exponentielle au cours des dernières décennies, en particulier dans le secteur agricole (Chevalking et *al.*, 2008). Prélèvement mondial pour les eaux souterraines, l'agriculture est passée d'un niveau de 100 -150 milliards de m³ (Bm³) en 1950 à 666 Bm³ en 2010 (IGRAC, 2010). L'extraction des eaux souterraines fournit désormais 43% de l'eau utilisée dans l'agriculture (FAO, 2010 ; WWDR, 2015; Majd,2018).

Au Sahara algérien, la plupart des ressources sont composées d'eaux souterraines. Ces derniers, situées dans le continental intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT), constituant l'un des plus importants réservoirs d'eau riche (Bel et Cuhe, 1970 ; CDTN, 1992), avec un potentiel compactable estimé à 5 milliards de m³ d'eau (ANRH, 1986) (Brahimi, 2014).L'eau a toujours été l'ingrédient le plus important dans la création des oasis, précurseurs des villes sahariennes d'aujourd'hui. A l'échelle macro-locale de la structure régionale, cet élément eau a eu une fonction structurante à deux échelles géographiques imbriquées. Des agglomérations,

linéaires ou non, dépendantes des affleurements, de la disponibilité des ressources et de la facilité d'accès, mais aussi à l'échelle intra-urbaine dans la forme et l'organisation du territoire oasien et la découverte des ressources hydrauliques souterraines a considérablement modifié l'interaction entre l'homme et son environnement (Kouzmine, 2007).

Pour cela, l'irrigation par eau souterraine est donc un facteur notable de la production agricole et par conséquent, les eaux souterraines sont souvent la source d'eau la plus accessible et la moins chère à mobiliser par des puits et le pompage donc L'importance de l'irrigation avec les eaux souterraines augmente dans les régions arides (Mergat, 1991).

La région de Guerrara est caractérisée par un climat aride, donc l'irrigation est une option essentielle pour le développement de la culture de la terre (Benaissa, 2017), le climat de la région est typiquement saharien pendant toute l'année, elle est caractérisée par la pauvreté de la couverture végétale à cause de l'approvisionnement en eau donc le développement de l'agriculture dans ces zones nécessite l'utilisation des eaux souterraine (Khemgani, 2010).

Plusieurs études antérieures (Khemgani , 2010 ; Khemgani, 2020 ;Hadj-Saïds.et al 2007 ;Ghalat, 2015 ; Hamdi-Aïssa, 2008), ont tenté, à partir des informations chimiques de caractériser les eaux souterraine de la région de Guerrara. Ces travaux ont particulièrement traité les eaux de la nappe alluvionnaire. En raison de la demande en eau excessive par la population et la mise en valeur des terres agricoles, on a passé de l'exploitation de la nappe alluvial à celle de la nappe du complexe terminal à travers des forages. Dans ce travail de recherche, nous focalisons sur les eaux de la nappe du complexe terminal, afin de déterminer sa composition chimique. Répondent-ils aux normes de qualité de l'eau d'irrigation et quel est son impact sur les rendements des cultures et le sol ?

Le principal objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux de la nappe du complexe terminale (CT). Grâce à un échantillonnage suffisamment représentatif de la nature des eaux de l'oasis de Guerrara, en particulier les eaux d'irrigation. Afin d'évaluation son aptitude à l'irrigation terres cultivées.

Le présent travail s'articule en quatre chapitres :

- Au cours du premier chapitre, on présente des généralités sur les eaux souterraines du point de vue de leur importance, qualité chimique et les critères d'évolution de cette qualité.

- Le deuxième chapitre est réservé pour la présentation de la région d'étude: la situation, la géographie, le climat, l'hydrogéologie, la pédologie, la géologie, l'hydrographie, et la géomorphologie.
- Le chapitre trois correspond au matériel et méthode utilisés lors de la pratique inclut, le choix de site, l'échantillonnage et les méthodes d'analyse.
- Le quatrième chapitre consiste à présenter les résultats des analyses, ainsi que la discussion et l'interprétation des paramètres physico-chimiques mesurés.

CHAPITRE I

Eaux souterraines et qualité

I.1. Définition

On appelle aquifère un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable (Castany, 1998; Beauchamp, 2006).

I.2. Classification des nappes aquifères

Selon Castany (1998), on distingue 3 types des nappes en fonction des conditions géologiques à savoir:

- *Aquifère à nappe libre* : La base de l'aquifère, le substratum, est imperméable. La surface piézométrique est la limite supérieure de la zone saturée de l'aquifère. C'est une surface hydrodynamique qui peut fluctuer librement dans la formation hydrogéologique perméable.
- *Aquifère à nappe captive* : Les eaux sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable entre deux formations imperméables fixes. L'aquifère subit une pression, dirigée de haut en bas, due au poids de la colonne de terrain. Cette pression, dite géostatique, est équilibrée par la pression de couche à l'intérieure de l'aquifère.
- *Aquifère à nappe semi-captive ou à drainage* : Le toit, le substratum ou les deux sont constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différences de charge), cette formation permet des échanges d'eau ou de pression avec l'aquifère superposé ou sous- jacent.

I.3. Paramètres de qualité

L'irrigation est consistant à apporter de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal (EL-Assloudj, 2007). La qualité d'une eau d'irrigation 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.3.1. Principaux facteurs déterminant la qualité des eaux d'irrigation

Toute l'eau d'irrigation contient des sels dissous. Certains sont utiles même lorsque l'eau est abondante ; d'autres sont utiles à faible dose et deviennent nocifs si on les augmente ; et d'autres encore sont nocifs. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité de l'eau

nécessaire à l'agriculture sont : la salinité, le sodium, l'alcalinité, le pH de l'eau et enfin la concentration des éléments toxiques pour les plantes.

I.3.2.1. Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et les HCO_3^-). Haute valeur de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les végétaux. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux manières, soit par les totales des sels dissous (TDS) exprimées en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique exprimée en millisiemens/centimètre (ms/cm) (Couture, 2006).

I.1.3.2. Potentiel hydrogène

Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale (Mostfai, 2005).

I.1.3.3. Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet objet l'origine de l'altération de la roche et du sol. Son excès peut également être à l'origine de certaines intoxications végétales, mais le sodium est absorbé par les cultures en même temps que l'eau et se concentre dans les feuilles lorsque l'eau s'échappe par la transpiration. Une fois que la concentration de cet élément atteint le seuil de tolérance de la culture, une toxicité peut être observée, qui se manifeste par une brûlure et un dessèchement des feuilles, ce qui entraîne toujours la mort de certaines plantes (Boumedol, 2000).

I.1.3.4. Alcalinité

L'alcalinité est une mesure de la capacité de l'eau à résister aux changements de pH. Il est calculé comme la somme de l'acide carbonique (H_2CO_3), des bicarbonates (HCO_3^-) et des carbonates (CO_3^{2-}) dans l'eau. Il est considéré comme un paramètre important de la qualité de l'eau d'irrigation, car lorsque cette eau contient un taux de carbonates et de bicarbonates plus élevé que celui de calcium et du magnésium, on constate une tendance à la précipitation de ces deux derniers éléments (Rodier et *al.*, 2009).

I.1.3.5. Bore

Il est l'un des éléments essentiels à la croissance des végétaux, mais il n'est nécessaire qu'à doses relativement faibles, en quantités excessives, il devient toxique. Il faut 0,2 mg/l dans l'eau d'irrigation pour la croissance des plantes alors que la toxicité peut apparaître de 1 à 2 mg/l (Bouteldjaoui, 2019).

I.1.3.6. Dureté de l'eau

Elle est essentiellement la somme des concentrations de calcium et de magnésium dans l'eau, exprimée en ppm (parties par million) de CaCO₃. Le calcium et le magnésium sont tous deux des nutriments essentiels pour les plantes et une concentration adéquate de ceux-ci dans l'eau est bénéfique (Berne et Cordonnier, 1991).

I.4. Classifications des eaux pour l'usage d'irrigation

Plusieurs classifications ont été proposées pour classer les eaux par rapport à leur qualité pour l'irrigation. La plupart de ces classifications se basent sur le calcul de deux facteurs essentiels, à savoir la salinité présentée par la conductivité électrique (CE) et le Sodium Absorption ratio (SAR).

I.4.1. Classification des eaux selon la conductivité électrique

Il est possible de classer les eaux d'irrigation selon leur conductivité électrique à 25 °C, les classes sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.1: Classification des eaux selon la conductivité électrique à 25°C (Richards 1954).

Classe	C.E (µS/cm)	Interprétation
C1	CE < 250	Eau non saline, utilisée pour l'irrigation de la plupart

		des cultures et sur différents sols
C2	250 < CE < 750	Salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage
C3	750 < CE < 2250	Eau à forte salinité, non utilisable dans les sols à drainage restreint
C4	2250 < CE < 5000	Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation
C5	5000 < CE < 20000	Eau à salinité excessive

- C1 : Satisfaisante pour toutes les cultures exceptées les cultures très sensibles.
- C2 : Généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées.
- C3 : Satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.
- C4 : Normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées. Le lessivage et le drainage sont impératifs.

I.4.2. Classification des eaux selon la méthode de Richards

Cette classification a été proposée par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1954. Très utilisée, elle est utile et faible pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation. Le SAR (Sodium Absorption Ratio) est calculé par la formule élaborée par (Richards, 1954) et elle est formulée comme suit :

$$SAR = \frac{Na +}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Le S.A.R. permet d'évaluer le risque d'alcalinisation du sol par l'eau d'irrigation, selon le risque croissant, les eaux sont classées de S1 à S4 (Tab. I.2). Tous les ions sont exprimés en méq/l.

Tableau I.2 : Classification des eaux d'irrigation selon le SAR (Richards 1954).

Classe	SAR	Interprétation
--------	-----	----------------

S1	0 < SAR < 10 Taux bas de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
S2	10 < SAR < 18 Taux moyen de sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
S3	18 < SAR < 26 Taux élevé de sodium	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
S4	SAR > 26 Taux très élevé de Sodium	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

I.5. Normes de la qualité des eaux d'irrigation

Une eau valable pour l'irrigation est toute eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites inscrites dans le tableau des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Tab. I.3).

Tableau I.3 : Les normes des eaux d'irrigation (FAO, 2003) (OMS, 1989)

Paramètre de l'eau	Unité	Valeur maximale admissible
--------------------	-------	----------------------------

Conductivité électrique	dS/m	3
Total des sels dissous	mg/l	2000
Calcium	mg/l	400
Magnésium	mg/l	60,75
Sodium	mg/l	920
Bicarbonates	mg/l	610
Chlore	mg/l	1065
Sulfates	mg/l	920
Nitrates	mg/l	10
Phosphate	mg/l	2
Potassium	mg/l	2
Ph	-	6 - 8,5
Coefficient d'adsorption du Sodium	-	15

CHAPITRE II
DESCRIPTION DE LA
REGION D'ETUDE

II.1. Situation géographique.

La commune de Guerrara située à environ 120 km nord-est de Ghardaïa, à une latitude $32^{\circ}50'$ N, une longitude $4^{\circ}30'$ E et à une altitude de 300 m. Sa superficie est de 2600 km² (Djili, 2003). Elle est limitée :

- Au nord : par la Wilaya de Djelfa.
- A l'est : par la Wilaya de Ouargla.
- A l'ouest : par les Daïras de Berriane et Bounora.
- Au sud : par les Daïras de Zelfana et Al atteuf (Soud ,2014).

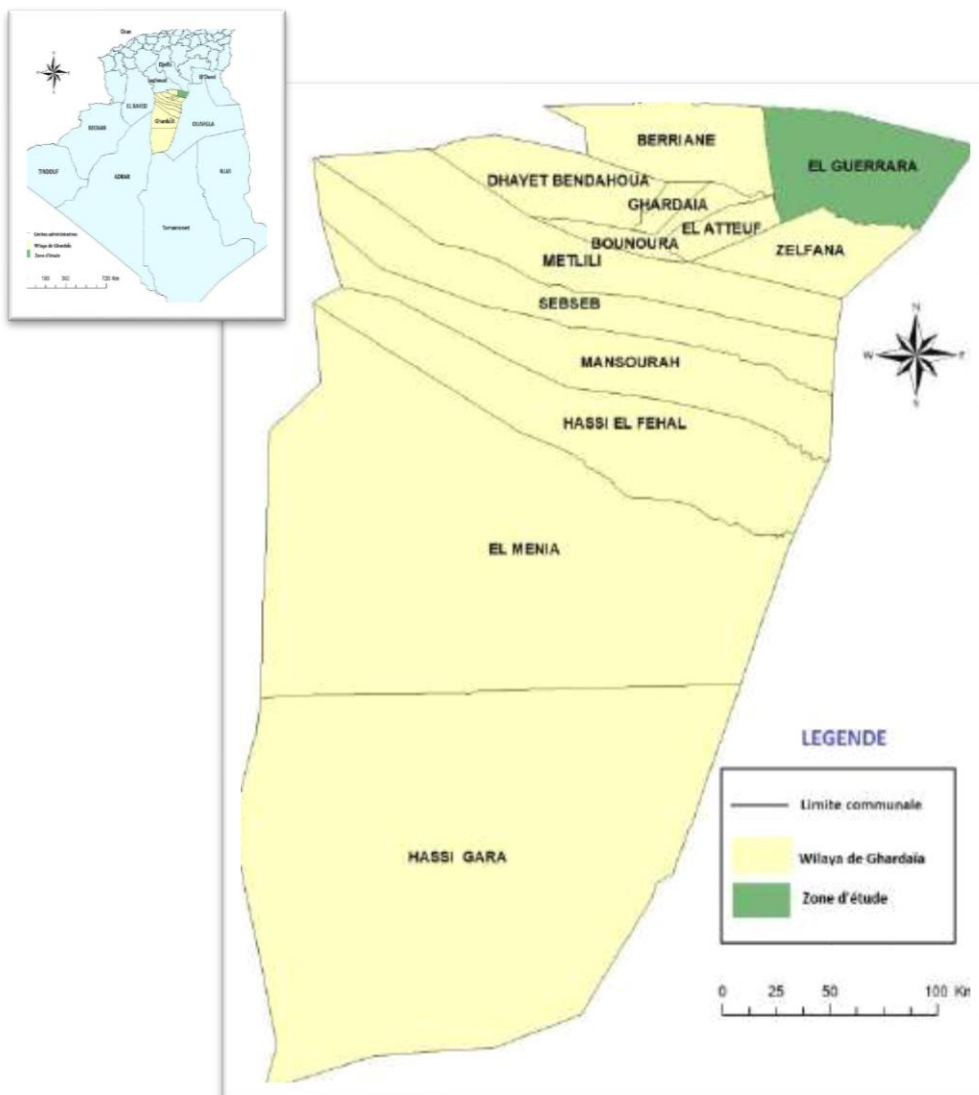


Figure II.1 : Localisation géographique de la région de Guerrara.

II.2. Cadre physique

Les facteurs géomorphologiques interfèrent le plus souvent de manière coordonnée en agissant sur les modes d'écoulement. Ils permettent de faire des analyses quantitatives et des comparaisons des différentes unités hydrologiques (Khemgani, 2020). Dans la région, on trouve plusieurs unités géomorphologiques :

- Les monticules d'essai, ou garas, sont des plateaux tabulaires divisés par l'érosion et couronnés d'une table de roche dure. (Djili, 2004).
- Les dayas sont raccordées au réseau de l'Oued Zegrir dans des zones d'épandage fermées (daya Ben Filah à l'est de Guerrara) ou avec un exutoire, élargissant ainsi le lit de l'Oued Zegrir (Daya El Amiel) (Djili, 2004).
- Dans le lit principal de l'Oued Zegrir au sud de la zone de Guerrara, des motifs dunaires ont construit des dunes barrières protégées par un monticule témoin (garas) et une flore naturelle arbustive (rides, voiles de sable, nebkas et massifs dunaires) (Djili, 2004, Khemgani, 2020).
- Au nord, au nord-est et au sud, une dalle de hamada avec une topographie glaciaire et une pente douce qui diminue d'ouest en est. Le sable et le gravier de grès se trouvent couramment dans ce dernier. Ils sont plus secs que le reste de la région en termes d'hydrographie (Hadj Said et *al.*, 2007).

II.3. Cadre climatique

III.3.1. Paramètres climatiques

La région de Guerrara caractérisé par un climat aride, la rareté des précipitations et température élevée (Drissi, 2008).

Tableau II .1. Données climatique de la région de Guerrara (1997-2005) (ONM, 200

Années	1997-2005							
Mois	T. min (°C)	T. max. (°C)	T. moy. (°C)	P p(mm)	H (%)	V (ms/s)	Insolation (heure)	Eva (mm)
Janvier	5.1	16.8	10.95	9.3	60	3.5	221.4	120.6
Février	7.2	20	13.6	1.4	48.7	3.9	233.9	155.1
Mars	11.4	24	17.7	7.2	42.6	4.4	260.2	208.1
Avril	14.1	27.1	20.6	11.07	36.7	4.7	300	269.1
Mai	19.7	33.2	26.45	1.2	29.4	4.6	306.4	346.7
Juin	24.4	38.4	31.4	1.1	26.8	4.1	350.6	410.2
Juillet	26.5	40.7	33.6	1.1	24	3.7	300.7	463.9
Aout	28	40.6	34.3	6.5	24.9	3.1	308.9	446.4
Septembre	22.8	34.8	28.8	13.7	38.1	3.6	240	314.8
Octobre	16	22.1	19.05	5.5	47	3.2	252.1	211.1
Novembre	12.8	28.5	20.65	7.8	53	3.2	234.7	168.9
Décembre	12.9	17.8	15.35	8.5	58.7	3.4	235.2	135.2
Moyenne	16.74	28.66	22.70	74.3	40.72	3.79	270.67	270.84*

* Cumul

II .3.1.1. Température

La température moyenne annuelle est de 22,70 °C, avec 34.3 °C en août pour le mois le plus chaud, et 10.95 °C en janvier pour le mois le plus froid.

II.3.1.2.Précipitation

Selon le (Tabl. II.1) en remarque que les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne annuelle est de 64,94 mm/an. Elles se produisent essentiellement en hiver et en automne après une période sèche généralement entre avril et octobre.

II.3.1.3. Humidité

L'humidité de l'air est très faible. La moyenne annuelle est de 40.72 % (Tab. II.1). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 24 % au mois de juin, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds; alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 60 % au mois de janvier.

II.3.1.4. Vents

D'après le tableau (II.1) nous observons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant d'avril jusqu'en

juillet, avec un maximum de 4,7 m/s durant le mois de mai. La direction dominante des vents selon Dubief (1963), est le nord-ouest.

II.3.1.5. Evaporation

L'évaporation est très importante, la moyenne annuelle est de 2854,46 mm. Le maximum est atteint en période de juin, juillet et août avec une moyenne de 367,02 mm. Les minima sont enregistrés durant le mois de janvier avec une moyenne de 120.6 mm (Tab. II.1).

II.3.1.6. Insolation

L'atmosphère du Sahara est très propre toute l'année, le rayonnement solaire est important (Toutain, 1979). La durée moyenne d'insolation est d'environ 270,07 heures, avec un maximum de 350,61 heures en juin et un minimum de 221,4 heures en janvier (Tab. II.1).

II.3.2. Synthèse climatique

II.3.2.1. Diagramme Ombrothermique

D'après ce diagramme, on déduit que la région du Guerrara est caractérisée par une saison sèche qui s'étale sur toute l'année (Fig. II.2).

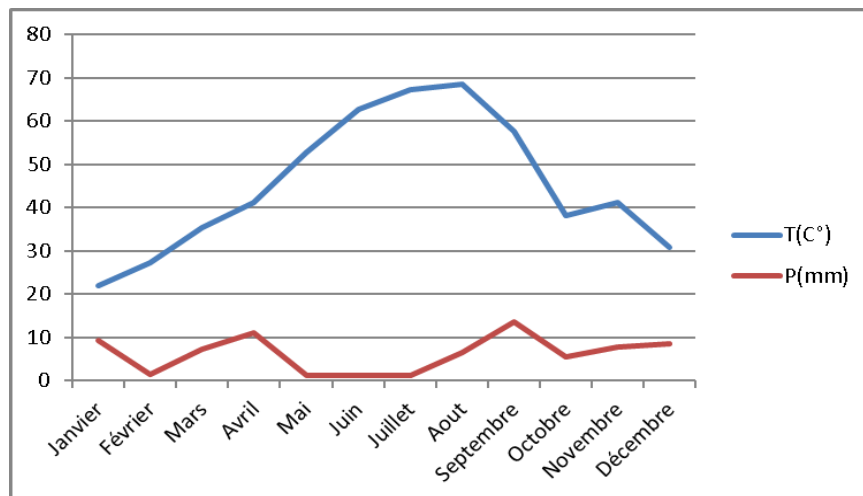


Figure II.2 : Diagramme Ombrothermique de la station de Guerrara (Période 1997-2005).

II.3.2.2 Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger catégorise les nombreuses sortes de climats méditerranéens (Dajoz, 1971). Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est calculé à l'aide de la formule ci-dessous (Stewart, 1969).

$$Q3 = 3,43. P / M - m$$

Avec : P : Somme des précipitations annuelles en mm.

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

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

Le quotient $Q3$ de la région d'étude calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période qui s'étalant sur les 10 ans (1997-2005) est égal à 7.19 (Fig. II.3).

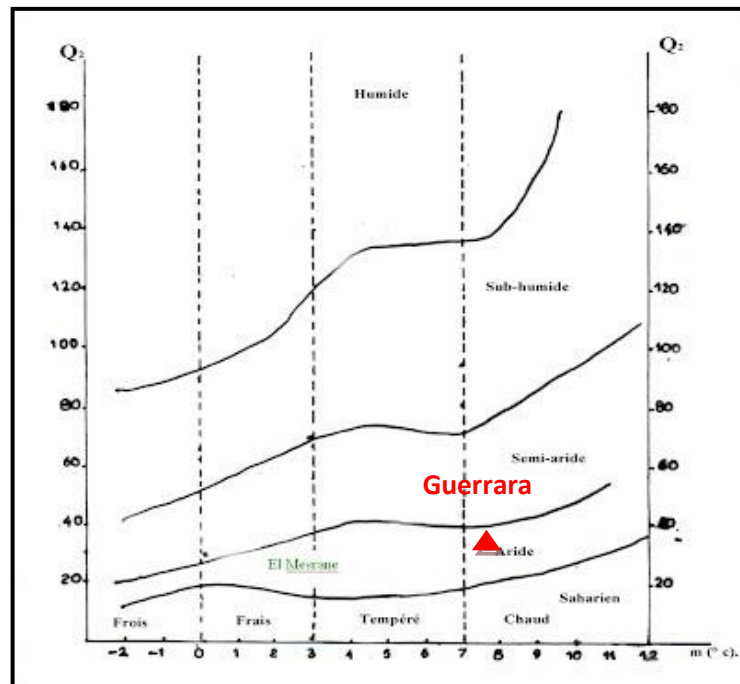


Figure II.3 : Diagramme de l'EMBERGER de la région de Guerrara (1997-2005)

II.4. Contexte pédologique

Les sols de la palmeraie historique de Guerrara sont des alluvions charriées par les crues de l'Oued Zegrir et combinées aux apports éoliens. Ils sont le résultat d'une altération des affleurements géologiques du Quaternaire et du Miopliocène. La variabilité texturale des sols a été placée sur le fond de la sédimentation de la vallée par de multiples périodes d'érosion et de transport. Nous admettons que la période d'assèchement du Sahara est survenue après la dernière glaciation du quaternaire (Aouam, 2007; Khemgani, 2020).

Dans les horizons takyriques et les couches sableuses de Dayet El-Amied, dans la région de Guerrara par exemple, il est fréquent d'observer dans un vide des lits de granulométrie différente (argile, limon, sable, etc.) posés les uns sur les autres. Cependant, il est rare que tous les vides contiennent la même séquence de traits texturaux car les vides ne se sont pas tous contemporains (Hamdi-Aïssa et *al.*, 2008).

II.5. Le contexte géologique

Selon la carte géologique de Guerrara présentée dans la (Fig II.4) , on trouve trois types de formations géologiques:

- **Le Crétacé supérieur** : Il est situé dans la région de Bled Bouacha dans la partie nord-ouest de la région et est constitué d'une double dalle dure de calcaire dolomitique (Aoum, 2007).
- **Le Néogène** : La dépression de Guerrara est située dans un dépôt terminal continental daté du Pontien (mp) qui est localement égal au Miocène continental antépontien. Le dépôt est appelé Mio-Pliocène (Djili, 2004).
- **Le Quaternaire** : Ces formations sédimentaires sont des alluvions quaternaires fluviales qui ne se trouvent pas uniquement dans les vallées de ruissellement. Ils remplissent également d'immenses régions basses des chaînes plissées de l'Atlas saharien (Djili, 2004;Khemgani, 2020).
 - *Récent* : Cailloutis et éboulis aux pieds des montagnes ; dunes de sables ; alluvions sableuses et caillouteuses des lits actuels d'Oueds.
 - *Moyen* : Travertins de sources ; alluvions sableuses et argiles ; calcaire-gypseux (croûte superficielle composée par l'accumulation par évaporation des sels contenus dans l'eau).
 - *Ancien* : Poudingues ; grès dépôts sableux et argileux (Khemgani, 2020).

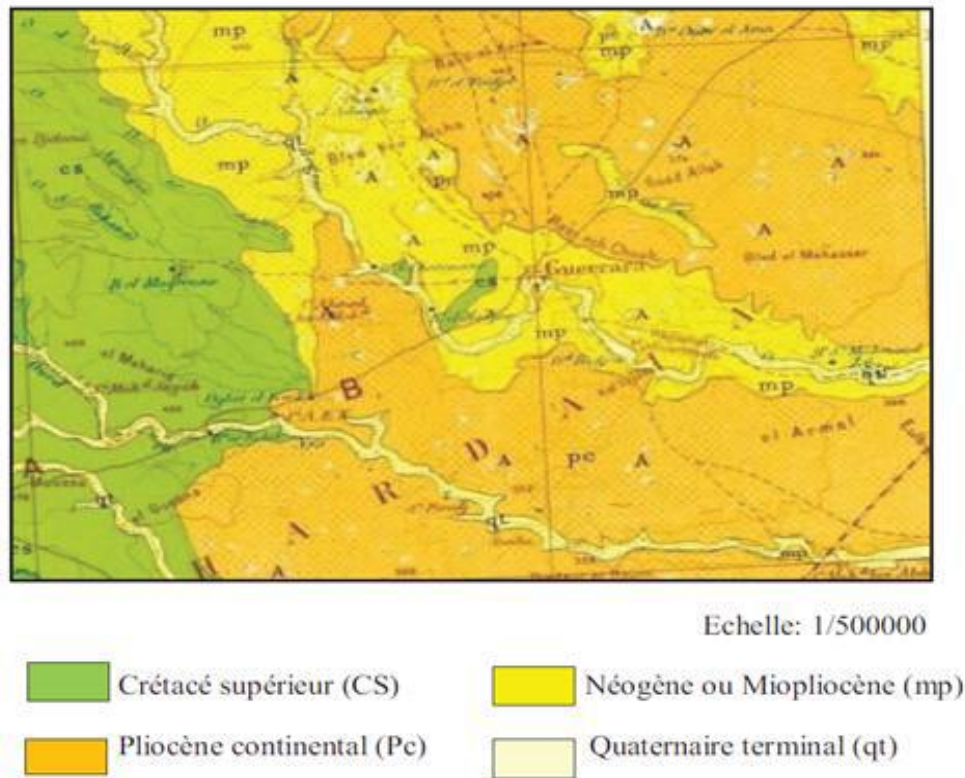


Figure II.4 : Carte géologique de Guerrara (Hadj-Said et *al.*, 2008).

II.6. Contexte Hydrogéologie

L'oasis de Guerrara contient des réserves d'eau souterraines, qui comprennent deux aquifères non renouvelables, l'aquifère du complexe terminal et l'aquifère du continental Intercalaire, ainsi qu'un aquifère renouvelable, l'aquifère libre logé dans les alluvions quaternaires du Zegrir (Amoumen, 2013).

II.6.1. La nappe du Continental Intercalaire

Cette formation occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trais et le sommet de l'albien. L'aquifère est constitué de formations détritiques ; il s'agit de sable, grès, argiles avec un passage dolomitique attribué à l'aptien. Elle dépasse 500 m de profondeur (Khadraoui, 2007; Amoumen, 2014). Dans la région de Guerrara, la nappe est captée par 26 forages artésiens jaillissants de 950 m de profondeur (Hadj-Said et *al.*, 2007).

II.6.2. La nappe du Complexe Terminal

II.6.2.1. Nappe du Mio-Pliocène et Eocène

Cette nappe localisée dans la partie Est de la région Guerrara, il s'agit d'une nappe de Mio-pliocène sableux de 125m d'épaisseur en plus d'une nappe d'Eocène a calcaire blanc fin et de 100 m d'épaisseur, L'aquifère a une épaisseur totale de 225 mètres, avec un niveau statique du sol de 123 mètres (Khemgani, 2010; Saoud, 2014).

II.6.2.2. La nappe sénonien

Cet aquifère est relié à l'aquifère Mio-pliocène par une continuité hydraulique. Ainsi, toutes les strates aquifères (Mio-pliocène, Eocène et Sénonien) peuvent être exploitées jusqu'à une profondeur d'environ 430 m environ dans la partie Ouest de la région de Guerrara. (Djili, 2004).

La carbonaté sénonienne est constituée de calcite microcristalline en partie haute et de dolomie beige en partie basse. Les dépôts mio-pliocènes de la région de Guerrara ont été réduits et reposent désormais directement sur la carbonaté sénonienne. Ce n'est qu'ainsi que la nappe formée par le calcaire sénonien peut être utilisée comme aquifère.

II.6.2.3. la nappe Turonien

L'aquifère carbonaté du Turonien, d'une épaisseur de 74 mètres, est constitué de dolomie cryptocristalline beige compacte et ferme avec intercalation de calcaire tendre. Il peut être trouvé à une profondeur d'environ 500 mètres dans la partie ouest de la région de Guerrara (Drissi, 2016).

II.6.2.4. La nappe phréatique

Ce sont des aquifères peu profonds ou alluviaux que l'on trouve dans les plaines et les lits d'oueds qui sont souvent exploités par des puits peu profonds (2 à 50 m). Ils sont majoritairement composés de formations quaternaires (Khemgani, 2020).

CHAPITRE III

MATRIELS ET METHODE

III. 1. Choix de site d'étude

Le choix de la localisation des points d'échantillonnage constitue la première étape de l'élaboration d'un programme d'échantillonnage. Ce choix baser d'une part sur l'utilisation importante de ces eaux souterraines dont la qualité n'est pas connue et d'autre part sur les caractéristiques environnementales de chaque site. Pour déterminer l'état actuel de la qualité physico-chimique de l'eau et d'évaluer sa capacité à irriguer de l'oasis de Guerrara, une campagne d'échantillonnage a été réalisée en mois de février 2022 à l'aide de l'équipe d'Hydraulique de la région de Guerrara. Au cours de laquelle, quinze forages répartis dans les périmètres agricoles ont été choisis (Fig III.1). Dont les coordonnées ont été déterminées à l'aide d'un GPS. Les différentes analyses ont été effectuées aux laboratoires :

- Laboratoire de recherche biogéochimie.
- Laboratoire de L'ITAS.
- Laboratoire de Centre de recherche.

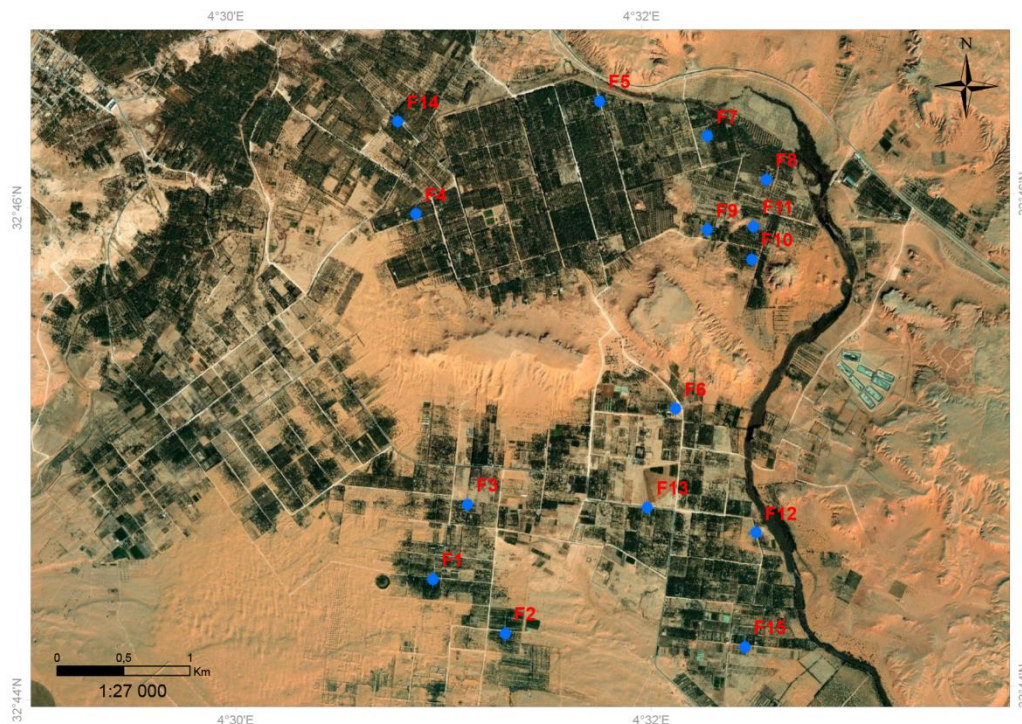


Figure III.1: Carte de localisation des points d'échantillonnage.

III.2.Méthodes analytiques

III.2.1.Mesure *in situ*

Les paramètres physico-chimiques nécessitent des mesures *in situ*, vu les variations rapides de ces paramètres dans le temps (Debieche, 2002).

A l'aide d'un multi paramètre (Multi 3620IDS) (phot. 1) programmé et étalonné, les paramètres mesurés sont : la température, la salinité, la conductivité électrique, le pH, la total dissolvedsolids TDS.



Photo III.1:Multi parmètre (Marque Multi 3620IDS).

III.2.2. Analyses au laboratoire

➤ Par spectrophotométrie DR2800

Le nitrite et le nitrate, le ortho-phosphate et le sulfate ont été analysés par un spectrophotomètre type DR 2800, marque HACH avec des réactifs.

➤ Par photométrie de flamme

Le dosage des Na⁺, et K⁺ est analysé par le photomètre à flamme (JENWAY) (phot. III.2). Les réactifs sont des solutions étalons de chaque élément (ISO 9964/3,1990). Les courbes d'étalonnage correspondantes au dosage de ces éléments sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau III.1 : Courbe d'étalonnage (K⁺ Na⁺)

Gamme d'étalonnage K ⁺		Gamme d'étalonnage Na ⁺	
Densité optique	Concentration	Densité optique	Concentration
9	2	9	2
42	4	25	4
80	6	41	6
111	8	59	8
147	10	74	10
177	12	86	12
L'équation de chaque courbe d'étalonnage			
Y=33.371x - 23.467		Y=15.71x - 6	

➤ **Par titrimétrie**

Le Chlorure Cl^- , le Calcium Ca^{2+} , le Magnésium Mg^{2+} et Bicarbonate HCO_3^- ont été réalisés par titrimétrie.

- Les chlorures Cl^- selon la méthode de MOHR, basée sur le titrage d'un volume d'eau avec une solution AgNO_3 concentrée en présence de l'indicateur K_2CrO_4 , jusqu'à changement de la coloration et le début du dépôt d'un précipité rouge (Rodier, 1996).
- Les bicarbonates HCO_3^- , basée sur le titrage d'un volume d'eau avec une solution HCl concentré en présence de l'indicateur coloré rouge de méthyle, jusqu'à changement de coloration (Rodier, 1996).
- Calcium Ca^{2+} . Ajout d'une HSN, puis titrage d'un volume d'eau avec une solution d'EDTA (tompo 12) concentrée jusqu'à changement de la coloration vers le violet (ADE, 2003).
- Manganisme Mg^{2+} , Calcium Ca^{2+} titrage d'un volume d'eau, en utilisant l'EDTA (tompo 10) comme réactif et le noir d'Urochrome comme indicateur coloré. Jusqu'à changement de la coloration le bleu (ADE, 2003).



Photo III.2: Spectrophotometre à flame

CHAPITRE IV
RESULTATS ET
DISCUSSION

Dans ce chapitre, on s'est intéressé de plus près à l'évaluation de l'aptitude à l'irrigation des eaux de la nappe du complexe terminal de la région de guerrara en procédant par synthétiser les données des analyses physico-chimiques de ces eaux.

IV.1. Lecture des résultats

IV.1.1. Paramètres physiques

IV.1.1.1. Température

La température de l'eau joue un rôle essentiel dans le contrôle de la composition chimique de l'eau souterraine, elle varie en fonction de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau (Boudoukha et *al*, 2012).

Les résultats des mesures de la température des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.1a) montrent une moyenne de 23.5 °C. La valeur minimale est de 21 °C enregistrée au niveau du forage F14, par contre la température maximale atteint 26.3 °C au niveau du forage F13.

IV.1.1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique est la salinité ou concentration totale de l'eau qui est à l'origine des dangers salins liés à une présence excessive de sels de toute nature (Rodier et *al.*, 2009).

Les lectures de la conductivité électrique des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.1b) on a enregistré une valeur minimale de 0.863mS/cm observée au niveau du forage F6, par contre une valeur maximale de 5.383 mS/cm est relevée au niveau du forage F12 . Les résultats obtenus au niveau de quelques forages (F4,F8,F9,F12 et F14) dépassent la norme d'irrigation 3 (ms/cm).

IV.1.1.3. Potentiel d'hydrogène

La concentration d'ions H⁺ dans un milieu indique son degré d'activité. Ceci est important car les micro-organismes employés dans un système de dépollution ne peuvent fonctionner correctement que dans une plage de pH de 6 à 8 (Mostfai, 2005).

La valeur maximale de pH est enregistrée au niveau du forage F2 et elle est de l'ordre de 7.7, une valeur minimale de 6.2 est obtenue au niveau du forage (Fig IV. 1c).

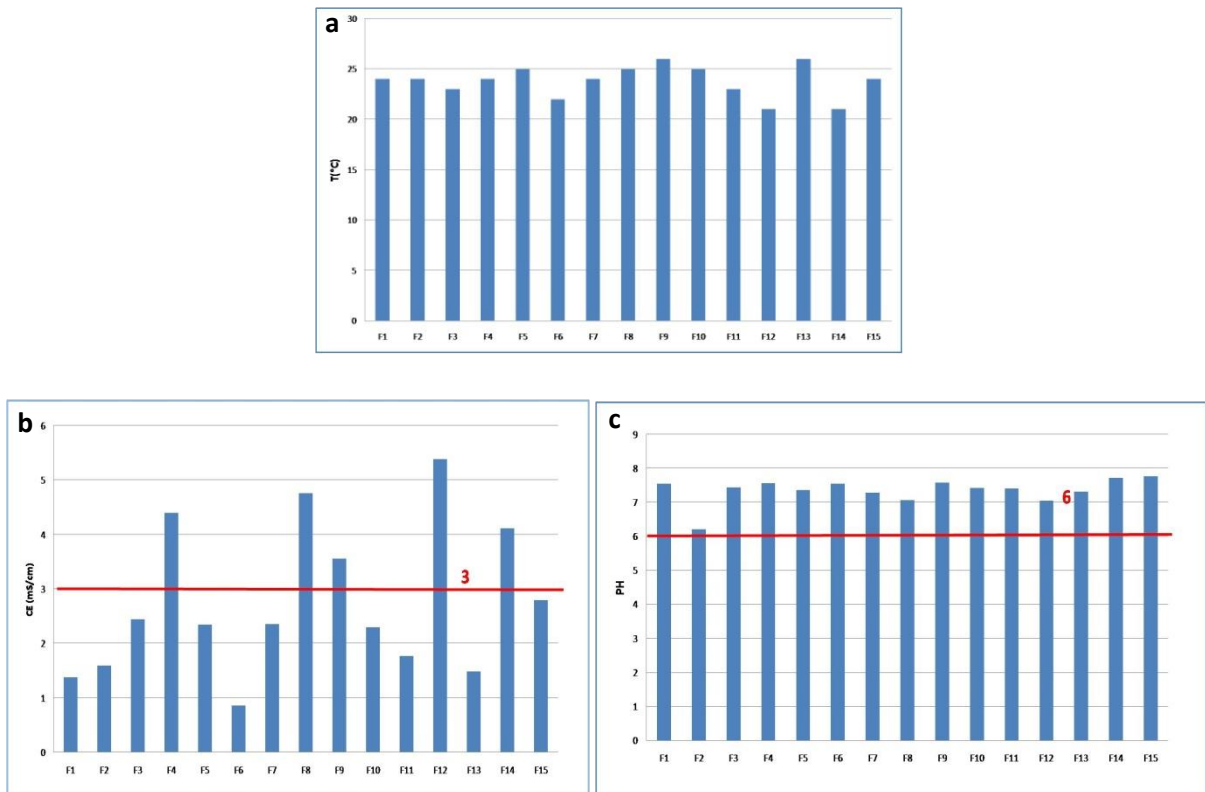


Figure IV.1: Variation des paramètres physiques entre les différents forages de la nappe du complexe terminal de la région de Guerrara.

IV.1.2. Paramètres chimiques

IV.1.2.1. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium pénètre dans le système d'eau douce par l'altération des roches, notamment le calcaire, ainsi que par l'infiltration, le lessivage et le ruissellement de la terre. La quantité de calcium dans l'eau est déterminée par le temps que l'eau passe dans des formations géologiques riches en calcium (Nechad et *al.*, 2014).

Les résultats des analyses des eaux de la nappe du CT révèlent une concentration moyenne de l'ordre de 172 mg. On note par ailleurs, une valeur minimale de 36 mg/l enregistrée au niveau du forage F13 et une valeur maximale de 308 mg/l obtenue au niveau du forage F8 (Fig. IV.2). On souligne également que les résultats d'analyses des forages n'ont pas dépassé les seuils exigés par la norme d'irrigation.

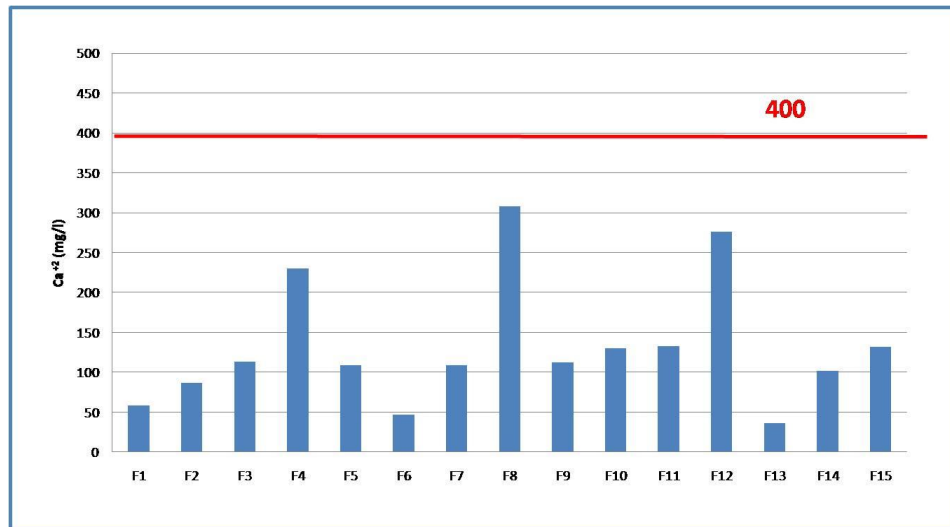


Figure IV.2: Variation des concentrations enCa²⁺des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.2.2. Sodium (Na⁺)

L'un des composants les plus défavorables de l'eau d'irrigation est le sodium. Les changements dans la roche et le sol, l'intrusion d'eau de mer, l'eau traitée et les systèmes d'irrigation sont autant de sources de cet élément (Boumedio, 2000).

Les teneurs en sodiums varient de 645 mg/l au forage F4 et de 362.5 mg/l au niveau du forage F1(Fig. IV.3), avec une moyenne de 362.5 mg/l.

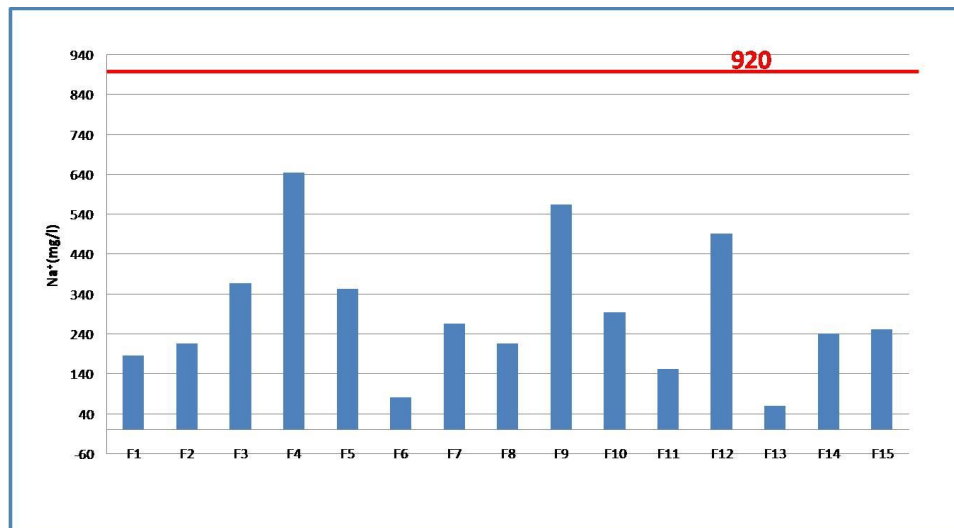


Figure IV.3:Variation de la concentration en Na⁺des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.2.3. Potassium (K^+)

Le potassium est obtenu à partir de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'azote, de potasse et de phosphore) présents dans les eaux usées agricoles. Il se présente dans la nature sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, comme la carnallite (fortement minéralisée au contact de certaines évaporites) et se retrouve également dans les centres végétaux sous forme de carbonate (Mebarkia, 2011).

D'après les résultats des analyses des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.4.), on observe que les concentrations obtenues en cet élément varient de la valeur minimale de 2 mg/l au forage F14, jusqu'à atteindre une valeur maximale de 34 mg/l au niveau du forage F12. Les résultats d'analyses dans quelques forages dépassent la norme d'irrigation.

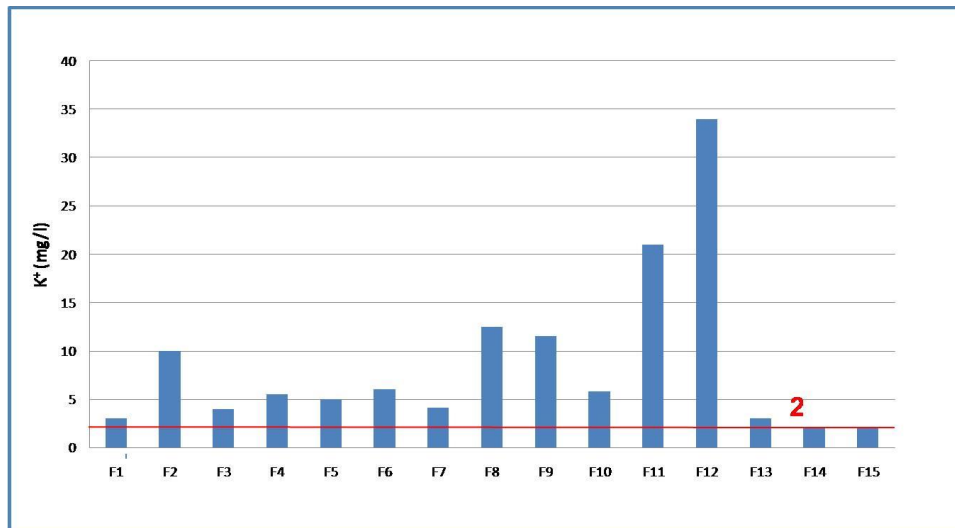


Figure IV.4: Variation de la concentration en K^+ des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.2.4. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (Rodier et *al.*, 2009).

Les résultats de magnésium des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.5.) montrent une moyenne de 187.5 mg/l. Une valeur maximale de 352 mg/l enregistrée au niveau du forage F14, et une valeur minimale de 23 mg/l enregistrée au niveau du forage F2. Les résultats de quelques forages d'eaux dépassent la norme d'irrigation.

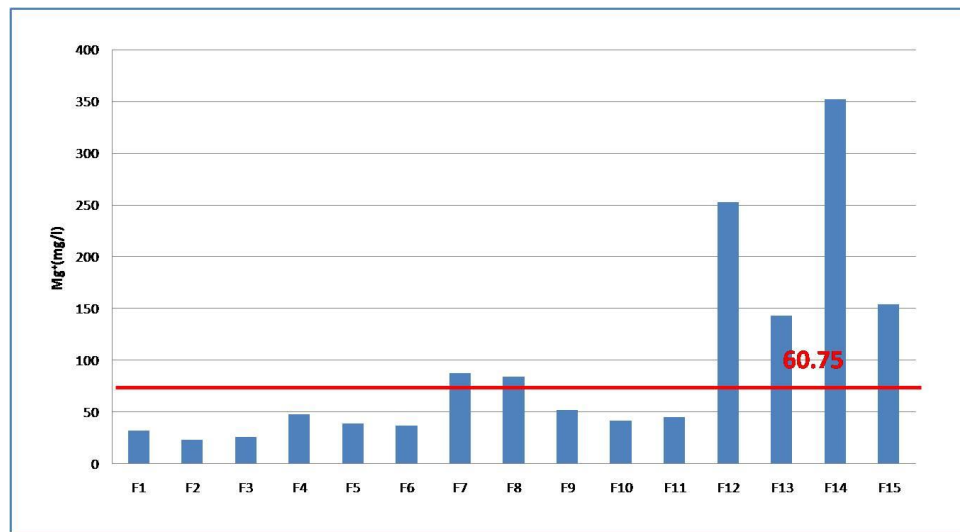


Figure IV.5 : Variation des concentrations en Mg^{2+} des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.2.5. Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont largement distribués dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ($NaCl$) et de potassium (KCl); ils se produisent naturellement dans les eaux souterraines en raison de l'altération et du lessivage des roches et des sols sédimentaires, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Ils sont fréquemment utilisés comme indicateur de pollution (Nechadet *al.*, 2014).

Les résultats des analyses des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.6), montrent que les teneurs en chlorures varient de 198 mg/l au forage F6, à une valeur de 1254 mg/l au niveau du forage F8. La teneur moyenne est de 726 mg/l. On souligne par ailleurs que la teneur en Cl^- des forages F8, F12 et F14 dépassent la norme d'irrigation.

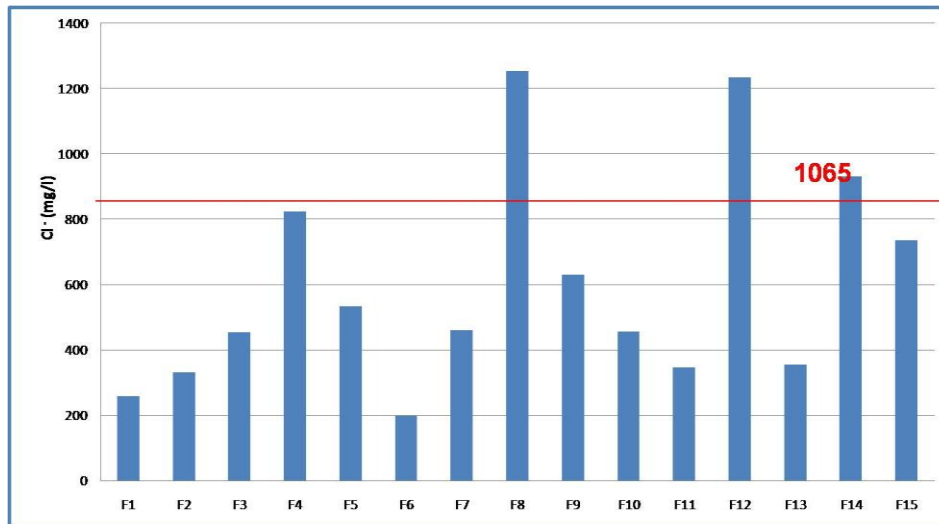


Figure IV.6 : Variation de la concentration en Cl^- des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.2.6. Bicarbonates (HCO_3^-).

La présence de bicarbonates dans l'eau est causée par la dissolution des formations carbonatées (cipoline, calcaire) par l'eau contenant du dioxyde de carbone (CO_2) issu de la minéralisation de la matière organique (Mebarkia, 2011).

On remarque que les teneurs en bicarbonates des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.7) varient d'une valeur minimale de 84 mg/l enregistrée au forage F6 à une valeur maximale de 632 mg/l au forage F14. La teneur moyenne en HCO_3^- est de 358 mg/l, le forage F14 présente une teneur élevée en HCO_3^- dépassant la norme d'irrigation.

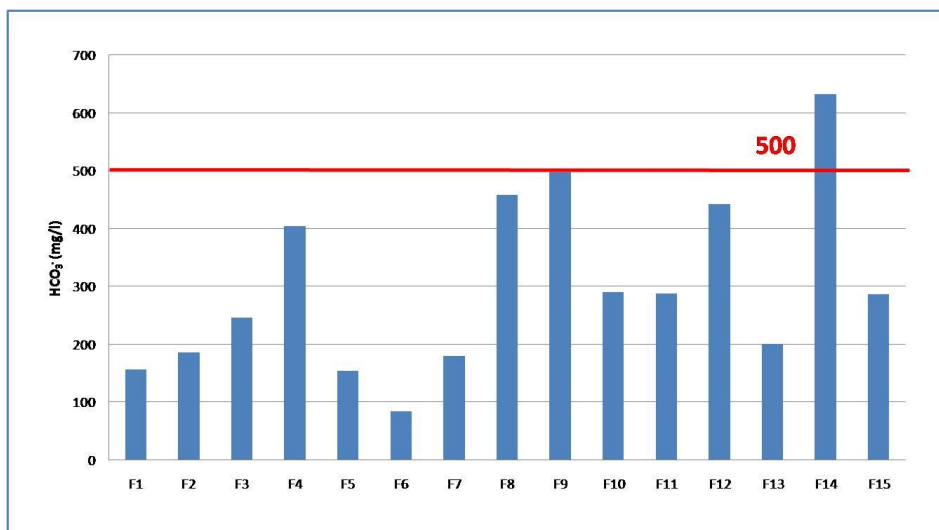


Figure IV.7: Variation de la concentration en HCO_3^- des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.2.7. Sulfates (SO_4^{-2})

Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, celui-ci existe à l'état naturel dans certains minéraux tel que le gypse et la baryte. Sa présence dans des eaux phréatiques provoque une dissolution du gypse (Briere, 2000).

Les résultats des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.8.), montrent que les teneurs des sulfates dans les eaux de la région sont très élevées, avec une moyenne de 403 mg/l. Une valeur minimale de 91 mg /l est enregistrée au forage F6. Une valeur maximale de 715 mg/l enregistrée au niveau du forage F12. Deux forages (F4 et F12) affichent des teneurs élevées dépassant la norme d'irrigation.

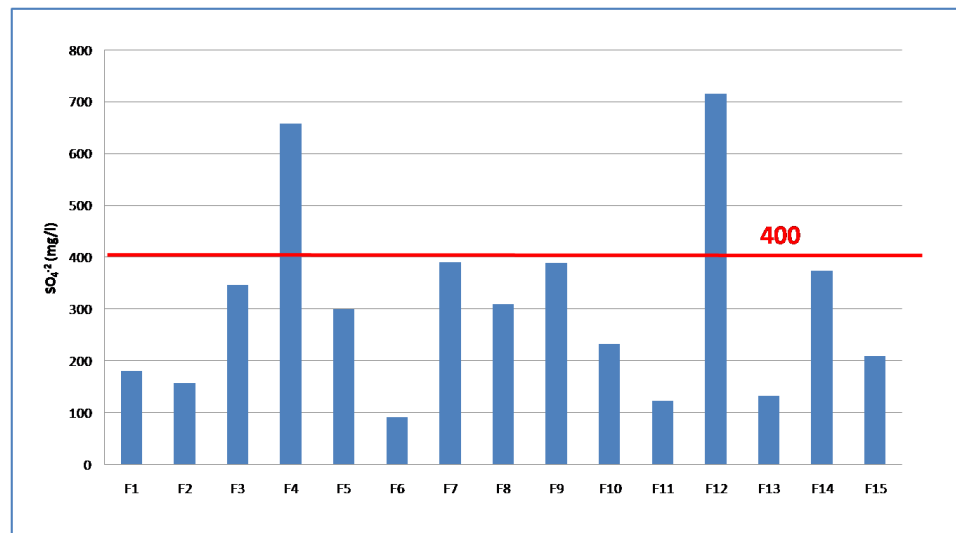


Figure IV.8 : Variation de la concentration en SO_4^{-2} des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.3. Paramètres de pollution

IV.1.3.1. Nitrates (NO_3^{-2})

L'azote est un nutriment qui aide les plantes à prospérer. Lorsqu'il est utilisé en grand nombre, il inhibe la production ou retarde la maturité des cultures. L'azote dans l'eau d'irrigation sert le même objectif que l'azote dans les engrais, et des dosages excessifs, comme l'excès d'engrais, causent des difficultés (Bourodj, 2012).

Au niveau de la région de Guerrara, la concentration des nitrates dans les eaux est faible. Elle varie de 3,6 mg /l aux forages F12 à 23 mg/l au forage F10 (Fig. IV. 9). Les

résultats obtenus des teneurs en nitrates des forages (F9,F10,F11,F13 et F15) dépassent la norme d'irrigation.

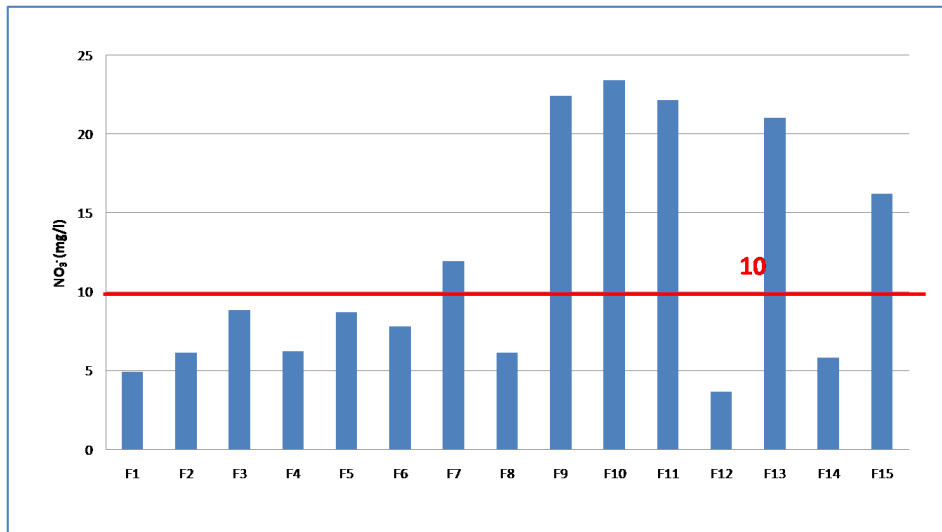


Figure IV.9: Variation des concentrations en NO₃⁻ des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.1.3.2. Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites sont produits soit par une oxydation incomplète de l'ammoniac, dans laquelle la nitrification n'est pas terminée, soit par la réduction des nitrates (Boukhobza, 2009).

La teneur en nitrites des eaux de la nappe du CT (Fig. IV.10) oscille entre 0.0017 mg/l au forage F10, et 1.8 mg/l au niveau du forage F13. La teneur moyenne est de 0.9 mg/l. Deux forages (F13 et F15) affichent des teneurs élevés dépassant la norme d'irrigation.

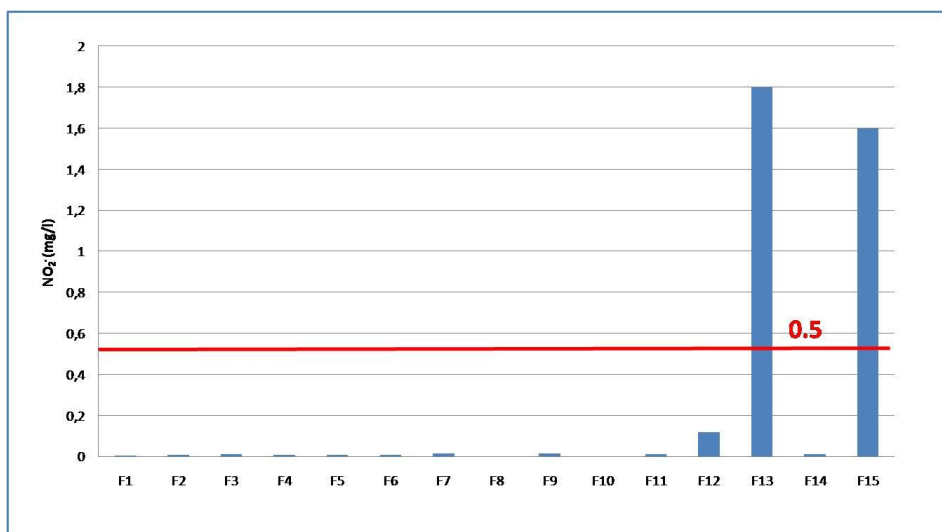


Figure IV.10: Variation des concentrations en NO_2^- des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

VI.1.3.3. Phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates dans l'eau sont dus aux déchets urbains ou à la dégradation des engrais chimiques (Boumedouf, 2000).

Les résultats des analyses des eaux de la nappe du CT (Fig.IV.11), montrent que la valeur minimale de 0.1 mg/l est enregistrée au niveau du forage F12, et la valeur maximale de 5.35 mg/l est obtenue au niveau du forage F1. Deux forages (F1 et F6) affichent des teneurs élevés dépassant la norme d'irrigation.

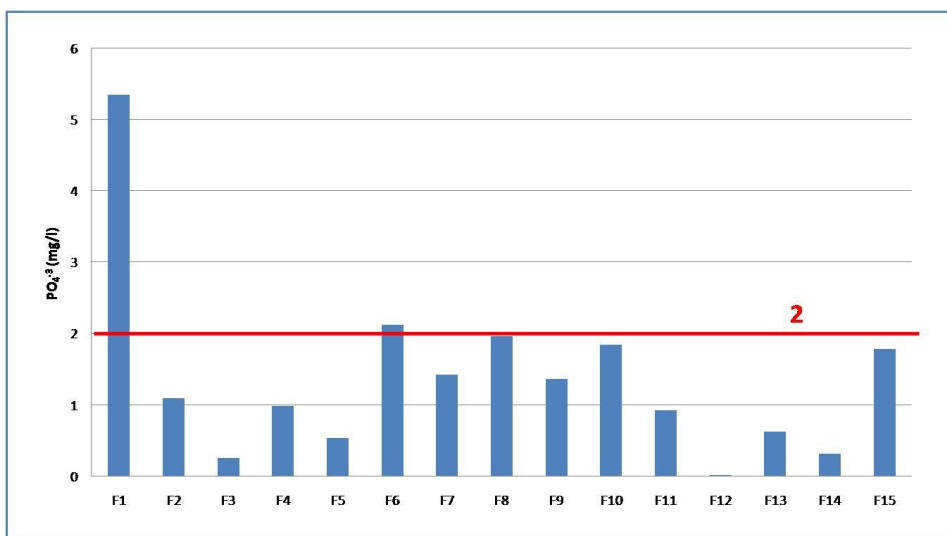


Figure IV.11 : Variation des concentrations en PO_4^{3-} des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.2.Caractérisation géochimique

IV.2.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillon d'eaux. Il est composé de triangles qui représentent les faciès cationique et anionique, ainsi que d'un losange qui représente le faciès global. Ce style graphique est très utile pour comprendre l'évolution des faciès d'eau au fur et à mesure de la minéralisation ou pour reconnaître des groupes d'échantillon (Tarchi,2014).

Les résultats d'analyses des eaux du complexe terminal de la région de Guerrara (Fig. IV.12) révèlent que ses eaux appartiennent une seule famille des eaux chlorurées sodique.

Selon l'abondance relative des cations, on note que dans ces eaux, c'est le sodium qui a des proportions élevées;ensuite le calcium et le magnésium. L'ion potassium est pratiquement négligeable. Il ressort que le pourcentage d'abondance des cations est :

- $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ il est près du 60%
- $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$ il est près du 40%

Pour les anions, les chlorures sont plus prépondérants que les sulfates et les carbonates. L'ordre de classement des anions selon leur importance est le suivant :

- $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^-$ il est près du 60 %
- $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$ il est près du 40%

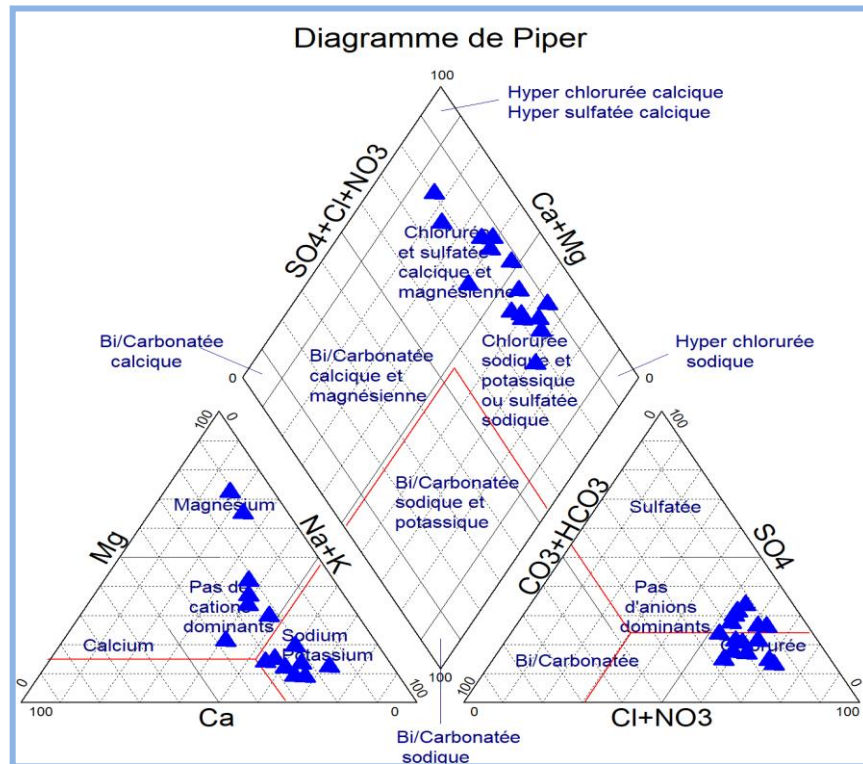


Figure IV.12: Diagramme de Piper des eaux du CT de la région de Guerrara.

IV.2.2. Indice d'échange de Base (I.E.B)

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

Il est donné par l'expression suivante :

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

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

D'après les résultats, 53.3 % de nos échantillons présentent un indice d'échange de base positif. Les eaux du forage F10 présente un a équilibre entre la composition chimique de l'eau et de l'engrais (Fig. IV.13).

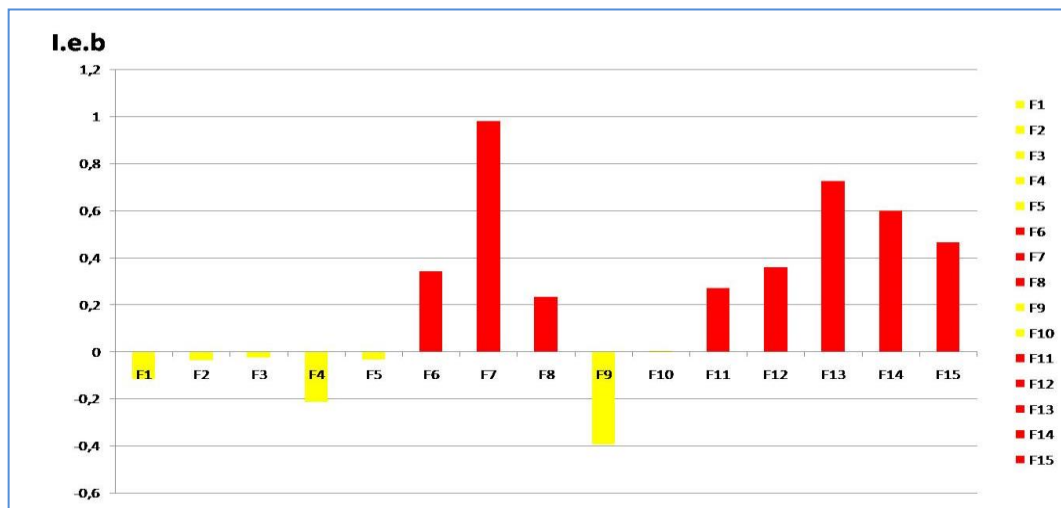


Figure IV.13 : Variation d'indice d'échange de base des eaux de la nappe du CT de Guerrara.

IV.3. Aptitude des eaux du complexe terminal à l'irrigation

L'un des éléments déterminants de la production agricole dans les régions arides est la disponibilité de l'eau d'irrigation. Outre la rareté des ressources en eau, la croissance agricole dans ces zones est aujourd'hui confrontée à des défis supplémentaires, tels que la possibilité de salinisation des sols. En raison des faibles précipitations et de l'évaporation importante à cet endroit, une évaluation de la pertinence de l'eau d'irrigation est requise (Khemgani, 2020).

IV.3.1. Salinité

La teneur excessive en sel est l'une des plus grandes difficultés de l'eau d'irrigation. Des concentrations élevées de sel dans l'eau ou le sol réduisent la production agricole et favorisent la détérioration des sols et polluent les eaux souterraines (Adnane, 2015).

La concentration en sel est donnée par le TDS (qualité totale de matière dissoute) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m^3) et selon la calcification de Ayers et Westocot (1985) on désigne que le degré de restrictions à l'usage 2000 mg/l.

On remarque que la teneur la plus élevée en sel est de 3451 mg/l au niveau du forage F12 et la teneur plus basse est de 553 mg/l enregistrée au niveau du forage F6. Avec une moyenne 2002 mg/l, on conclut qu'il existe des forages avec un bon taux de TDS dans la région de Guerrara.

IV.3.2. Indice de Chlorures

En vue d'apprécier la qualité des eaux pour l'irrigation dans les différentes stations échantillonnées, nous avons utilisé l'indice de Chlorures. Les valeurs de chlorures varié de 198 mg/l à 1254 mg/l.

L'altération minérale de l'indice de Chlorures présente quatre classes d'aptitude de l'eau à l'usage irrigation (Tab. IV.1) :

- ✓ 20% des eaux analysées appartient à la classe de bonne qualité parce que la concentration du Cl^- est inférieur à 360 mg/l. L'eau permet l'irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols.
- ✓ 46.66% des eaux analysées a partaient à classe de qualité moyenne par c'est que les résultants de concentration de Cl^- supérieure à 360 mg/l et inférieur à 700 mg/l. L'eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
- ✓ 20% des eaux analysées appartient à classe de qualité médiocre où les concentrations du Cl^- supérieure à 700 mg/l. Cette eau utilisée dans l'irrigation des plantes très tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
- ✓ 13.33% des eaux analysées appartient à classe de mauvaise qualité par c'est que les résultants de concentration de Cl^- très élève à 700 mg/l. Cette eau est inapte à l'irrigation.

Nous remarquons que les risques liés aux chlorures dans l'eau d'irrigation haute, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles (un risque de salinisation).

Le principaux polluant de l'eau d'irrigation de la nappe du CT c'est le Cl⁻, le risque de salinité liés beaucoup plus à la nature de la géologie du sol, donc la pollution est naturelle

Tableau IV.1: Indice de Chlorures

Nom	Classe	Indication
F1	Bonne	Eau permettant l'irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols.
F2	Bonne	Eau permettant l'irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols.
F3	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F4	Médiocre	Eau permettant l'irrigation des plantes très tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F5	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F6	Bonne	Eau permettant l'irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols .
F7	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F8	Mauvaise	Eau inapte à l'irrigation.
F9	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F10	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F11	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F12	Mauvaise	Eau inapte à l'irrigation.
F13	Moyenne	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F14	Médiocre	Eau permettant l'irrigation des plantes très tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.
F15	Médiocre	Eau permettant l'irrigation des plantes très tolérantes ou des sols alcalins ou neutres.

VI.3.3. Sodium adsorption ratio (SAR)

L'irrigation du sol par une eau sodique favorise la dispersion des argiles et la structure est dégradée, le milieu devient imperméable et asphyxiant. Le danger d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol, Ce risque est déterminé à partir du rapport du sodium adsorbable (sodium adsorption ratio, SAR). Tous les ions sont exprimés en méq/l. est calculé par la formule suivante :

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

En vue d’apprécier la qualité des eaux pour l’irrigation dans les différentes stations échantillonnées, nous avons utilisé *l’indice de SAR*. Les valeurs calculées de SAR varient de 1,0189 à 11,0449

L’altération minérale de l’indice de SAR présente deux classes d’aptitude de l’eau à l’usage d’irrigation (Tab. IV.2) :

- ✓ 80 % des eaux analysées appartiennent à la classe de très bonne qualité. Les résultats de SAR sont inférieurs à 8. L’eau peut servir à l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
- ✓ 20 % des eaux analysées appartiennent à la classe de bonne qualité. Les résultats de SAR sont supérieurs à 8 et inférieur à 18. Eau valable à l’irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols.

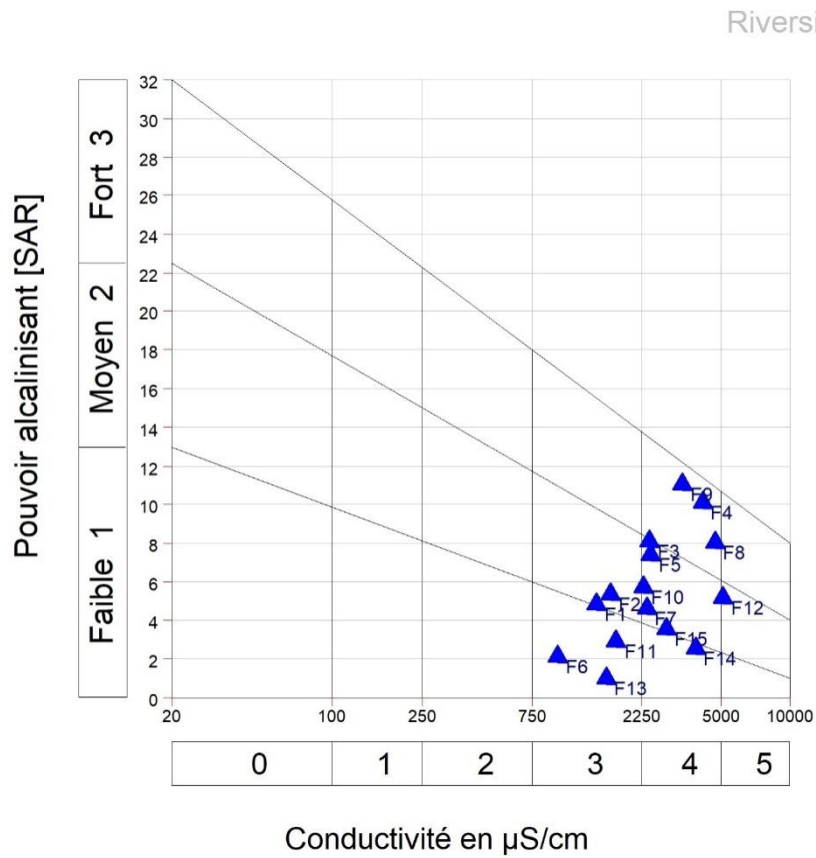
Tableau IV.2: Indice de SAR

Nom	SAR	Classe	Indication
F1	4,8668	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
F2	5,3466	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
F3	8,0953	Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols .
F4	10,1018	Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols.
F5	7,4050	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
F6	2,1462	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
F7	2,5179	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
F8	8,0408	Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols .
F9	11,0449	Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols .
F10	5,7355	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols
F11	2,2843	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols.
F12	5,1460	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols
F13	1,0189	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols
F14	2,5404	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols
F15	3,5464	Très Bonne	Eau permettant l’irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols

Sur la diagramme de Richards (fig IV.14), on remarque que les réparties sur deux classes :

- C3S1 Ce sont des eaux de qualité moyenne à médiocre pour l’irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés et à haute perméabilité.
F1, F2, F6, F11 et F13 sont les eaux d’irrigation des forages de cette classe. Il existe un fort risque de salinisation et un faible risque de sodicité.
- C4S1 et C4S2 sont les deux classes. Ce sont des eaux de qualité médiocre à mauvaise, très minéralisées qui sont susceptibles de convenir à l’irrigation de plantes tolérantes au sel sur des sols bien drainés.

Ce type d'eau d'irrigation de forage comprend F3, F4, F5, F7, F8, F9, F10, F12, F14 et F15. Il en résulte un risque très élevé de salinisation et un risque moyen de sodicité.



FigureIV.14 : Diagramme de Richards des eaux du complexe terminal de Guerrara

CONCLUSION

CONCLUSION

Au terme de notre travail de recherche sur l'aptitude à l'agriculture des eaux souterraine de l'oasis de Guerrara. Le principal objectif de cette étude est de déterminer la qualité physico-chimique des eaux souterraines du complexe terminal.

Pour l'étude de la qualité chimique de l'eau et le comportement des éléments chimiques quinze forages ont été choisis, à travers la caractéristique géochimique. Sur la base des résultats des analyses physico-chimiques des eaux de l'aquifère du CT, il a été possible de conclure :

- L'étude hydrochimique de la nappe du CT montre que l'eau est dans l'ensemble, fortement minéralisée avec une conductivité électrique qui varie entre 0.86 et 5.38mS/cm, avec un pH neutre à tendance alcaline pour tous les forages
- Les éléments minéraux majeurs ont montré une augmentation des teneurs en cation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) au niveau des forages F4, F8, et en anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) au niveau des forages F8, F12 et F14, traduisent un taux de salinité important.
- Le faciès chimique des eaux est chloruré sodique pour la majorité des forages.
- Les valeurs de l'indice de sodicité (SAR) sont comprises entre 1,02 et 11,05, ce qui a permis de classer les eaux échantillonnées dans la catégorie très bonne et bonne qui conviennent aux plantes sensibles ou de tous les sols. les valeurs de l'indice de chlorure sont comprises entre 198 mg/l et 1254 mg/l, permettant ainsi de classer les eaux échantillonnées dans la catégorie bonne, moyenne, médiocre et mauvaise « risque de salinité ».
- La méthode de Richards a montré que les eaux de la nappe du CT appartiennent généralement à deux classes principales C3S1, et C4S1-S2, 33,33 % de cette eau est de qualité moyenne à médiocre pour l'irrigation. 66,66 % de cette eau est de qualité médiocre à mauvaise.

A travers cette étude sur la qualité chimique de l'eau de l'aquifère CT de Guerrara, nous avons pu cerner l'état de ces eaux. il en ressort une augmentation de la salinité et de la concentration de certains éléments chimique. Nous prouvons dire que les eaux sont très minéralisées.

A l'avenir, il serait souhaitable de traiter l'eau avant utilisation en réduisant le taux de salinité de l'eau de la nappe CT de Guerrara, en utilisant quelques systèmes d'irrigation qui

filtrant l'autouteutilisation domestique ou pour les plantes très tolérantes qui résiste à la salinité.

Références bibliographiques

Référence bibliographique

1. **ADE. 2003.** Manuel d'analyses physicochimiques et bactériologiques. Agenceregionale d'Alger, département de contrôle de qualité de l'eau, laboratoire central.44p.
2. **ADNANE, F.2015.** Etude de qualité des eaux de surface destinées à l'irrigation .Mémoire de master, université de Blida 1.
3. **AL NANER, M. 2018.** Agriculture irriguée à partir des eaux souterraines en région aride : le cas de l'oasis d'Azraq.Jordanie Université Paul Valéry - Montpellier III;WageningenUniversiteit en Research centrum (Wageningen, Nederland).54-93 p
4. **AMOUMEN, S. 2013.** Qualité chimique de l'eau de la nappe alluviale de région Guerrara. Mémoire de master, université KasdiMerbah Ouargla.
5. **AOUAM, H. 2007.** Etude minéralogique et micromorphologique des sols alluviaux dela région de Guerrara (W. Ghardaïa).
6. **BENAISSA, A. 2017.** Impact de la qualité des eaux forage albien et Moi-pliocènesur certaine paramètre physico-chimique du sole dans la zone hassi ben Abdalah.Mémoire de magister, université kasdimerbah Ouargla.
7. **BENSLIMANE, A. 2021.** Les méthodes traditionnelles d'irrigation dans les oasis d'Algérieétude d'anthropologie social .journl of cultural linguistic and artisticstudies.Democratic Arab
8. **BERNE, F., et CORDONNIER, J. 1991.** Traitement des eaux. Edition : tec, 6-14p.
9. **BOUAROUDJ, S. 2012.** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation Magistère enÉcologie.UniversitéMentouri Constantine
10. **BOUKHOBZA,K. 2009.**Contribution a l'étude de la qualité phusico-chimique et bactériologique de l'eau de source (Foundrou) d'Ainkihal (Ain témouchenet).Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. Département biologie. Université Telemcen.
11. **BOUMEDOL, A. 2000.** Etude caractéristiques physico-chimiques de certainessources d'eaupotable de la ville de Tiaret. Mémoire ING ISA, Tiaret.
12. **BOURSALI, T. 2008.** Hydrogéologie de la région de bel hacel. Mémoire demagister en science de la terre, université d'Oran.
13. **BOUTELDJAOUI, F.2019.** Qualité des eaux souterraines et superficielles. Djelfa
14. **BRIERE, D. 2000.** Distribution et collecte des eaux . Edition 2, Ecole polytechnique de Montorial, 3-19p. center .Germany-Berlin
15. **COUTURE, I. 2006.** Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation.Conseillère en production maraîchère Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et del'Alimentation Direction régionale de la Montérégie, secteur est Saint-Hyacinthe (Québec). p2-3 -5.
16. **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 demagister, université KasdiMerbah Ouargla.
17. **DRISSI, Z. 2016.** Etude de la qualité chimique des eaux de l'aquifère du Complexe Terminal dans la région de Guerrara.Mémoire de master, université KasdiMerbah Ouargla.

18. **EL-ASSLOUDJ, E., KHOLTEI, S., EL AMRANI, N., HILALI, A. 2007.** analyse la qualité physico-chimiques des eaux souterraines de la communauté des mazamaz. au voisinage des eaux usées, afeique SCIENCE 03(1) 109-122
19. **FAO. 2003.** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Bureau régional pour le Proche-Orient et bureau sous régional pour l'Afrique du nord. Irrigation avec des eaux usées traitées. Manuel d'utilisation, 73p.
20. **GUEMARI, F. 2008.** ETUDE DU SYSTEME ANCESTRAL DE CAPTAGE ET DE DISTRIBUTION DES EAUX DANS L'OASIS DE GHARDAIA (oasis de Guerrara). Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla.
21. **HADJ-SAIDS., HAMDI-AISSA, B., TOUIL, Y. 2007.** Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agro système oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab).
22. **HASSANE, A. 2018.** Evaluation des ressources en eau de l'aquifère du continentale intercalaire Hamadien de la région de Tahoua (bassin des Iullemeden, Niger) : impacts climatiques et anthropiques. Thèse de doctorat, l'Université Paris-Saclay et l'Université Abdou Moumouni préparée à l'Université Paris-Sud et à l'Université Abdou Moumouni de Niamey.
23. **KAMEL, S. 2007.** caractérisation hydrodynamique et géologique des aquifères du Djérid (sud ouest Tunisie). Thèse de doctorat, université de Tunis El Manar
24. **KHADRAOUI, A. 2007.** Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes. 305P
25. **KHEMGANI, A. 2010.** Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Mémoire de magister, université kasdi Merbah Ouargla.
26. **KHEMGANI, A. 2020.** Effets de la nappe alluviale de l'Oued Zegrir sur la qualité des eaux et la salinisation des sols de l'oasis de Guerrara. Doctorat, université kasdi merbah Ouargla.
27. **KOUZMINE, Y. 2007.** L'eau et les territoires sahariens en Algérie, Mutations et enjeux, ANDRU CRASC. Colloque international Eau, Ville et Environnement, Nov 2007, Oran, Algérie. 255p
28. **MAJD, Z. 2008.** Agriculture irriguée à partir des eaux souterraines en région aride : le cas de l'oasis d'Azraq, Jordanie.
29. **MARGAT, J. 1991.** Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde . Co-édition BRGM. P43
30. **MOSTAIFI, M. 2005.** Le rendement de la station de traitement de barrage Ben Khadda. Thèse d'ingénieur d'Etat en écologie végétale et environnement, Faculté de la science Agrovétérinaire. Université de Tiaret, 97p.
31. **NECHAD, I ; FADIL, k. and FADIL, F. 2014.** physicochemical quality of AIN REGRAG and Ain SIDI BOUALI springs in the SEFROU (MOYEN ATLAS, MAROC). Larhyss Journal.
32. **O.N.M. 2005.** Données climatiques de la station de Ghardaïa. période 1997 - 2005, rapport de l'Office National de la Météorologie O.N.M. Ouargla.

33. **OMS (Organisation Mondiale de la Santé).1989** .Toxicologicalevaluation of certain foodadditives and contaminants.3ème rapport du comité mixte FAO/OMS d'experts des additifsalimentaires. rapport technique n°776 de l'OMS, Genève (Suisse), 156p
34. **RICHARDS, L,A.1954**. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils . agrichandbook 60, USDA , D .C . P 160
35. **RODIER, J.2009**. L'analyse de l'eau, 9ème éd, Paris, 1579p.
36. **RODIER, J., LEGUBE, B., MERLET, N., et Coll. 1996**. L'analyse de l'eau, eauxnaturelleseaux résiduaires, eau de mer. 8ème Ed : DUONOP, Paris,1394p.
37. **RODIER, J., LEGUBE, B., MERLET, N., et coll. 2009**. L'analyse de l'eau contrôle et interprétation. 10ème Edition DUONOP, Paris.
38. **SAOUD, B. 2014**.contributiona l'étude hydro chimique de la nappe sénonien dans la région de Guerrara (Ghardaia).Mémoire de master, université kasdimerbah Ouargla.
39. **SEQ.2003**. Eaux souterraines – Rapport de présentation Version 0.1 – Août 2003. p11-26.
40. **SLIMAINI,R. 2016**.Contribution a l'évaluation d'indicateurs de pollutionenvironnementale dans la région de ouargla .Mémoire de magister, universitékasdiMerbah Ouargla.
41. **TARCHI , S. 2014**. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, La plante et le rendement des système d'irrigation. Mémoire de master, Ecole nationale superieure d'hydraulique.