

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

Université de Kasdi Merbah Ouargla



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

Département Sciences de la Terre et de l'Univers

Mémoire de Master Académique

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Influence des activités anthropiques sur la dynamique et la
qualité de la nappe superficielle de Guerrara**

Soutenue Publiquement Le : 23/06/2024

Présenté par :

ZEGAOU NASSIMA

Président : **BOUSAADA Nawal**

MCA

Université de Ouargla

Promotrice : **HADJ-SAID Samia**

Pr

Université de Ouargla

Examineur : **REMITA Abderraouf**

MAA

Université de Ouargla

Année Universitaire : 2023/2024



Dédicace

Je dédie cet humble travail

À ceux qui ont arrosé de leur sang pour le sol de la patrie bien-aimée... Aux enfants de Gaza... À toi, Palestine

À celui qui m'a mis en avant, m'a élevé et m'a appris ce qui est juste... mon cher père

*À cette grande femme qui m'a appris la fermeté et l'espoir...
ma mère*

À mon soutien et à celui qui m'a encouragé à terminer mes études, mon cher oncle... Khairani Rashid

À mes fleurs, mes chères sœurs et frères... Au bourgeon de la famille, Abd El Rahim

À mes chers collègues, à tous ceux qui étaient avec moi sur le chemin de la réussite et du bien... et enfin à tous ceux que ma plume a oubliés mais que mon cœur n'a pas oubliés...

✍ ... ZEGAOU NASSIMA

Remerciements

Tout d'abord, louange et gratitude à *Dieu*, le Seigneur des mondes, par la grâce de qui ce modeste travail a été accompli

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance et ma gratitude à *Mme.*

Hadj Saïd Samia, professeure à l'Université de Ouargla, la superviseure qui a grandement contribué à la réussite de ce travail. Elle m'a accordé toute sa confiance et m'a apporté tout son soutien. Je vous remercie sincèrement pour votre précieuse supervision de mon projet de fin d'études.

Un grand merci et toute ma gratitude à *tous les enseignants* du département des Sciences de la Terre et de l'Univers, en particulier *les professeurs d'hydrogéologies*. Merci à tous ceux qui m'ont enseigné et ont contribué à me soutenir.

Mes remerciements les plus sincères et les plus profonds à tous ceux qui m'ont soutenu pendant mon stage au personnel de l'*Agence nationale des ressources en eau à Ouargla*, en particulier *M. Ben Taleb Abdelkader*.

Je tiens également à exprimer ma sincère gratitude envers le personnel de l'*Agence nationale des ressources en eau de Ghardaïa* et tous ceux qui m'ont apporté leur aide, en particulier *M. Ashour Mansour*.

Enfin, je remercie toute *ma famille, mes amis, les étudiants et les étudiantes*, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail.

 ... ZEGAOU NASSIMA

Résumé :

Ce travail a pour but d'étudier l'influence des activités anthropiques sur la dynamique et la qualité de la nappe superficielle dans la région de Guerrara. Cette région se caractérise par un écosystème fragile, connu pour son agriculture intensive et certaines activités industrielles, qui influencent la qualité et la dynamique de la nappe superficielle utilisée pour l'irrigation.

Pour l'étude hydrochimique et hydrodynamique, des mesures de niveau de la nappe et des échantillons d'eau ont été prélevés dans les puits de la région. L'étude chimique des eaux de la nappe a montré que la température, le pH et la conductivité électrique varient d'un puits à l'autre, montrant qu'il y a des puits qui ne conviennent pas à l'irrigation.

L'étude piézométrique a montré une augmentation du niveau piézométrique de la nappe superficielle par rapport aux campagnes d'Avril 2012 et Avril 2013, et a montré que la direction de l'écoulement de l'eau est très différente pour ces deux campagnes.

Mots-clés : activités anthropiques, nappe superficielle, dynamique et qualité de l'eau, Guerrara

ملخص:

يهدف هذا العمل الى دراسة تأثير الأنشطة البشرية على ديناميكية وجودة منسوب طبقة المياه السطحية في منطقة قرارة، تتميز هذه المنطقة بنظام ايكولوجي هش، كما تعرف بالنشاط الزراعي الكثيف وبعض الانشطة الصناعية، تؤثر هذه الأنشطة على جودة وديناميكية منسوب طبقة المياه السطحية المستخدمة للرّي.

للدراة الهيدروكيميائية والهيدروديناميكية تم قياس منسوب الطبقة المائية السطحية كما تم أخذ عينات من الآبار الموجودة في المنطقة، أظهرت الدراة الكيميائية أن درجة الحرارة ودرجة الحموضة والتوصيل الكهربائي للمياه، تختلف من بئر الى آخر، بحيث أن هناك آبار لا تصلح للرّي.

أوضحت الدراة البيزومترية إرتفاع في المستوى البيزومتري لمنسوب طبقة المياه السطحية مقارنةً مع فترتي أبريل 2012 وأفريل 2013، كما ان اتجاه سيران الماء يختلف تماما عن هاتان الفترتان.

الكلمات المفتاحية: الأنشطة البشرية، طبقة المياه السطحية، ديناميكية وجودة المياه، القرارة

Abstract:

The aim of this work is to study the influence of anthropogenic activities on the dynamics and quality of the surface water table in the Guerrara region. This region is characterized by a fragile ecosystem, known for its intensive agriculture and certain industrial activities, which influence the quality and dynamics of the surface water table used for irrigation.

For the hydrochemical and hydrodynamic study, level measurements and water samples were taken from wells in the region. The chemical study of the groundwater showed that temperature, pH and electrical conductivity vary from well to well, so that some wells are unsuitable for irrigation.

The piezometric study revealed an increase in the piezometric level of the surface water table compared with the April 2012 and April 2013 campaigns, and showed that the direction of water flow is very different for these two campaigns.

Keywords: anthropogenic activities, surface water table, water dynamics and quality, Guerrara

Liste des abréviations

- A.N.R.H** : Agence Nationale Des Ressources Hydriques .
- B.N.E.D.E.R** : Bureau National d'Études pour le Développement Rural
- CE** : Conductivité Electrique
- CI** : Continental Intercalaire.
- CT** : Complexe Terminal.
- D.G.B** : Direction Générale du budget de Ghardaïa.
- DHT** : Degré Hydrotimétrique Totale
- D.I.M** : Direction de l'industrie et des mines
- D.S.A** : la Direction des Services Agricoles de Ghardaïa.
- ETP** : Evapotranspiration Potentielle
- ETR** : Evapotranspiration Réelle
- GPS** : Global position système.
- OD** : Oxygène Dissous
- O.M.S** : Organisation Mondiale de la Santé.
- pH** : Potentiel Hydrogène
- S.A.R** : Coefficient d'Absorption du Sodium.
- S.A.U** : Surfaces Agricoles Utiles
- S.C.G** : Service des Cartes Géologiques

Liste des Photos

Photo 1 : Digue de dérivation de la crue de l'Oued Zegrir	22
Photo 2 : Sonde piézométrique	28
Photo 3 : Des photos montrant les trois puits de prélèvement d'eau	29
Photo 4 : Conversion des terres agricoles en zones urbaines dans El Guerrara.....	34
Photo 5 : L'activité agricole à Guerrara	38
Photo 6 : Les engrais biologiques (les déchets organiques d'origine animal) utilisés comme des fertilisants des sols cultivés (Harabi et Loucif,2012).	39
Photo 7 : A l'entrée du ksar, un puits à traction animale (khottara) ; symbole d'alimentation en eau du ksar et d'irrigation de la palmeraie (Photo. Remini, 2019)	41

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles pendant la période (2003/2023)	14
Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles à Ghardaïa (2003/2023).	15
Tableau 3 : Humidité relative de l'aire (H%) dans la région de Ghardaïa (2003-2023).....	16
Tableau 4 : Vitesses de vent (km/h) à Ghardaïa (2003- 2023)	17
Tableau 5 : Durée mensuelle de l'insolation (heures) à Ghardaïa	17
Tableau 6 : Résultat de calcul de l'ETP par la méthode de Thornthwaite	19
Tableau 7 : Caractéristiques morphométriques du bassin.....	21
Tableau 8 : La croissance démographique dans la région de Guerrara	33
Tableau 9 : Les zones industrielles à Guerrara (DIM 2022).....	43
Tableau 10 : Résultats des analyses chimiques de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024.....	48
Tableau 11 : Faciès chimiques des eaux de la nappe superficielle de Guerrara	57
Tableau 12 : Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Richards.	63
Tableau 13: Les résultats de calcul du niveau piézométrique.....	66

Liste des Figures

Figure 01: Situation géographique de Guerrara(ArcGis10.8.2).....	5
Figure 02: Schéma montrant quelques unités géomorphologiques dans la région de Guerrara (Djili B. 2004).....	5
Figure 03: La carte de sol de la région de Guerrara (Djili B. 2004)	8
Figure 04: Carte géologique du Sahara septentrional d’après G. Busson (1957-1965).....	10
Figure 05: Carte géologique de la région Guerrara (1/500 000). (D’après S.C.G 1952).....	11
Figure 06 : : Carte de localisation des forages utilisés pour réaliser la coupe géologique	12
Figure 07: Coupe géologique synthétique de la région de Guerrara (Nord-Ouest – Sud-Est) 13	
Figure 08: Précipitation moyenne mensuelle à Ghardaïa (2003/2023).....	14
Figure 09: Températures moyennes mensuelles à Ghardaïa (2003 /2023).....	15
Figure 10: L’Humidité mensuelles de la région à Ghardaïa	16
Figure 11: Réseau hydrographique et limites du bassin versant d’oued Zegrir (REGGADI et BELAID,2020).....	20
Figure 12: Carte de localisation des puits de mesure(ArcGis10.8.2).....	27
Figure 13: Évolution de la population dans la région de Guerrara	34
Figure 14: Localisation des zones choisies pour le suivi de l’occupation du sol dans la palmerais de Guerrara.....	35
Figure 15 : Images satellites de la zone Nord-Est de la palmerais de Guerrara	36
Figure 16 : Images satellites de la zone Sud-Ouest de la palmerais de Guerrara	37
Figure 17: Schéma de l’oasis d’El Guerrara (Remini, 2019).....	41
Figure 18 : Carte de localisation des activités industrielles à Guerrara	44
Figure 19: Variation de la température de la nappe superficielle(campagne de Mai 2024)	49
Figure 20: Variation du pH de la nappe superficielle	49
Figure 21: Variation de la conductivité électrique de la nappe superficielle (campagne de Mai 2024)	50
Figure 22: Variation de l’oxygène dissous de la nappe (campagne de Mai 2024)	50
Figure 23: Variation de la dureté totale des eaux.....	51
Figure 24 : Concentrations en Calcium des eaux de la nappe de la campagne Avril 2013 et Mai 2024.....	52
Figure 25: Concentrations en Magnésium des eaux de la nappe de la campagne Avril 2013 et Mai 2024	53
Figure 26: Concentrations en Sodium des eaux de la nappe de la campagne Avril 2013 et Mai 2024.....	53
Figure 27: Concentrations en Potassium des eaux de la nappe de la campagne Avril 2013 et Mai 2024	54
Figure 28: Concentrations en Bicarbonates des eaux de la nappe des la campagnes Avril 2013 et Mai 2024	54
Figure 29 Concentrations en Sulfates des eaux de la nappe des la campagnes Avril 2013 et Mai 2024.....	55
Figure 30: Concentrations en Chlorures des eaux de la nappe de la campagne Avril 2013 et Mai 2024.....	56
Figure 31: Classification des eaux par le diagramme de Piper (campagne de Avril 2013).....	58

Figure 32 : Classification des eaux par le diagramme de Piper (campagne de Mai 2024).....	59
Figure 33: Classification des eaux par diagramme de Schoëller-Berkaloff (campagne de Avril 2013)	60
Figure 34: Classification des eaux par diagramme de Schoëll er-Berkaloff (compagne de Mai 2024)	61
Figure 35:Diagramme de Richards des eaux d'irrigation pour la nappe (campagne de Avril 2013)	62
Figure 36: Diagramme de Richards des eaux d'irrigation pour la nappe (campagne de Mai 2024)	63
Figure 37: Carte piézométrique de la campagne (Avril 2012) (khemgani.2019)	65
Figure 38 Carte piézométrique de la campagne (Avril 2012) (khemgani.2016)	65

Tableaux des matières

<i>Dediance</i>	III
<i>Remerciements</i>	IV
Résumé :.....	V
Liste des abréviations.....	VII
Liste des Photos	VIII
Liste des Tableaux	IX
Liste des Figures	X
Tableaux des matières.....	XII
Introduction générale	1
I. Chapitre I-Présentation de la région d'étude.....	3
I.1 Introduction	4
I.2 Situation géographique.....	4
I.3 La géomorphologie	5
I.4 La pédologie.....	6
I.5 La géologie.....	8
I.5.1 La géologie régionale.....	8
I.5.2 Géologie de la région d'étude	10
I.6 Contexte climatique.....	13
I.6.1 Précipitations.....	13
I.6.2 Température	15
I.6.3 Humidité	16
I.6.4 Le vent	16
I.6.5 Durées d'insolation	17
I.6.6 Evaporation et évapotranspiration	17
I.6.7 Bilan hydrique de la nappe	19
I.7 Hydrologie superficielle	20
I.7.1 Le sous bassin versant de l'Oued Zegrir.....	20
I.7.2 Etat de ruissellement	21
I.8 Hydrogéologie de la région d'étude	22
I.8.1 Aquifère du Continental Intercalaire	22

I.8.2	Aquifère du Complexe Terminal	23
I.8.3	Nappe superficielle	23
I.9	Conclusion.....	24
II.	Chapitre II-Matériels et méthodes	26
II.1	Introduction	27
II.2	Méthodologie de travail	27
II.2.1	La collecte des données	27
II.2.2	Les travaux de terrain.....	27
II.2.3	Les travaux de laboratoire.....	29
III.	Chapitre III - Les activités anthropiques.....	32
III.1	Introduction	33
III.2	Démographie	33
III.3	Occupation du sol.....	34
III.3.1	Conversion des terres agricoles en zones urbaines	34
III.4	Agriculture	37
III.4.1	Utilisation des pesticides et engrais	38
III.4.2	Pratiques d'irrigation	40
III.5	Industrie.....	42
III.5.1	Déversements de produits chimiques.....	42
III.6	Conclusion.....	45
IV.	Chapitre IV- Résultats.....	47
IV.1	Etude de la nappe superficielle de Guerrara.....	48
IV.1.1	Description des paramètres physicochimiques	48
IV.1.2	Etude des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe	49
IV.1.3	Qualité des eaux destinées aux activités agricoles.....	61
IV.2	Etude hydrodynamique de la nappe superficielle de Guerrara.....	64
IV.2.1	Caractérisation de la nappe	64
IV.2.2	Evolution hydrodynamique de la nappe superficielle de Guerrara.....	64
IV.3	Conclusion	66
	Conclusion Générale	68
	Références bibliographiques	71

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour le développement et la survie des populations, et les nappes d'eau souterraines jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau potable. La nappe superficielle de Guerrara, région située au Sud-Est algérien, est une source importante d'eau pour les habitants de cette région. Cependant, cette nappe est confrontée à de nombreux défis, notamment les conséquences des activités humaines.

Dans ce contexte, notre étude se concentre sur l'influence des activités anthropiques sur la dynamique et la qualité de la nappe superficielle de Guerrara. Nous commencerons par présenter cette nappe et son importance pour la région. Ensuite, nous aborderons la problématique de l'influence potentielle des activités humaines sur cette ressource en eau souterraine.

Les activités anthropiques telles que l'agriculture intensive, l'urbanisation croissante, l'industrie, et l'exploitation minière peuvent avoir des conséquences néfastes sur une nappe superficielle, compromettant ainsi sa qualité et sa disponibilité pour les générations futures. Il est donc essentiel de comprendre cette influence et de mettre en place des mesures de gestion appropriées pour préserver cette ressource précieuse.

Cette étude vise à contribuer à la sensibilisation sur l'importance de la protection de la nappe superficielle de Guerrara et à proposer des recommandations pour une gestion durable de cette ressource en eau souterraine. Afin d'atteindre cet objectif, ce travail a été réalisé en quatre chapitres :

- **Le Premier chapitre** s'articule autour de l'étude des caractéristiques naturelles de la région de Guerrara : situation géographique, la géomorphologie, la pédologie, la géologie, contexte climatique, l'hydrologie et l'hydrogéologie.
- **Le Deuxième chapitre** comporte la méthodologie du travail de terrain (mesures et échantillonnage) et le matériel utilisé.
- **Le Troisième chapitre** : présente les divers facteurs et activités humaines qui ont une influence sur la nappe superficielle (agriculture, industrie, urbanisation).
- **Le Quatrième chapitre** est une discussion des résultats obtenus.

I. Chapitre I-Présentation de la région d'étude

I.1 Introduction

Pour réaliser notre étude, nous avons choisi la région de Guerrara, qui représente une oasis particulière en raison de ses caractéristiques géographiques et environnementales, qui constituent un écosystème fragile entraînant des changements dans la nappe superficielle.

I.2 Situation géographique

Guerrara se trouve dans le nord du Sahara septentrional, à 620 km au Sud d'Alger et à 120 km au Nord-Est de sa capitale Ghardaïa. Elle est située à une latitude de 32°50', une longitude de 4°30' et à une altitude de 300 mètres. Sa superficie s'étend sur 2600 km² (DJILI, 2004).

La commune de Guerrara est limitée (Fig.1)

- Au Nord, par la commune de Guettara (wilaya de Djelfa) et la commune de Hassi Dhella (wilaya de Laghouat).
- A l'Ouest, par les Daïra de Berriane et Bounoura.
- Au Sud, par les Daïra de Zelfana et El Atteuf.
- A l'Est, par la commune d'El Allia (wilaya de Touggourt).

La zone d'étude appartient au bassin versant endoréique de l'Oued Zegrir. Elle occupe la rive gauche de ce cours d'eau qui draine le versant sud de l'Atlas saharien et se jette dans l'Oued Zegag (CHELLAT, 2015).

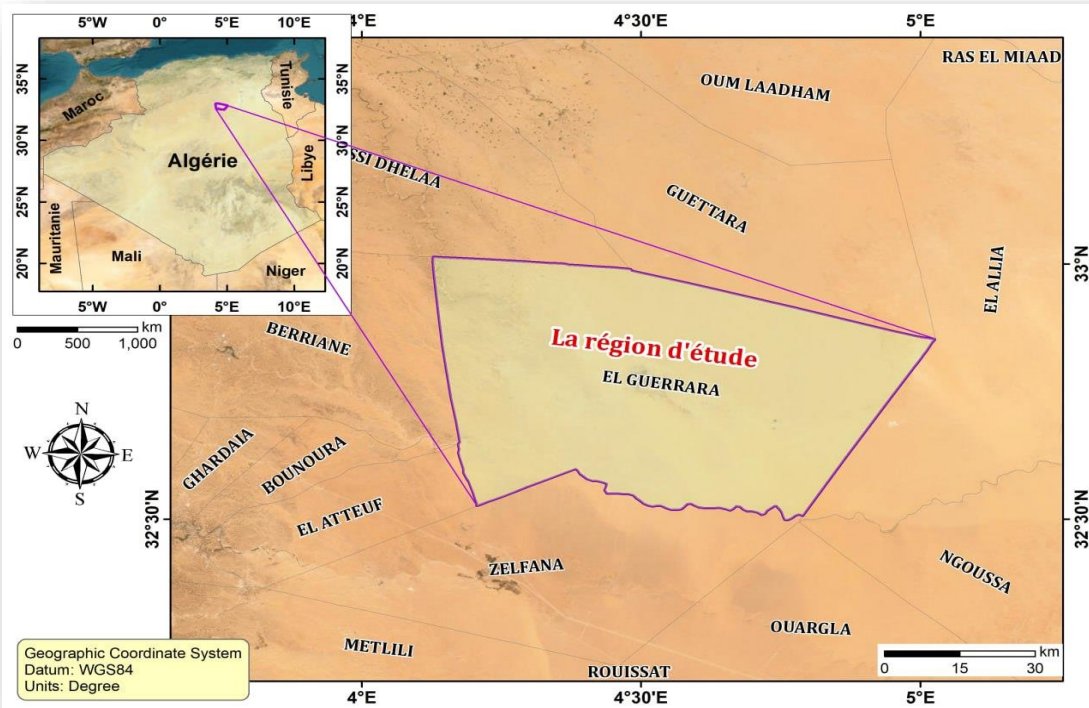


Figure 01: Situation géographique de Guerrara (ArcGis10.8.2)

I.3 La géomorphologie

Les caractéristiques géomorphologiques agissent généralement de manière combinée pour influencer les modes d'écoulement. Elles nous permettent d'effectuer une analyse quantitative et une comparaison des différentes unités hydrologiques (DJILI,2004). L'intervention humaine peut entraîner des changements radicaux dans le fonctionnement de la nappe superficielle en modifiant les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant, telles que l'urbanisation, le drainage agricole, la déforestation et la construction de barrages et de canaux.

La région de Guerrara est caractérisée par les unités géomorphologiques suivantes (Fig 2) :

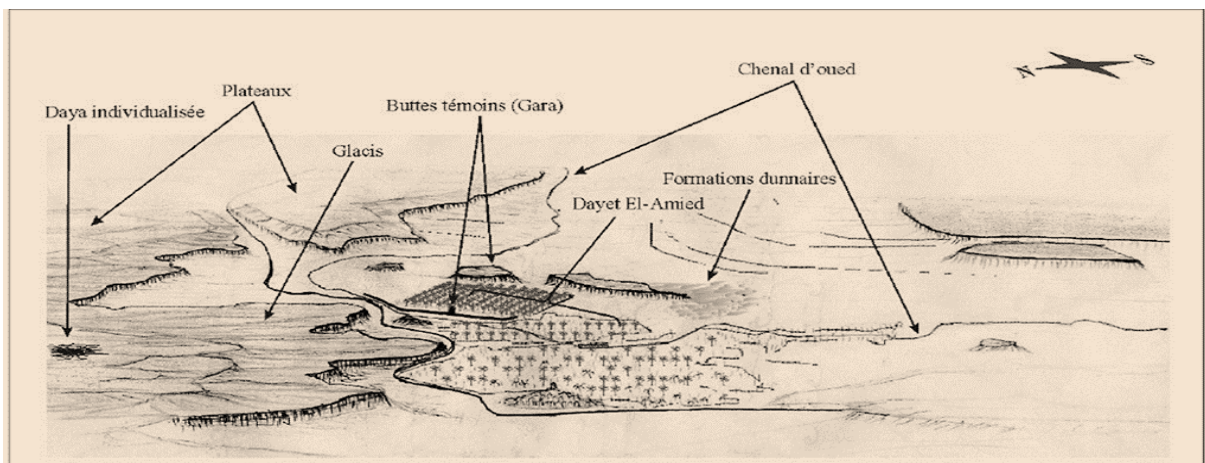


Figure 02: Schéma montrant quelques unités géomorphologiques dans la région de Guerrara (DJILI B. 2004)

- **Un plateau pliocène** situé entre 380 à 450 mètres d'altitude et dont certaines parties occupent le Nord et le Sud de la région. Il est légèrement orienté d'ouest en est. Dans la partie Nord les terrains s'étendent sur une région appelée communément « Plateau des Dayas » alors qu'au Sud le plateau est appelé localement « Plateau des Gantras ».
- **Les Glacis** le versant Nord de la grande dépression de Guerrara présente deux niveaux d'étages de glacis appelés "glacis de terrasse". Il se caractérise par la présence de substrat gréseux du Miocène, composé généralement de sables et de graviers gréseux.
- **Les garas** sont des buttes témoins ; c'est-à-dire des plateaux tabulaires isolés par l'érosion et couronnés par une table de roche dure (CAPOT-REY et al, 1969 in DJILI, 2004). Ces garas sont façonnées par le fonctionnement passé du réseau hydrographique.
- **Les dayas** sont les points bas d'un bassin fermé. Le terme est plus spécifiquement utilisé pour désigner les dépressions de petite taille, allant d'un à quelques dizaines d'hectares, que l'on retrouve principalement dans les environnements arides ou subarides (DUTIL, 1971 ; COOKE et al. 1993).

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

- a. Des dayas isolées sur le plateau et le glacis (plateau des dayas).
 - b. Des dayas liées au réseau d'Oued Zegrir peuvent être considérées comme des zones d'épandage fermées, tel est le cas de Dayet Ben Fellah située à l'Est de Guerrara ou possédant un exutoire prolongeant ainsi le lit de l'oued comme Dayet El Amied.
- **Les dunes** d'obstacle se développent à l'abri d'une butte témoin (Garas) et des buissons de la végétation naturelle dans le lit majeur de l'Oued Zegrir au Sud de la région de Guerrara. Les modèles dunaires existants sont les rides, les voiles sableux, les nebkas et les massifs dunaires (DJILI, 2004).

I.4 La pédologie

Les sols de l'ancienne palmeraie de Guerrara sont principalement constitués d'alluvions déposées par les crues de l'Oued Zegrir, qui se sont mélangées avec des apports éoliens. Ces alluvions proviennent de l'altération des formations géologiques du Quaternaire et du Mio-pliocène. Les processus d'érosion et de transport successifs ont créé une hétérogénéité texturale des sols sur le fond de sédimentation de la vallée. Nous admettons que la période d'assèchement du Sahara est survenue après la dernière glaciation du Quaternaire (AOUAM, 2007).

Les analyses minéralogiques et micromorphologiques des sols alluviaux de la région de Guerrara révèlent une alternance de périodes arides/semi-arides qui ont donné lieu à la

formation de couches sableuses et sablo-limoneuses. L'homogénéité qualitative du cortège minéralogique indique que les accumulations ont une même source d'apport, à savoir le bassin versant de Guerrara dominé par les grès rouges (AOUAM, 2007).

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.) superposés 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 AISSA et al., 2008).

En effet, en amont de l'oued, le sol est composé d'alluvions caillouteuses dont les éléments grossiers ont une forme émoussée et arrondie de nature dolomitique et quartzeuse. Ils sont le résultat d'une forte érosion hydrique qui reflète une allochtonie et révèle un remaniement par roulement plus ou moins long (DUTIL, 1971 in DJILI, 2004).

Six unités cartographiques ont été choisies et dégagées (fig.03) :

- Unité 01 : sol caillouteux dès la surface.
- Unité02: sol sablo-graveleux.
- Unité 03 : sol limoneux à limono-sableux.
- Unité 04 : sol sablo-limoneux sur sables.
- Unité 05 : sol sablo-limoneux calcaire sur sables.
- Unité 06 : sol sableux à graviers gréseux.

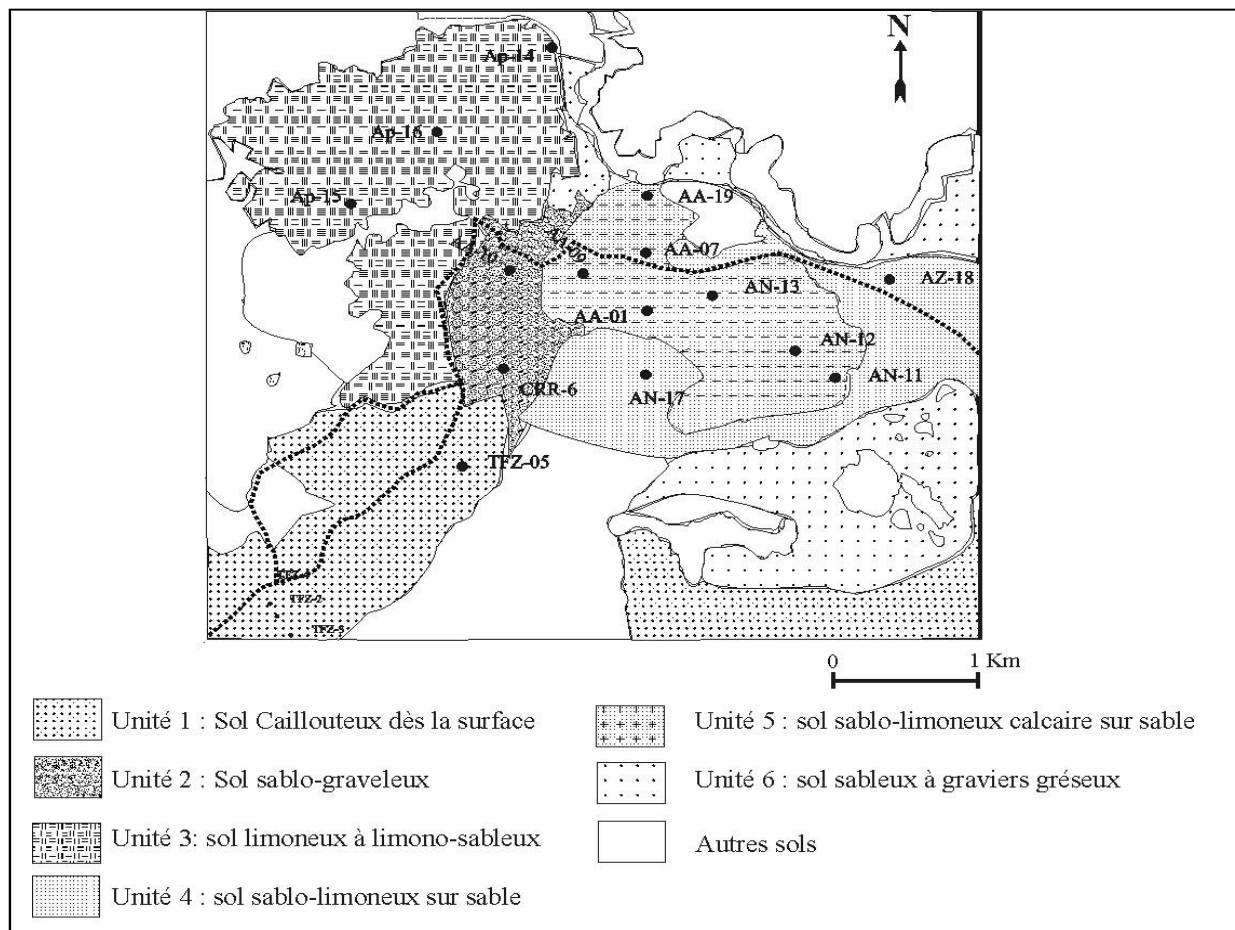


Figure 03: La carte de sol de la région de Guerrara (DJILI B. 2004)

I.5 La géologie

L'étude géologique est essentielle dans toute étude hydrogéologique et hydrochimique. La composition géologique du sous-sol influe sur la qualité et la quantité des eaux souterraines. La lithologie, qui décrit la nature et la composition des roches, est particulièrement importante car elle détermine la capacité des roches à stocker et à transmettre l'eau.

La perméabilité des terrains influence la quantité d'eau qui peut s'infiltrer et être stockée dans les formations. Les formations perméables, telles que les aquifères, peuvent stocker des quantités importantes d'eau souterraine, tandis que les formations imperméables peuvent limiter l'infiltration de l'eau.

I.5.1 La géologie régionale

La région d'étude fait partie de la plate-forme saharienne (fig.4), qui est constituée d'un bouclier précambrien. Ce bouclier est composé de roches éruptives et métamorphiques qui ont été aplanies par l'érosion. Il est surmonté par des couches sédimentaires de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, s'étendant du Primaire (Cambrien) au Quaternaire. Ces couches

sédimentaires sont plus ou moins plissées, formant un grand bassin sédimentaire dissymétrique.

Ce bassin se subdivise en trois (03) sous domaines : le bassin du Grand Erg Occidental, le bassin du Grand Erg Oriental, séparés par l'anticlinal du M'Zab, et celui du plateau de la Hamada El Hamra. La dépression de Guerrara fait partie du bassin du Sahara septentrional en Algérie.

La région du Bas Sahara est une vaste cuvette délimitée à l'Ouest par la dorsale du M'zab, au Sud par les hamadas du Tadmaït et de Tinghert, et à l'Est par les plateaux du Dahar tunisien. On distingue deux sous-bassins, le bassin du Sahara occidental et le bassin du Sahara oriental.

I.5.1.1 Le Bassin Occidental du Sahara

Le bassin occidental du Sahara est une région située entre le M'Zab, la vallée de la Saoura et la flexure atlasique. C'est une zone de plate-forme relativement uniforme, où l'on observe un léger soulèvement des couches du Mio-Pliocène le long des bordures, créant un vaste synclinal ouvert. Cette région ne présente pas d'intérêt pétrolier dans les formations du Secondaire et du Tertiaire, ce qui signifie que les données géologiques y sont moins abondantes et plus succinctes que dans le bassin oriental. Dans une grande partie de ce bassin occidental, entre le M'Zab et la Saoura, à l'exception de la zone située immédiatement au Sud de la flexure saharienne, on constate l'absence de formations intermédiaires entre les sables du Mio-Pliocène et les sables du continental intercalaire.

L'identité des faciès sableux entre le Mio-Pliocène et le continental intercalaire rend difficile la distinction entre ces deux formations. Il convient de noter que la limite entre le complexe terminal et le continental intercalaire n'est pas clair et varie d'une région à une autre.

I.5.1.2 Le Bassin Oriental du Sahara

Le bassin du Sahara oriental, délimité à l'Ouest par le M'Zab et au Sud par les plateaux du Tademaït et du Tinrhert, est mieux étudié que son homologue occidental en raison des activités de recherche pétrolière. Ce bassin s'étend vers l'Est en Tunisie et en Libye. Il présente une structure synclinale vaste, ouverte vers le Nord. Au Sud de ce synclinal, on trouve un important axe anticlinal Nord-Sud, appelé le haut-fond d'Amguid-El Biod, qui abrite plusieurs gisements pétroliers.

Dans le bassin oriental, une deuxième zone haute entre Hassi Messaoud et la frontière tunisienne, du Cénomanién au Mio-Pliocène. Cette structure, orientée Est-Ouest, sépare la

fosse des chotts au Nord du reste du bassin et semble jouer un rôle crucial dans l'hydrogéologie de la région.

Le long du versant sud de l'Atlas, une vaste fosse de subsidence est présente, où l'épaisseur maximale des formations oligocènes, miocènes et pliocènes atteint environ 2000 mètres, et celle des séries post-albiennes environ 3000 mètres. Divers indices (conglomérats pliocènes redressés à la verticale, terrasses quaternaires anciennes à 20 mètres au-dessus du lit actuel des oueds dans la région de Négrine et Ferkane), indiquent que cette région est toujours tectoniquement active.

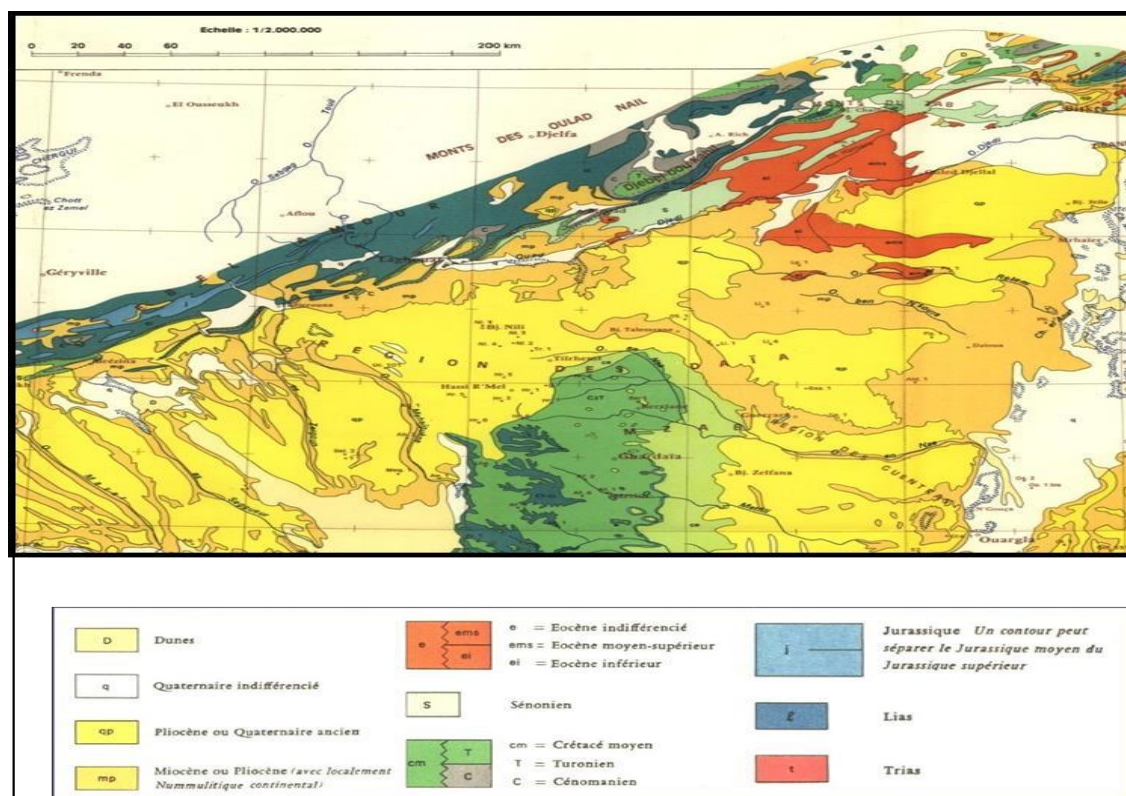


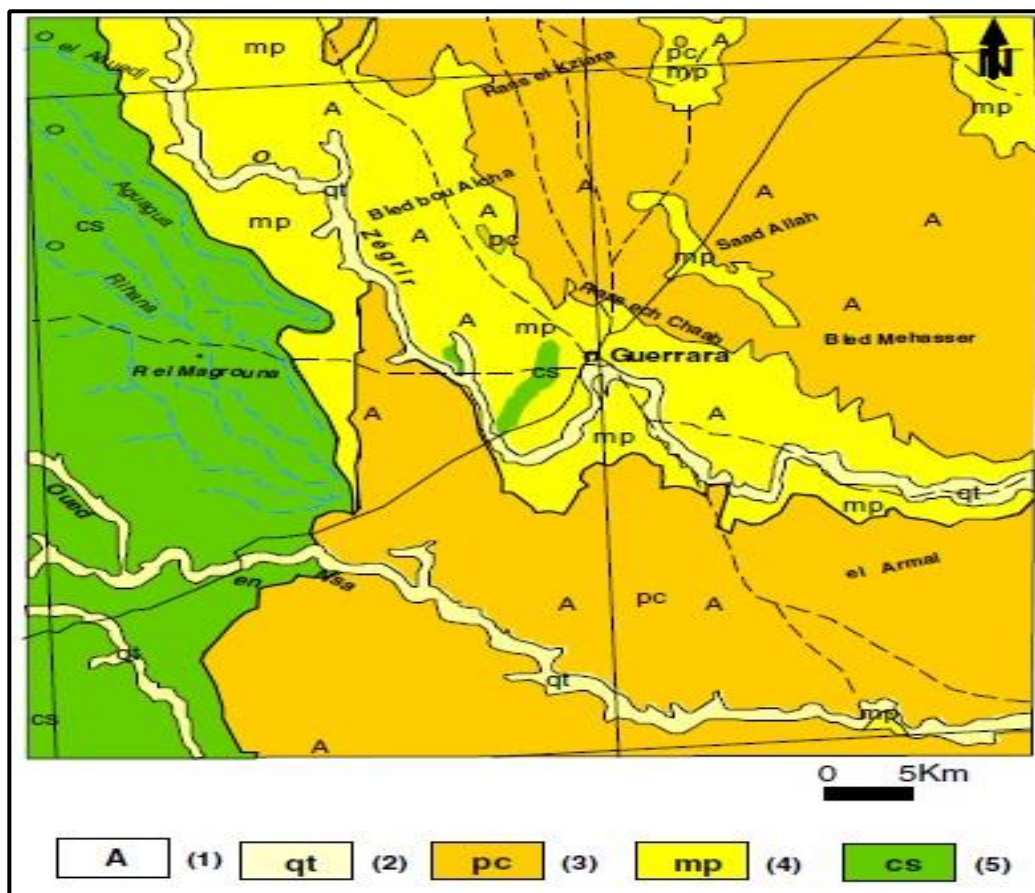
Figure 04: Carte géologique du Sahara septentrional d'après G. BUSSON (1957-1965).

I.5.2 Géologie de la région d'étude

Une compréhension approfondie de la géologie locale est essentielle pour identifier les aquifères, évaluer la qualité de l'eau et planifier une gestion durable pour les ressources en eau de la région.

La géologie de la région montre l'affleurement de formations secondaires représentées par le Crétacé supérieur à l'Ouest de Guerrara. Cette formation qui caractérise une grande partie de la région de la Chebka de M'zab est constituée d'une double dalle dure de calcaires plus ou moins dolomitiques parfois pétris de coquilles marines

La dépression de Guerrara est creusée dans un dépôt du continental terminal daté du Pontien localement équivalent au Miocène continental antépontien. Le dépôt est connu au nom du Miopliocène ce sont des formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas saharien, et qui s'étendent largement au Sud. Elles 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'altération superficielles, rubéfiées (argile et terre argiles sableuses plus ou moins mêlées de fragments anguleuses) que l'on ne saurait assimiler à des galets fluviaux.



- A** Alluvions actuelles : daya chott, sebkha, limons et croutes gypso saline -
- qt** Quaternaire continentale : alluvions, ergs, terrasses.
- pc** Pliocène continental : poudingue, calcaire lacustre.
- mp** Pontien (localement équivalent au Mio pliocène).
- cs** Crétacé supérieur marin.

Figure 05: Carte géologique de la région Guerrara (1/500 000). (D'après S.C.G 1952)

Le pliocène continental constitue tout le reste des terrains tertiaires. Ce sont des dépôts lacustres à forts étendus, formés de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace hamadienne plus 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. 1933)

La Quaternaire continentale présente des formations sédimentaires spécifiquement sahariennes. Ce 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 chaises plissées de l'Atlas saharien (S.C.G.1939).

I.5.2.1 Description litho stratigraphiques

Une coupe géologique a été réalisée pour décrire la structure du sous-sol sur la base des données lithologiques de trois forages de la zone d'étude à l'aide du logiciel Rockworks 16. Les forages utilisés pour établir cette coupe sont représentés sur la carte (Fig.6) créée avec le logiciel ArcGis10.8.

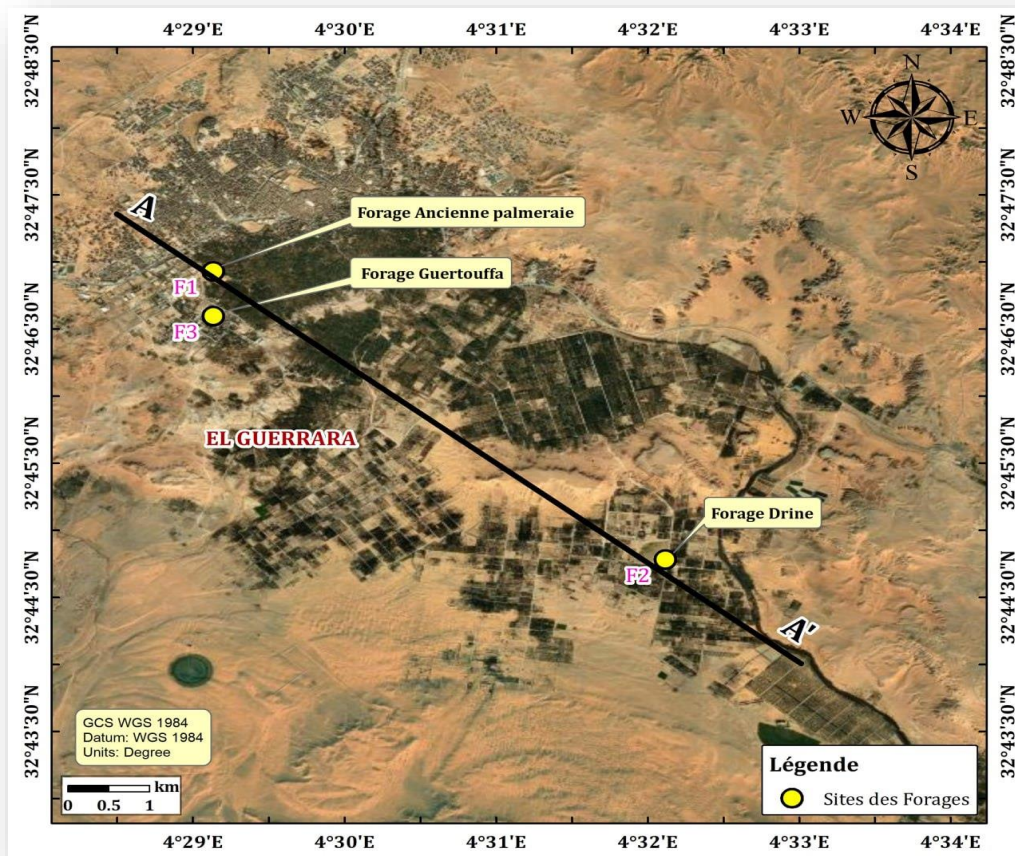


Figure 06 : Carte de localisation des forages utilisés pour réaliser la coupe géologique

La coupe d'orientation Nord Ouest – Sud Est réalisée à partir des forages : Ancienne Palmeraie, Drine et Guertoufa atteignant respectivement 1000m, 1005m et 1020m de profondeur (Fig.7), montre une couche superficielle composée essentiellement de sable repose

sur une couche calcaire marneux à gypses, ces formations d'épaisseur plus grande, son épaisseur varie de 348 à 390 mètres au niveau des trois forages. Ces formations reposent sur une couche d'argile grisâtre rencontrée à partir d'une profondeur de 415m (F1) est d'une épaisseur importante allant de 265m aux forages F1 et F2 à 272m au forage F3, représente le toit de l'aquifère continental intercalaire constitué de formations de sable, de grès et d'argile. Ces formations sable argileux sont rencontrées à partir de 680m, 690m et 695m respectivement aux forages F1, F2 et F3. Son épaisseur varie de 315 à 325m.

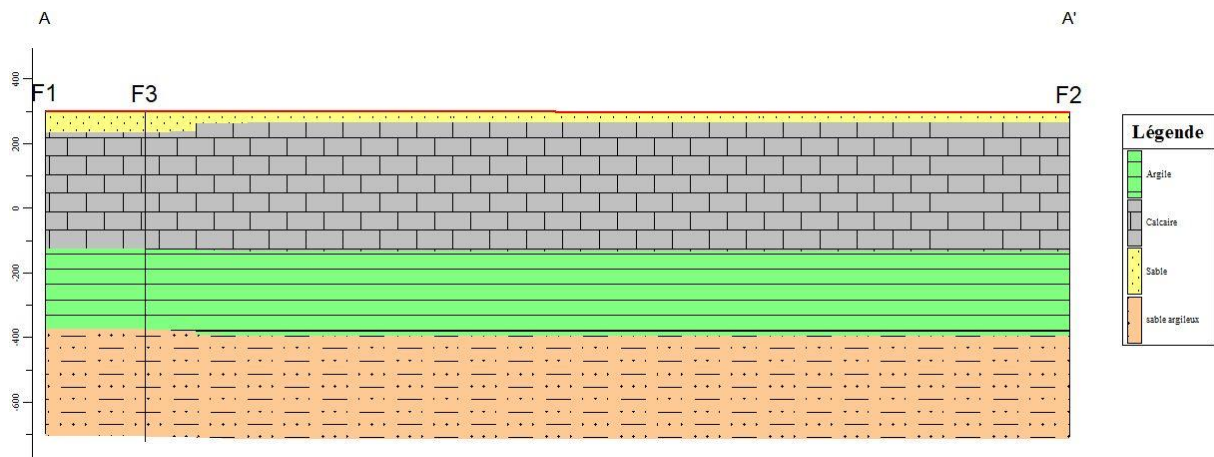


Figure 07: Coupe géologique synthétique de la région de Guerrara (Nord-Ouest – Sud-Est)

I.6 Contexte climatique

La connaissance du climat est importante car c'est l'élément principal qui régit la recharge des nappes souterraines, l'agriculture et les opérations d'aménagement. En général, ses caractéristiques sont influencées par divers aspects des régions.

Guerrara présente un climat chaud et sec en été, contrastant avec des hivers froids. L'étude climatique vise à identifier les spécificités du climat local et à comprendre l'impact des divers facteurs tels que la température, l'humidité, les précipitations, le vent, durées d'insolation, l'évaporation et l'évapotranspiration sur la disponibilité des ressources en eau souterraine. L'étude de ces paramètres climatiques a été réalisée à la base de données obtenues du site TuTiempo pour une période de 20 ans allant de 2003 à 2023.

I.6.1 Précipitations

L'étude des précipitations est cruciale en hydrogéologie pour évaluer le bilan hydrique, la recharge de l'aquifère et le régime des cours d'eau dans le bassin. Il est bien connu que les précipitations sont dues à la chute des matières résultant de la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère vers la surface de la terre ou de la mer. La pluie est l'une des formes les plus

importantes des précipitations en raison de son importance pour les paramètres climatiques, car elle est considérée comme l'élément direct qui affecte la disponibilité en eau.

Pour étudier les précipitations et en connaître les caractéristiques dans la région, les mesures utilisées se rapportent à la période allant de l'an 2003 à l'an 2023 soit 20 ans d'observations. Les valeurs des précipitations mensuelles durant cette période sont données dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles pendant la période (2003/2023)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Annuel
P(mm)	9.51	2.78	5.54	6.38	2.9	2.25	1.62	6.91	14.06	8.68	5.76	3.83	70.22

Le maximum des précipitations moyennes mensuelles est de 14.06 mm durant le mois de septembre et le minimum est de 1.62 mm durant le mois de Juillet. Le régime pluviométrique de la zone d'étude est caractérisé par une forte irrégularité d'un mois à l'autre et d'une année à une autre.

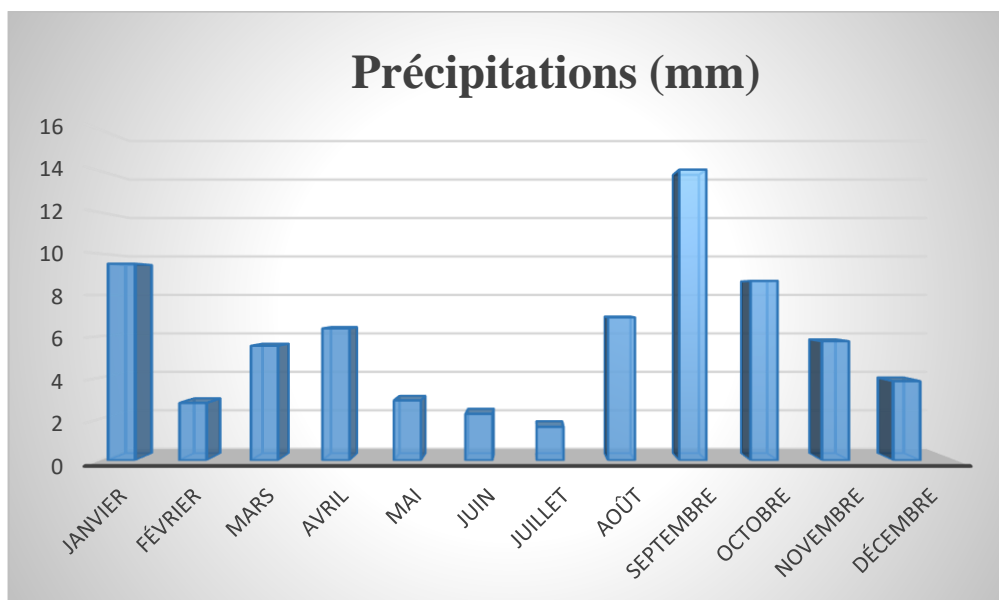


Figure 08: Précipitation moyenne mensuelle à Ghardaia (2003/2023)

Les précipitations sont faibles (< 5mm) durant les mois de Février, Mai, Juin, Juillet, et Décembre. Durant les autres mois les moyennes des précipitations sont entre 5.54 et 14.06

mm. Le cumul des précipitations annuelles moyennes pour la période 2003– 2023 est de 70.22 mm (tableau 01).

I.6.2 Température

La température est l'un des éléments les plus importants du climat car elle affecte l'évapotranspiration et par conséquent la salinité des eaux. Elle affecte la pression atmosphérique et le mouvement des vents. Elle peut avoir un impact direct ou indirect et étant donné qu'elle influence ces facteurs, elle est également influencée par la latitude, le relief et de nombreux autres facteurs.

Les variations de la température moyenne mensuelle durant la période (2003/2023) sont données dans le tableau 02.

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles à Ghardaïa (2003/2023).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moyenne
TM (°C)	15.39	19.63	24.3	29.2	34	39.9	43.68	42.3	37.25	30.77	23.16	18.62	29.85
Tm (°C)	6.46	8.03	11.7	15.8	20	25.8	29.8	28.9	24.46	18.7	11.26	7.77	17.39
T (°C)	12.09	13.96	18.2	22.9	28	33.4	37.12	36	30.8	24.71	17.24	12.96	23.94

Le tableau précédent montre que le maximum du mois le plus chaud est enregistré au mois de Juillet avec une moyenne qui dépasse 43.68°C. Le minimum du mois le plus froid est celui du mois de Janvier avec 6.46°C.

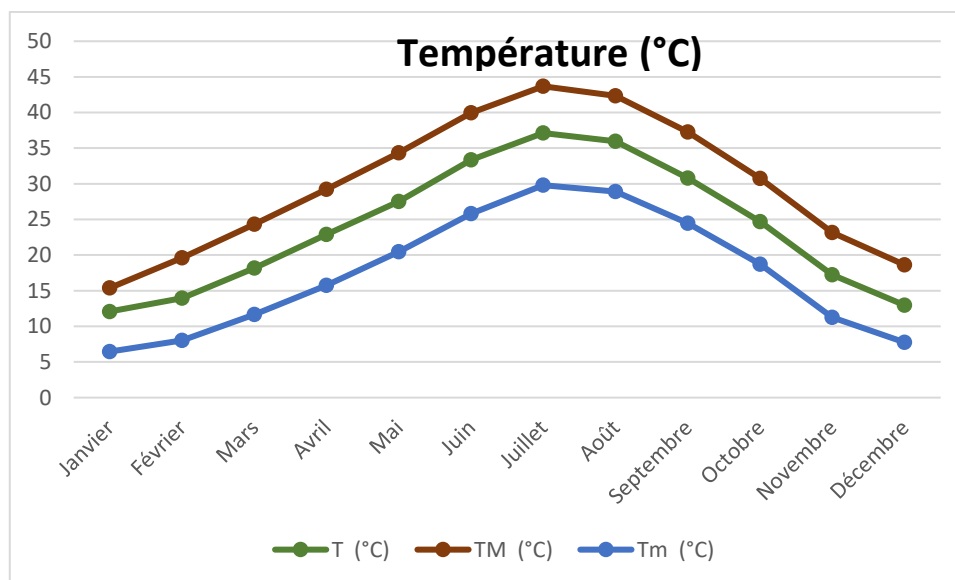


Figure 09: Températures moyennes mensuelles à Ghardaïa (2003 /2023)

I.6.3 Humidité

L'humidité de l'air, ou l'humidité atmosphérique, est la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, en particulier dans la troposphère (la couche inférieure de l'atmosphère). L'humidité varie en fonction de la température et de la pression atmosphérique, car plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau.

A Ghardaïa l'humidité relative de l'air est très faible avec une moyenne annuelle de 36.5% (Tableau 03). Elle atteint son maximum au mois de décembre (55.16%) et son minimum au mois de Juillet (20.27%).

Tableau 3 : Humidité relative de l'aire (H%) dans la région de Ghardaïa (2003-2023)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moyenne
H (%)	51	43.59	36.38	32.92	28.2	23.82	20.27	25.02	34.9	41.86	45.76	55.16	36.5

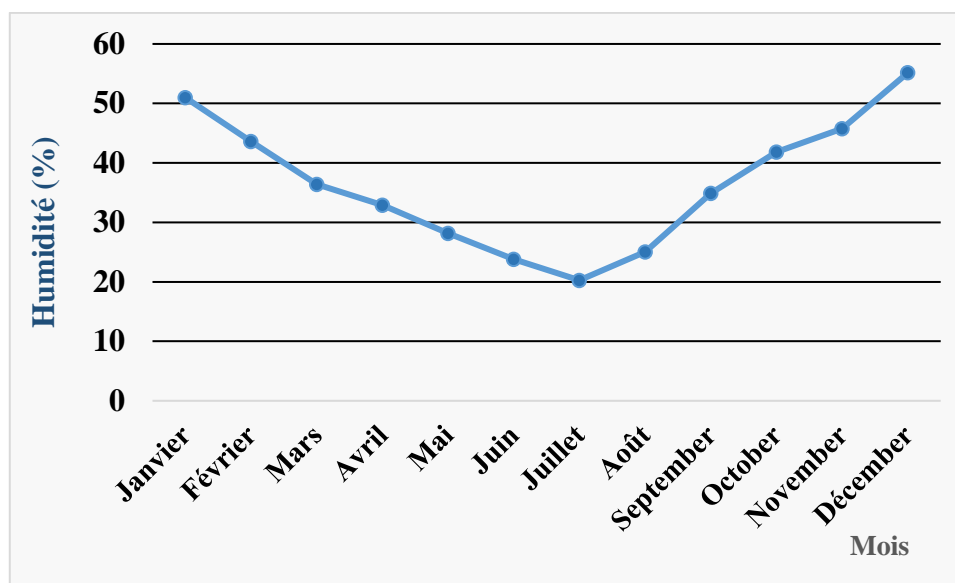


Figure 10: L'Humidité mensuelles de la région à Ghardaïa

I.6.4 Le vent

Les vents sont le mouvement de l'air qui se produit en raison des changements de pression atmosphérique causés par le soleil. Ils sont considérés comme la principale cause des variations de température. Les vents résultent du déplacement de l'air des zones de haute pression vers les zones de basse (DE PARCEVAUX.2007).

C'est un phénomène continu au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuses qu'il transporte. Le tableau 04 donne les valeurs de la vitesse des vents enregistrées dans la région de Ghardaïa durant la période 2003- 2023.

Tableau 4 : Vitesses de vent (km/h) à Ghardaïa (2003- 2023)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
V(km/h)	12.33	13.94	14.57	16.66	16.4	14.67	11.75	11.73	11.73	11.18	12.09	12.38
VM (km/h)	25.24	27.32	29.75	30.3	31.81	30.33	28.41	27.65	27.57	24.03	24.95	24.94

Nous constatons que les vents sont plus violents durant le printemps avec une vitesse moyenne maximale enregistrée au mois de Mai (31.81 km/h). La vitesse minimale est de l'ordre de (24.03 km/h) au mois d'Octobre.

I.6.5 Durées d'insolation

Le Sahara est avant tout le pays du soleil (DUBIEF, 1959). A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température.

Tableau 5 : Durée mensuelle de l'insolation (heures) à Ghardaïa

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moyenne
Insolation (heures)	332.8	247.2	276.8	406.5	448.4	448.3	457.8	331	391.4	230	142.6	312	335.4

Pour la station de Ghardaïa, le tableau 05montres que la durée d'insolation moyenne est de 335.4 heures. Les valeurs maximales peuvent atteindre 457.8 heures durant le mois de Juillet. Des valeurs minimales de 142.6 heures sont enregistrées au mois de Novembre.

I.6.6 Evaporation et évapotranspiration

L'évaporation et l'évapotranspiration sont des processus clés dans le cycle de l'eau et jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat. L'évaporation se réfère à la transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau, principalement à partir des surfaces d'eau comme les océans, les

lacs et les rivières, ainsi que des sols humides et des végétaux. Ce processus est influencé par la chaleur solaire, la température de l'air, la pression atmosphérique et la disponibilité d'eau.

I.6.6.1 L'évaporation

L'évaporation dans le Sahara atteint des valeurs considérables en raison des conditions climatiques extrêmement chaudes et sèches.

I.6.6.2 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est en effet un processus essentiel dans le cycle de l'eau et dans la régulation des ressources en eau d'une région. La distinction entre l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) est importante pour comprendre comment l'eau est utilisée et perdue dans un environnement donné.

- ETP : Une évapotranspiration potentielle qui correspond à la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant.
- ETR : correspond à la quantité réelle d'eau qui est effectivement évaporée ou transpirée par le sol, les plantes et les surfaces libres. Cela prend en compte les conditions spécifiques d'approvisionnement en eau et peut varier en fonction de la disponibilité en eau du sol et des plantes.

I.6.6.2.1 ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP)

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons appliqué la formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I} \right)^a \times k$$

$$a = \frac{1.6}{100} \times I + 0.5 \quad I = \sum i \quad \text{et} \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Avec :

- ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée mensuelle en (cm).
- i : indice thermique mensuel ;
- I: indice thermique annuel ;
- T : température moyenne mensuelle en (°C) ;
- a : coefficient fonction de I .
- k : facteur fonction de la latitude et de la saison, donné par des tables.

Le tableau suivant représente le résultat de calcul de de l'ETP par la méthode de Thornthwaite:

Tableau 6 : Résultat de calcul de l'ETP par la méthode de Thornthwaite

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Annuel
T (°C)	12.09	13.96	18.2	22.9	28	33.4	37.12	36	30.8	24.71	17.24	12.96	23.89
k	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.81	/
i	3.80	4.72	7.04	10	13.21	17.68	20.80	19.81	15.68	11.23	6.51	4.22	134.7
ETP (mm)	12	17.5	35.5	65.4	111.6	178.3	236	217.5	143.7	80.1	30.8	14.4	1142.8

Les résultats obtenus montrent que les valeurs élevées de l'ETP correspondent aux mois de Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre atteignant un maximum d'environ 236mm en Juillet. Le taux d'évaporation annuel potentiel est d'environ 1142.8mm.

I.6.7 Bilan hydrique de la nappe

Le bilan hydrique d'une nappe correspond à la différence entre les entrées et les sorties d'eau dans l'aquifère. Les principales entrées d'eau dans la nappe de Guerrara comprennent la recharge provenant des précipitations, de l'oued et des infiltrations provenant des zones environnantes. Les sorties d'eau comprennent, les prélèvements pour l'irrigation, et d'autres utilisations, ainsi que l'évaporation. L'équation du bilan hydrique est définie comme suit :

$$P = E + R + I \pm \Delta S$$

Avec :

- P : précipitations en (mm).
- E : évaporation + évapotranspiration en (mm).
- R : ruissellement (mm).
- I : infiltration (mm).
- ΔS : réserve stockage (mm).

Le calcul du bilan hydrique de l'aquifère était difficile en raison du manque de données dont la collecte demande plus de temps

I.7 Hydrologie superficielle

Les eaux superficielles sont presque inexistantes dans la région de Guerrara en raison de la faible pluviométrie. L'oued Zegrir draine principalement la région, dont l'écoulement se produit surtout en période des orages. (B.N.E.D.E.R.2000).

I.7.1 Le sous bassin versant de l'Oued Zegrir

L'évolution topographique de la région d'étude a abouti à un façonnement en relief tabulaire, sillonné par des talwegs, rivières et dayas. Le bassin versant de l'Oued Zegrir s'élève à une altitude maximale de 400 m et minimale de 300m (HADJ-SAID et al, 2013).

L'un des quatre sous bassins qui composent le bassin versant des Oueds du M'Zab couvre une superficie de 4100 km². Il est principalement situé sur les affleurements continentaux du Miocène et du Pliocène. Ce bassin est caractérisé par la présence de nombreuses dayas, certaines étant drainées par l'Oued Zegrir (DUBIEF,1953).

L'oued Zegrir prend sa source sur le Ras Chaab à 152 km au Nord-Ouest de Guerrara à une altitude de 860 m sous le nom d'Oued Ajerma. Par la suite, il prend le nom d'oued El Euch à la confluence avec l'affluent oued Hemhoum, puis oued El Adjla jusqu'à la confluence avec l'oued El Merarès où il prendra le nom d'oued Zegrir au niveau de Bordj Talemzane jusqu'à la hauteur de Guerrara pour atteindre ensuite son prolongement le Zgag et fini au lieu-dit Hassi Hadj Ahmed à la côte 230 m où il fait un crochet à angle droit vers le Nord Est.

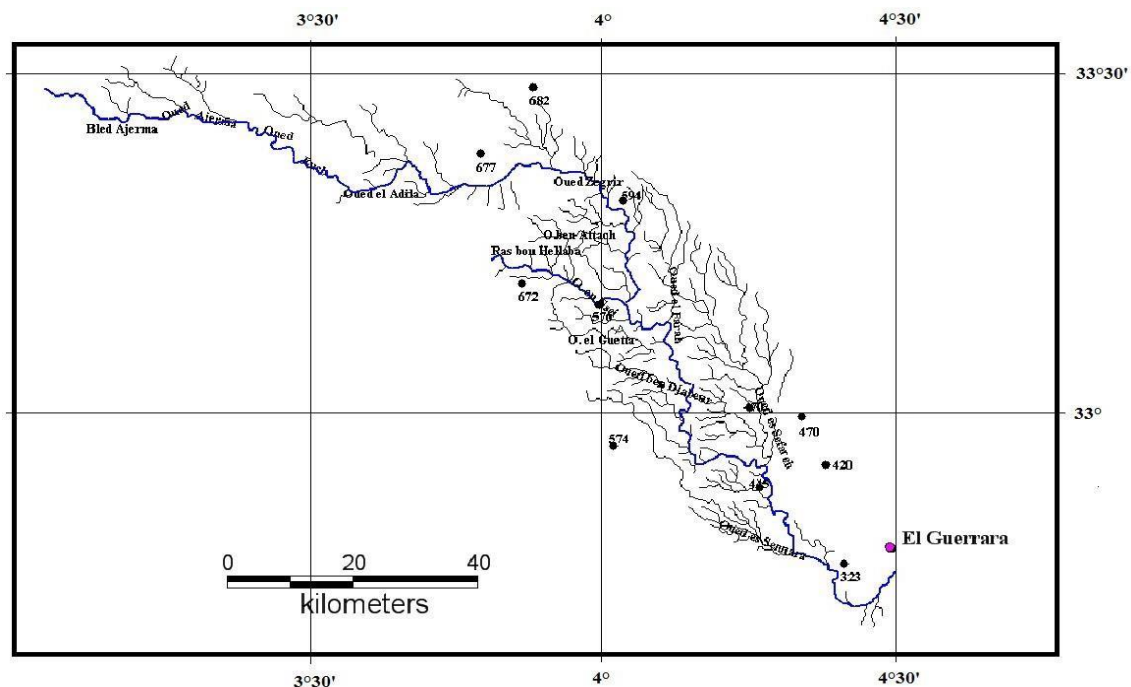


Figure 11: Réseau hydrographique et limites du bassin versant d'oued Zegrir (REGGADI et BELAID,2020)

En prenant comme amont du bassin le lieu Bordj Ajerma et comme aval Hassi Hadj Ahmed, les caractéristiques morphométriques du bassin sont indiquées dans le tableau suivant:

Tableau 7 : Caractéristiques morphométriques du bassin

Caractéristique morphométrique	Valeurs
Surface du bassin versant : S (Km ²)	5200
Périmètre du bassin versant : P (Km)	540
Hauteur maximale : H max (m)	860
Hauteur minimale : H min (m)	230
Longueur total de l'oued : L (Km)	359

I.7.2 Etat de ruissellement

Dans l'oasis de Guerrara, le système hydraulique repose sur une nappe d'eau souterraine alimentée par les crues de l'oued Zegrir. Afin de gérer efficacement les eaux de l'Oued, les habitants de Guerrara ont mis en place un dispositif qui permet de guider les eaux des crues vers la palmeraie, ce qui assure pendant des jours à des semaines une bonne alimentation de la nappe superficielle.

Ce dispositif, qui est relativement simple et peu coûteux, se compose de :

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



Photo 1 : Digue de dérivation de la crue de l'Oued Zegrir

I.8 Hydrogéologie de la région d'étude

Dans la région de Guerrara, il existe deux aquifères profonds exploitables pour les besoins en eau domestiques et agro-industriels : l'aquifère du continental intercalaire et l'aquifère du complexe terminal. La région de Guerrara compte actuellement 52 forages qui exploitent la nappe du continental intercalaire (ANRH,2024).

I.8.1 Aquifère du Continental Intercalaire

La nappe du continental intercalaire (Albien) est la principale ressource en eau de la région de Guerrara, tant pour l'usage domestique que pour l'agriculture. Le premier forage qui a exploité cette nappe a été réalisé en 1950. Il a permis d'atteindre un débit de jaillissement de 238 litres par seconde (l/s), (ANRH,2024).

Ce principal aquifère de la région est composé de formations détritiques (sable, grès, argile) avec un passage dolomitique attribué à l'Aptien, son épaisseur moyenne est de l'ordre de 650m. Cette couche gréseuse d'âge Albien, offre des ressources hydrauliques très considérables, sa nappe en charge est captée dans la région de Guerrara par 52 forages artésiens et jaillissants. Leur profondeur est de 950 à 1000 mètres (ANRH,2024).

Le toit de la nappe est situé entre 500 et 900 m de profondeur dans le sens Ouest-Est dans la région de Guerrara (SONATRACH, 1992).

I.8.2 Aquifère du Complexe Terminal

Ensemble peu homogène comprenant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (BUSSON, 1970 ; FABRE, 1976). Caractérisé par des formations variées dans la région de Guerrara.

Le Complexe Terminal (CT) comprend trois aquifères différents, du haut vers le bas : le Mio-pliocène, le Sénonien et le Turonien (BG, 2003).

I.8.2.1 L'aquifère du Mio-Pliocène et de l'Eocène

L'aquifère se situe dans la partie Est de Guerrara. Il est composé de Mio-Pliocène sableux d'une épaisseur de 125 mètres, ainsi que d'Eocène à calcaire blanc fin d'une épaisseur de 100 mètres.

L'épaisseur totale de l'aquifère est de 225m avec un niveau statique estimé à 123m du sol (SONATRACH, 1992).

I.8.2.2 La nappe du Sénonien carbonaté

Se trouve dans la partie ouest de Guerrara et est associée aux deux nappes précédentes. Elle peut être exploitée à une profondeur d'environ 430 mètres.

Les formations carbonatées du Sénonien sont constituées de calcaire microcristallin au sommet et de dolomie beige à la base. L'épaisseur moyenne de cet aquifère est de 205 m et son niveau statique est estimé à 150 m (SONATRACH, 1992).

I.8.2.3 La nappe du Turonien carbonaté

Dans la partie ouest de la région de Guerrara, on trouve un aquifère carbonaté du Turonien d'une épaisseur de 74 mètres. Cette nappe peut être captée à une profondeur d'environ 500 mètres. Elle est contenue dans des formations carbonatées composées de dolomie beige cryptocristalline compacte et dure, avec des intercalations de calcaire tendre. SONATRACH (1992).

I.8.3 Nappe superficielle

La nappe superficielle de Guerrara qui est une nappe d'oued où l'alimentation se fait suivant les cycles des crues de l'oued Zegrir qui des fois ont un cycle biennal ou annuel.

Dans la région de Guerrara, la nappe superficielle est principalement utilisée pour l'irrigation des palmiers. Il y a plus de 1300 puits traditionnels utilisés à cette fin (HADJ SAID et al, 2007).

La population locale dépend de ces puits pour la culture des palmiers et de nombreuses autres utilisations.

Avant l'installation du premier forage captant la nappe du continental intercalaire en 1951, l'oasis de Guerrara dépendait exclusivement de cette nappe, qui était artificiellement rechargée par un petit barrage « garde-crue ».

En cas de sécheresse, il était possible d'exploiter cette nappe pour une durée maximale de cinq ans à des fins agricoles uniquement. Au-delà de cette période, les puits, situés à des profondeurs variant de 15 à 35 m selon les endroits, se retrouveraient à sec. (GAUTIER et GOUSKOV, 1951, BAIT et al, 1977a)

Actuellement, le niveau piézométrique reste élevé car la nappe est peu exploitée par les agriculteurs, qui utilisent parfois de manière excessive les eaux du continental intercalaire, entraînant des pertes importantes qui retournent à la nappe. De plus, ces eaux d'irrigation, combinées aux crues de l'oued Zegrir, contribuent à la recharge de cette nappe.

I.9 Conclusion

L'étude géologique est une étape très importante pour la reconnaissance des différentes formations du sous-sol et identifier les aquifères. La région de Guerrara fait partie de la plateforme saharienne. A partir des logs stratigraphiques de forages dans la région, la coupe établie a permis de conclure que le sous-sol est composé de dépôts alluviaux qui renferment la nappe superficielle. Cette dernière repose sur les formations détritiques du Mio-pliocène qui surmontent les formations carbonatées éocènes et sénoniennes. L'ensemble de ces formations aquifères (Mio-Pliocène, Eocène et Sénonien) peut être exploité jusqu'à une profondeur de 430 m environ. Ces formations reposent sur une couche d'argile grisâtre d'une épaisseur importante allant de 265m à 272m, représente le toit de l'aquifère continental intercalaire constitué de sable argileux d'une épaisseur qui varie de 315 à 325m.

La région d'étude est une zone à climat aride, les précipitations se manifestent souvent durant quelques jours ou quelques heures. Les précipitations moyennes annuelles sont de 70.22 mm/an. Les températures maximales moyennes sont de 42 à 43°C en Août et Juillet successivement, et de ce fait les valeurs de l'évapotranspiration sont très importantes et dépassent la moyenne des précipitations.

A travers cette étude hydrogéologique, nous avons mis en évidence les aquifères exploités dans la région de Guerrara. Il s'agit d'un système d'aquifères renfermant la nappe du continental intercaler contenue dans des formations détritiques d'une épaisseur moyenne

d'environ 300m et le complexe terminal comprenant à son tour différents horizons aquifères (le Mio-pliocène et Eocène, le Sénonien carbonaté et le Turonien carbonaté). Les deux systèmes sont surmontés par la nappe superficielle dont les crues de l'oued Zegrir et excès d'eau d'irrigation contribuent à son alimentation.

II. Chapitre II-Matériels et méthodes

II.1 Introduction

Pour mener à bien notre étude de la nappe superficielle de Guerrara, nous avons suivi une démarche qui consiste en la collecte des documents et données nécessaires ainsi qu'une recherche bibliographique, exploration du terrain, mesures piézométrique set prélèvements d'eau, pour des analyses au laboratoire, la discussion et l'interprétation des résultats.

II.2 Méthodologie de travail

II.2.1 La collecte des données

Cette étape implique principalement la consultation de tous les documents disponibles pour avoir des informations sur la région d'étude. Nous avons consulté un nombre de documents : mémoires, thèses, articles, cartes, photographies aériennes, images satellitaires, etc.

II.2.2 Les travaux de terrain

Pour mener à bien notre étude, nous avons sélectionné un nombre de puits bien répartis dans la palmeraie de Guerrara représentés sur la carte créée par le logiciel ArcGis10.8.2 (fig.12) dans lesquels ont été réalisées des mesures de niveau de la nappe, des mesures des paramètres physico-chimiques (Température, Oxygène dissous, pH et conductivité électrique) in-situ et prise des échantillons pour des analyses au laboratoire.

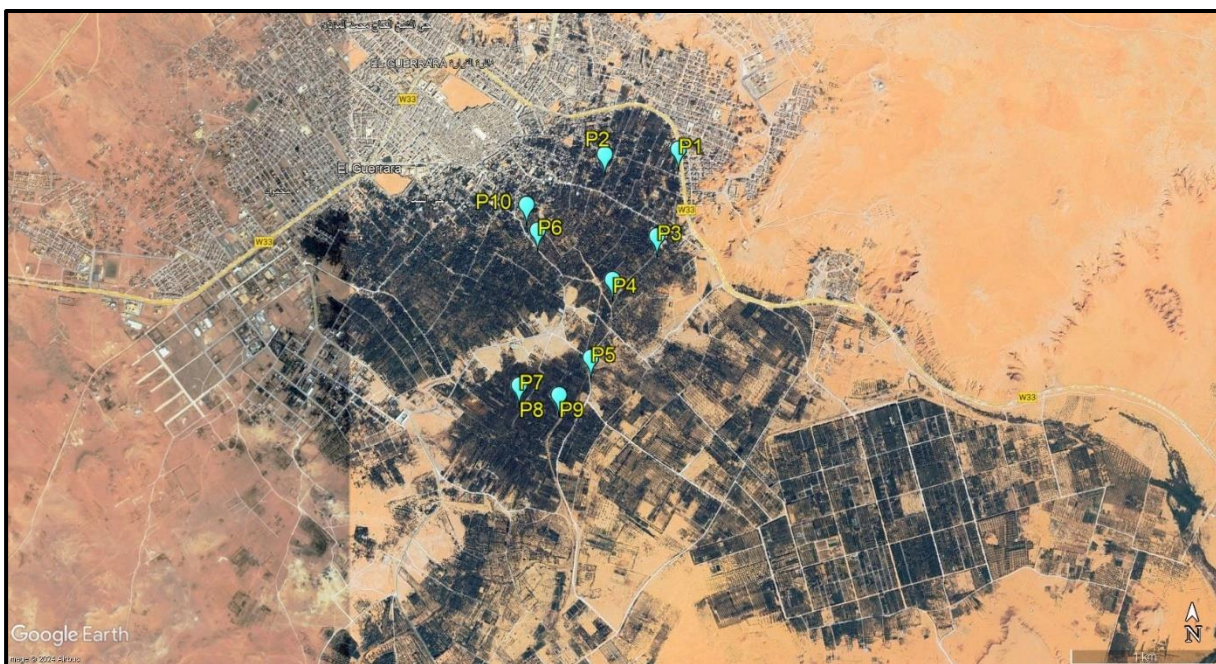


Figure 12: Carte de localisation des puits de mesure

II.2.2.1 Matériels utilisés sur le terrain

Pour l'étude de la nappe phréatique nous avons utilisé le matériel suivant :

1. Le système de positionnement global (GPS)

Une application GPS de téléphone a été utilisée pour déterminer les coordonnées géographiques des puits de mesures.

2. Une Sonde piézométrique

Une sonde piézométrique est un instrument utilisé pour mesurer la pression de l'eau dans les nappes d'eau souterraines. Elle permet de déterminer le niveau piézométrique, c'est-à-dire la hauteur à laquelle l'eau se trouve dans un puits ou un forage, en référence à une certaine altitude ou niveau de référence. Une sonde piézométrique de marque OTT a été utilisée pour les mesures de niveau de la nappe (photo 02).



Photo 2 : Sonde piézométrique

3. Appareil multi paramètres de terrain

C'est un appareil facile à utiliser qui permet de mesurer plusieurs paramètres : Température, Oxygène dissous (O₂), pH et Conductivité électrique.

4. Des flacons en plastique pour le prélèvement des échantillons d'eau.
5. Carnet de notes et stylo pour noter les mesures et les observations.

II.2.2.2 Déroulement des travaux de terrain

Une campagne sur le terrain a eu lieu le 11 Mai 2024 au cours de laquelle des mesures ont été réalisés dans 10 puits bien répartis dans la palmeraie (fig.12). L'étude piézométrique de la nappe superficielle consiste en la mesure de sa profondeur, les coordonnées géographiques des puits ont été déterminées à l'aide d'un GPS. Ceci dans le but de déterminer les niveaux de la surface piézométrique et le sens d'écoulement de cette nappe. Des prélèvements de 03 échantillons d'eau ont été effectués pour des analyses au laboratoire.

Prélever un échantillon d'eau est un procédé très délicat pour lequel un soin extrême doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier ses propriétés physiques et chimiques pour assurer la qualité des résultats d'analyse. Des mesures des paramètres physico-chimiques (Température, Oxygène dissous, pH et conductivité électrique) ont été réalisés sur le terrain à l'aide d'un appareil multi-paramètre. Des échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des bouteilles en plastique, préalablement rincées à l'eau de la nappe, puis bouchonnées. En raison de circonstances indépendantes de notre volonté, nous n'avons pas pu prélever des échantillons sur tous les puits. Des échantillons ont été prélevés uniquement dans 03 puits : puits 2, puits 4 et le puits 9 (Photo 03).



Photo 3 : Des photos montrant les trois puits de prélèvement d'eau

II.2.3 Les travaux de laboratoire

II.2.3.1 Déroulement du stage au laboratoire

Durant mon stage à l'Agence Nationale des Ressources en Eau à Ouargla depuis le 25-03-2024 jusqu'au 6-4-2024. J'ai appris les méthodes et techniques liées à l'analyse des échantillons d'eau dans le laboratoire de l'agence, où nous avons expérimenté sur un échantillon pour différents éléments chimiques majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), et appris l'utilisation de tous les appareils, outils et même réactifs pour tous les éléments, en plus de cela j'ai acquis des connaissances complètes sur les services fournis par la société dans le domaine de la gestion et de la conservation des ressources en eau.

II.2.3.2 Méthodes d'analyses au laboratoire

Pour obtenir les résultats de l'analyse des trois (03) échantillons d'eau prélevés de la nappe superficielle dans la région de Guerrara, les échantillons ont été analysés au laboratoire de Géologie du Sahara du Centre de recherche scientifique de l'université. Les différents ions ont été dosés en utilisant plusieurs méthodes d'analyses.

II.2.3.2.1 Paramètres physiques**1. La température (T)**

La température a un impact important sur la solubilité des sels et des gaz, et donc sur la conductivité. Elle aide également à distinguer entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface.

2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure qui exprime le degré d'acidité ou de basicité d'une solution en fonction de la concentration en ions H^+ . Il est généralement calculé comme le cologarithme de la concentration des ions H^+ dans l'eau.

3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique mesure la capacité d'une solution à conduire l'électricité en fonction de la concentration en ions, dans le cas de l'eau pour évaluer son degré de minéralisation.

La variation de la minéralisation de l'eau est régie par plusieurs facteurs :

Evaporation importante liée à l'approximation de la surface ;

Temps de séjour et échange eaux-encaissant ;

Temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration ;

Sens générale d'écoulement de la nappe ;

Echanges avec nappes adjacentes.

4. L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous est la quantité d'oxygène présent sous forme dissoute dans l'eau. L'oxygène dissous peut varier en fonction de divers facteurs tels que la température, la pression atmosphérique, la salinité et la présence d'autres substances dissoutes dans l'eau.

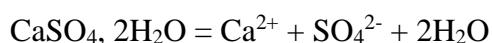
II.2.3.2.2 Paramètres chimiques

Les paramètres à analyser sont les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).

1. Le Calcium (Ca^{2+})

La présence d'ions Ca^{2+} dans l'eau est principalement liée à deux origines naturelles :

La décomposition des formations Carbonatées ($CaCO_3$), ou la décomposition des formations Gypseuses ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

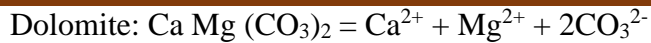


La dissolution de minéraux silicatés des roches magmatiques acides.

2. Le Magnésium (Mg^{2+})

Les origines du magnésium sont similaires à celles du calcium, puisqu'il provient de la dissolution de formations carbonatées à haute teneur en magnésium (magnésite et dolomite).





3. Le Sodium (Na^+)

L'origine de cet ion est principalement associée à la dissolution des formations salifères et à l'évaporation dans les milieux fermés (systèmes endoréiques). L'halite se dissout et donne le cation Na^+ et l'anion Cl^- .

4. Le Potassium (K^+)

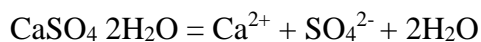
Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques.

5. Les Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont des ions retenus en solution. Ils ne sont soumis à aucune interaction physique ou chimique avec d'autres phases solides ou gazeuses et ne se décomposent pas en solution. Raison pour laquelle, ils servent de repère aux autres éléments.

6. Les Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont toujours présents à des niveaux plus élevés que ce que permet leur simple origine météorique. Certains sols et roches contiennent des minéraux sulfatés. La présence des sulfates dans l'eau sont liés à la dissolution du Gypse peu soluble (7 g/l dans les conditions normales), oxydation de la pyrite des roches cristallines, pesticides provenant des eaux d'irrigation et au lessivage des dépôts évaporitiques, selon la relation :



7. Les bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des Bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (Cipolin, Calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique, selon la réaction suivante :



III. Chapitre III - Les activités anthropiques

III.1 Introduction

Ce chapitre consiste à étudier les facteurs et les activités humaines qui influent sur la nappe superficielle de Guerrara. Ces facteurs incluent l'évolution démographique, l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation affectent la dynamique et la qualité de cette nappe. En particulier, nous pencherons sur l'utilisation de pesticides et d'engrais en agriculture, les pratiques d'irrigation qui peuvent entraîner une variation de la nappe, les déversements de produits chimiques de l'industrie, et la gestion des eaux usées dans le milieu.

III.2 Démographie

La croissance démographique est l'un des facteurs qui influent sur la qualité des ressources en eau. Guerrara est la deuxième commune la plus peuplée de la wilaya de Ghardaïa après Ghardaïa.

La croissance démographique dans la région de Guerrara est en constante augmentation, la population au 31 décembre 2023 a atteint 85 276 habitants, selon des statistiques récentes, comme le montre le tableau suivant :

Tableau 8 : La croissance démographique dans la région de Guerrara

Les années	2021	2022	2023
La population	82000	82983	85276

Source : D.G.B

Cette augmentation de la population est l'un des facteurs qui affectent de manière significative la qualité des ressources en eau souterraine dans la région, entre autre les nappes superficielles, ce qui peut entraîner des changements dans la quantité et la qualité de l'eau.

Il est important d'étudier les effets de cette croissance démographique sur la dynamique et la qualité de la nappe superficielle de Guerrara, et de trouver les mesures nécessaires pour préserver cette ressource en eau souterraine.

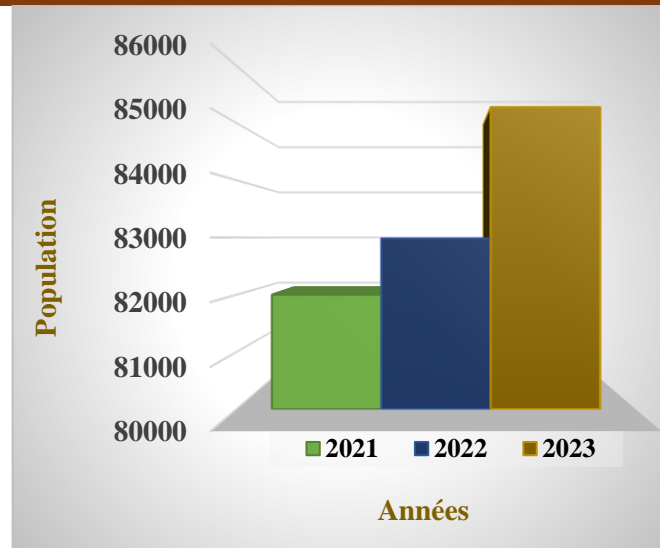


Figure 13: Évolution de la population dans la région de Guerrara

III.3 Occupation du sol

L'étude de l'occupation du sol est importante et permet la détermination des activités anthropiques pouvant entraîner des modifications dans la nappe superficielle de Guerrara.

III.3.1 Conversion des terres agricoles en zones urbaines

L'expansion urbaine peut entraîner la disparition des terres agricoles qui agissent comme des zones tampons naturelles pour la recharge de la nappe. Cela peut augmenter la pression sur la nappe en réduisant les zones d'infiltration naturelle.



Photo 4 : Conversion des terres agricoles en zones urbaines dans El Guerrara

Le déboisement des palmiers et l'imperméabilisation des sols à des fins industrielles ou résidentielles peuvent augmenter le ruissellement des eaux de pluie et réduire l'infiltration dans la nappe. Cela peut entraîner des fluctuations plus importantes du niveau de la nappe et une diminution

de sa qualité. Afin de suivre l'évolution de l'occupation du sol à travers le temps, nous avons utilisé Google Earth à partir duquel des images satellites ont été obtenues pour les années : 2006, 2013 et 2024. Deux (02) zones ont été choisie : Zone Sud-Ouest et Zone Nord-Est (fig.14).

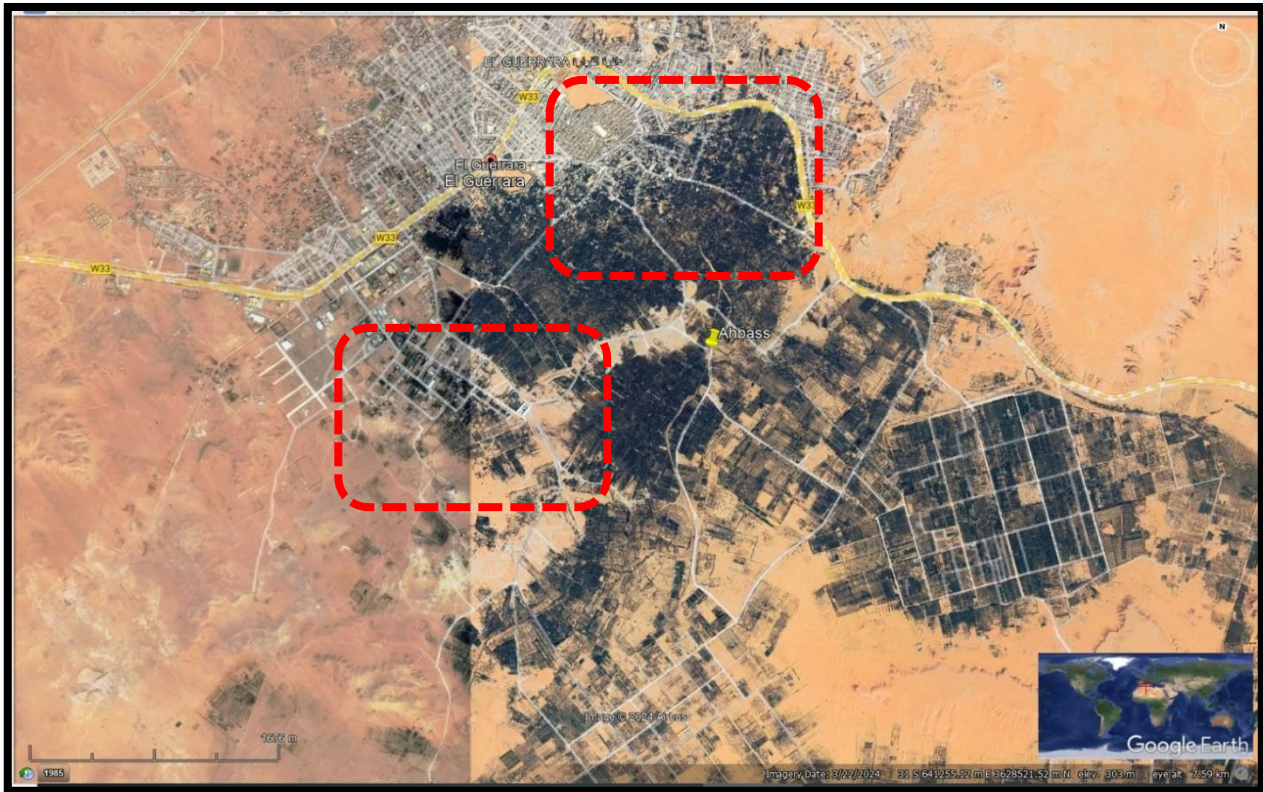


Figure 14: Localisation des zones choisies pour le suivi de l'occupation du sol dans la palmerais de Guerrara

La transformation des zones agricoles en zones urbaines a connu un changement significatif et évident. En 2006, la région du sud-ouest n'était constituée que de zones agricoles, auxquelles s'ajoutaient quelques zones arides. En 2013, l'urbanisation a commencé à apparaître. À l'heure actuelle (2024), ce changement est devenu perceptible, en raison d'une croissance démographique rapide.

Il en va de même pour la région Nord-Est, où l'on observe une expansion significative des bâtiments et des routes. Les forêts ont été transformées en zones urbaines et cette transformation se poursuit encore aujourd'hui.

Zone Nord-Est

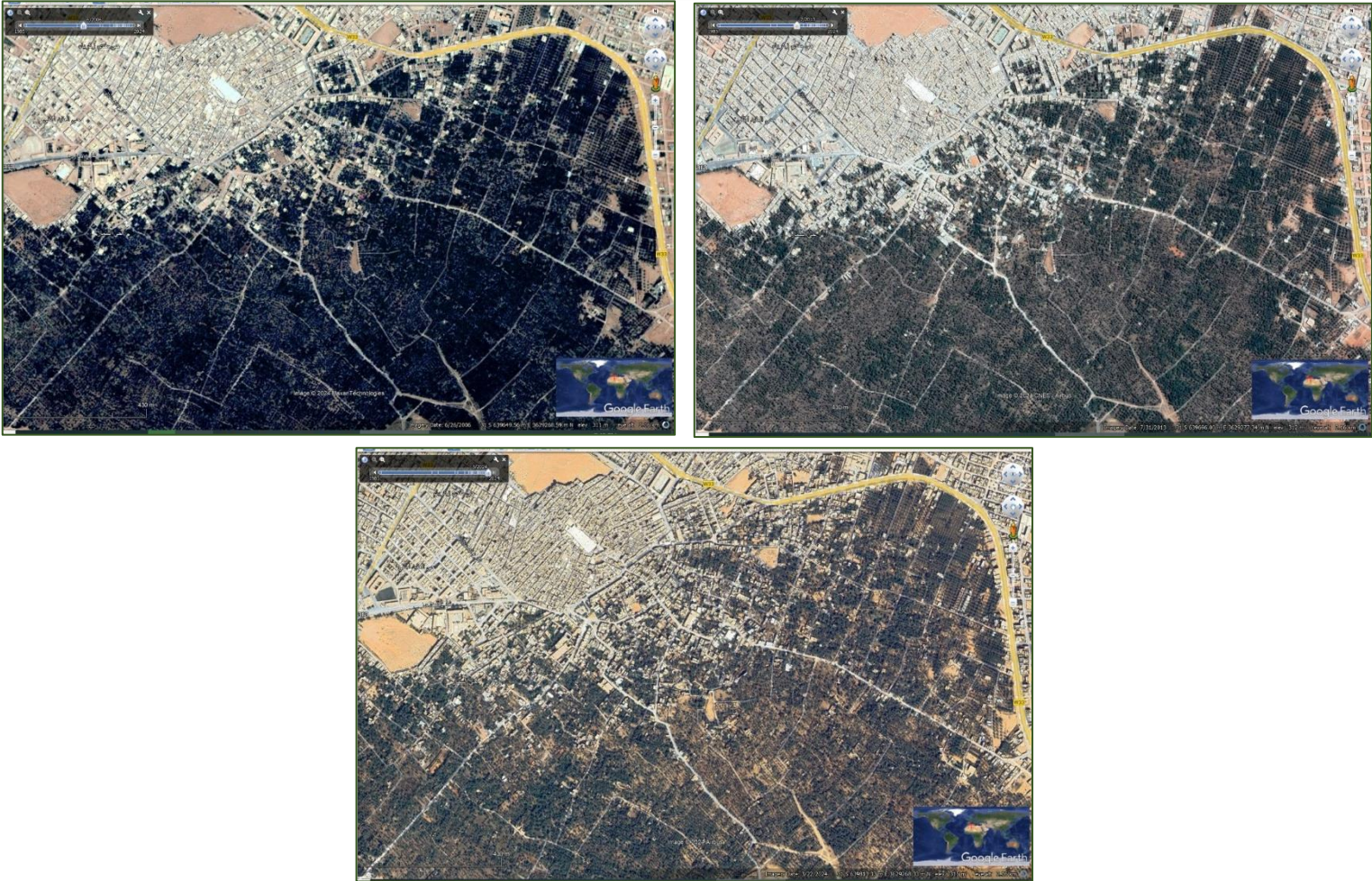


Figure 15 : Images satellites de la zone Nord-Est de la palmerais de Guerrara

Zone Sud-Ouest

Figure 16 : Images satellites de la zone Sud-Ouest de la palmerais de Guerrero

III.4 Agriculture

L'agriculture est une activité vitale qui joue un rôle essentiel dans la fourniture de ressources alimentaire et biologiques pour les humains et les animaux. L'agriculture repose sur l'utilisation des terres et de l'eau pour cultiver des cultures et élever du bétail, et englobe une large gamme de pratiques et techniques. L'agriculture à Guerrero est une activité importante de l'économie locale et joue un rôle vital dans la création d'emplois et de revenus pour la population locale.



Photo 5 : L'activité agricole à Guerrara

Cependant, les activités agricoles pourraient être responsables de la dégradation de la qualité des eaux souterraines dans la région. L'utilisation de substances telles que les engrais, les pesticides et les techniques d'irrigation peuvent contribuer à la pollution des eaux souterraines et à une diminution de la disponibilité de l'eau. De plus, les méthodes agricoles non durables peuvent potentiellement dégrader les sols et contaminer l'eau avec des produits chimiques nocifs.

III.4.1 Utilisation des pesticides et engrais

Les pesticides sont des substances chimiques utilisées pour repousser, détruire ou contrôler les ravageurs et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux qui causent des dommages aux cultures, aux produits agricoles, au bois et aux produits ligneux, ainsi qu'aux aliments pour animaux. Ce terme englobe également les régulateurs de croissance des plantes, les défoliants, les dessiccants, les agents qui réduisent le nombre de fruits ou empêchent leur chute prématurée, ainsi que les substances appliquées avant ou après la récolte pour prévenir la détérioration des produits pendant le stockage ou le transport (Actu Environnement).

Un engrais est une substance fertilisante, qu'elle soit organique ou inorganique, qui contient des éléments nutritifs sous des formes assimilables par les plantes. Son rôle est de maintenir ou d'augmenter la teneur en éléments nutritifs dans le sol, d'améliorer la qualité du substrat sur le plan nutritionnel et de stimuler la croissance végétative des plantes (Aquaportail).

L'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques dans le domaine agricole est devenue aujourd'hui une pratique courante, voire nécessaire, pour renforcer la production face à la demande croissante en alimentation dans le monde (MURAD BABAA,2019).

Cependant, cette utilisation croissante - parfois excessive - est devenue une source de préoccupation mondiale après que des recherches ont confirmé que l'utilisation à grande échelle de fertilisants et de pesticides ne respecte pas les normes internationales. Ces substances sont accusées d'être à l'origine de certaines maladies graves, notamment le cancer(MURAD BABAA,2019).

L'utilisation de ces « additifs » sur le sol a commencé avec des engrais naturels, en particulier le fumier organique qui se compose principalement de fèces d'animaux herbivores (animaux qui se nourrissent de plantes et d'herbes). Au fur et à mesure du développement des recherches, les scientifiques ont découvert l'engrais chimique qui est principalement divisé en deux types dans le domaine agricole, le premier « azoté » et le second « phosphaté ». Ces « additifs » compensent le manque de sels dans le sol et le rendent plus fertile (MURAD BABAA,2019).

Mais la vérité est que cette forme attrayante cache derrière elle un certain nombre de dangers liés à la valeur nutritionnelle et à la présence de substances nocives ayant un impact négatif sur la santé humaine et son équilibre biologique, en plus de l'impact de ces engrais et pesticides sur l'environnement environnant et la pollution des réserves d'eau (MURAD BABAA,2019).

Dans la région de Guerrara, les engrais sont utilisés comme fertilisant minérale pour améliorer le rendement de la culture. De même, l'élevage intense (bovin, aviculture) contribue à la pollution organique par les composés azotés et phosphatés (utilisation directe des déchets animaux comme des fertilisants des terrains agricoles).



Photo 6 : Les engrais biologiques (les déchets organiques d'origine animal) utilisés comme des fertilisants des sols cultivés (HARABI et LOUCIF,2012).

III.4.1.1 Impact sur la qualité de l'eau

L'utilisation excessive de pesticides et d'engrais en agriculture peut entraîner une contamination de la nappe superficielle. Lorsque ces produits chimiques sont appliqués sur les cultures, une partie

peut s'infiltrer dans le sol et atteindre les nappes souterraines. Cette contamination peut avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau, en rendant celle-ci impropre à la consommation humaine ou animale. Les pesticides peuvent contenir des substances toxiques qui peuvent persister dans l'environnement pendant de longues périodes, contaminant ainsi les ressources en eau souterraine.

Avec le temps, la pollution peut se propager de la nappe phréatique vers d'autres sources d'eau comme les puits et les sources, augmentant ainsi le risque de contamination de l'eau potable.

La fuite de nitrates dans les eaux souterraines constitue l'un des principaux risques de pollution par les engrais azotés dans certaines régions, où les eaux souterraines sont la principale source d'eau potable (KHALID,2018).

Certains rapports indiquent que la pollution des eaux souterraines entraîne une incidence accrue de cancer de l'estomac chez les adultes et du syndrome du bébé bleu chez les enfants (VAN DER PLOEG,2001).

III.4.1.2 Effets sur la biodiversité

L'utilisation excessive de pesticides peut avoir des effets néfastes sur la faune et la flore aquatiques qui dépendent de la nappe pour leur survie. Cela peut entraîner un déséquilibre écologique dans l'écosystème aquatique.

Lorsque les quantités ajoutées d'engrais chimiques dépassent un certain seuil, ce qui se produit souvent en raison d'ajouts répétés non étudiés et aléatoires dans de nombreux pays, elles auront de nombreuses répercussions négatives, directes ou indirectes, sur le système biologique en particulier et sur l'environnement en général. Les répercussions directes affectent les composants vivants du système environnemental, y compris la santé humaine, animale et végétale. Les répercussions indirectes ont un impact négatif sur les composants biologiques du système environnemental (eau, air, sol), perturbant leur composition et leur équilibre naturel. Par exemple, la fertilisation azotée est l'une des applications agricoles les plus importantes qui contribuent à la pollution de l'eau et de la nourriture (KHALID,2018).

III.4.2 Pratiques d'irrigation

Dans l'oasis de Guerrara 1300 puits sont utilisés pour irriguer la palmeraie (Photo 07) La figure 17 représente le grand barrage d'Al-Habbas Foussa, qui est utilisé pour inonder la palmeraie avec les eaux de crue.



Photo 7 : A l'entrée du ksar, un puits à traction animale (khottara) ; symbole d'alimentation en eau du ksar et d'irrigation de la palmeraie (Photo. Remini, 2019)

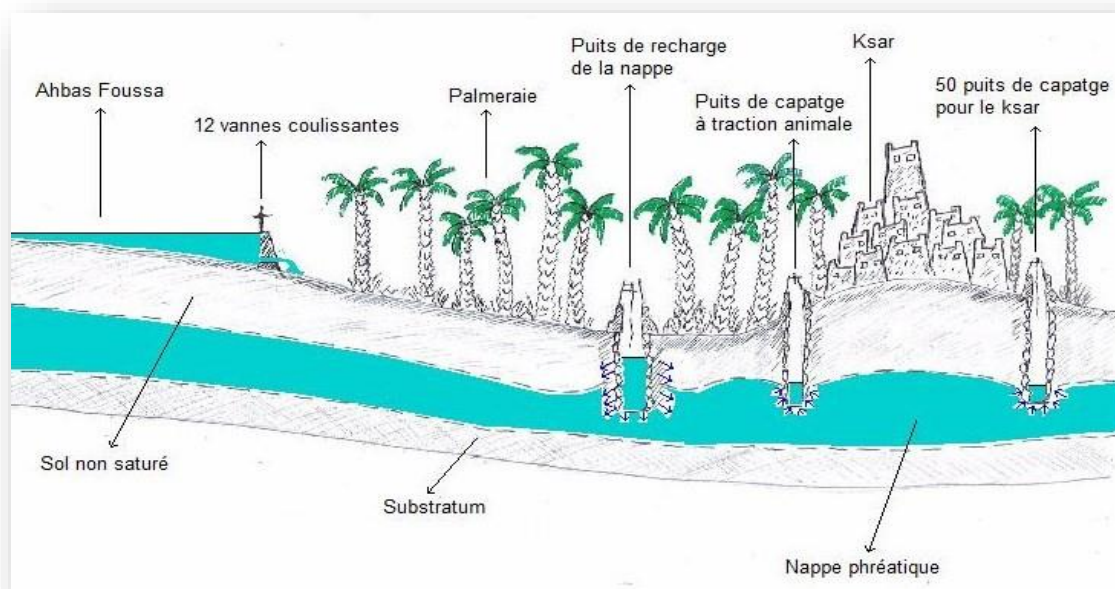


Figure 17: Schéma de l'oasis d'El Guerrara (Remini, 2019)

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

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

D'après, les statistiques de la D.S.A de Guerrara, la superficie totale de la commune de Guerrara étant de 338,236.00 ha :

La superficie totale des cultures irriguées : 2,748.00 ha.

Les terres utilisées par l'agriculture couvrent 35,638.00 ha dont :

- Surfaces Agricoles Utiles (S.A.U) : 5,725.00 ha ;

- Pacages et parcours : 29,894.00 ha ;
- Terres improductives des exploitations agricoles : 19.00 ha.

III.4.2.1 Surexploitation de la nappe

L'irrigation intensive des cultures pourrait entraîner une surexploitation de la nappe superficielle, ce qui pourrait conduire à une baisse du niveau de la nappe et à des problèmes d'approvisionnement en eau pour la population locale.

Lorsque la nappe superficielle est surexploitée, cela pourrait entraîner une diminution de la quantité d'eau disponible pour les habitants, et les activités agricoles. Cela pourrait conduire à des pénuries d'eau, à des conflits d'usage de l'eau et à des problèmes d'approvisionnement en eau pour l'irrigation des cultures et la consommation humaine.

III.4.2.2 Salinisation du sol

Une utilisation excessive de l'eau d'irrigation pourrait provoquer une accumulation de sels dans le sol, ce qui pourrait affecter la productivité des terres agricoles et contaminer la nappe avec des substances salines.

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation dépend de la qualité totale des sels dissous et de leur composition chimique, ce qui permet de calculer le SAR. Il est également important de considérer la présence éventuelle des sels toxiques (chlorures, sodium... etc) (HAROUNA, 2001).

III.5 Industrie

L'industrie est l'une des activités les plus importantes qui a un impact significatif sur l'environnement, en particulier sur la qualité de la nappe superficielle. Dans la région de Guerrara, l'industrie pourrait être une source de pollution causée par des rejets des déchets industriels et des produits chimiques dans l'environnement, ce qui entraîne une détérioration de la qualité de la nappe superficielle.

III.5.1 Déversements de produits chimiques

Les produits chimiques utilisés dans l'industrie peuvent varier en fonction du type d'industrie et des processus de production spécifiques. Lorsque ces produits chimiques sont mal gérés ou mal traités, ils peuvent contaminer les sols, la nappe superficielle, ainsi que l'air ambiant. Les effets de cette pollution peuvent être graves pour l'environnement et la santé humaine.

III.5.1.1 Industries présentes dans la région de Guerrara

Au lendemain de l'indépendance, le secteur industriel était pratiquement inexistant au niveau de la wilaya de Ghardaïa. La zone industrielle Guerrara a été créée en 1969. La région compte 14 unités industrielles (DRISSI,2016).

Le tableau suivant résume les données sur le secteur industriel à Guerrara en 2022 :

Tableau 9 : Les zones industrielles à Guerrara (DIM 2022)

Industrie	Superficies totale	Superficie occupée	Nombre total des entreprises	Nombre d'entreprises en activités
Zones industrielles	112	72.5	25	15
Zones d'activités	40.7	28.61	8	8

La création de ces zones industrielles a permis à la région de développer une activité industrielle à savoir :

- Industrie du papier
- Industrie chimique et pharmaceutiques, tannerie
- Industrie sidérurgique, métallique
- Industrie des matériaux de construction
- Industries du plastique
- Industries agro-alimentaires, l'abattoir



Figure 18 : Carte de localisation des activités industrielles à Guerrara

III.5.1.2 Effets des déversements de déchets industriels

Les effets des déversements de déchets industriels sur la qualité de la nappe superficielle et de surface et sur la santé des populations locales peuvent être dévastateurs et varient en fonction de la nature des substances toxiques qui s'écoulent.

III.5.1.2.1 Industrie de l'acier et des métaux

Les rejets de cette industrie peuvent contenir des substances toxiques telles que le mercure, le plomb et le cadmium. Lorsque ces substances se déversent dans l'environnement et contaminent les de surface et la nappe superficielle, elles pourraient affecte la santé des habitants et l'environnement.

III.5.1.2.2 Industrie des matériaux de construction

Les déchets de cette industrie peuvent contenir des produits chimiques nocifs tels que les composés d'ammoniac et le formaldéhyde. Ces substances pourraient entraîner une contamination de la nappe et augmenter le risque de maladies.

III.5.1.2.3 Industrie alimentaire

Les déchets de cette industrie peuvent contenir des résidus de pesticides, d'hormones et d'additifs alimentaires. Lorsque ces substances atteignent la nappe, elles pourraient augmenter le risque d'intoxication alimentaire pour la population.

III.5.1.3 Effets des déversements de déchets solides d'abattoir

Les déchets solides de l'abattoir communal sont jetés dans la nature sans aucun traitement, tandis que ses rejets liquides sont déversés dans des fosses connectées directement au réseau d'assainissement (photo 11).



Photo 7 : les déchets solides d'abattoir (MEZZAR L, 2016)

Les déchets d'abattage détériorent l'environnement et la qualité de la nappe.

III.6 Conclusion

L'étude des activités humaines et des facteurs affectant la nappe superficielle de Guerrara a permis de conclure que la croissance démographique, l'occupation du sol, l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation ont des implications sur la dynamique et la qualité de cette nappe.

La croissance démographique de la région de Guerrara est un facteur important, car elle a un impact significatif sur la qualité de la nappe superficielle, avec une population de 85 276 habitants au 31 Décembre 2023.

La Conversion des terres agricoles en zones urbaines réduit les zones d'infiltration naturelles et augmente la pression sur les niveaux de la nappe superficielle.

L'agriculture est l'une des activités les plus pratiquées dans la région, la superficie totale de la commune de Guerrara est de 338,236.00 ha dont 2,748.00 ha est les superficies totales des cultures irriguées. Les terres utilisées par l'agriculture couvrent 35,638.00 ha, l'utilisation excessive de pesticides et d'engrais utilisés pour augmenter la productivité des cultures tels que fertilisant minérale polluent la nappe superficielle avec des composés azotés et phosphatés (utilisation directe des déchets animaux comme des fertilisants des terrains agricoles).

L'industrie est une source majeure de pollution en raison du rejet de déchets industriels et de produits chimiques dans l'environnement.

La gestion des eaux usées est un aspect qui affecte la qualité de la nappe superficielle, avec l'augmentation de la population et de l'urbanisation. Les sources et les origines des eaux usées dans la région de Guerrara varient en fonction des différentes activités humaines, notamment les eaux usées agricoles, industrielles, urbaines et domestiques. La région est confrontée à un problème de réseau d'assainissement, qui a conduit à l'infiltration des eaux usées dans le sol et dans la nappe superficielle.

IV. Chapitre IV- Résultats

IV.1 Etude de la nappe superficielle de Guerrara

Afin d'étudier les évolutions et les changements de la nappe superficielle dans la région de Guerrara, nous avons choisi la campagne d'Avril 2013 (KHEMGANI.2019) pour compléter l'étude hydrochimique, et comparer les résultats obtenus de notre étude.

IV.1.1 Description des paramètres physicochimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe superficielle de Guerrara sont présentés dans le tableau 10 :

Tableau 10 : Résultats des analyses chimiques de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Eléments	Normes OMS	Normes Algériennes	Campagne (AVRIL 2013)			Campagne (MAI 2024)		
			Puits 2	Puits 4	Puits 9	Puits 2	Puits 4	Puits 9
HCO ₃ ⁻	250 mg/l	500 mg/l	430.2	231.3	422.8	195.2	224.48	673.44
SO ₄ ²⁻	250 mg/l	400 mg/l	1000	1101	2101	94.76	465.56	2241.28
Cl ⁻	259 mg/l	500 mg/l	948.7	974.6	2239	41.6	413.3	1343.5
Ca ²⁺	100 mg/l	200 mg/l	416.8	250.1	1010	54.4	169.6	560
Mg ²⁺	50 mg/l	150 mg/l	121.5	228.5	212.7	68.054	37.4297	243.05
Na ⁺	150 mg/l	200 mg/l	399.8	399.8	999.6	12.107	236.48	908.09
K ⁺	12 mg/l	20 mg/l	44.18	26.2	32.06	9.7479	25.165	20.826
pH	6.5 à 9.5	6.5 à 8.5	6.96	7.57	7.13	8.22	7.81	7.23
Conductivité (dS/m)	2.8	2.8	5.02	4.36	11.12	0.4	2.51	7.87

La précision des analyses effectuées sur les échantillons dépend de la balance ionique avec des valeurs inférieures à 5 %, voire 10 %. Les calculs de la balance ionique (BI) des trois (03) puits échantillonnés.

Les résultats obtenus sont de bonne qualité (BI<5%) pour les puits 2,4 et 9 lors de la campagne (Avril 2013).

Les résultats de notre campagne de mai 2024 montrent que les puits 4 et 9 ont une bonne qualité (BI<5%), mais pas le puits 2(BI=18%). Les résultats de ce dernier ne seront pas interprétés.

IV.1.2 Etude des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe

IV.1.2.1 Paramètres physiques

1. La température (T)

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Dans la région de Guerrara, la température des échantillons prélevés de la nappe superficielle au cours de la campagne Mai 2024 varie entre 20.7 dans le puits P6 et 29.3°C dans le puits P3 dépassant ainsi 25°C la norme de potabilité maximale acceptable

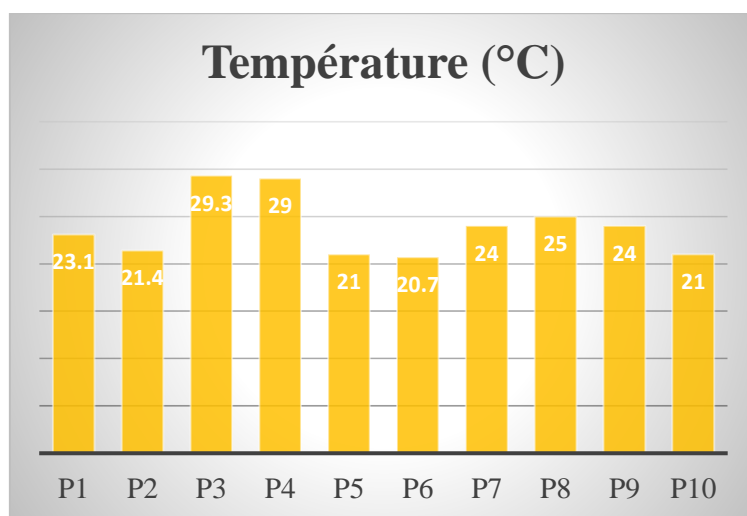


Figure 19: Variation de la température de la nappe superficielle
(campagne de Mai 2024)

2. Le Potentiel hydrogène (pH)

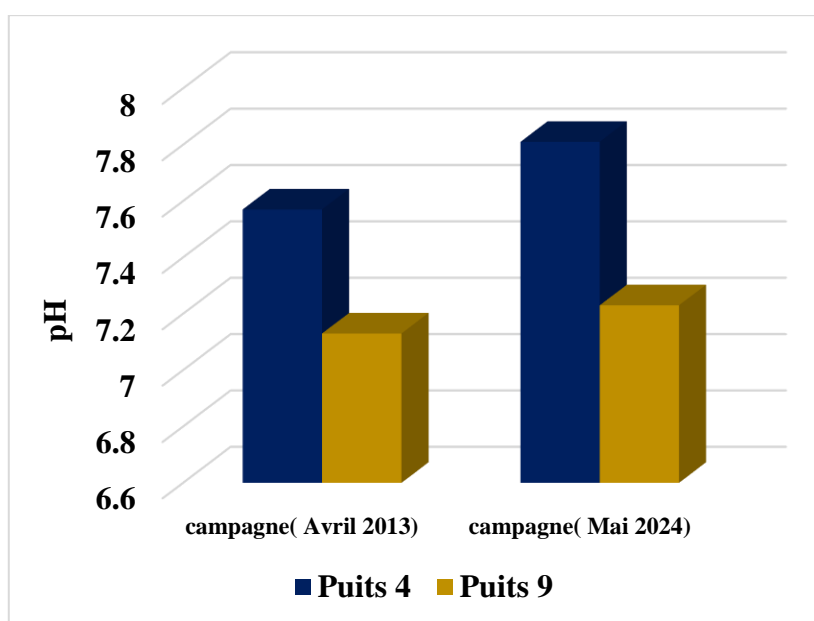


Figure 20: Variation du pH de la nappe superficielle

Les valeurs de pH sont comprises entre 7.13 et 7.57 pour la campagne d'Avril 2013 et entre 7.23 et 7.81 pour la campagne de Mai 2024. On observe une augmentation du pH au cours du temps (Fig.21).

3. La conductivité électrique (CE)

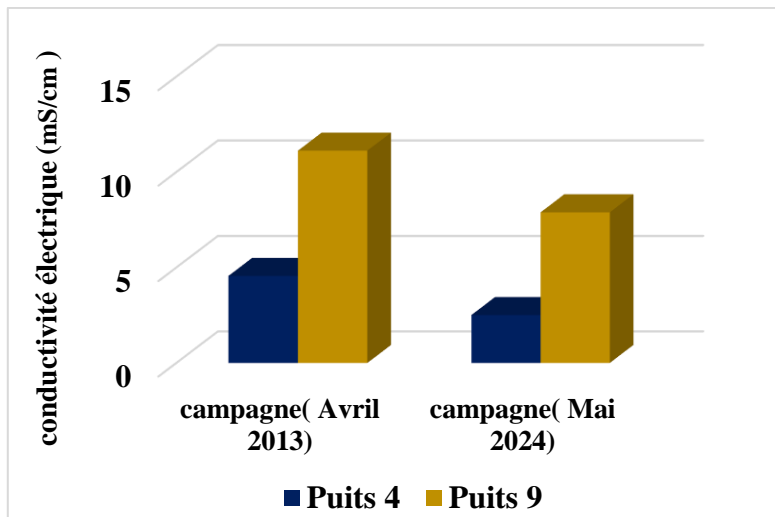


Figure 21: Variation de la conductivité électrique de la nappe superficielle (campagne de Mai 2024)

La conductivité électrique de l'eau de la nappe superficielle échantillonnés est variable d'un puits à un autre. On observe une augmentation des valeurs de conductivité électrique, où lors de la campagne (avril 2013), 4.56 a été enregistré au puits 4 et 11.12 au puits 9. Lors de la campagne (mai 2024), 2.51 a été enregistré au puits 4 et 7.89 au puits 9.

4. L'OXYGÈNE DISSOUS (OD) en (%)

La mesure de l'oxygène dissous de la nappe superficielle donne des valeurs qui varient de 6.65% dans le puits 4 et 76% dans le puits 9 (fig.22).

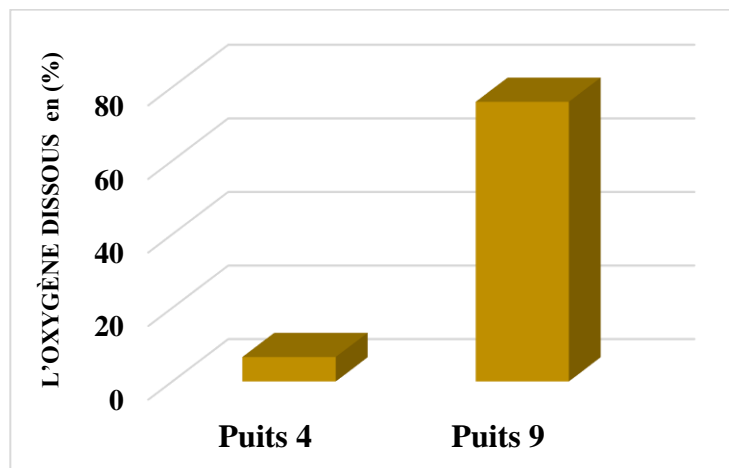


Figure 22: Variation de l'oxygène dissous de la nappe (campagne de Mai 2024)

5. La dureté totale (Degré Hydrotimétrique Totale) (DHT)

La dureté de l'eau est généralement liée à la concentration des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Des tests spécifiques peuvent être effectués pour évaluer la dureté de l'eau. Elle est exprimée en degré français ($^{\circ}\text{F}$) et calculée selon la formule suivante :

$$\text{DHT} = 5 (r \text{ Ca}^{2+} + r \text{ Mg}^{2+}) \text{ } ^{\circ}\text{F}$$

Où : $r \text{ Ca}^{2+} + r \text{ Mg}^{2+}$: désigne respectivement les quantités en réaction de Calcium et de Magnésium en méq/l.

Selon l'OMS les eaux potables de bonne qualité ont une dureté totale inférieure à 15°F , mais acceptable jusqu'à 50°F . Si elles dépassent cette valeur, leurs utilisations deviennent extrêmement difficiles et causent des problèmes pour la consommation et pour certains usages domestiques (DJEMMEL, 2009). La figure 23 représente la variation de la dureté totale des eaux. Où lors de la campagne (avril 2013), 156°F a été enregistré au puits 4 et 339°F au puits 9. Lors de la campagne (mai 2024), 58°F a été enregistré au puits 4 et 240°F au puits 9.

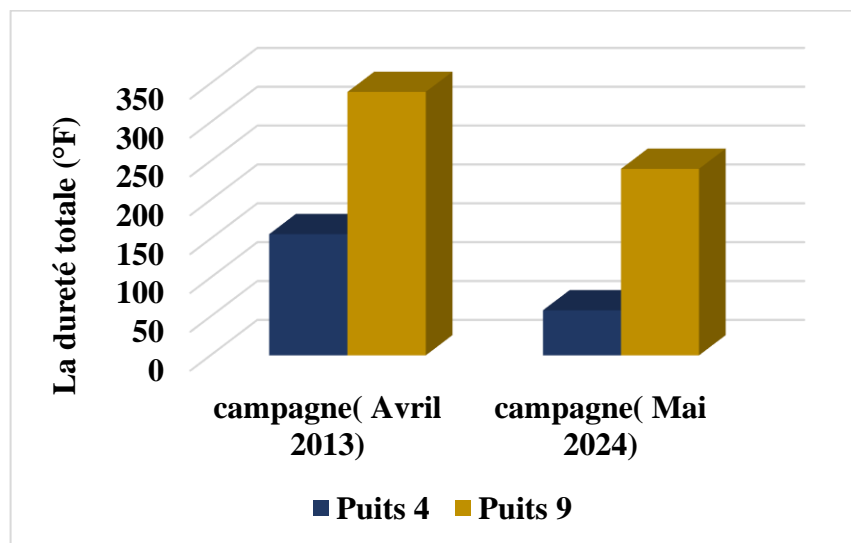


Figure 23: Variation de la dureté totale des eaux

IV.1.2.2 Paramètres chimiques

Les ions à étudier sont les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).

IV.1.2.2.1 Les Cations**1. Calcium**

La plupart des puits présentent des eaux avec des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux (200 mg/) (Fig.24).

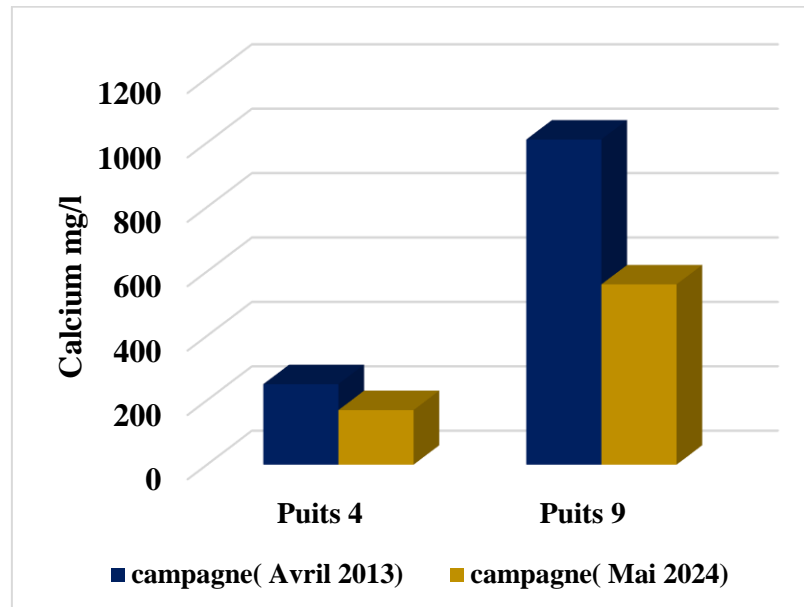


Figure 24 : Concentrations en Calcium des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Une augmentation du taux de calcium dans le puits 9, atteignant 1010 mg/l lors de la campagne d'avril 2013. Ce puits présente une concentration élevée de calcium, attribuée à une minéralisation accrue de l'eau.

2. Magnésium

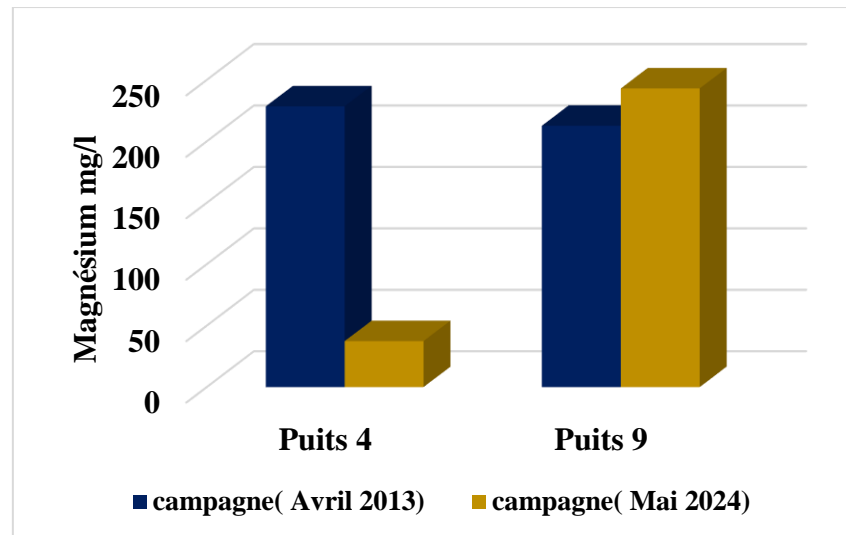


Figure 25: Concentrations en Magnésium des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Nous constatons une baisse de la concentration en magnésium dans les puits 4 au fil du temps. En ce qui concerne le puits 9, il y a une augmentation significative, ce puits présente une concentration supérieure à la norme de l'OMS pour la potabilité de l'eau.

3. Sodium

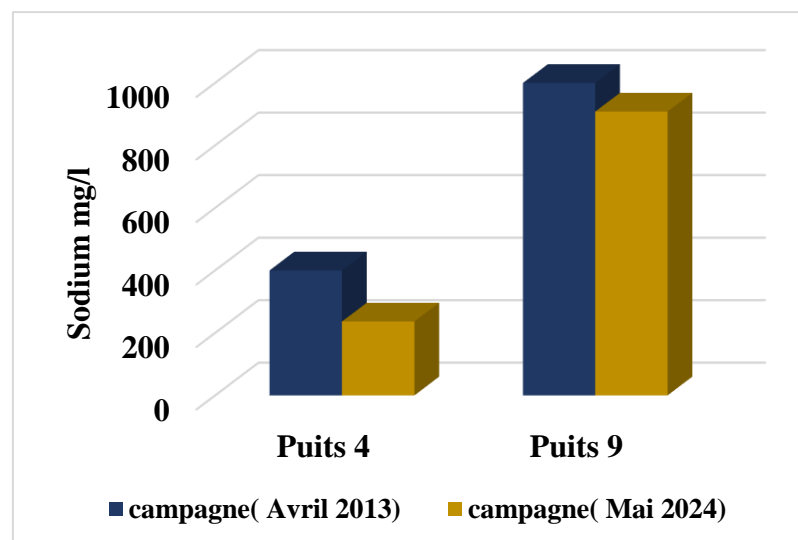


Figure 26: Concentrations en Sodium des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Nous avons constaté que la concentration en sodium la plus basse était d'environ (263.46 mg/l) enregistrée dans le puits 4 lors de la campagne de Mai 2024. De plus, les puits 4 et 9 dépassent tous deux les normes de potabilité de l'eau.

4. Potassium

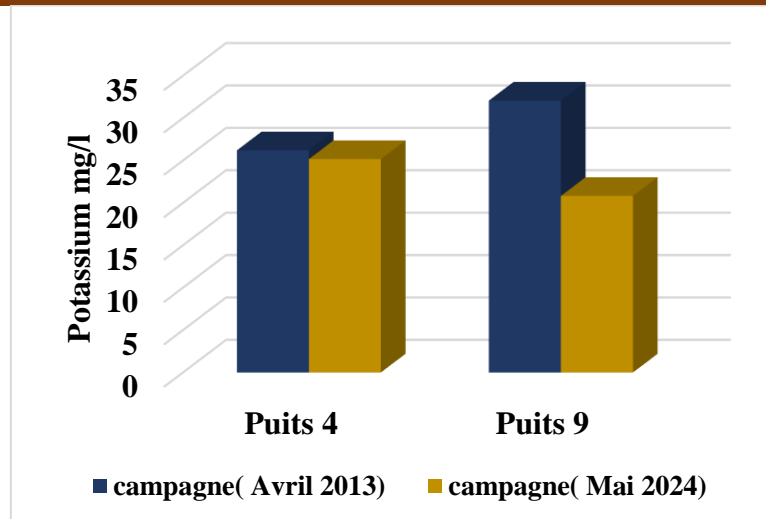


Figure 27: Concentrations en Potassium des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Nous avons observé une diminution de concentration en potassium en 2024 de 26.2 à 25.16 mg/l au puits 4 et de 32.06 à 20.82mg/l au puits 9.

IV.1.2.2.2 Anions

1) Bicarbonates

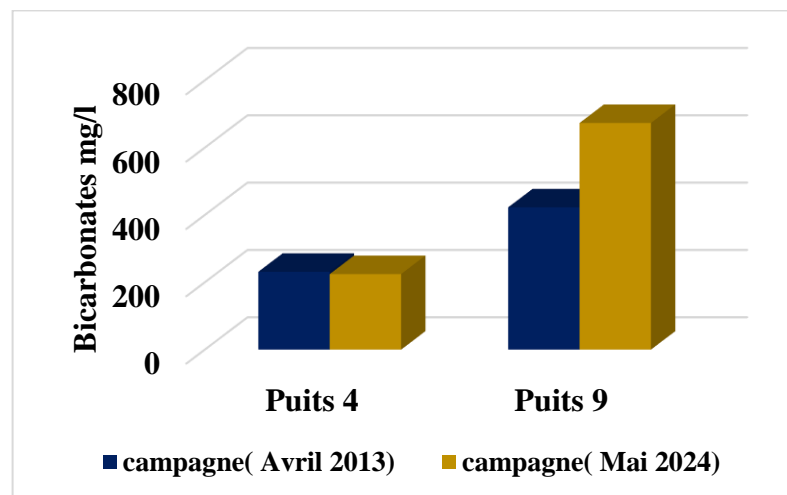


Figure 28: Concentrations en Bicarbonates des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Nous notons une augmentation de la concentration en bicarbonates dans le puits 9 par rapport à la campagne d'Avril 2013. Quant au puits 4, il n'y a pratiquement pas de différence. En comparaison avec les normes de l'OMS, ces puits dépassent le niveau requis pour l'eau potable.

2) Sulfates

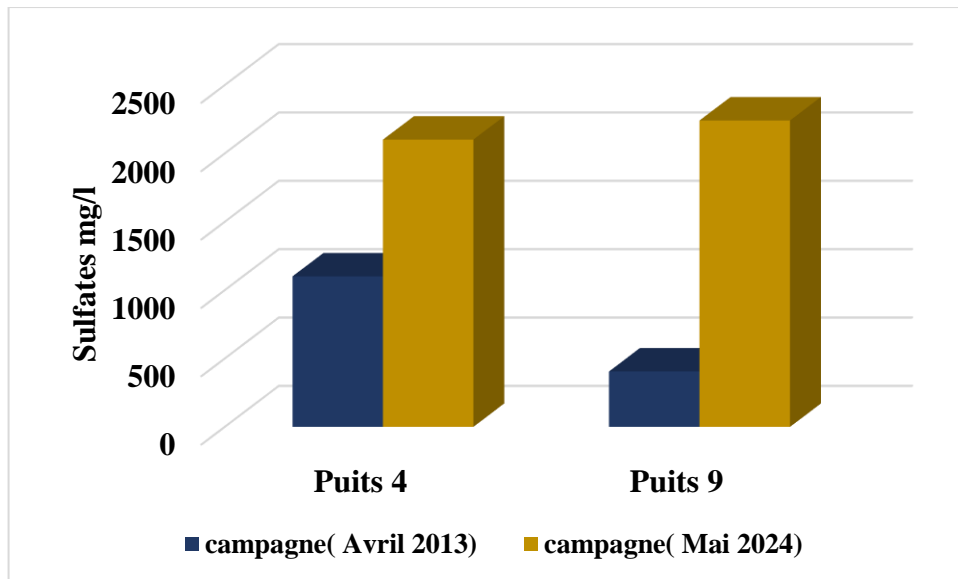


Figure 29 Concentrations en Sulfates des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

On observe une augmentation significative des concentrations en sulfates dans les puits 4 et 9 par rapport à la campagne d'Avril 2013, il y a une augmentation significative, due à la forte minéralisation de l'eau liée à l'évaporation élevée et au pompage continu.

3) Chlorures

L'ion chlorure présente des caractéristiques distinctes par rapport aux autres éléments. Il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se lie pas facilement aux éléments chimiques et reste généralement très mobile. C'est pourquoi il est souvent utilisé comme un bon indicateur de la pollution (KHEMGANI.2019).

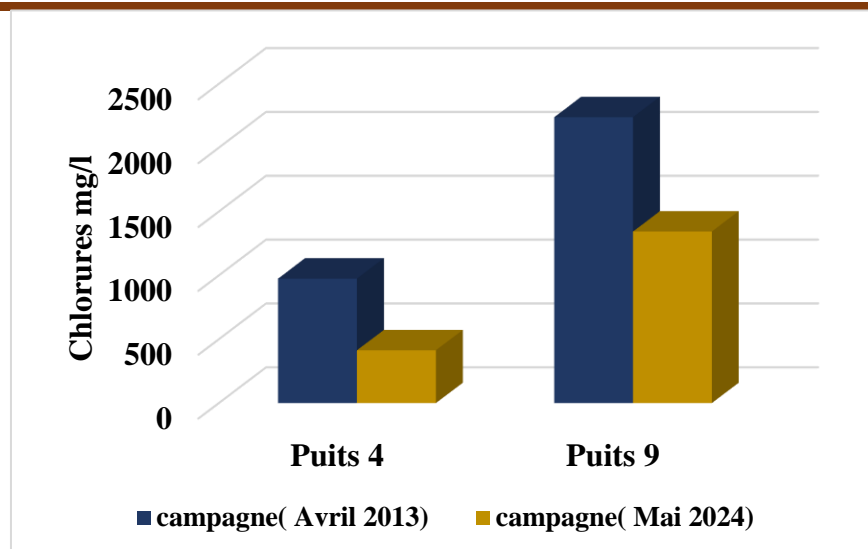


Figure 30: Concentrations en Chlorures des eaux de la nappe des campagnes Avril 2013 et Mai 2024

Il semble y avoir une baisse des concentrations enregistrées lors de la campagne de Mai 2024 par rapport à la campagne d'Avril 2013, en raison de l'alimentation en la nappe superficielle au cours de la période récente pour les puits proches d'oued. Les valeurs de concentration en ion chlorure dépassent les normes de potabilité de l'OMS et les normes algériennes au puits 9.

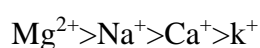
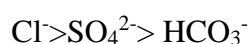
IV.1.2.3 Détermination des faciès chimiques des eaux de la nappe

Les faciès hydrochimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire la composition des eaux naturelles. Ces faciès sont déterminés en calculant les quantités de réactions (en convertissant les concentrations des substances en unités de méq/l) en tenant compte de la classification des ions selon leur formule ionique (GOUAIDIA, 2008).

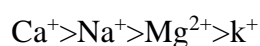
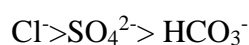
Après l'aperçu à les analyses chimiques de notre échenillions en distingue les formules ioniques suivant :

➤ La campagne Avril 2013

• Puits 4

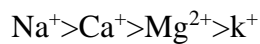
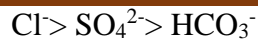


• Puits 9

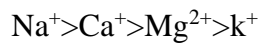
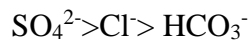


➤ La campagne Mai 2024

• Puits 4



- **Puits 9**



La distribution des faciès différentes dépend de la lithologie et de l'hydrodynamisme de la nappe aquifère, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Faciès chimiques des eaux de la nappe superficielle de Guerrara

	La campagne Avril 2013		La campagne Mai 2024	
Puits	Puits 4	Puits 9	Puits 4	Puits 9
Faciès chimiques	Chlorurée magnésien	Chlorurée calcique	Chlorurée sodique	Sulfatée sodique
Origine lithologique	Halite (évaporite)	Halite (évaporite)	Halite (évaporite)	Halite (évaporite)

IV.1.2.4 Représentation graphique des faciès hydro chimiques

Pour identifier avec précision les faciès hydrochimiques et obtenir des indications qualitatives sur les eaux souterraines, il est essentiel d'utiliser des outils de représentation graphique des résultats d'analyses. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé le diagramme de Piper et celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été effectuée à l'aide du logiciel Diagrammes.

1. Diagramme de PIPER

Le diagramme de Piper est un outil efficace pour suivre l'évolution d'une eau d'un faciès à un autre. Cette transition peut être observée en réalisant des analyses sur des échantillons prélevés à différents moments ou en différents endroits. L'utilisation de ce diagramme permet de visualiser clairement les variations des caractéristiques chimiques de l'eau et d'identifier les changements de faciès hydrochimiques.

- La campagne Avril 2013

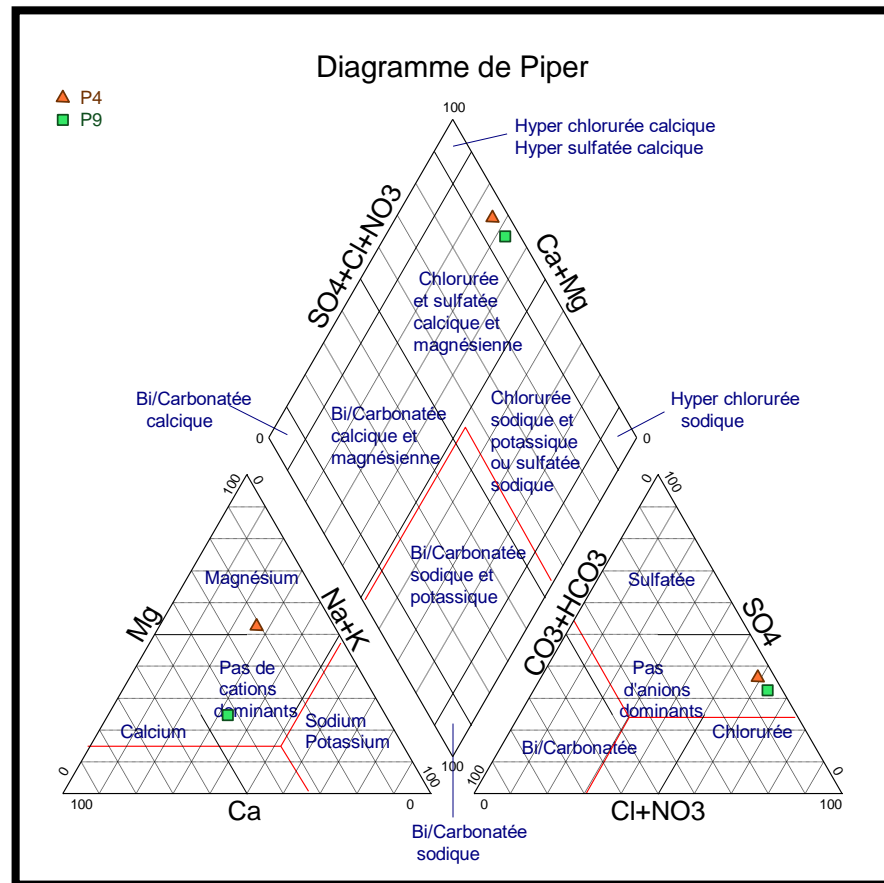


Figure 31: Classification des eaux par le diagramme de Piper (campagne Avril 2013)

Dans le cas de la dépression de Guerrara, l'aspect général du diagramme de Piper (Fig.31) montre que l'eau de l'aquifère des puits 4 et 9 appartient, dans l'ensemble, à la famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, associées à la nature lithologique du réservoir.

▪ La campagne Mai 2024

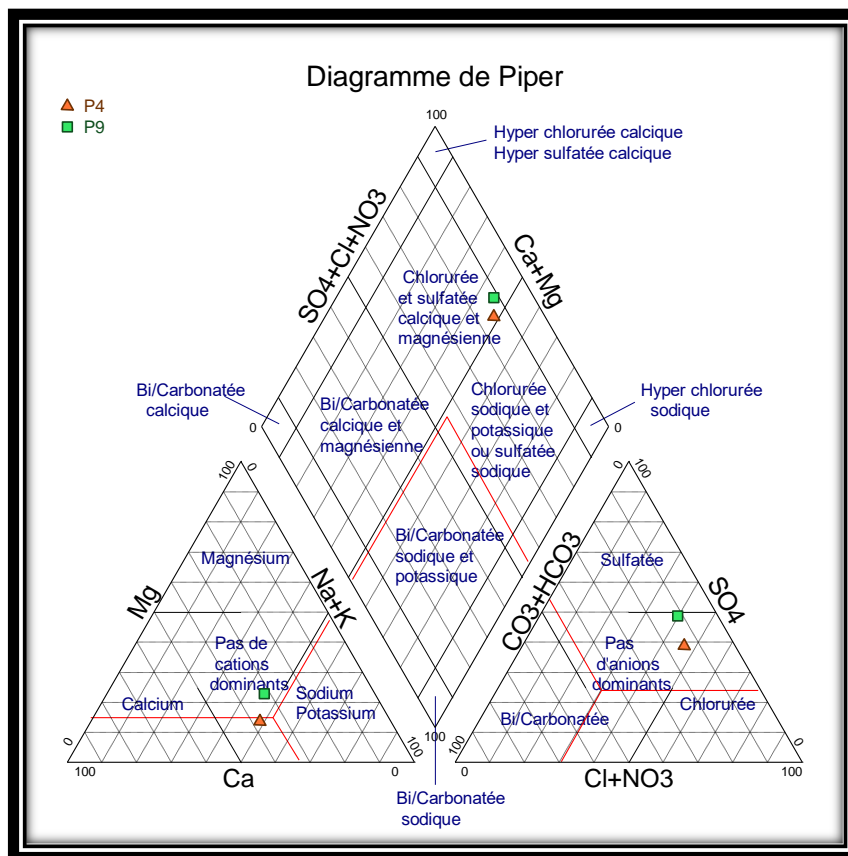


Figure 32 : Classification des eaux par le diagramme de Piper (campagne Mai 2024)

Le diagramme de Piper pour les eaux de la campagne Mai 2024 est différent de la campagne Avril 2013, montre que l'eau de l'aquifère des puits 4 et 9 appartient, dans l'ensemble, à la famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, associées à la nature lithologique du réservoir.

Diagramme de Schoeller – Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux et de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques.

▪ La campagne Avril 2013

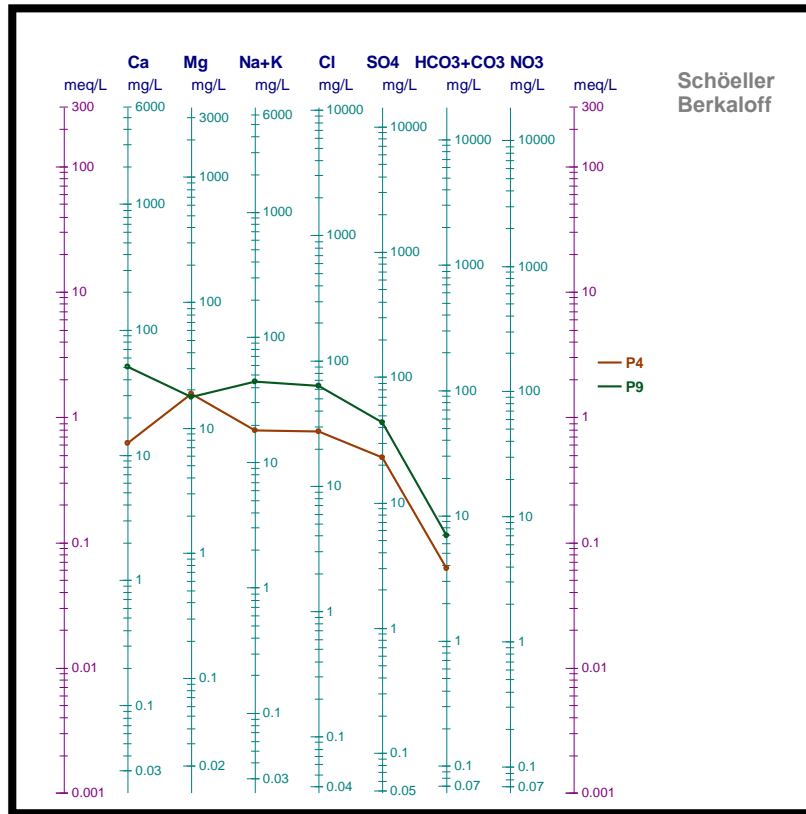


Figure 33: Classification des eaux par diagramme de Schoëller-Berkaloff (campagne Avril 2013)

Les concentrations élevées en Cl⁻ et Ca²⁺ ont donné les faciès chimiques Chlorurée calcique au puits 9. On note que la teneur en bicarbonate et magnésium est faible par rapport au puits 4 qui présente un faciès Chlorurée magnésienne, ce qui explique la répartition différente des faciès chimiques.

- La campagne Mai 2024

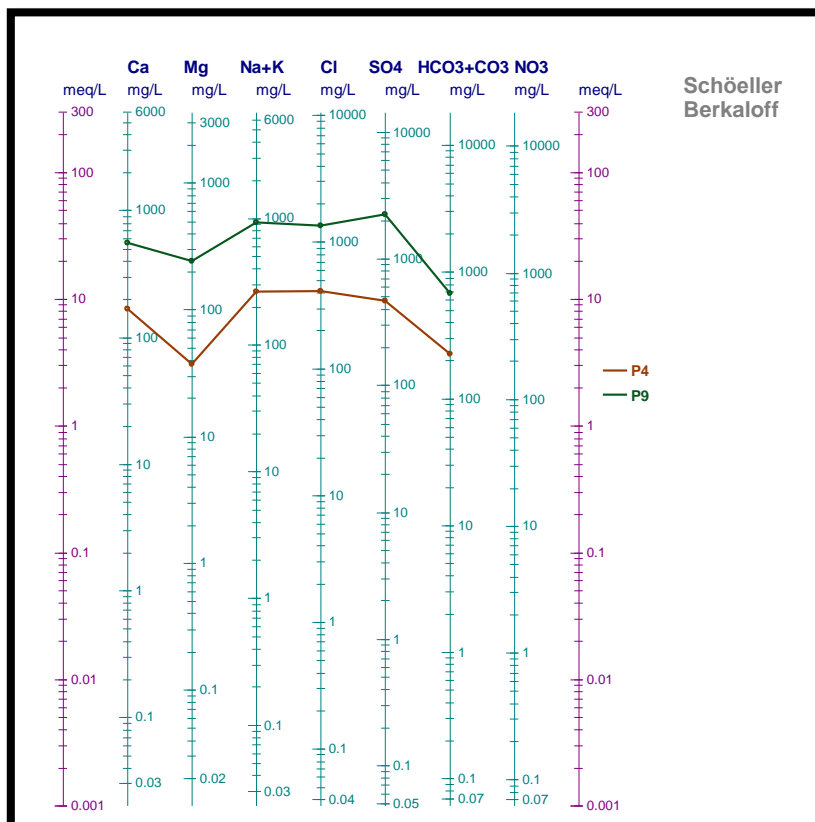


Figure 34: Classification des eaux par diagramme de Schoeller-Berkaloff (campagne de Mai 2024)

Les concentrations élevées en SO_4^{2-} , Cl^- et Na^+ ont donné les faciès chimiques sulfatée sodique au puits 9 et chlorurée sodique au puits 4.

IV.1.3 Qualité des eaux destinées aux activités agricoles

IV.1.3.1 Aptitude des eaux de la nappe superficielle à l'irrigation

La région de Guerrara est à vocation agricole, une activité qui demande beaucoup d'eau afin d'assurer les besoins des diverses cultures. L'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par les plantes.

Pour évaluer l'aptitude des eaux de la nappe superficielle à l'irrigation, un coefficient appelé S.A.R (Sodium Absorption Ratio) a été calculé. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation, les fortes teneurs en cet ion provoquent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles. Celles-ci seront par la suite dispersées rendant ainsi la circulation de l'eau plus lente au sein du sol. Cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par la réduction de sa perméabilité et de son aération.

La classification de RICHARD (1954) fait intervenir le taux d'absorption du sodium (S.A.R) qui peut être estimé par la formule suivante :

$$S.A.R = [Na^+] / [Ca^{2+} + Mg^{2+}]^{1/2}$$

Les ions Ca^{2+} , Na^+ et Mg^{2+} sont exprimés en méq/l. Les valeurs du S.A.R et les conductivités exprimées en $\mu S/cm$ ont été portées sur le diagramme de RICHARD (fig.35 et 36).

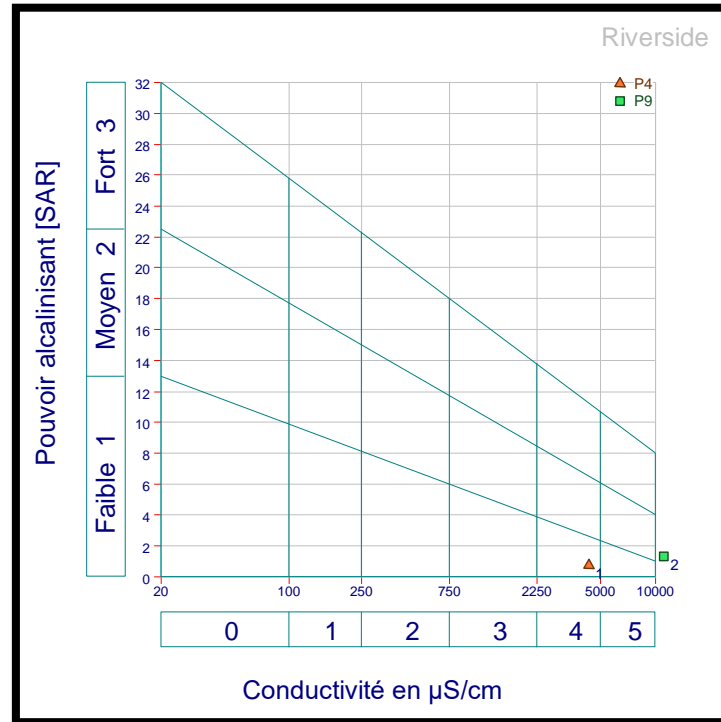


Figure 35:Diagramme de Richards des eaux d'irrigation pour la nappe (campagne Avril 2013)

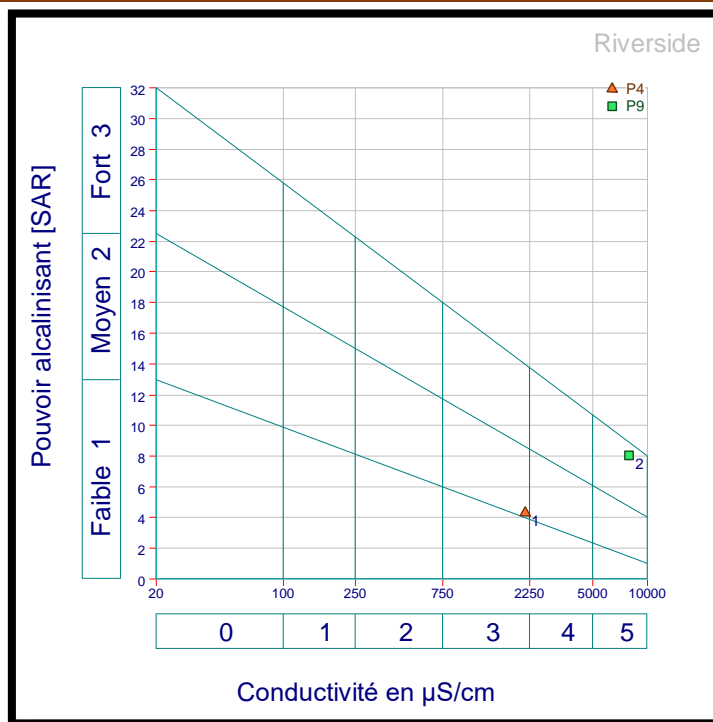


Figure 36: Diagramme de Richards des eaux d'irrigation pour la nappe (campagne Mai 2024)

On remarque sur le diagramme que les eaux de la nappe étudiée sont situées dans les classes dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Richards.

N° Puits	Indice croisé SAR/conductivité	Indication
Puits 4 (Avril 2013)	(C4S1)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales -peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé
Puits 9 (Avril 2013)	(C6S2)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eau ne convient pas à l'irrigation
Puits 4 (Mai 2024)	(C3S2)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel ▪ Sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage ▪ Contrôle périodique de l'évolution de la salinité ▪ La jonction périodique de Gypse peut-être bénéfique
Puits 9 (Mai 2024)	(C5S3)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eau ne convient pas à l'irrigation

IV.2 Etude hydrodynamique de la nappe superficielle de Guerrara

IV.2.1 Caractérisation de la nappe

La nappe libre de Guerrara est contenue dans les alluvions de l'Oued Zegrir. Cette nappe est alimentée par cet oued, assurant ainsi son équilibre hydraulique.

IV.2.1.1 Piézométrie de la nappe

L'étude piézométrique d'une nappe fournit des renseignements très importants sur les caractéristiques de l'aquifère. Elle permet de mieux appréhender l'écoulement de la nappe, de déterminer les zones d'alimentation et de drainage et de suivre l'évolution des réserves en eau. La carte piézométrique d'une nappe est une présentation de son état à un moment donné. Elle est tracée pour une période très courte pour être représentative sur l'ensemble du secteur étudié vis-à-vis des influences locales et des évènements périphériques.

Les eaux souterraines sont le moyen de transport de toute substance minérale ou organique. C'est d'après l'écoulement qu'on peut reconnaître les zones vulnérables ou contaminées à condition de pouvoir localiser les rejets.

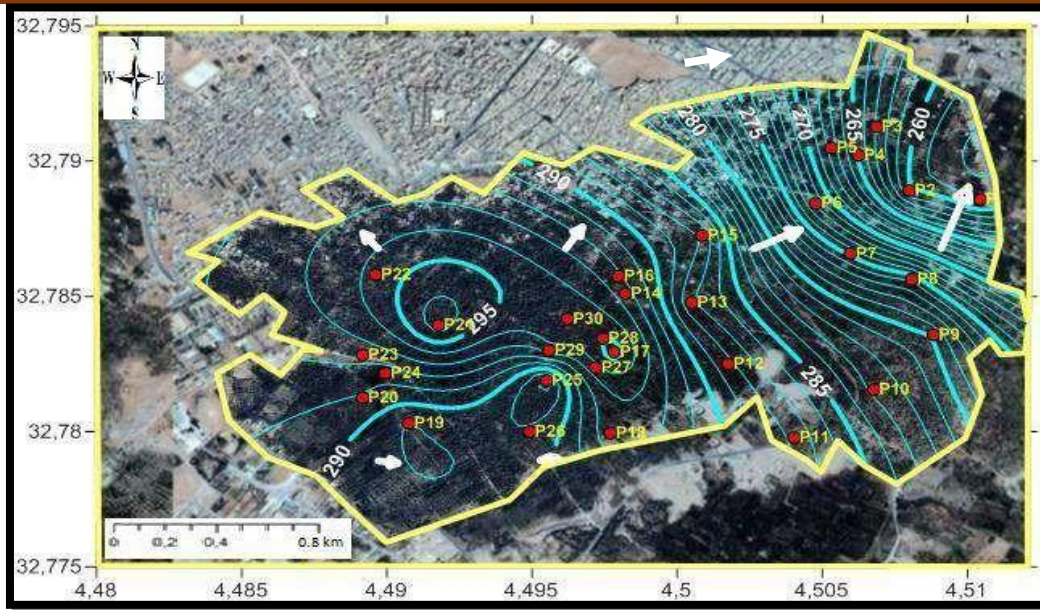
IV.2.2 Evolution hydrodynamique de la nappe superficielle de Guerrara

Dans ce travail, des cartes piézométriques ont été examinées en utilisant les données de deux campagnes réalisées en Avril 2012 et Avril 2013(KHEMGANI.2019). Les mesures du niveau de la nappe ont été effectuées dans 30 puits bien répartis sur la zone d'étude. Nous avons choisi ces deux campagnes pour faire une comparaison avec notre campagne de Mai 2024, afin de voir les effets et les changements qui se sont produits sur cette nappe.

IV.2.2.1 Mesure piézométrique de la nappe (Avril 2012)

Lors de la campagne (Avril 2012), uniquement 18 puits sur 30 ont été étudiés, suite à des contraintes pratiques sur terrain, notamment des problèmes d'accès aux puits (fermeture des puits par les propriétaires des exploitations). De ce fait, les résultats de la piézométrie de la nappe pour cette campagne, sont exprimés pour 18 puits uniquement (KHEMGANI.2019).

La carte établie (fig.37) montre que l'écoulement des eaux souterraines se fait généralement dans une direction sud-ouest à nord-est. On observe également un faible gradient hydraulique de la zone centrale vers le nord-ouest de la palmeraie. Les niveaux piézométriques varient de 295m à l'Ouest à 260m à l'Est.

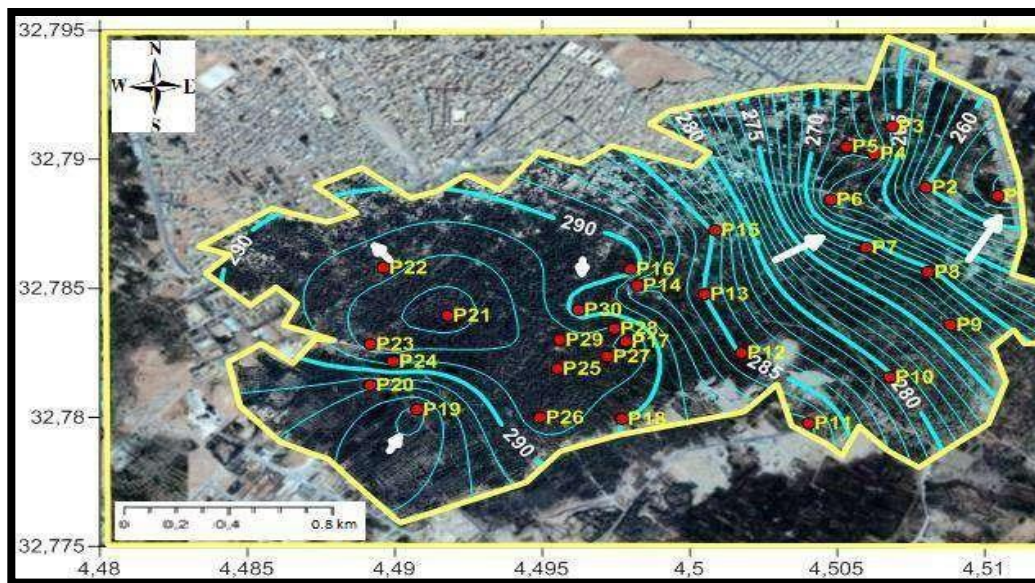


Légende: ● puits — courbe piézométrique ➔ sens d'écoulement

Figure 37: Carte piézométrique de la campagne (Avril 2012) (KHEMGANI.2019)

IV.2.2.2 Mesure piézométrique de la nappe (Avril 2013)

La carte piézométrique de la campagne Avril 2013 montre la même morphologie piézométrique que celle de la campagne Avril 2012. Ceci est dû à la faible recharge qui n'arrive pas à combler l'exhaure de la nappe.



Légende: ● puits — courbe piézométrique ➔ sens d'écoulement

Figure 38 Carte piézométrique de la campagne (Avril 2013) (KHEMGANI.2016)

IV.2.2.3 Mesure piézométrique de la nappe (Mai 2024)

La reconnaissance de la surface piézométrique de la nappe, a été obtenue par les mesures du niveau dans 10 puits captant la nappe. Les mesures ont été réalisées le 11 Mai 2024 à l'aide d'une sonde piézométrique. Les résultats de calcul du niveau piézométrique sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 13: Les résultats de calcul du niveau piézométrique

N° Puits	Niveau piézométrique (m)
P1	280.8
P2	293.25
P3	296.3
P4	294.7
P5	296.6
P6	299.5
P7	302.85
P8	301.7
P9	301.7
P10	299.5

Les résultats des mesures montrent que le niveau de la nappe varie de 280.8 m dans le puits P1 situé au Nord-Est à 302.85m dans le puits P7 situé au Sud-Ouest (Fig.12). En cette période, la nappe a été alimentée par la crue de l'oued qui est arrivé au mois d'Avril

IV.3 Conclusion

L'étude hydrochimique de la nappe superficielle de Guerrara a montré que l'eau a une conductivité électrique et pH, les valeurs varient d'un puits à l'autre lors des deux campagnes de suivi (Avril 2013/Mai 2024). La dureté totale des eaux a connu une nette diminution au niveau des deux puits échantillonnés, à savoir les puits : puits 4 et 9.

Les résultats obtenus au laboratoire pour analyser les principaux éléments chimiques de cette nappe ont montré qu'il y avait une diminution des concentrations de la plupart des éléments chimiques par rapport à la campagne d'Avril 2013.

La majorité des échantillons analysés montre que les eaux appartiennent à la famille chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

Les résultats de l'étude sur la qualité de l'eau d'irrigation ont montré que certains puits ne sont pas adaptés à l'irrigation pour les deux campagnes.

L'étude piézométrique a révélé une augmentation du niveau piézométrique de la nappe par rapport aux campagnes d'Avril 2012 et Avril 2013. Cette augmentation est due à l'alimentation par la crue de l'oued qui est arrivé au mois d'Avril

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'étude a été réalisée sur les ressources en eaux souterraines de Ghardaïa, plus précisément sur la nappe alluviale de Guerrara qui fait partie du bassin versant du Mzab, situé dans le sud de l'Algérie.

L'étude géologique de la région a mis en évidence des formations d'origine sédimentaire. Les principaux reliefs de la région sont constitués par le plateau du Pliocène, qui s'élève à une altitude de 380 à 450 mètres et occupe des parties au Nord et au Sud de la région. Les glacis, qui sont des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène, sont composés de sable et de gravier gréseux.

Du point de vue climatique, la région de Guerrara est soumise à un climat nettement contrasté à hiver froid et à été sec et chaud et très bien ensoleillée. Ce climat est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles de 70.22 mm/an. Les températures maximales moyennes sont de 42 à 43°C en Août et Juillet successivement, et de ce fait les valeurs de l'évapotranspiration sont très importantes et dépassent la moyenne des précipitations.

Pour l'étude hydrogéologique, nous avons identifié les aquifères exploités dans la région de Guerrara. Il s'agit d'un système d'aquifères comprenant la nappe du continental intercalaire, qui est contenue dans des formations détritiques d'une épaisseur moyenne d'environ 300 mètres, ainsi que le complexe terminal comprenant différents horizons aquifères tels que le Mio-pliocène et l'Eocène, le Sénonien carbonaté et le Turonien carbonaté. Ces deux systèmes sont surmontés par la nappe superficielle, qui est alimentée par les crues de l'oued Zegrir et les excès d'eau d'irrigation.

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines de la région de Guerrara, révèlent ce qui suit :

La majorité des échantillons analysés montre que les eaux appartiennent à la famille chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

Les résultats de l'analyse des principaux éléments chimiques de la nappe superficielle et leur comparaison avec des études antérieures ont montré qu'il existe une différence significative entre leurs concentrations, ce qui est dû à plusieurs facteurs, dont les activités humaines.

Grâce aux normes de qualité utilisées pour évaluer la qualité et l'adéquation de l'eau d'irrigation, et en les comparant aux résultats obtenus pour les échantillons étudiés, et en les comparant aux études précédentes afin de connaître les effets de l'activité humaine au fil du temps, on peut considérer que l'eau de certains de ces puits dans la zone d'étude ne peut pas être utilisée pour l'irrigation.

Conclusion générale

La fluctuation piézométrique de la nappe superficielle dépend des conditions climatiques et des activités humaines, en particulier des précipitations et de la forte évaporation ainsi que du pompage de l'eau utilisée pour l'irrigation et divers usages.

Le pompage de l'eau entraîne une baisse du niveau piézométrique de la nappe superficielle (aux puits 1 et puits 2 en raison de la surexploitation). Les mesures piézométriques indiquent que le niveau piézométrique montre une augmentation par rapport aux campagnes précédentes et ceci est dû à l'écoulement de l'oued Zegrir durant la période récente.

Recommandations et perspectives

Pour améliorer la qualité de l'eau de l'oued dans la région de Guerrara et faire face à la détérioration de la nappe superficielle due aux activités agricoles et industrielles, voici quelques mesures qui peuvent être prises :

- Améliorer le système d'irrigation : il est possible d'améliorer le système d'irrigation agricole, réduire l'utilisation de produits chimiques nocifs et améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau.
- Développer un système de traitement des eaux : il est possible de développer et d'améliorer les systèmes de traitement des eaux industrielles pour réduire la pollution de la nappe superficielle.
- Recensement et suppression des puits détériorés et abandonnés
- Sensibilisation et éducation : des campagnes de sensibilisation et d'éducation peuvent être organisées pour les agriculteurs et les industries sur l'importance de protéger la qualité de l'eau et de réduire les impacts environnementaux négatifs.
- Améliorer le réseau d'assainissement : il est nécessaire d'améliorer et de développer les réseaux d'assainissement pour réduire les fuites de polluants dans les eaux souterraines.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **A.N.R.H.,2001.** ACHOUR M., Les ressources aquifères de la région de Guerrara, Secteur de Ghardaïa, 2-3 p.
2. **A.N.R.H.,2024.** ACHOUR M., Rapport d'évaluation de l'opportunité d'équiper le forage profond de Foussaa (Commune de Guerrara) en groupe électropompe pour une exploitation thermique. Janvier 2024, p 4.
3. **AOUAM H., 2007.** Etude minéralogique et micromorphologique des sols alluviaux de la région de Guerrara (W. Ghardaïa). Mémoire de magister, Institut Nationale Agronomique, El Harrache, Alger, 109 p
4. **B.N.E.D.R., 2000.** Etude de périmètre de mise en valeur agricole (Drine II 60 ha) dans la commune de Guerrara. Programme de mise en valeur des terres par le biais de la concession. Rapport définitif DG/515. Alger.
5. **BAIT A., CHETTOUH C., GUESMIA S. 1977a.** Possibilités de développement de la palmeraie de Guerrara. Mémoire Ing., I.T.A., Mostaganem, 82 p.
6. **BALLAIS J.L., 2010.** Des Oueds mythiques aux rivières artificielles. Hydrographie du bas Sahara Algérien. Physico-géo. Vol 4. 2010. p 107-127.
7. **BG., 2003.** Études d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation : Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission IIB : caractérisation environnementale de la situation actuelle. Lausanne.
8. **CAPOT-REY.R et al., 1963.**Glossaire des termes géographiques et hydrogéologiques ; Ed. I.R.S Univ d'Alger, pp 44-45.
9. **CHELLAT S., 2015.** Géologie des dépôts continental néogène du Sahara Algérien. Livre, Ed. EJFA, 200 p
10. **COOKE et al., 1993.** Desert geomorphology. Livre, Ed UCL, London. 449 p
11. **DE PARCEVAUX, S., HUBER, L., (2007).** Bioclimatologie : Concepts et applications. Livre, Ed. Quae. Paris, France. 324p.
12. **DJILI B., 2004.** Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro. Université de Ouargla, pp 8, 11, 15, 5,12,65.
13. **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, 54 p.
14. **DUBIEF J.,1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifiques, Alger, 457 p.
15. **DUTIL. P., 1971.**Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara ; Thèse doc. D'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346 p.

Références bibliographiques

16. **FABRE J., 1976.** Introduction à la géologie du Sahara Algérien des régions voisines. La couverture phanérozoïque. Ed. S.N.E.D. Alger, 422 p
17. **GOUAIDIA L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana, Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat en sciences, Université d'Annaba, Algérie, 129 p.
18. **HADJ-SAID S., ZEDDOURI A., DJABRI L., HAMDI-AISSA B., 2013.** Determination of the aquifers geometry in arid zones by using geoelectrical method. Arab journal of géosciences (2013) G : 1081-1089. Doit 10.1007/5 12517-011-0413-5.
19. **HADJ-SAID, S., HAMDI-AISSA B., TOUIL Y., 2007.** Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agrosystème oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab). Bull. du Groupe Francophone Humidimétrie et Transferts en Milieux Poreux, 54, 195-198.
20. **HAMDI AISSA B., 2008.** Rapport sur l'ancienne oasis de Guerrara M'Zab. Association pour la sauvegarde du patrimoine/Guerrara3,4,6.
21. **HARABIF, LOUCIF B, 2012.** Etude de risques de population de la nappe alluviale de Guerrara, Mémoire de master, université Kasdi Merbah-Ouargla, 56 p.
22. **HAROUNA-SONLEY I., 2001.** Etude de l'impact de la remonté de la nappe phréatique sur la salinisation des sols sous palmeraie à Ouargla (cas de l'ITAS. Université de Ouargla). Mémoire. Ing. Agro. Université de Ouargla.93p
23. **KHALID MOUSTAFA., 2018.** Arabic Science Archive (arabxiv.org) 2018, chemical fertilizers in agriculture: uses and misuses, ,6 p.
24. **KHEMGANI M., 20 /01/2020.** Effets de la nappe alluviale de l'Oued Zegrir sur la qualité des eaux et la salinisation des sols de l'Oasis de Guerrara. Mémoire de Doctorat. Université de Ouargla.
25. **MEZZAR L., 2016.** Etat de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara, Mémoire de magister, université Kasdi Merbah-Ouargla, 95 p.
26. **POUGET.M.,1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises ; Ed. O.R.S.T.O.M. Paris, 555 p.
Reconstitution paléo-environnementale des formations miopléocènes du nord central et nord-est du Sahara. Thèse Doc. Université de Constantine. pp 3-15.
27. **REGGADI S., BELAID A., 2020.** Caractérisation piézométrique de la nappe superficielle de Guerrara (Sud algérien) Mémoire de magister, université Kasdi Merbah-Ouargla, 47 p

Références bibliographiques

28. **REMINI B.,2019.** L'oasis d'el Guerrara (Algérie) : irrigation et recharge des nappes assurées par les inondations.5-6 p.
29. **S.C.G., 1933.** Notice explicative des cartes géologiques. Alger Nord. Alger-Sud. Bult. Du Serv. De Cart. Géo. De l'Algérie. Alger
30. **S.C.G., 1939.** Notice explicative des cartes géologiques au 1/500.000. Alger Nord. Alger-Sud. Bult. Du Serv. De Cart. Géo. De l'Algérie. Alger, pp95-99.
31. **S.C.G., 1952.** Notice explicative des cartes géologiques. Alger Nord. Alger-Sud. Bult. Du Serv. De Cart. Géo. De l'Algérie. Alger,
32. **S.O.N.A.T.R.A.C.H.,1992.** Aperçu hydrogéologique. Région de Guerrara. Wilaya de Ghardaïa ; Rapport Serv. Hydrogéologie, Ouargla.
33. **VAN DER PLOEG., 2001.** Nitrogen in agriculture: the German story. Scientific World Journal, 2001. 1 Suppl 2: p. 737-44. DOI : 10/1100.tsw.2001.263.

Références électroniques :

1. **Actu-Environnement.,2024. Définition de Pesticide :**
https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/pesticide.php4
2. **Aquaportail.com** Signification "engrais" publiée le 07/05/2010 (mise à jour le 20/09/2022) : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/7219/engrais>.
3. **Climat Ghardaïa (2003/2023) :**<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605660.html>
4. **Murad Babaa.,2019.** Al Jazeera. Rapport de Pesticides et engrais chimiques...un excès qui menace la santé :
<https://doc.aljazeera.net/amp/reports/2019/9/25/%D9%85%D8%A8%D9%8A%D8%AF%D8%A7%D8%AA-%D9%88%D8%A3%D8%B3%D9%85%D8%AF%D8%A9-%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9-%D8%A5%D9%81%D8%B1%D8%A7%D8%B7-%D9%8A%D9%87%D8%AF%D8%AF-%D8%A7%D9%84%D8%B5>