

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté Science de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre

Département Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie

Par : **MEDJELLED OUIAM et ZERBANI SARA**

Thème

**Contribution à l'étude de la qualité des eaux
albiennes destinées à l'irrigation dans la
commune de Daya Bendahoua et Guerrara
Ghardaïa**

Soutenu publiquement le : 11/06/2023

Devant le jury :

Mr. NEGAIS Hamza	MAA	Univ. Ghardaia	Président
Melle. BENHEDID Hadjira	MCB	Univ. Ghardaia	Encadreur
Mr. ACHOUR Mansour	Doctorant	Univ. Oran	Co- Encadrant
Mr. GUERGUEB El Yamine	MCA	Univ. Ghardaia	Examineur

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENT

Tout d'abord, par la grâce et la volonté de Dieu qui nous a donné la force, le courage et les moyens de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier **Melle BENHEDID Hadjira** , maître de Conférences B à l'université de Ghardaia, pour son accord pour nous encadrer sur ce sujet et pour son intérêt à assurer le suivi.

Nous tenons également à remercier **Mr. ACHOUR Mansour**, doctorant à l'université d'Oran et chef de l'ANRH Ghardaïa, pour leurs conseils, orientations et instructions.

Nous remercions les membres respectés du jury qui nous ont fait l'honneur de corriger et juger notre travail : **Mr.NEGAIS Hamza** , maître Assistant à université de Ghardaia par sa présence en tant que président de jury. **Mr. GUERGUEB El Yamine**, maître de conférences A à l'université de Ghardaia qui a bien voulu examiner ce présent travail.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de l'unité **ADE** de Ghardaïa. On tient à remercier toute l'équipe travaillante à l'**ADE** pour nous aider et nous apprendre les techniques d'analyse d'eau durant le stage pratique chez eux. A la fin on tient à remercier toute personne qui nous les facilités pour réaliser notre recherche, également tous les enseignants et les personnels techniques et l'administratif de l'université de Ghardaïa et tous les étudiants de la promotion

2022/2023



DÉDICACE

Tout d'abord, louange à Dieu Tout-Puissant

Je dédie cet humble travail à :

Chers parents, pour votre amour, vos sacrifices et vos encouragements continus pour terminer mes études. Votre soutien indéfectible et votre confiance en moi ont été le moteur de ma réussite.

Je suis tellement reconnaissant pour ce que vous avez fait pour moi.

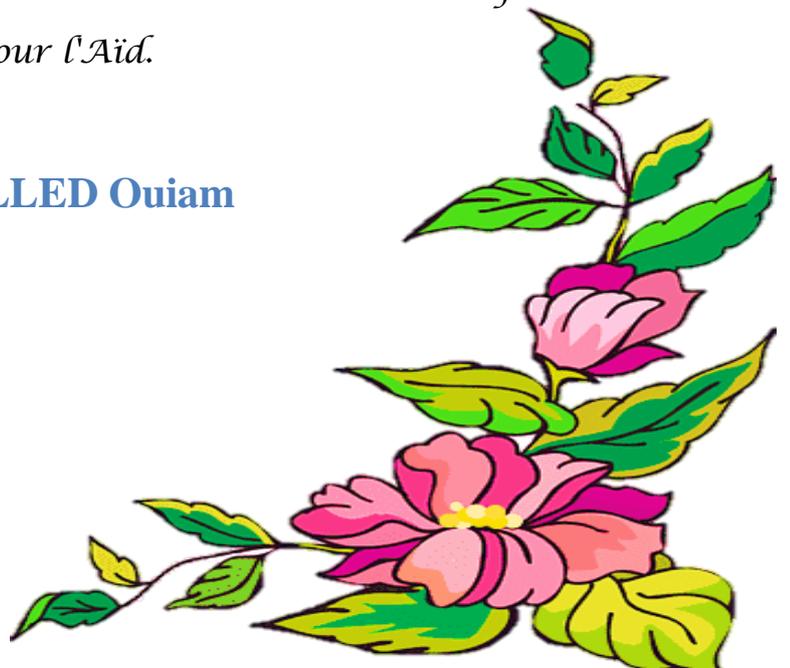
Ma chère sœur Maria, je te souhaite du succès dans ton parcours académique, et mes chers frères Ayoup et Zyghem.

Je tiens également à remercier tous ceux qui m'ont apporté leur contribution et qui ont été mon meilleur soutien tout au long de ma carrière dans la réalisation de ma thèse. Votre amour, vos encouragements et votre présence ont été de précieuses sources d'inspiration et de motivation.

Et un merci spécial à mon amie Sarah, et j'ai également exprimé mes remerciements au personnel administratif et à tous les ajouts aux membres de l'informatique pour leurs efforts considérables et la bonne conduite de ses tâches, en plus de nous confronter à une réussite complète pour pour le bien du chercheur de connaissance.

Je demande au Seigneur du Tout-Puissant, vous remerciant pour tous les efforts que vous avez déployés et vous souhaitant réussite et paiement pour l'Aïd.

MEDJELLED Ouïam





Dédicace

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien inconditionnel tout au long de mon parcours académique et de la réalisation de ce mémoire. Votre amour, vos encouragements et votre présence constante ont été des sources d'inspiration et de motivation précieuses.

À mes parents, vous avez été mes piliers tout au long de cette aventure. Votre soutien inébranlable et votre confiance en moi ont été les moteurs de ma réussite. Je suis extrêmement reconnaissant(e) pour tous les sacrifices que vous avez faits pour moi et pour votre amour indéfectible.

À ma grande famille de ZERBANI et BOUHAMIDA, je vous dédie ce mémoire avec affection. Votre soutien, vos prières et vos encouragements ont été une force qui m'a permis de persévérer et d'atteindre mes objectifs. Je suis honoré(e) de faire partie d'une famille si unie et aimante.

À mes amis proches Mohamed, Rostom, Ouïam, Siham, Aïcha, Zineb, Amîna, votre amitié et votre soutien ont été une bénédiction dans ma vie. Votre présence joyeuse et votre soutien inconditionnel ont rendu ce parcours encore plus mémorable. Je suis reconnaissant(e) de vous avoir à mes côtés.

À mes professeurs et à tout le groupe de Laboratoire de L'ADE, je vous suis reconnaissant(e) pour vos connaissances, votre expertise et vos conseils précieux. Votre mentorat et vos encouragements ont joué un rôle clé dans mon développement académique et professionnel.

En vous dédiant ce mémoire, je souhaite exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à chacun d'entre vous. Votre soutien a été un pilier essentiel de ma réussite et je suis honoré(e) de vous avoir dans ma vie. Avec tout mon amour et ma reconnaissance,

Sara



Résumé

Qualité des eaux albiennes destinées à l'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua et Guerrara - Ghardaïa-

Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux des forages utilisées comme l'irrigation au niveau de la vallée de M'Zab (Daya Bendahoua et Guerrara –Ghardaïa-) durant Janvier 2023. Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique des eaux albiennes, afin d'apprécier leur qualité. Les résultats physico-chimiques d'une manière générale montrent que la qualité de ces eaux est bonne à moyenne sur l'ensemble des forages d'eau prospectés et conforme aux normes algériennes pour l'irrigation, excepté certains paramètres dont ces teneurs dépassent les normes tel : magnésium, le sodium et le sulfate. L'eau est la base de la survie de tous les êtres vivants, car c'est un élément vital et nécessaire, il est donc nécessaire de réduire et d'éviter tous les comportements qui peuvent modifier sa qualité et sa qualité.

Mots clés : qualité, forage, physico-chimique, albiennes, M'Zab

Summary

Quality of Albian water intended for irrigation in the commune of Daya Bendahoua and Guerrara-wilaya of Ghardaia

Our work focuses on the study of the physico-chemical quality of borehole water used for irrigation in the M'Zab valley (Daya Bendahoua and Guerrara -Ghardaïa-) during January 2023. Our methodological approach consists of to study the physico-chemical quality of Albian waters, in order to assess their quality. The physico-chemical results generally show that the quality of these waters is good to average on all the prospected water boreholes and complies with Algerian standards for irrigation, except for certain parameters whose contents exceed the standards. such: magnesium, sodium and sulphate. Water is the basis for the survival of all living beings, since it is a vital and necessary element, so it is necessary to reduce and avoid all behaviors that can alter its quality and quality.

Keywords: quality, forage, physico-chemical , M'Zab

ملخص

مقارنة جودة المياه المعدة للري في منطقتي ضاية بن ضحوة والقرارة

يركز عملنا على دراسة نوعية الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار المستخدمة للري في سهل مزاب (ضاية بن ضحوة و القرارة - غرداية -) خلال شهر جانفي 2023. يتكون منهجنا لدراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار . من أجل تقييم جودتها. تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية بشكل عام أن نوعية هذه المياه جيدة في المتوسط في جميع آبار المياه المتوقعة والمدروسة وتتوافق مع المعايير الجزائرية للري ، باستثناء بعض المعايير التي تتجاوز محتوياتها المعايير مثل: المغنيسيوم والصوديوم و الكبريتات . فالماء هو أساس البقاء لجميع الكائنات الحي فهو عنصر حيوي وضروري ، لذلك من الضروري تقليل وتجنب جميع السلوكيات التي يمكن ان تغير من جودته ونوعيته .

الكلمات المفتاحية: النوعية ،آبار الارتوازية ، فيزيائية - كيميائية ، مزاب

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I	Recensement général de la population pour l'année 2020 dans wilaya de Ghardaïa	8
Tableau II	Données climatiques de la ville de Ghardaïa de l'année 2009 à 2020 (O N M , 2022)	8
Tableau III	Ressources agricoles pour l'Etat de Ghardaïa 2023 Nombre du Puits Situation des puits année 2019	18
Tableau IV	Ressources agricoles pour l'Etat de Ghardaïa 2023 Nombre Forages Situation des forages année 2019	19
Tableau V	Coordonnées du site du forage Guerrara (EPIC-ANRH.2023).	25
Tableau VI	Coordonnées du site du forage Daya (EPIC-ANRH.2023)	25
Tableau VII	Classe de sodicité des eaux (USSL ,1954)	59
Tableau VIII	SAR du Daya Bendahoua	62
Tableau IX	SAR du Daya Guerrara	62

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Localisation géographique de Daya et Guerrara (D S A. 2023)	07
Figure 2	Température moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (2009-2020)(O N M , 2019 ; TUTIEMPO, 2021)	8
Figure 3	Graphique des cumuls pluviométriques moyenne mensuelle annuels de la période (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)	9
Figure 4	Vitesses moyennes de vent à la station de Ghardaïa (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)	10
Figure 5	Humidité moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)	11
Figure 6	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN à Ghardaïa (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)	12
Figure 7	Climagramme d'EMBERGER de la région de Ghardaïa	13
Figure 8	Bassin versant des oueds de la région du M'Zab (DUBIEF, 1953)	15
Figure 9	Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa	20

Figure 10	Approche méthodologique	23
Figure 11	Situation géographique des forages Guerrara (EPIC-ANRH.2023)	24
Figure12	Situation géographique des forages Daya (EPIC-ANRH.2023).	25
Figure13,14	Variation de pH des eaux des forages	33
Figure 15,16	Variation de conductivité électrique des eaux des forages	34
Figure17,18	Variation de mesure de la turbidité des eaux des forages	35
Figure19,20	Variation d'oxygène dissous des eaux des forages	36
Figure21,22	Variation du Nitrite des eaux des forages	37
Figure23,24	Variation du phosphore des eaux des forages	38
Figure25,26	Variation du Fer des eaux des forages	40
Figure27,28	Variation du TH des eaux des forages	41
Figure29,30	Variation du calcium des eaux des forages	43
Figure31,32	Variation du magnésienne des eaux des forages	49
Figure33,34	Variation du sodium des eaux des forages	50
Figure35,36	Variation du potassium des eaux des forages	51
Figure37,38	Variation du chlorures des eaux des forages	53
Figure39,40	Variation du sulfate des eaux des forages	54
Figure41,42	Variation du HCO ₃ ⁻ des eaux des forages	55
Figure 43	Diagramme de Piper Guerrara	56
Figure 44	Diagramme de Piper Daya	57
Figure 45	Qualité des eaux d'irrigation dans la commune de Guerrara en fonction de la C.E et du S.A.R	60
Figure 46	Qualité des eaux d'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua en fonction de la C.E et du S.A.R	61

Liste des abréviations

ADE	Algérienne Des Eaux
ANRH	Agence National des Ressources Hydrique
SAR	taux d'adsorption de sodium.
CE	Conductivité Electrique
CI	Complexe Intercalaire
DPSB	Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires
Mg/l	Milligramme par Litre
OMS	Organisation Mondial de la Santé
$\mu\text{S}/\text{cm}$	Micro-Siémens par Centimètre
NTU	Unité de Turbidité Néphélométrique
pH	Potentiel Hydrogène
EDTA	Ethylène Diamine Tétra Acétique
DAS	Direction des Services Agricoles
I S O	Organisation internationale de normalisation

Liste des photos

Photo 01	Oued M'Zab	17
Photo 02	Oued Zegrir	17
Photo 03	Appareil conductivité mètre LF 538	26
Photo 04	Appareil La turbidité mètre TL2300	27

Table de matière

Dédicace	
Remerciement	
Résumés	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste des Abréviations	
Introduction.....	1
1. Choix de la zone d'étude.....	5
2. Localisation géographique de la région d'étude	5
1.2. Démographie.....	6
1.3. Climat	7
1.3.1. Température	8
1.3.2. Précipitation	8
1.3.3. Vent	9
1.3.4. Humidité relative de l'air	10
1.3.5. Classification du climat	10
1.3.5.1. Diagramme Ombrothermique.....	10
1.3.5.2. Climagramme d'EMBERGER.....	11
1.4. Géologie régionale	12
1.5. Hydrologie.....	13
1.6. Pédologie.....	15
1.7. Hydrogéologie.....	15
1.7.1. Nappe phréatique	16
1.7.2. Nappe du Continental Intercalaire	17
1.7.3. Inventaire des points d'eau du CI	17
1. Approche méthodologique.....	20
1.1. Localisation des forages.....	20
1.2. Etude physico-chimique.....	22

2. Méthodes d'analyses	23
2.1. Méthodes d'étude physiques	23
2.2. Méthodes d'étude chimiques	25
2.3. Composées ioniques :	25
2.3.6. Bicarbonates :	27
1. Résultats des analyses physiques	29
1.1. Potentiel Hydrogène.....	29
1.2. Conductivité électrique.....	30
1.3. Turbidité.....	35
1.4. Oxygène dissous.....	36
2. Résultats des analyses chimiques	37
2.1. Paramètres de pollution des eaux	37
2.2. Composées ioniques	45
2.2.1. TH	45
2.2.2 Calcium	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Magnésium.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 Sodium	49
2.2.5 Potassium.....	50
2.2.6 Chlorures	51
2.2.7 Sulfate	53
2.2.8 Bicarbonates.....	55
3. Faciès chimiques des eaux	56
4. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	59
4.1. Risque de salinisation.....	59
4.2. Risque d'alcalinisation	59
4.3. Classification des eaux d'irrigation	60
Références bibliographiques	1
Annexe	8

Introduction





L'eau est un élément vital de la vie biologique. Non seulement c'est un nutriment essentiel, mais il est également impliqué dans de nombreux processus physiologiques clés **(KIRKPATRICK et FLEMING , 2008)**

Aussi, l'eau est définie comme un corps incolore, inodore et insipide **(LAROUSSE, 2002)**. C'est le seul composé pouvant se retrouver dans les trois états de la matière, (solide, liquide, ou gazeux), aux températures ordinaires **(RODIER, 1978)**.

En 1950, la ressource mondiale en eau était estimée à 17 000 mètres cubes par personne par an. La forte croissance démographique, l'industrialisation, l'urbanisation, l'intensification agricole ont changé la donne. En 1995, on estimait que la ressource en eau renouvelable et disponible n'était plus que de 7 500 m³ par personne et par an. Elle devrait chuter à moins de 5 100 m³ en 2025. Dans les pays de l'Union Européenne, les ressources moyennes en eau s'établissent à 7 000 m³ par personne par an **(EUROSTAT, 2002)** et le cas de l'irrigation, les prélèvements d'eau destinés à l'irrigation ont progressé de plus de 60% depuis 1960 et représentent, au niveau mondial, 70% du total des prélèvements. Au cours du XXème siècle la surface mondiale des terres irriguées a été multipliée par cinq. Ce développement de l'irrigation est directement lié à la croissance démographique et concerne surtout les zones arides ou semi-arides où la réserve d'eau est, par définition, limitée et où la croissance démographique est particulièrement forte. Plus des deux tiers des terres irriguées se trouvent en Asie dans les zones à forte densité de population, où la forte croissance démographique a justifié une intensification de la riziculture **(CISE, 2023)**.

L'eau prélevée pour l'irrigation est en grande partie consommée (une partie humidifie les sols et est absorbée par les plantes mais la plus grande part s'évapore) et ne peut servir à d'autres usages. Trop de systèmes d'irrigation ont encore, dans le monde, des rendements extrêmement faibles (trop d'eau qui s'évapore sans nourrir les sols ou les cultures) **(CISE, 2023)**.

L'approvisionnement en eau d'irrigation contribue de manière significative à l'approvisionnement en eau industrielle des pays développés, ce qui les a aidés à croître et à développer leur économie, en fournissant le niveau d'eau dans la première partie et en le maintenant avec l'idée d'agriculture et le processus d'irrigation de l'eau et des animaux. Et élevage dans les régions arides, ce qui a conduit au développement et à la prospérité et cela se reflète clairement dans la région Cela affecte donc le développement économique essentiellement sur l'agriculture, qui nécessite une large mobilisation des ressources en eau **(MARGAT , 1990)**.



En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine et l'eau albiennne. L'augmentation rapide de la structure de la population ainsi que l'amélioration du niveau de vie de la population conduit au développement économique et social et nécessite une augmentation proportionnelle des besoins en eau. Cependant, la sécheresse des années successives s'accompagne de la rareté et de l'irrégularité des apports annuels, que ce soit dans les eaux de surface ou les eaux souterraines ou les eaux albiennes (**BENHEDID , 2014**).

La situation de l'agriculture algérienne est très difficile; la production agricole n'est que modeste augmente et son poids sur L'économie a diminué considérablement. Les ressources en eau sont relativement limitées et se réduisent progressivement, et une grande partie de la superficie irriguée est insuffisamment alimentée en eau pour permettre la culture de cultures riches ou délicates ; C'est la manière dont une culture légumière est cultivée annuellement sur un même terrain, qui doit parfois supporter la perte de plusieurs cultures, ce qui entraîne un retard des rendements agricoles ou économiques, ce qui entraîne également un retard dans le développement des terres et la construction de l'eau et presque un arrêt de l'activité humaine. (**BOULAHIA , 2016**). Elle pose un sérieux problème de gestion des ressources. Cela se reflète clairement en Algérie, où le développement économique dépend principalement de l'agriculture, ce qui nécessite une grande mobilisation des ressources en eau, qui d'autre part coïncide avec l'impact de la sécheresse continue depuis le début des années 1980. Pour cette raison, l'Algérie traite avec le processus d'irrigation dans l'agriculture pour assurer la durabilité, Dans le Sahara algérien, les ressources hydriques ont souvent une origine tellurique. Ce sont des eaux fossiles accumulées dont la réserve est phénoménale, car elle avoisine près de 31 000 milliards de mètres cubes d'eau. Toutefois, il existe des eaux d'écoulement superficiel qui se forment à l'occasion des crues d'oued, lesquels sont situés sur l'Atlas saharien (**AMRANI , 2021**).

Le Système Aquifère du Sahara Septentrionale (SASS) s'étend sur une vaste superficie, dépassant les frontières Algériennes, il couvre ainsi la Tunisie et la Lybie. Etant donné le climat hyperaride du Sahara, les ressources hydriques fournis par le SASS demeure l'artère principale qui approvisionne les différentes activités de la population. Le SASS renferme deux grands systèmes aquifères qui sont (**NAILI , 2016**) :

- Une nappe phréatique de faible profondeur, de très mauvaise qualité et souvent polluée.
- La nappe du Complexe Terminal (CT), moins profonde mais de mauvaise qualité.
- La nappe du Continental Intercalaire (CI) très profonde dans le bassin Nord Oriental, et contenant des eaux chaudes et souvent très minéralisées. Ces différentes nappes recèlent des



potentialités hydriques importantes, qui sont actuellement abondamment exploitées pour les usages domestiques, industriels et l'irrigation agricoles.

Dans ces région les précipitations à l'amont (bassin versant) sont relativement importantes, dont une partie de ces eaux coulent dans des Oueds et recueillie par des retenues (Zibans et Saoura) et dans le désert du nord, l'utilisation irrationnelle des ressources en eau Souterrain, sans politique d'aménagement et de gestion . Donc absence Le système de durabilité et l'utilisation des eaux de surface albiennes de manière inappropriée et mal conçue, créant des situations, Une grave aux conséquences néfastes et irréversibles pour L'environnement est la sécheresse . C'est pour quoi des méthodes ont été exploitées pour surmonter ou affronter même une petite partie de la sécheresse en choisissant l'autre partie est d'exploiter ces aquifères en forant à une profondeur allant jusqu'à 600 mètres et jusqu'à 1000 mètres dans les zones arides, ce qui rend la climat d'irrigation nécessaire à toute agriculture

(KHADRAOUI et TALEB, 2008). Ce qui nécessite la maîtrise des ressources en eau et en sol **(SALIM et TESSIER , 1998)**.

Cette étude a pour objectif d'étudier la qualité physico-chimique des eaux albiennes destinées à l'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua et Guerrara de la wilaya de Ghardaïa.

Pour atteindre notre objectif, cette recherche s'articule autour de trois chapitres, dont :

Le premier chapitre : matériels d'étude, il représente la région d'étude et ces caractéristiques ;

Le deuxième chapitre : méthodes d'études, il représente la méthode d'échantillonnage et l'approche suivi dans les analyses physico-chimiques ;

Le troisième chapitre : dans ce chapitre, on a discuté et interprété les résultats obtenus.

Finalement, on a tiré une conclusion correspond à ce travail.

Chapitre 01 : *Matériels d'étude*





1. Choix de la zone d'étude

Dans les régions arides, les eaux souterraines sont souvent la seule source d'approvisionnement en eau. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un problème majeur de dégradation de la qualité de cette ressource. Dans ce cadre, notre étude est réalisée dans la commune de Daya Bendahoua et Guerrara, elles ont été choisies pour évaluer la qualité physico-chimique des eaux albiennes destinées pour l'irrigation, par rapport les normes d'irrigation , afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation.

2. Localisation géographique de la région d'étude

La wilaya de Ghardaïa est située au nord du désert algérien, et son siège est à 600 km au sud de la capitale, Alger, et sa superficie totale est estimée à 26 165 km², et son extension du nord au sud varie de 100 à 150 km et d'est en ouest. L'altitude varie de 200 à 250 km d'altitude par 460 m. Il se compose également de 10 communes (Figure. 1) (**DPAT, 2022 ; DSA ,2022**)

La Wilaya de Ghardaïa est limitée administrativement par (**DSA, 2022**) :

- La wilaya de Djelfa et la wilaya de Laghouat au nord ;
- La wilaya d'El Bayadh à l'ouest ;
- La wilaya d'Ouargla à l'est ;
- Et la wilaya de Manca au sud.

La commune de Daya Bendahoua est située à 10 km au nord-ouest de Ghardaïa. Elle s'étend sur une superficie de 2234,94 km², entre une longitude de 32° 32' 13" nord et une latitude de 3° 36' 20" est est (**Web master 1**).

La commune de Guerrara est située dans le Sahara septentrional central, située à 100 km au nord-est de Ghardaïa. Elle s'étend sur une superficie totale de 2900 Km² entre longitude: 4° 29' 32" Est, latitude : 32° 47' 25" Nord (**Web master 2**).

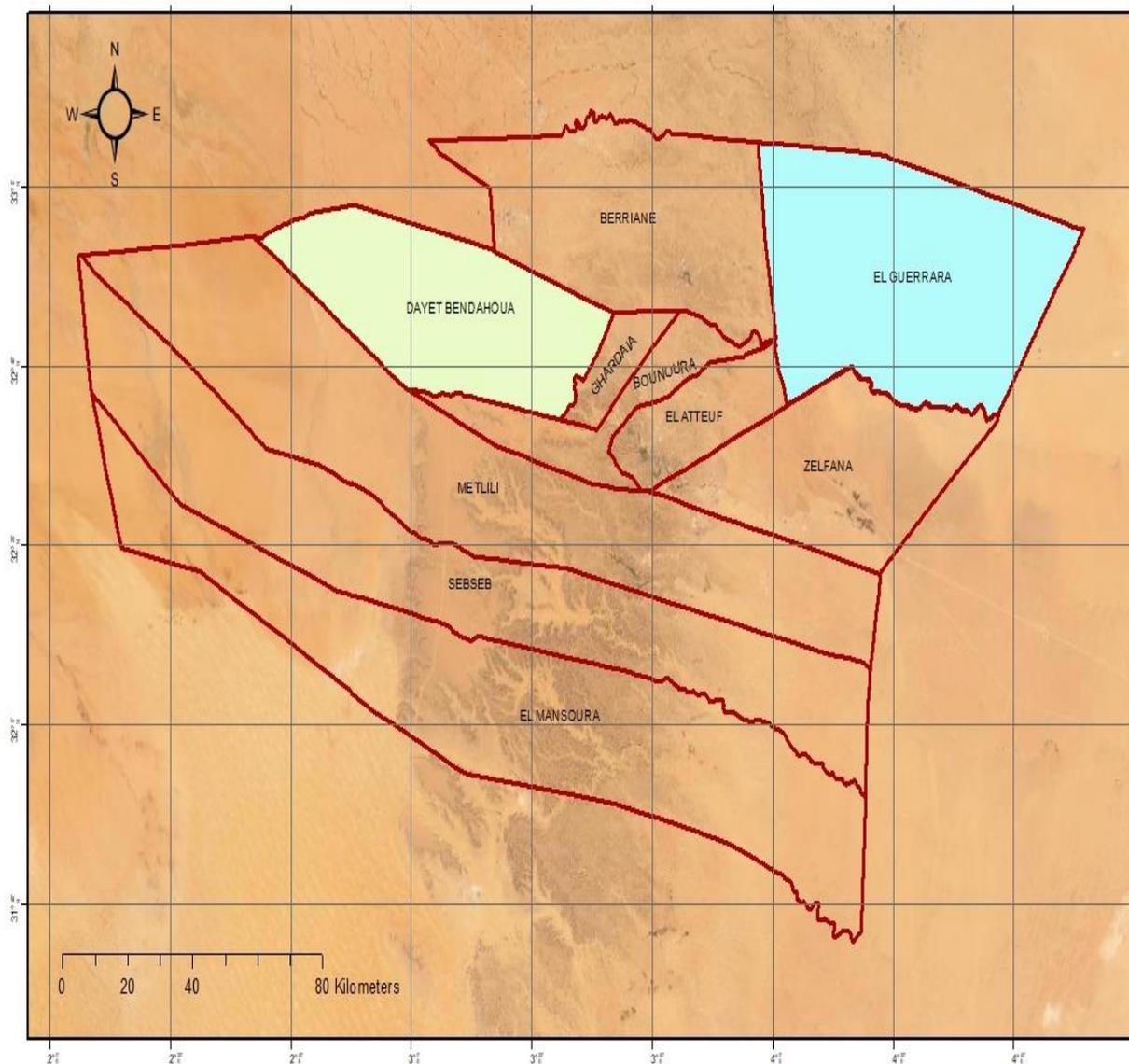


Figure 1 : Localisation géographique de Daya Bendahoua et Guerrara (NARH, 2023)

1.2. Démographie

L'effectif total de la population de la commune de Guerrara est estimé à environ 82 000 personnes, soit pour une densité de population de 24,24% et 3 382,27 habitants en 2020. La population totale de la commune de Daya Bendahoua est estimée à 19 192, soit une densité de population de 8,59 % et 2234,94 habitants en 2020 (Tableau I ; Figure. 2) (DPSB, 2020).



Tableau I : Recensement général de la population pour l'année 2020 dans wilaya de Ghardaïa(DPSB, 2020).

Communes	Population	Superficie m ²	Densité %
Ghardaïa	137 123	306,47	447,43
Daya Bendahoua	19 192	2 234,94	8,59
Berriane	42 000	2 609,80	16,09
Metlili	60 860	5 010,12	12,15
Guerrara	82 000	3 382,27	24,24
El Atteuf	21 406	717,01	29,85
Zelfana	10 137	1 946,23	5,21
Sebseb	3 049	4 366,82	0,7
Bounoura	61 781	778,92	79,32
Mansoura	4 723	4 812,55	0,98

1.3. Climat

L'étude du climat de Ghardaïa est réalisée sur la base des données météorologique (Tableau .II) de la période comprise entre 2009 et 2020.

Tableau II : Données climatiques de la ville de Ghardaïa de l'année 2009 à 2020 (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)

	T.moy (C°)	T M (C°)	Tm (C°)	Hr (%)	Préc (mm)	V (m/s)
Janvier	12.51	17.53	5.9	45.45	5.98	8.45
Février	14.16	20.17	8.09	36.83	0.21	11.23
Mars	17.03	22.88	11.1	38.63	7.83	16.27
Avri	21.54	27.35	15.04	33.43	7.6	15.55
Mai	26.57	32.66	19.63	25.47	3.26	15.19
Juin	31.74	37.74	24.74	22.23	1.73	13.91
Juillet	35.35	41.21	28.15	19.88	0.84	11.61
Aout	34.51	40.55	27.51	21.26	0.29	10.45
Septembre	29.11	34.99	23.18	33.04	16.97	10.76
Octobre	22.28	28.8	16.82	34.91	5.08	9.72
Novembre	16.82	22.37	11.72	44.9	1.87	10.36
Décembre	12.89	18.11	7.95	48.8	1.45	12.91
Moyen	22.87	28.69	16.48	33.37	53.11*	12.2



*: cumul annuel T.moy : Température moyenne T.M : Température Maximal
 T.m : Temperature minimale Hr : l'humidité relative de l'air Préc : Précipitation V : Vent

1.3.1. Température

La température est un élément fondamental du climat. Sa variation influe sur la l'évaporation des eaux, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration, et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux (BENGUELIA et HADJ BRAHIM , 2017).

La température moyenne annuelle est de 22,87 °C, avec un maximum en juillet de 41,2 1°C, et un minimum en janvier de 5,9 °C (Figure. 2)

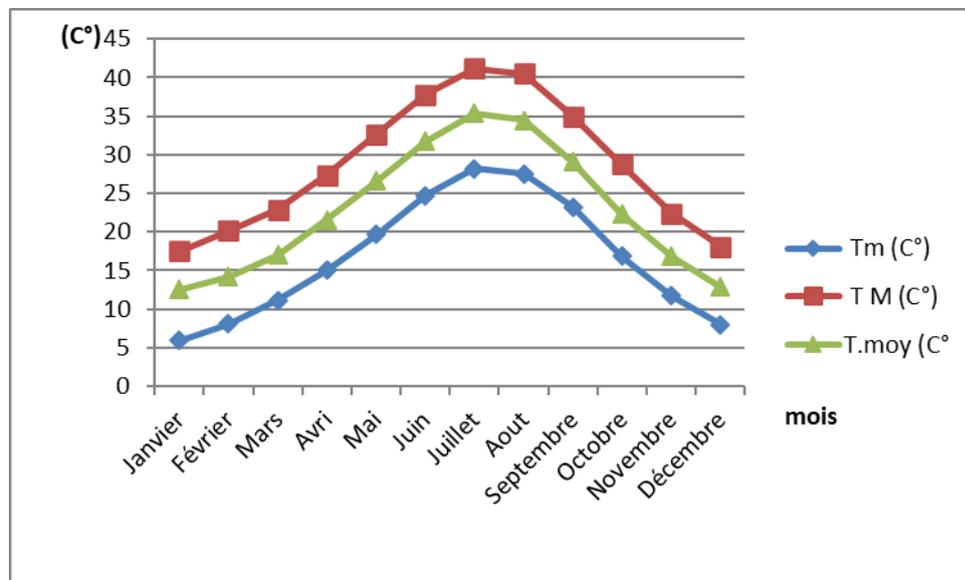


Figure 2 : Température moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (2009-2020)

(ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021 in DOUADI et BENABDERRAHMANE, 2021)

1.3.2. Précipitation

Les précipitations de la région de Ghardaïa sont également irrégulières, d'un mois à un autre et à travers les années. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 53,11 mm, avec un maximum en septembre de 16,97 mm (Figure.3).

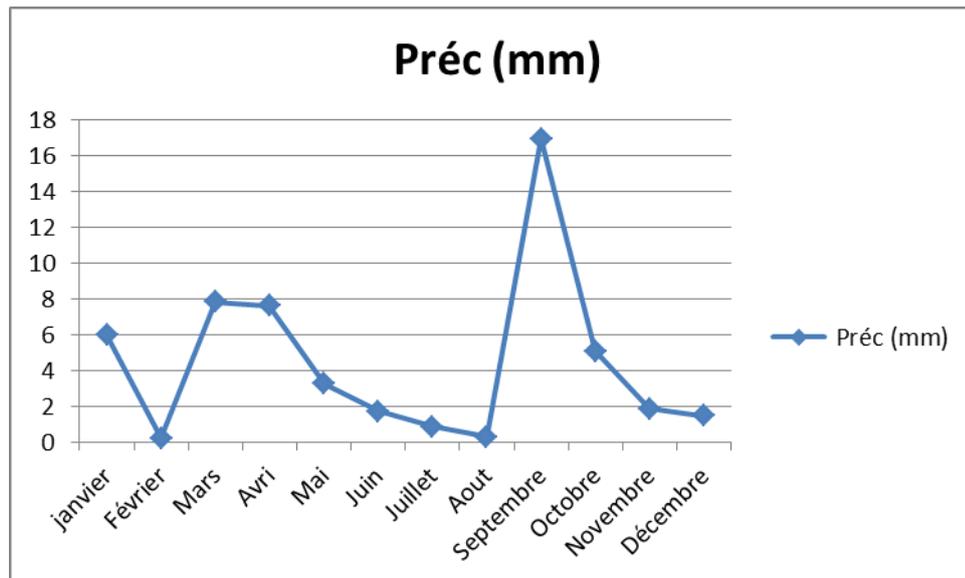


Figure 3: Graphique des cumuls pluviométriques moyenne mensuelle annuels de la période (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)

1.3.3. Vent

Le vent est un élément caractéristique du climat influant directement sur le climat d'une région et cette vitesse des vents qui influe sur l'évaporation des eaux par la surface de sol et des végétaux. (BENGUELIA et HADJBRAHIM , 2017). La vitesse du vent moyenne annuelle est de 12.20 m/s avec un maximum au 16.27 mois d Mars m/s, et un minimum enregistrée au mois de Janvier 8.45 J m/s. La direction dominante des vents est Nord-Ouest pendant l'automne, l'hiver et le printemps, et Nord- Est en été (Figure. 4). Les tempêtes de sable constituent une des principales contraintes climatiques et un facteur de nuisance en zone aride (DOUADI et BENABDERRAHMANE, 2021)

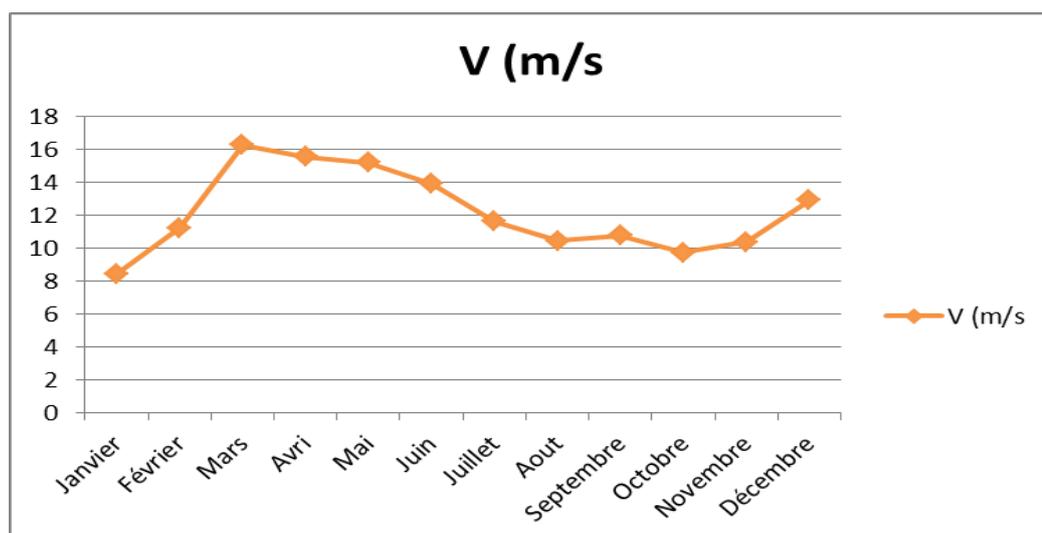


Figure 4: Vitesses moyennes de vent à la station de Ghardaïa (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)



1.3.4. Humidité relative de l'air

A Ghardaïa, l’humidité relative de l’air (Hr) est faible, avec une moyenne annuelle de 36%. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l’année. En effet, pendant l’été, elle diminue jusqu’à 20% au mois de juillet, sous l’action d’une forte évaporation et des vents chaud. Elle s’élève en hiver et atteint une moyenne maximale de 55% au mois de décembre (Figure.5).

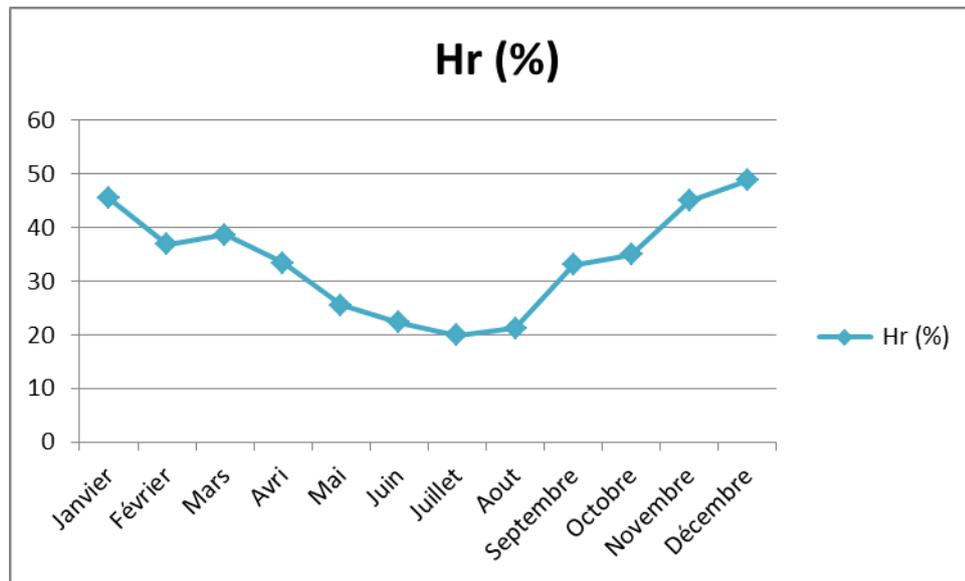


Figure 5 : Humidité moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)

1.3.5. Classification du climat

Nous avons classé le climat de Ghardaïa par l’utilisation le digramme ombrothermique de GAUSSEN et le climagramme d’EMBERGER sur la base des données climatique 2009 / 2021.

1.3.5.1. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Gausсен permet de définir les mois secs. Un mois est considéré sec lorsque les précipitations mensuelles correspondantes exprimées en millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré Celsius (MUTIN,1977).

De fait, de mois janvier jusqu’à décembre on remarque que y a une rareté des précipitations durant toute les saisons, où la période sèche couvre la quasi-totalité de l’année à Ghardaïa que la période de sècheresse s’étale sur toute l’année à cause de faible précipitation et des températures élevée.

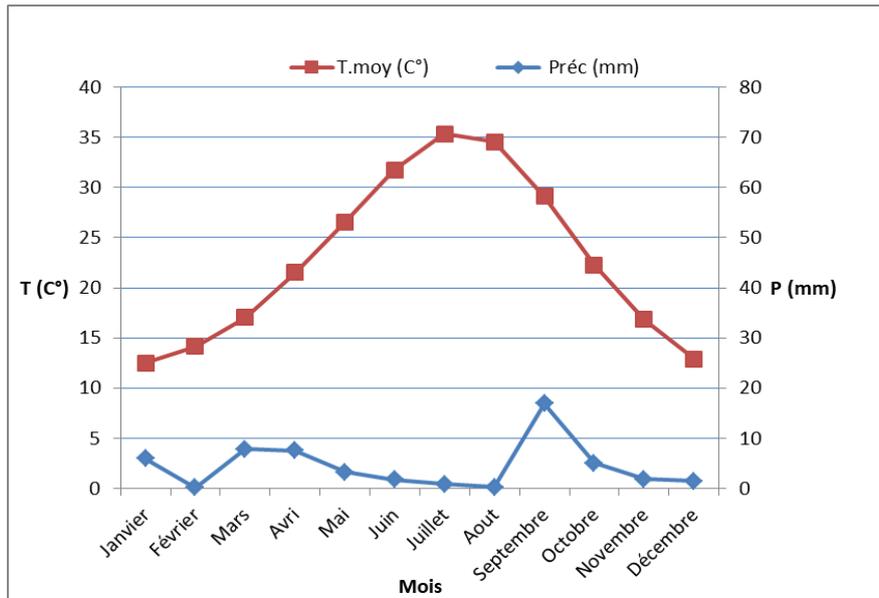


Figure 6: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN à Ghardaïa (2009-2020) (ONM, 2019 ; TUTIEMPO, 2021)

1.3.5.2. Climagramme d'EMBERGER

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'EMBERGER (1955 in LE HOUEROU, 1995) modifié par STEWART (1969 in DADDI BOUHOUN , 1997). La formule du quotient pluviométrique Q3 est adaptée pour l'Algérie et le Maroc (LE HOUEROU H, 1995) :

Avec : $Q3 = 3,43 \times P/M-m$

P : pluviosité moyenne annuelle en mm

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

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en °C. Pour la station de Ghardaïa Q3 est estimée à 5.15 durant la période de 11 ans 2009-2020, ce qui montre un bioclimat saharien à hivers doux

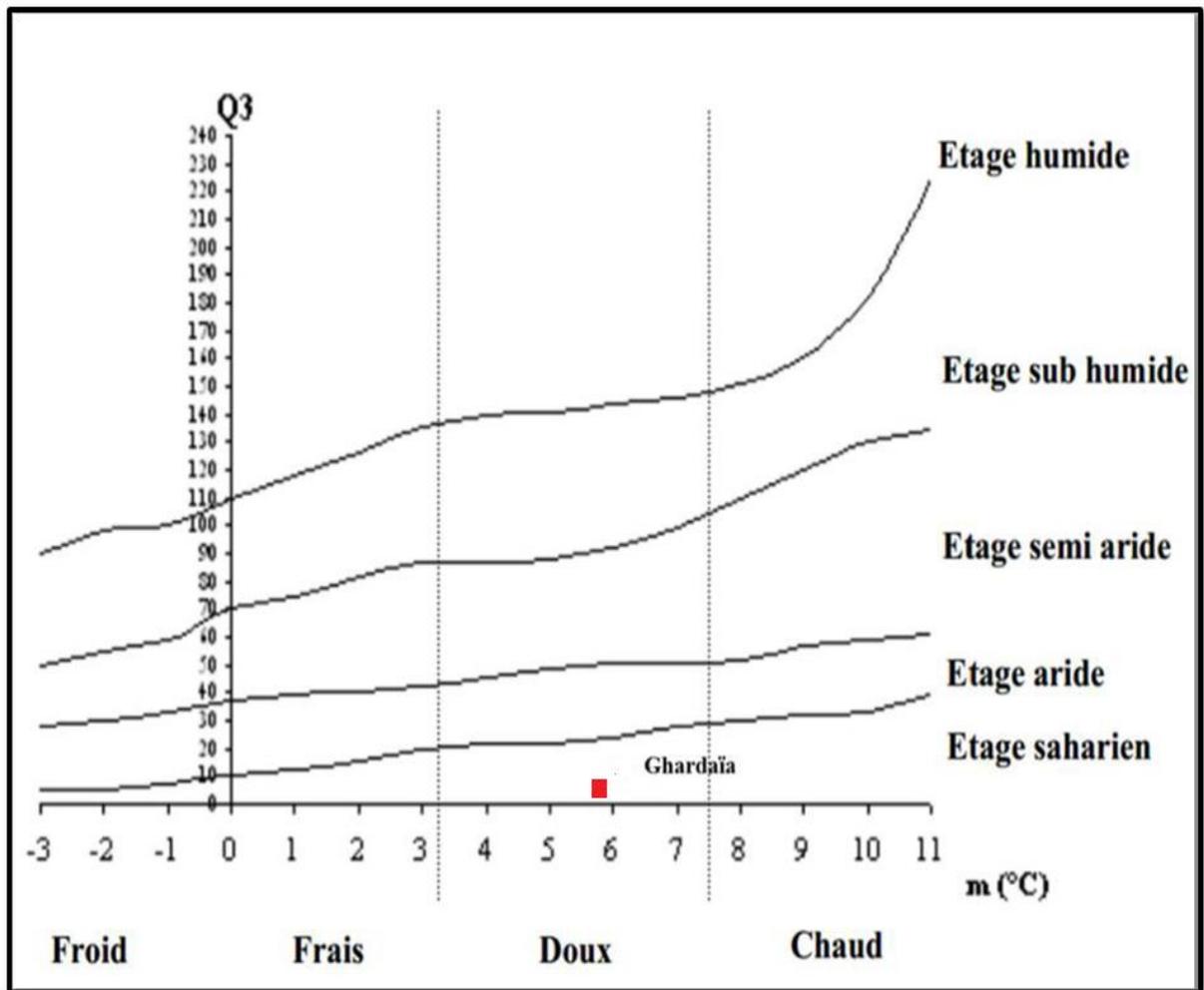


Figure 7 : Climagramme d'EMBERGER de la région de Ghardaïa

1.4. Géologie régionale

La Région de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara. Les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé (BOUDJEMA , 1987) . Composés principalement par des massifs calcaires turoniens dolomitiques qui Forment un grand plateau subhorizontal appelé couramment « la dorsale du M'Zab ». Du point de vue lithologique, les affleurements sont de Type :

- Argiles verdâtre et bariolées à l'Ouest et le Sud-ouest attribuée au Cénomaniens. En grande partie ils sont couverts par les dunes du grand Erg occidental ;
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre. Attribués au turonien.
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien.
- Sables rougeâtres consolidés à l'Est et au Nord-est attribués au Mio-Pliocène.
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des Oueds.



Les formations affleurant de la zone d'étude sont représentées par Crétacé supérieur, qui sont (**BOUDJEMA , 1987**) :

- **Turonien** : Il est composé par des calcaires blancs, des marnes grisâtres et rougeâtres au sommet, blancs, grisâtre plus ou moins dur à marnes jaunâtres.
- **Cénomaniens** : Le Cénomaniens est composé par des argiles bariolées, marrons et grises à verdâtres plastiquées, à anhydrites, sableuse à la base avec la présence de gypse.
- **Albien** : Il s'agit de sables fin grés argileux au sommet, des sables fins à moyens jaunâtres à rougeâtres, des grés, des sables bruns fins argileux vers la base.
- **Tectonique** : Durant le secondaire. La partie centrale du Sahara septentrional a subi des mouvements verticaux d'ensemble qui se sont traduits par un effondrement progressif. Au début du Crétacé. Cet affaissement est comblé par un dépôt lagunaire. Accusant au centre de la cuvette des épaisseurs considérables. Le mouvement de descente se poursuit très lentement pendant le Turonien et une partie du Sénonien. Les deux étages présentent des épaisseurs et des faciès peu variables sur toute l'étendue de la cuvette saharienne . A l'Eocène moyen réapparaît un dépôt lagunaire qui correspond au comblement définitif de la cuvette saharienne. Par la suite. Les mouvements dans cette dernière se sont traduits par: Un exhaussement d'ensemble suivi d'un mouvement de descente qui a débuté au Miocène et qui dure encore actuellement correspondant à la sédimentation continentale du Mio-Pliocène et du Quaternaire

1.5. Hydrologie

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued M'Zab, Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued N'sa et Oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (**ANRH, 2011**). La première étude un peu étendue sur les crues sahariennes fut par Ville (1872) qui étudia avec assez de détail les oueds du Sud-Constantinois et Sud-Algérois et particulièrement ceux du M'Zab (**DADDI BOUHOUN , 1997**). Les eaux de surface dans la wilaya de Ghardaïa sont très rares et les quelques oueds traversant la région présentent un écoulement sporadique qui se manifeste à la suite d'averses orageuses.

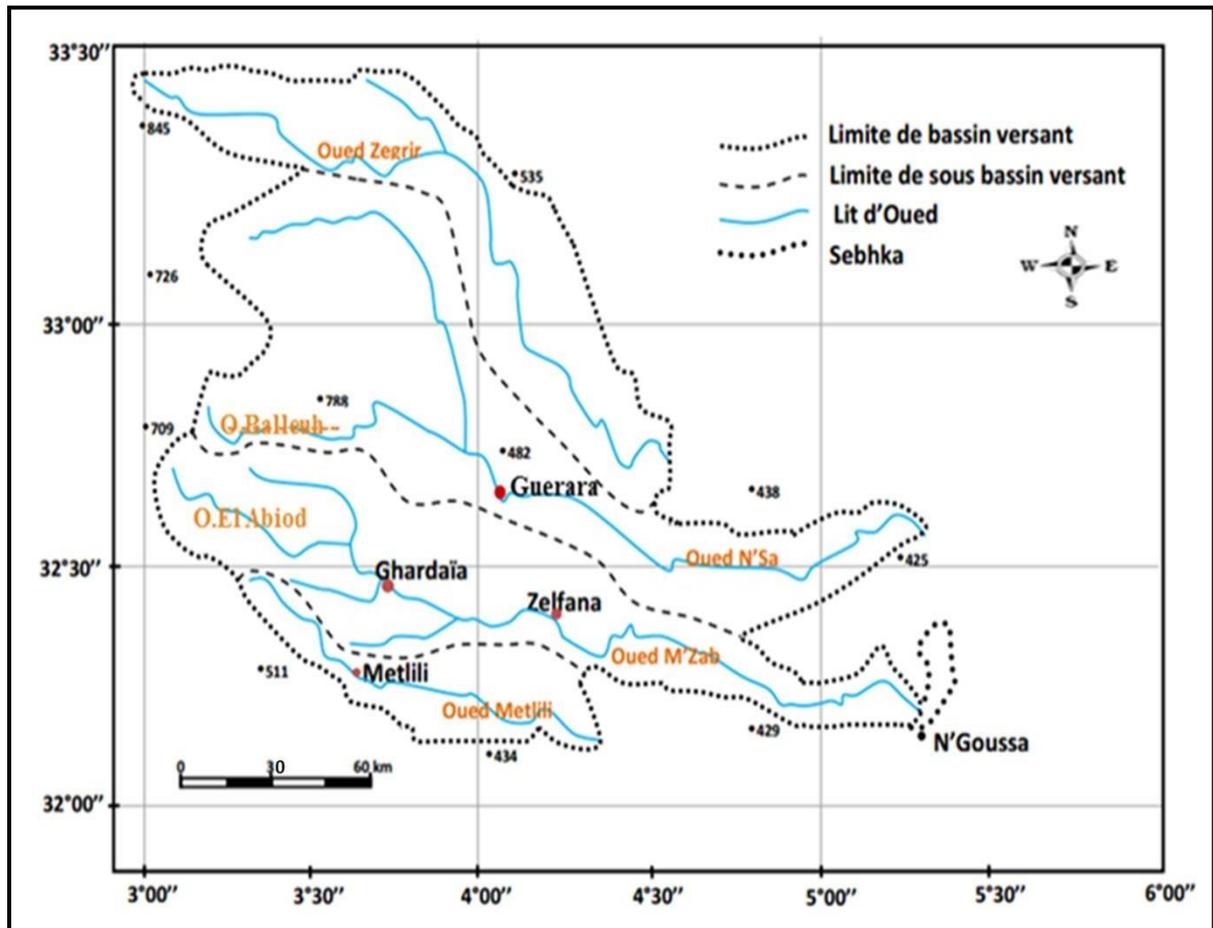


Figure 8 : Bassin versant des oueds de la région du M'Zab (**DUBIEF , 1953**)

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued Sebseb; Oued Metlili; Oued M'zab; Oued N'sa et Oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Figure.9 ; Photo.1) (**DUBIEF , 1953**). Présente une superficie de 1573 Km². Il a été distingué 23 sous-bassins élémentaires (aux alentours de Ghardaïa depuis Daya Bendahoua jusqu'à El Atteuf, et l'ensemble de l'Oued M'Zab à El Atteuf) (**MELLAK , 2009**)

1.5.1. Oued M'Zab : est limité par deux grands oueds : Oued N 'Sa au Nord et Oued Metlili au Sud. La superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km environ (**DUBIEF ,1953**). Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. L'oued M'Zab coule sensiblement d'Ouest en Est sur 320 km de la région de Botma-Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El-Abiod), à la Sebkhet Safioune qui est à la cote 107 m avec une pente assez forte entre Ghardaïa et Bounoura (Photo.1) (**OULD BABA , 2005; HADJ BRAIM , 2018**).



Photo1 : Oued M'Zab(Web master 3).

1.5.2. Oued Zegrir : Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux, il est parsemé de nombreuses daiïas, parfois drainées par des oueds (Photo. 2) (OULD BABA , 2005).



Photo 2 : Oued Zegrir (Web master 4).

1.6. Pédologie

Généralement, les sols de la région de Ghardaïa sont squelettiques suite à l'action de l'érosion éolienne. Cependant, ils sont souvent marqués par la présence en surface d'un abondant argileux de type « Hamada », alors que dans les dépressions, ils sont plus riches grâce à l'accumulation des dépôts alluviaux (KACI , 2005).

1.7. Hydrogéologie

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; les nappes phréatiques superficielles d'Infero flux



(phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albiennne (ANRH, 2010).

1.7.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique du M'Zab a une extension Nord - Sud sous forme d'une large bande occupant l'essentiel de la partie Nord de la Chebka (BNEDER , 1988). Cette nappe se trouve dans les alluvions du lit de l'Oued M'Zab, l'eau s'emmagine après les crues. Cette nappe s'épuise facilement surtout, durant les années de sécheresse. Il peut y avoir quelques fois un appoint souterrain par les fissures de la base des calcaires turoniens (KARPOFF, 1952). La profondeur de la nappe sous le sol alluvial de la vallée du M'Zab varie selon les saisons et les palmeraies. VILLE (1872), a donné les profondeurs moyennes de la nappe d'eau. Elle est de 29 m en moyenne sur l'Oued M'Zab. La profondeur de la nappe varie en fonction de la topographie dans les vallées des oueds, la profondeur oscille entre 5 et 30 m et augmente sensiblement vers le Sud –Est ; dans les zones hautes, elle peut atteindre 130 m. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie. La qualité chimique des eaux est comme suit (Tableau .III) :

- A l'amont, elle est bonne à la consommation ;
- A l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux albiennes (MESSID , 2009).

Tableau III : Ressources agricoles pour l'Etat de Ghardaïa (Nombre du Puits Situation année 2019 (DAS,2019)

Commune	Nbre de	
	puits	debit l/s
Ghardaïa	917	917
Daya	662	662
Berriane	700	700
Metlili	1410	1421
Guerrara	590	1770
El-Atteuf	385	770
Zelfana	3	9
Sebseb	692	2076
Bounoura	393	786
Mansoura	300	900
Total	6052	10011



1.7.2. Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire (CI) draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'albienne. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000 m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique. La nappe du CI, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, est **(Tableau .IV):**

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana, Guerrara et certaines régions d'El Menia) ;
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) **(MESSID , 2009).**

Tableau IV : Ressources agricoles pour l'Etat de Ghardaïa Nombre Forages Situation année
DAS 2019

Commune	Nbr de forage	debit l/s
Ghardaia	11	220
Daya	14	350
Berriane	28	700
Metlili	31	775
Guerrara	55	3300
El-Atteuf	18	360
Zelfana	24	1440
Sebseb	35	875
Bounoura	13	260
Mansoura	30	1500
Total	259	9760

1.7.3. Inventaire des points d'eau du CI

La nappe du CI est exploitée par l'exécution de forages à des profondeurs variables selon les régions ; 100 à 250 à El-Menia, 450 à 500 à Sebseb et Ghardaïa, et de 900 à 1000m à Zelfana et Guerrara , et là c'est précisé Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa (Figure. 9).

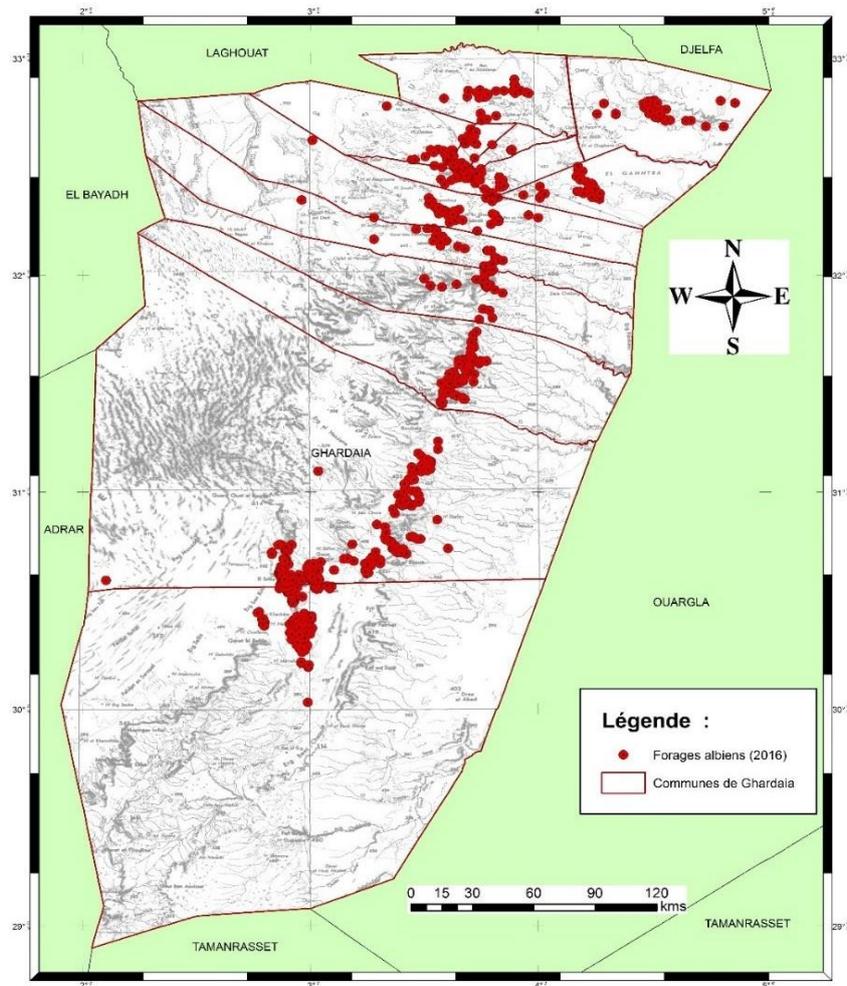


Figure 9 : Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa(2018)

Chapitre 02: *Méthodes d'étude*





1. Approche méthodologique

Notre méthodologie consiste à étudier la qualité physico-chimique des eaux albiennes pour la commune de Daya Bendahoua et de Guerrara, par des mesures physico-chimiques des eaux, ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport les normes d'irrigation, afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation (Figure. 10).

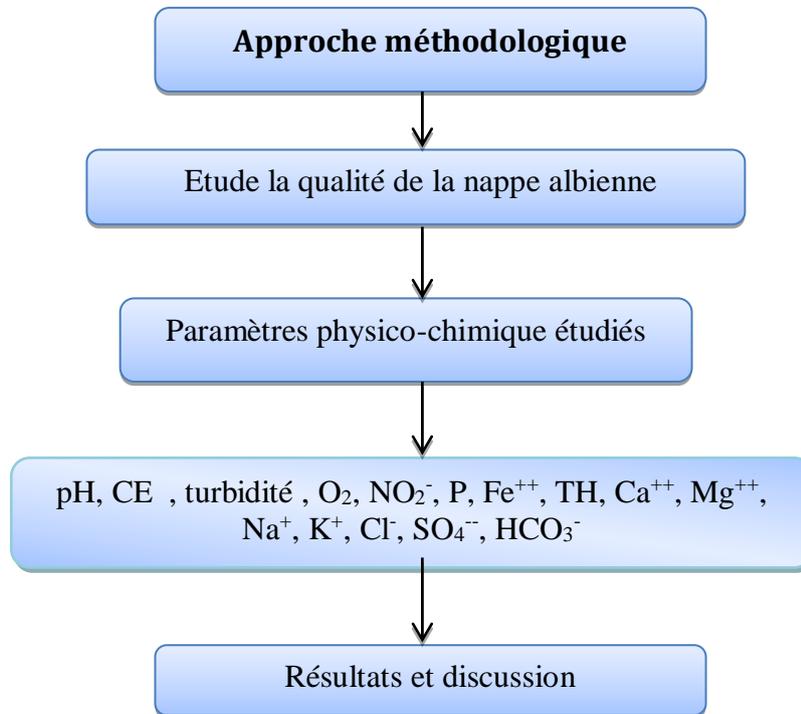


Figure 10 : Approche méthodologique

1.1. Localisation des forages

Nous avons étudié la qualité des forages destinés à l'irrigation avec un nombre total de 09 forages dont 04 forages pour la commune de Guerrara et 05 forages pour la commune de Daya Bendahoua (Figure.11;12;Tableau.V;VI).



1

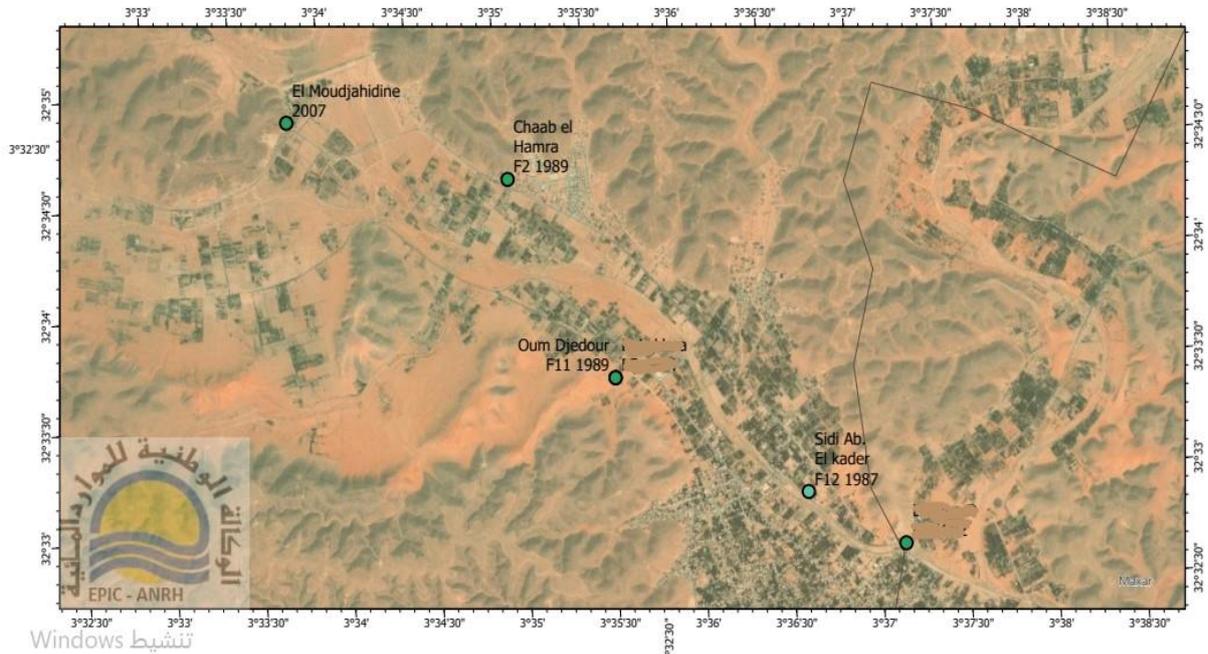


Figure 11 : Situation géographique des forages de Daya Bendahoua (EPIC-ANRH.2023)

Tableau VI : Coordonnées du site des forages de Daya Bendahoua (EPIC-ANRH.2023).

N°	Nom_du_for	Latitude	Longitude	Altitude	AnR	Prof	Toit_m
F1	El Moudjahidine	03°33'48"	32°34'50"	545	2007	500	300
F2	R'mada	03°31'16"	32°21'34"	/	2009	500	300
F3	Chaab el Hamra	03°35'02"	32°34'30"	536	1989	450	300
F4	Oum Djedour	03°35'34"	32°33'34"	527	1989	500	300
F5	Sidi Abd El kader	03°36'37"	32°32'59"	531	1987	444	300

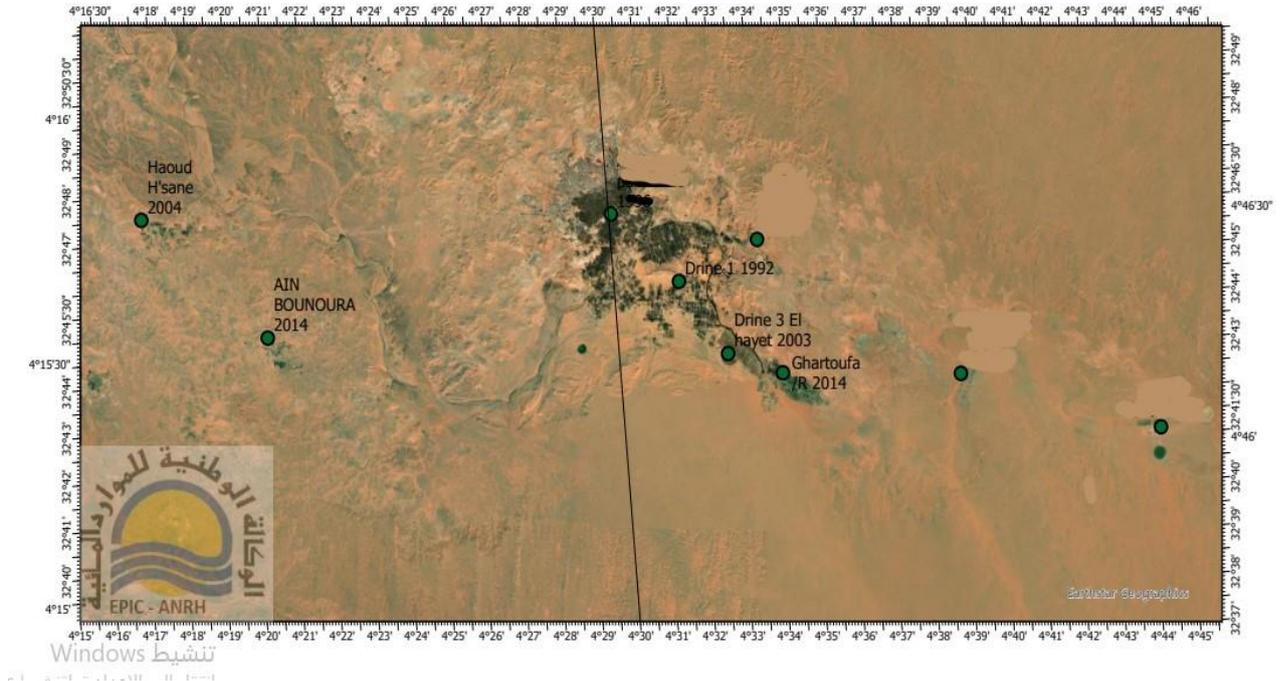


Figure 12 : Situation géographique des forages de Guerrara (EPIC-ANRH.2023)

Tableau V : Coordonnées du site des forages de Guerrara (EPIC-ANRH.2023)

N°	Nom du forage	Latitude	Longitude	Altitude	AnR	Prof	Toit m
F1	Drine	04°31'45"	32°45'11"	285	1992	1000	700
F2	Ghartoufa	04°34'20,9"	32°43'3,3"	0	2014	1000	700
F3	Ain Bounoura	04°20'36"	32°44'45,9"	0	2014	1000	700
F4	Haoud H'sane	04°17'27"	32°47'29"	371	2004	1000	700

1.2. Etude physico-chimique

L'étude physique et chimique des eaux albiennes comprend la détermination des paramètres physiques et chimiques des eaux souterraines. Les échantillons des eaux sont prélevés selon les normes de **RODIER et al. (2009)**, précisant qu'il s'agit d'un processus délicat auquel il faut apporter le plus grand soin. Le mode de prélèvement conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Les échantillons des eaux sont mis dans des flacons en polyéthylène de 1,5 litre, étiquetés et transportés au laboratoire dans un délai court, ne dépassant pas 24 heures au maximum, selon les indications de **RODIER et al. (2005)**.



L'étude physico-chimique a été effectuée pendant une semaine de mois de janvier 2023 (période hivernale).

Les analyses physico-chimiques sont effectuées au laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Ghardaïa. Les paramètres étudiés sont : le potentiel Hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la turbidité, l'oxygène dissous (O₂), les paramètres de pollution des eaux (le nitrite (NO₂⁻), le phosphore total (P), le fer (Fe⁺⁺), les composés ioniques (le titre hydrométrie (TH), le calcium (Ca⁺⁺), le magnésium (Mg⁺⁺), le sodium (Na⁺), le potassium (K⁺), les chlorures (Cl⁻), les sulfates (SO₄⁻) et les bicarbonates (HCO₃⁻)).

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus ont été représentés sous forme des graphes créés par Excel 2010. Aussi les résultats obtenus nous ont permis d'apprécier les faciès chimiques, et les risques de salinisation et de sodisation relatifs aux eaux d'irrigation.

Le faciès hydro-chimique est une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, il est évalué par le diagramme de PIPER. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu en 2009 au laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon par SIMLER Roland.

Pour classer des eaux d'irrigation, nous avons utilisé la classification de RIVERSIDE en utilisant le logiciel Diagrammes. Le diagramme de ce dernier utilise les valeurs du Sodium Adsorption Ratio (SAR) en combinaison avec la CE de l'eau.

Le SAR s'exprime à partir des concentrations (en meq/l) des ions Na⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ dans les eaux selon la formule suivante, **BENHEDID et al. (2019)** :

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

2. Méthodes d'analyses

Les différents éléments physico-chimiques sont dosés comme suit :

2.1. Méthodes d'étude physiques

2.1.1. pH : La mesure a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre type HANNA, HI2211.

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène [H⁺] présent dans l'eau ou les solutions.

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺ (**ADE, 2023**).



2.1.2. Conductivité électrique : Elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre, de type LF 538 (Photo. 3).



Photo 3 : Conductimètre mètre de type LF 538

2.1.3. Turbidité : Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau. Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée (ISO, 1984). La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas. Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée (ADE, 2023).

- **Appareillage** : elle a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre, de type TL2300 HACH (Photo. 4).

- **Expression des résultats** :

La mesure est obtenue directement en NTU. Une calibration se fait par payer par CAL et entre S0, (0.1NTU), après 1m, et entre S1 (20 NTU), on fait leur entre un par un jusqu'à la fin de l'opération



Photo 4 : Turbidimètre de type TL2300 HACH

2.1.4. **Oxygène dissous :** La réduction de l'oxygène au niveau d'une cathode convenable engendre un courant proportionnel à la pression partielle d'oxygène dans la solution (GUERBOUZ,2006).

2.2. Méthodes d'étude chimiques

3 2.2.1. Paramètres de la pollution des eaux : NO_2^- , Fe^{++} et P sont analysés par spectrophotomètre, de type ODYSSEY (HACH) :

a. **Nitrites :** Réaction des nitrites avec le diméthyle-2.6 phénol en présence des acides sulfuriques et phosphoriques, avec production du nitro-4diméthyle-2.6 phénol. Mesurage spectrométrique de l'absorbance du produit de la réaction à 324 nm et la lecture de la concentration en nitrite de la prise d'essai au moyen d'une courbe d'étalonnage (ISO, 1986).

b. **Phosphore total :** Par oxydation au persulfate en milieu acide, de nombreux composés organiques sont minéralisés en orthophosphates. Une minéralisation plus énergique peut être effectuée avec un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique (RODIER et al., 2009).

c. **Fer :** Addition d'une solution de phénanthroline-1.10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe-rouge-orange, à une longueur d'onde d'environ 510 nm (ISO, 1989).

2.3. **Composées ioniques :** Les ions de Na^+ , K^+ sont analysés par le spectrophotomètre à flamme, TH et les ions de Ca^{++} , Mg^{++} sont dosés par titrimétrie.



Les ions de Cl^- et HCO_3^- sont dosés par titrimétrie et l'ion de SO_4^{2-} est dosé par gravimétrie :

2.3.1. Sodium et potassium : Le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme. Aspiration de l'échantillon dans une flamme de gaz, présentant une énergie thermique suffisante pour provoquer l'émission de radiations caractéristiques du Na^+ et du K^+ présents dans la solution. Mesure de l'intensité à une longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et de 766,5 nm pour le potassium (**ISO, 1993**).

2.3.2. Titre hydrotimétrique : Le degré de dureté de l'eau est déterminé par une dose de mesure complexe et avec une solution aqueuse de sel d'EDTA (tétraacétyl éthylène diamine 0,02 N) qui réagit en milieu basique (solution d'ammoniaque pH = 10)). Utilisé comme indicateur noir oriochrome T (NET). Et au point d'équivalence (complexes Mg^{++} et Ca^{++}), qui se caractérise par un changement de couleur du violet au bleu en solution (**ADE, 2023**).

Calcul :

$$\text{TH} = \text{cb} \times \text{N} \times \text{F} \times \text{Meq CaCo}_3 \times 1000/25 \text{ (Mg/l) Ca Co}_3\text{Nb:}$$

$$\text{Cb} : \text{chute burette Meq CaCo}_3 = 50$$

N : normalité

F : facteur de correction

2.3.3. Calcium : Titrage des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murex ide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet (**ADE, 2023**).

2.3.4. Magnésium : Le Mg^{++} peut être estimé par la différence entre la dureté totale et le calcium (**RODIER et al., 2009**).

2.3.5. Chlorures : Le dosage des Cl^- est effectué par titrimétrie. Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent, un rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage (**ISO, 1989**).



2.3.6. Bicarbonates : Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. la première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), La seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (HCO_2^-) (**ADE ,2023**).

2.3.7. Sulfates : Le dosage des SO_4^- est effectué par la méthode gravimétrie. Les ions sulfates sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravi-métriquement (**RODIER et al., 2009**), suivant la réaction : $\text{BaCl}_2 + \text{SO}_4^- \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{Cl}^-$ (**ADE ,2023**).

Chapitre 03: *Résultats et discussion*





Les résultats des analyses physico-chimiques, s'agissent des paramètres facilement mesurables et utiles pour voir l'évolution des éléments chimiques les plus dominants dans les eaux de forages de la région d'étude, leurs concentrations et leurs origines. Les résultats physico-chimiques étudiés sont les suivants dans la commune de Daya Bendahoua et Guerrara.

1. Résultats des analyses physiques

1.1. Potentiel Hydrogène

Le pH est un paramètre caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. C'est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau (**AMINOT et KEROUEL, 2004 ; RODIER et al., 2005**). Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux (**DERWICH et al., 2010**).

La représentation graphique (Figure. 13 ; 14) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du pH sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 7 pour le forage F1(El moudjahidin) situé à Daya Bendahoua et F4 (Haoud H'sane) situé à Guerrara et un maximum de 8,3 pour le forage F3(Bounoura) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du pH caractéristique des eaux d'irrigation compris entre 6,5 et 9 selon l'Algérie .

Les valeurs du pH obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **BENSLAMA (2023)** , avec $7 \leq \text{pH} \leq 8$ des eaux d'irrigation pour la région de Zelfana moyenne pH 7,5.

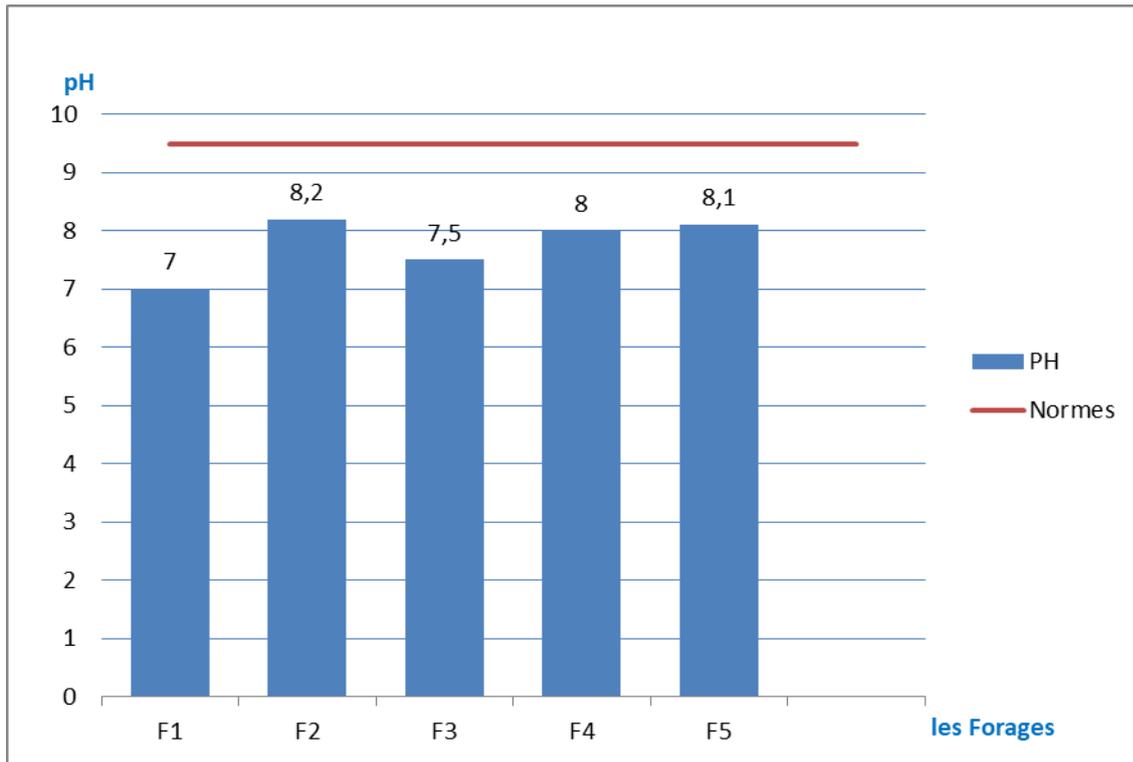


Figure 13 : Variation du pH des eaux des forages de Daya Bendahoua

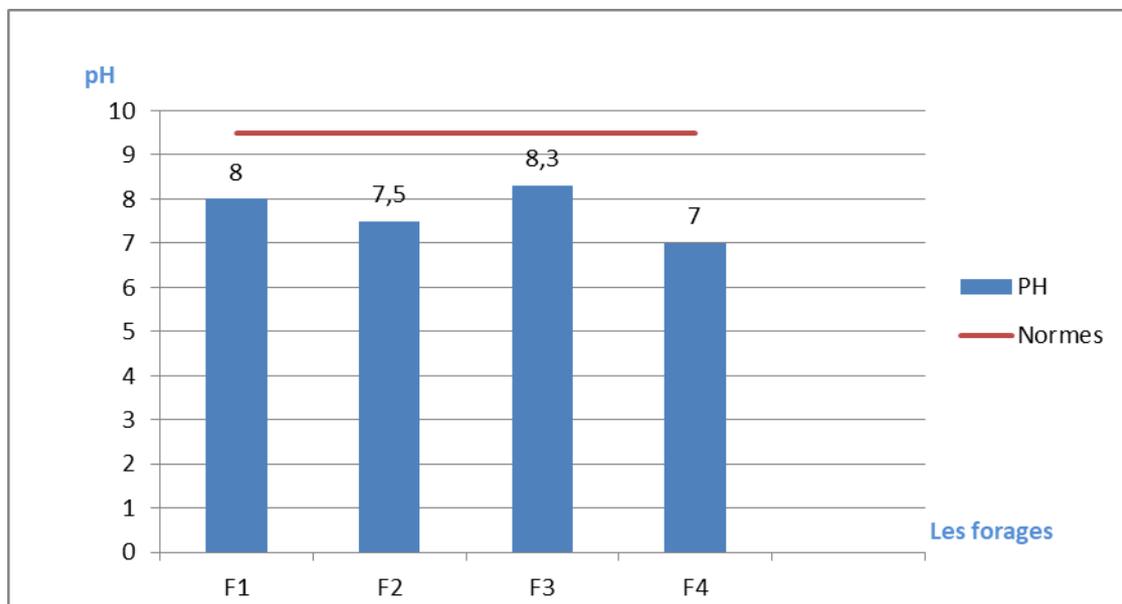


Figure 14 : Variation du pH des eaux des forages de Guerrara

1.2. Conductivité électrique

Selon Rodier et al., (2009), la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature



des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium (Ca^{2+}), de sodium (Na^+), de chlorures (Cl^-), des bicarbonates (HCO_3^-)...etc. Généralement, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (**Dib, 2009**)

La représentation graphique (Figure. 15 ; 16) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs des conductivités sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 294 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour le forage F2 (Remada) situé à Daya Bendahoua et F4 (Haoud H'sane) situé à Guerrara et un maximum de 2710 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour le forage F2 (Ghartoufa) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du conductivité caractéristique des eaux d'irrigation compris 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ selon l'Algérie .

Les valeurs du conductivité obtenues lors de notre étude est lion proches de celles obtenues par **BENNACEUR ,(2019)** , des eaux d'irrigation pour la région de Touggourt .

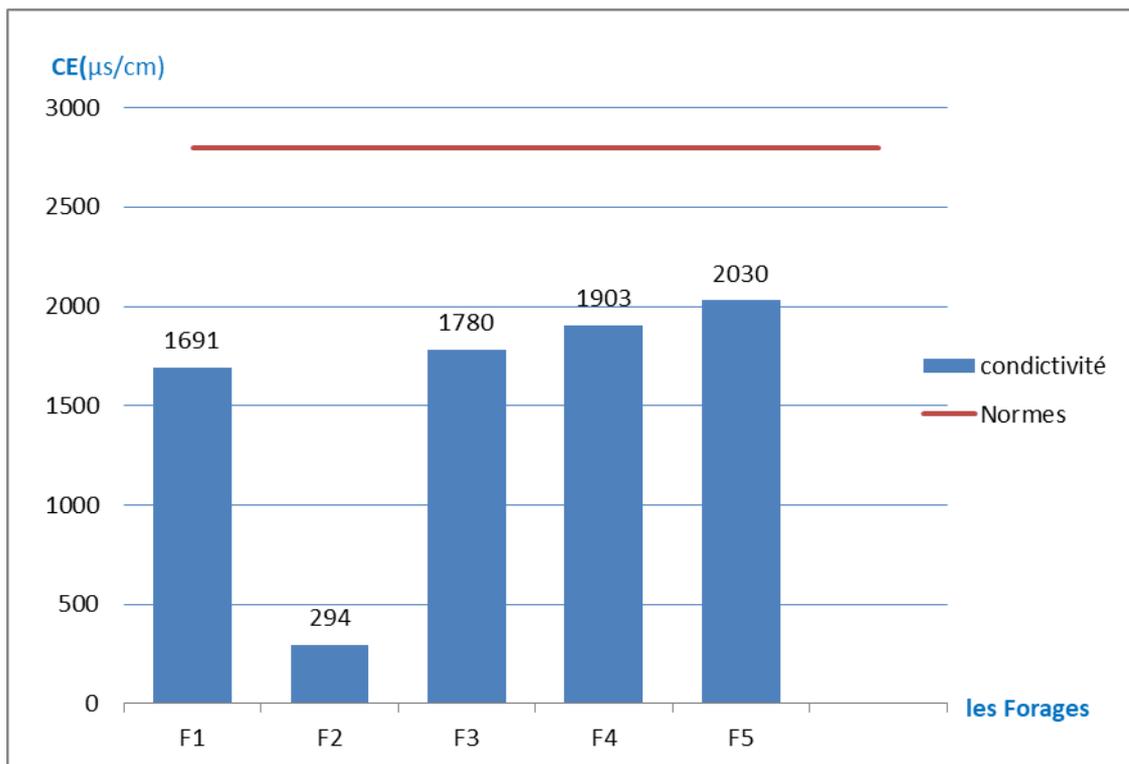


Figure 15 : Variation de conductivité électrique des eaux des forages Daya Bendahoua

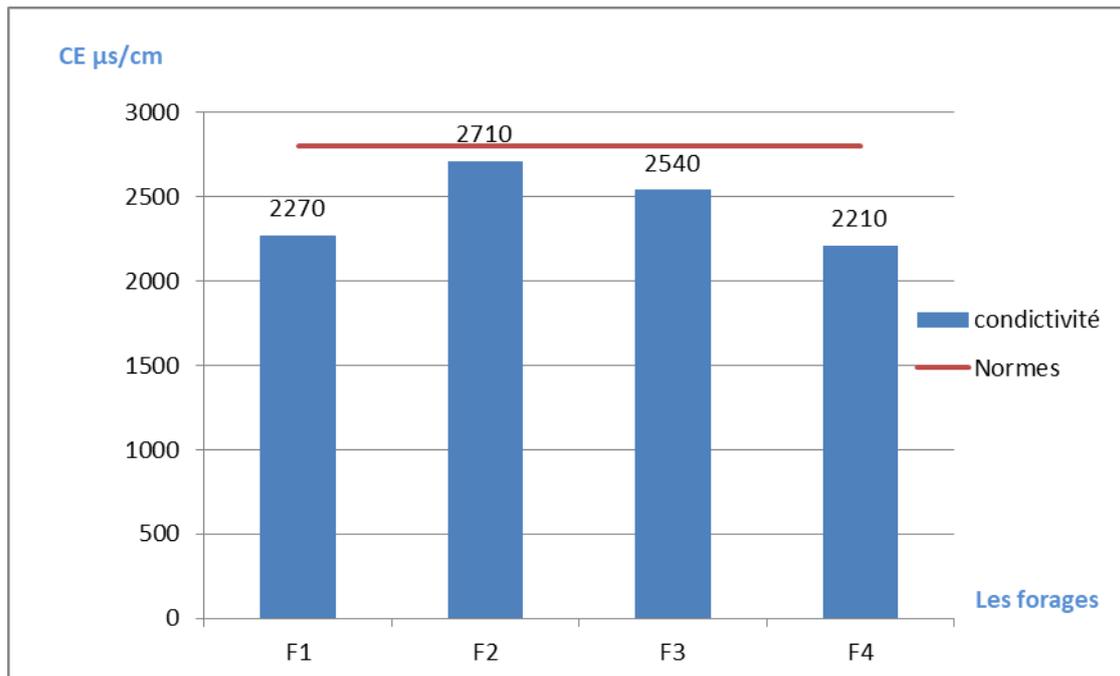


Figure 16 : Variation de conductivité électrique des eaux des forages Guerrara



1.3. Turbidité

La turbidité est causée par la présence de matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacles au passage de la lumière dans l'eau (**RODIER, 1996 ;HADE , 2007**)

La représentation graphique (Figure. 17 ; 18) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du La mesure de la turbidité sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de l'ordre de 0.239 NTU pour le forage F5 (Sidi AEK) situé à Daya Bendahoua et 0.374 NTU F3 (Bounoura) situé à Guerrara et un maximum de de l'ordre de 1.06 NTU est observée au niveau du forage Guerrara Ghartoufa (Fg2) et 0.364 NTU pour le forage F2 (Remada) situé à Daya Bendahoua.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du turbidité caractéristique des eaux d'irrigation compris entre 5 NTU et 0 NTU selon l'Algérie .

Les valeurs du turbidité obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **OULAD LARBI et OULAD LAID (2021)** , D'après ce que les résultats présentés ont montré (Fig. 15), et tandis que les résultats de Metili ont montré qu'une turbidité comprise entre 0 NTU et 0,719 NTU a été enregistrée dans la majorité des forages.

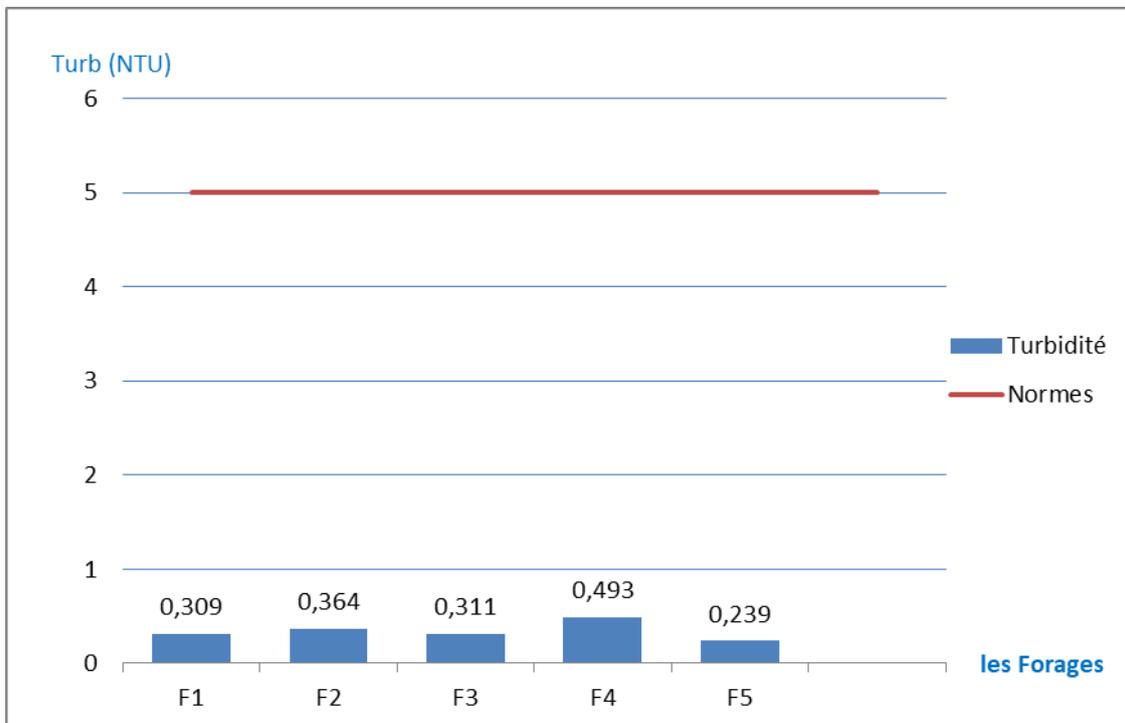


Figure 17 : Variation de mesure de la turbidité des eaux des forages Daya Bendahoua

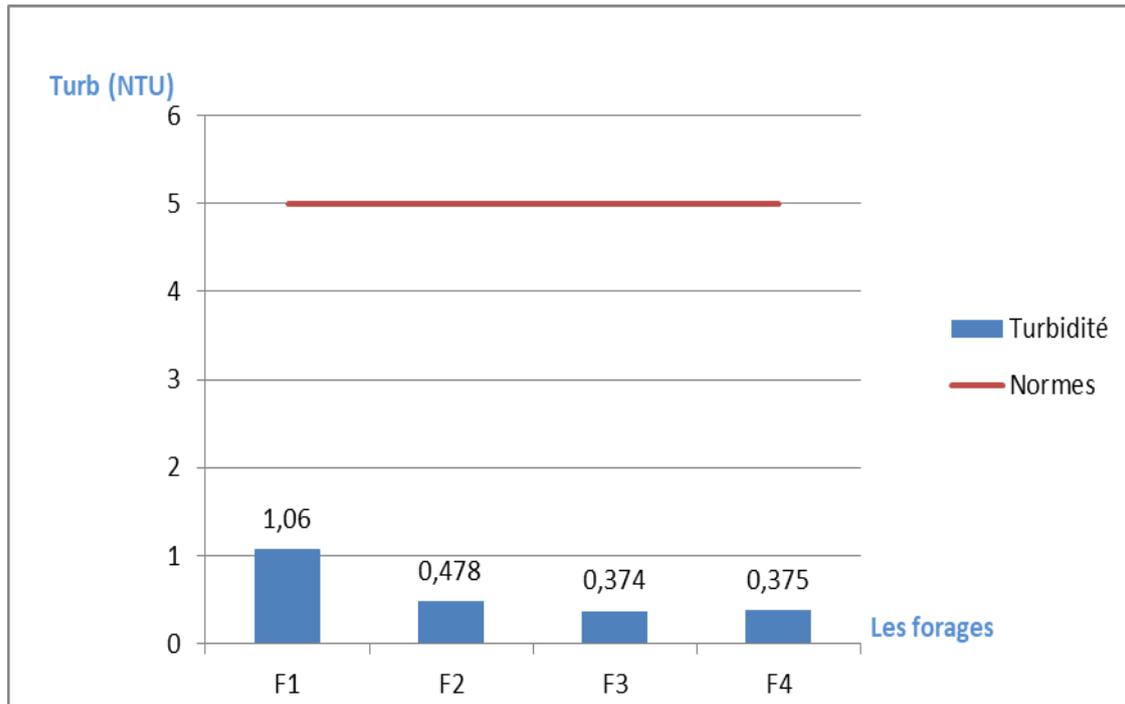


Figure 18 : Variation de mesure de la turbidité des eaux des forages Guerrara

1.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau agit essentiellement sur les réactions d'oxydoréduction qui met en jeu le fer, le magnésium, le cuivre et d'autres composés. Généralement, les eaux souterraines sont dépourvues d'oxygène et elles nécessitent une aération avant leur utilisation pour la consommation (DE VILLERS, 2005).

La représentation graphique (Figure. 19 ; 20) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du L'oxygène dissous sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 6.66 mg/l pour le forage F3 (Bounoura) situé à Guerrara et un maximum de 8,79 pour les forages F1 F2 (El modjahidin et Remada) situé à Daya Bendahoua.

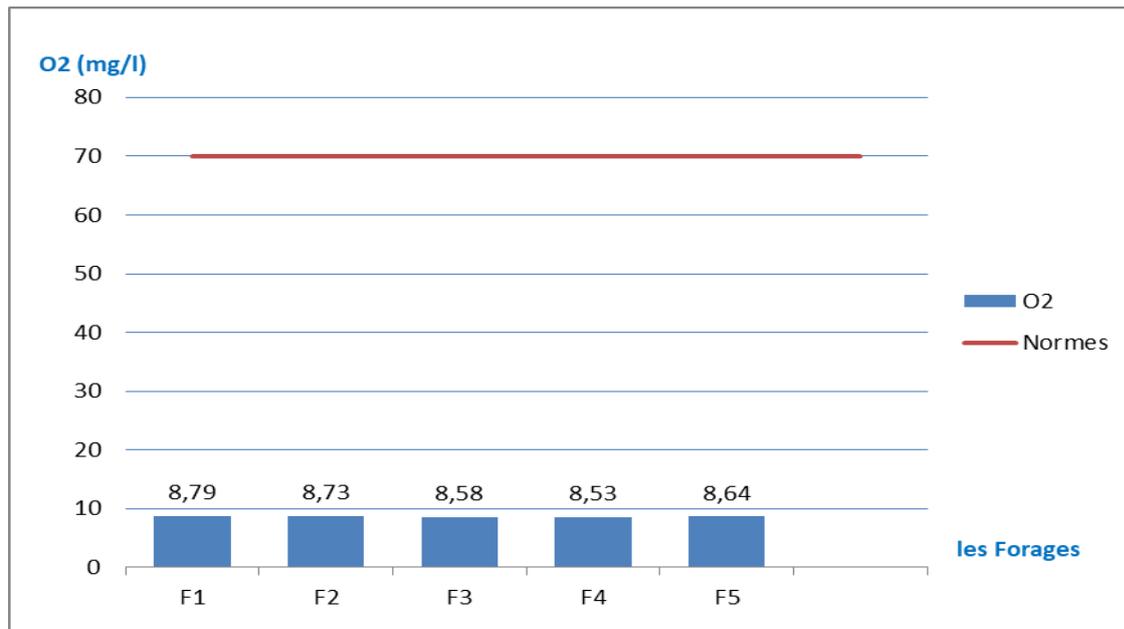


Figure 19: Variation d'oxygène dissous des eaux des forages Daya Bendahoua

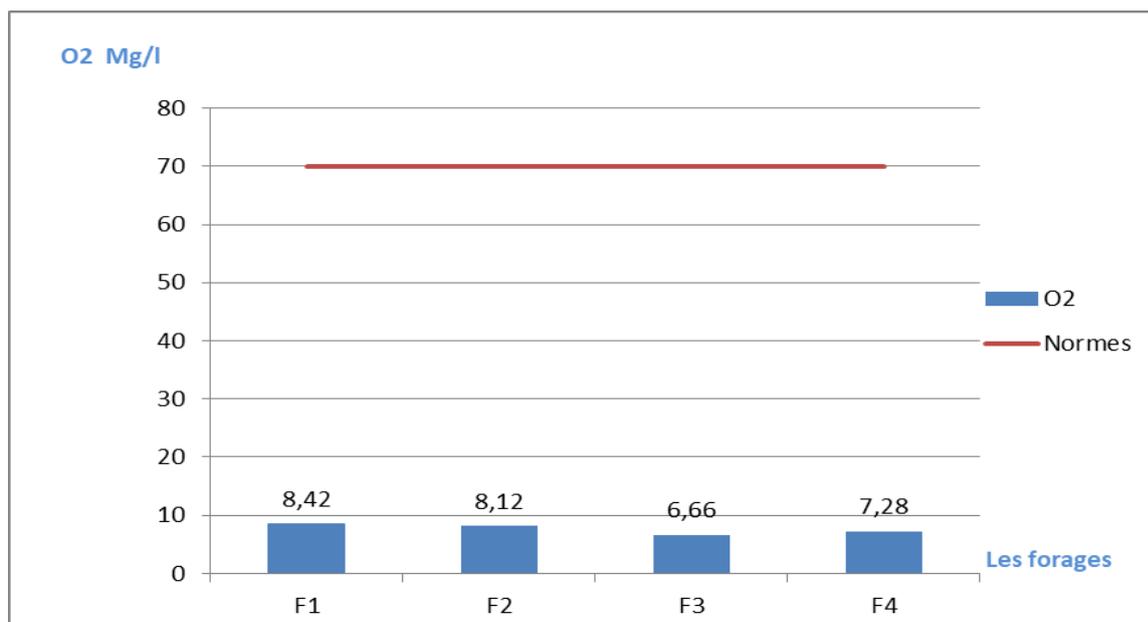


Figure 20: Variation d'oxygène dissous des eaux des forages Guerrara

2. Résultats des analyses chimiques

2.1. Paramètres de pollution des eaux

2.1.1. Nitrites

Pour l'interprétation des résultats de nitrites, il est nécessaire de tenir en compte les teneurs de nitrates, d'azote ammoniacale et de matière organique. Les nitrites proviennent soit



d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque , la nitrification n'étant pas conduite à son terme , soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (RODIER, 2005).

La représentation graphique (Figure. 21 ; 22) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du nitrite sont proches dans tous les forages étudiés qui est 0.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du nitrite caractéristique des eaux d'irrigation compris 0.2 selon l'Algérie .

Les valeurs du nitrite obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **OULAD LARBI ET OULAD LAID, (2021)** , avec 0.1 des eaux d'irrigation pour la région de Metlili.

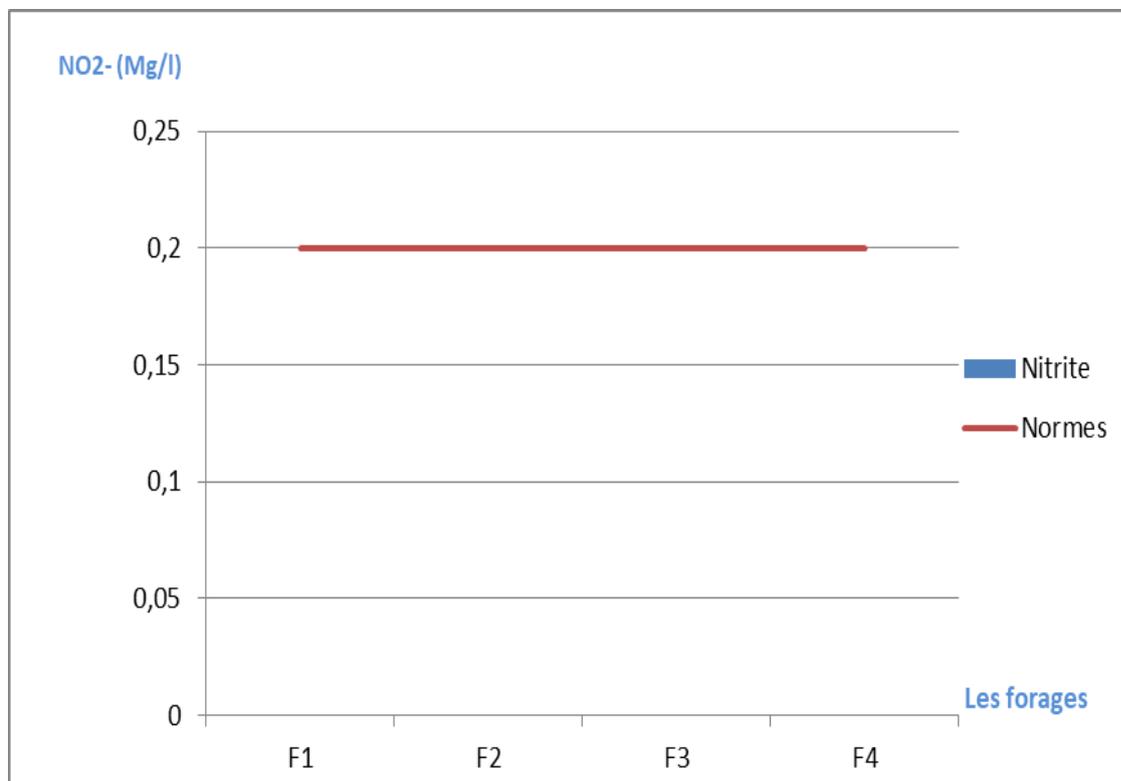


Figure 21: Variation du Nitrite des eaux des forage Daya Bendahoua

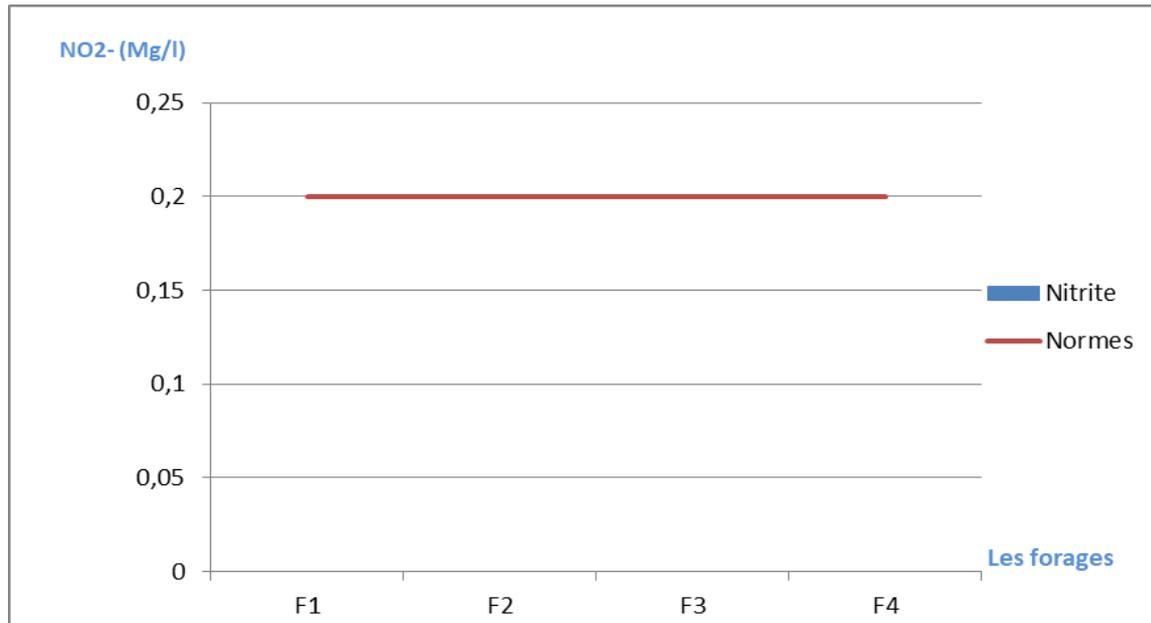


Figure 22 : Variation du Nitrite des eaux des forages Guerrara

2.1.2. Phosphore

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique ; lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.) (**TARDAT HENRY , 1992**).

La représentation graphique (Figure. 23 ; 24) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du **Phosphore** sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 0 mg/l pour les forages F2, F3, F4, F5(Remada .Chaaba Hamra .Om jeder .Sidi AEK) situé à Daya Bendahoua et F1 (Haoud H'sane) situé à Guerrara et un maximum de 0.025 mg/l pour le forage F1(Drin) situé à Guerrara.

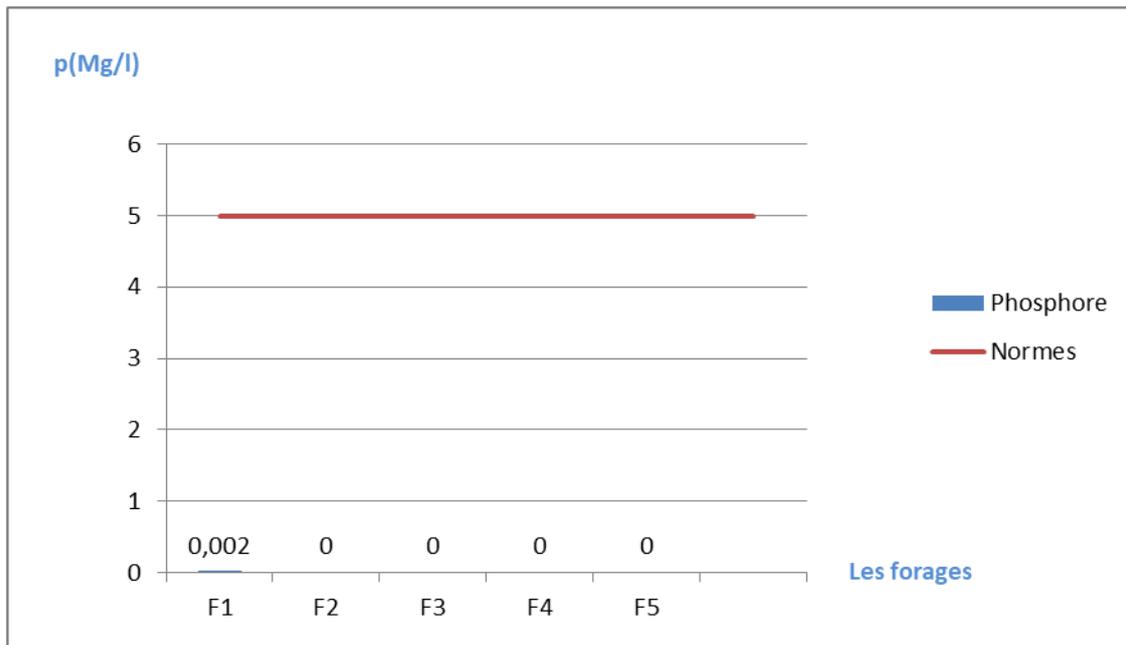


Figure 23 : Variation du phosphore des eaux des forages Daya Bendahoua

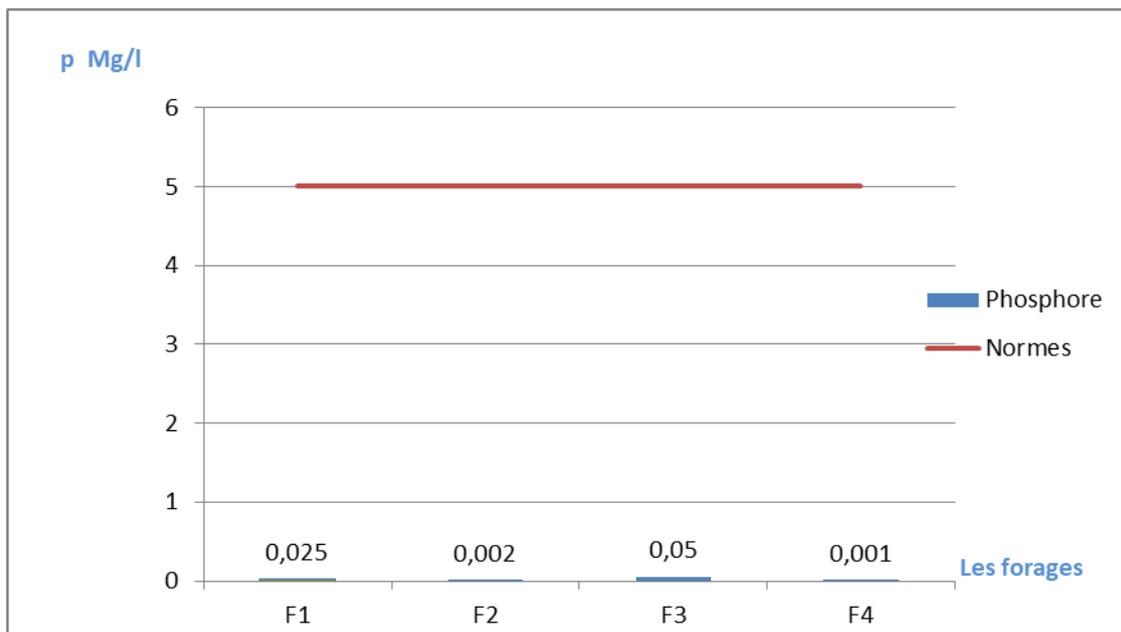


Figure 24 : Variation du phosphore des eaux des forages Guerrara

2.1.3 Fer

Selon (RODIER et al. 2009), le Fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour un pH, variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent, et est généralement à l'état ferreux (Fe^{+2}). Si le milieu est réducteur, comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées.



La représentation graphique (Figure. 25 ; 26) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du Fe_r sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 198.55 meq/l pour le forage F1(El moudjahidin) situé à Daya Bendahoua et un maximum de 489.25 meq/l pour le forage F2(Remada) situé à Daya Bendahoua.

Les valeurs du Fer obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par (BAHAZ et MANSOUR ,2020) , eaux souterraines pour la région de Ghardaia .

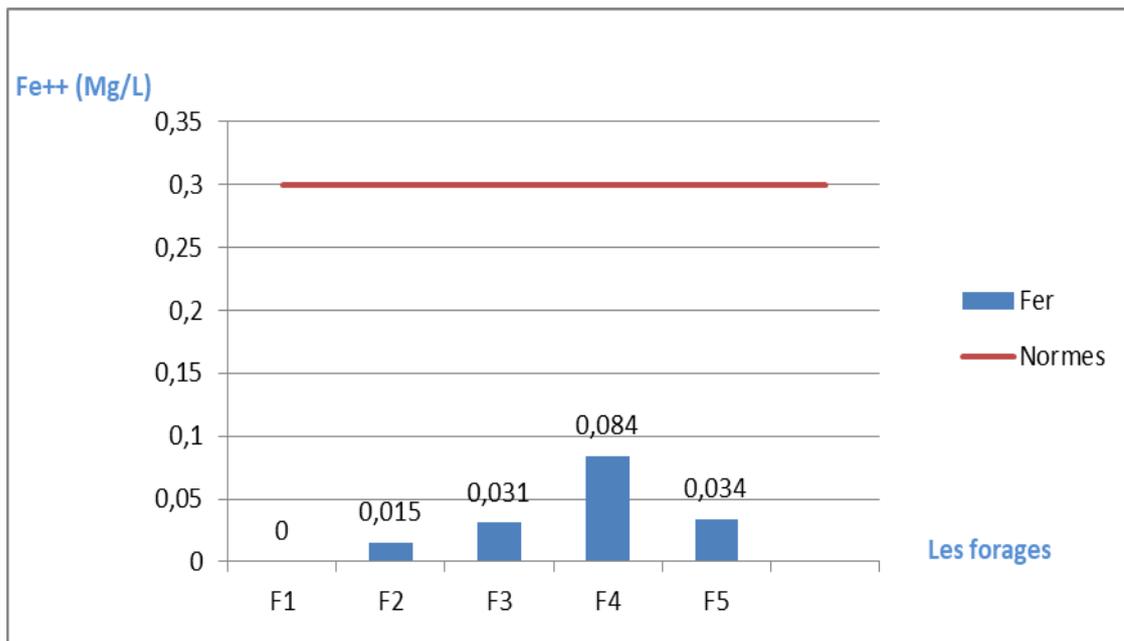


Figure 25 : Variation du Fer des eaux des forages Daya Bendahoua

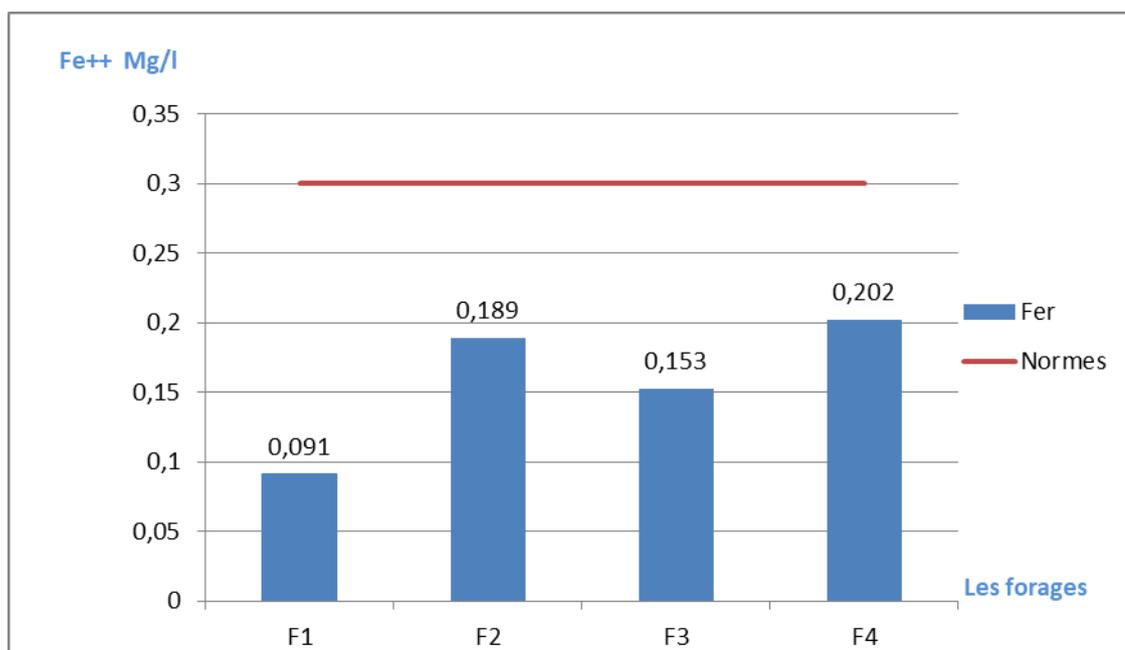


Figure 26 : Variation du Fer des eaux des forages Guerrara



2.2. Composées ioniques

2.2.1. TH

Le titre hydrométrique ou la dureté totale d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métallique à l'exception des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et des ions hydrogènes. Dans la plupart des cas, la dureté est due aux ions calcium et magnésium (RODIER et al. 2009 ; DEVILLERS, 2005).

La représentation graphique (Figure. 27 ; 28) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du TH sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 334 ,368 mg/l pour le forage F3(Bounoura) situé à Guerrara.et F1 (El moudjahidin) situé à Daya Bendahoua et un maximum de 1636 mg/l pour le forage F2(Ghartoufa) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du TH caractéristique des eaux d'irrigation compris 500 mg/l selon l'Algérie .

Les valeurs du TH obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par BENNACEUR , (2019) , des analyses hydro chimiques des eaux de la région de Touggourt entre 830mg/l et 1050 mg/l.

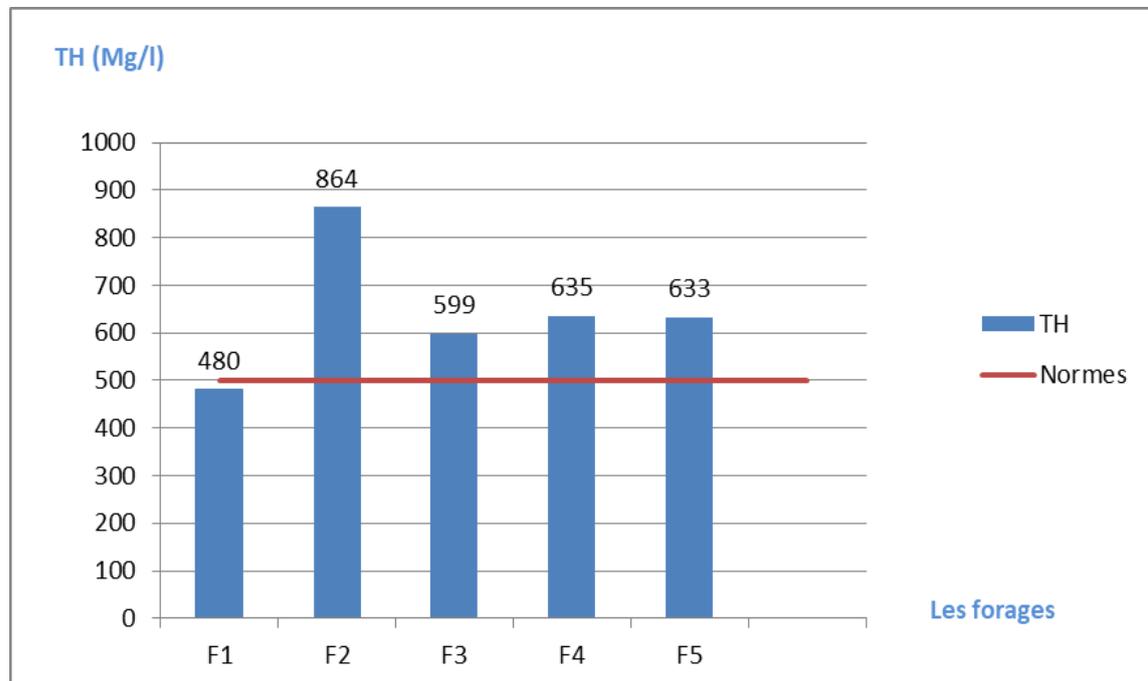


Figure 27: Variation du TH des eaux des forages Daya Bendahoua

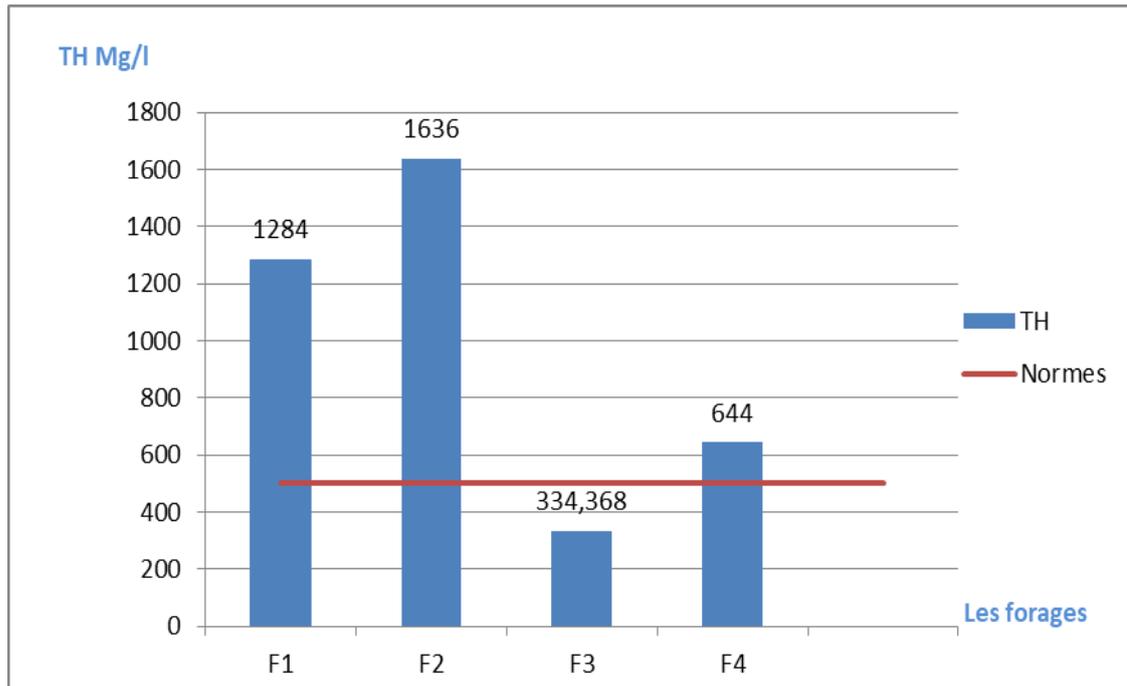


Figure 28: Variation du TH des eaux des forages Guerrara

2.2.2 Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature, en particulier dans les roches calcaires, sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau. Le calcium est généralement d'élément dominant des eaux potables (RODIER et al. 2005).

La représentation graphique (Figure. 29 ; 30) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du calcium sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 102.604 mg/l pour le forage F3(Chaaba Hamra) situé à Daya Bendahoua et F4 (Haoud H'sane) situé à Guerrara et un maximum de 301,4016 mg/l pour le forage F3(Bounoura) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du calcium caractéristique des eaux d'irrigation compris 200 mg/l selon l'Algérie .

Les valeurs du calcium obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par BENSALAMA (2023) , des eaux d'irrigation pour la région de Zelfana moyenne de calcium 9.11 meq/l.

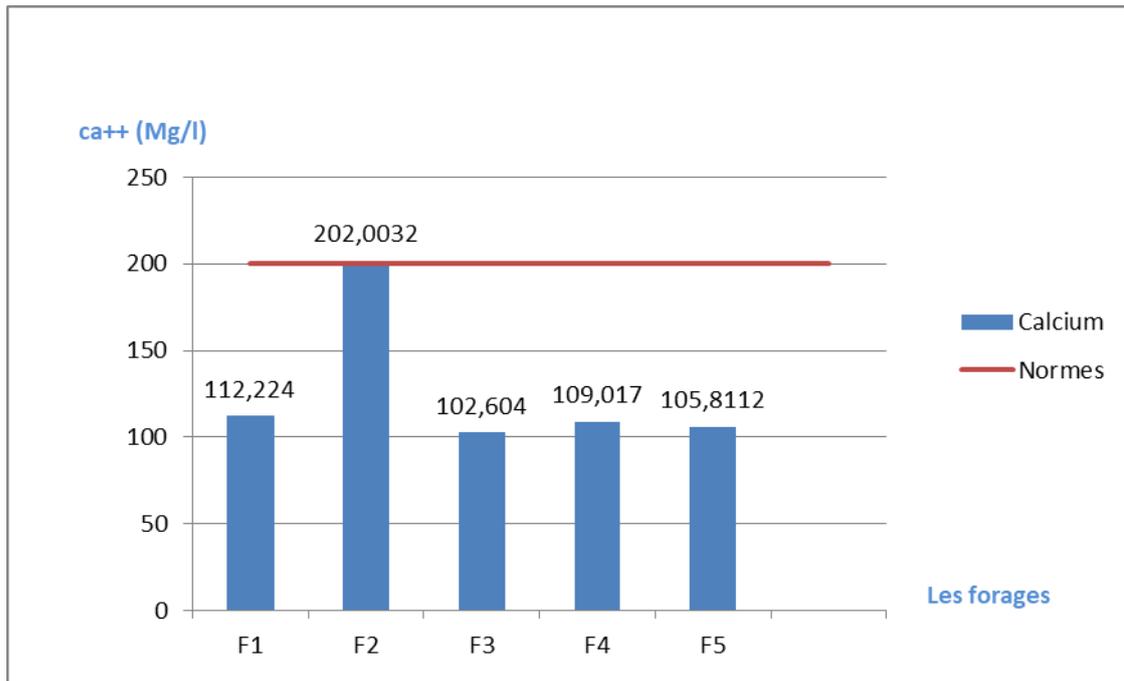


Figure 29 : Variation du calcium des eaux des forages Daya Bendahoua

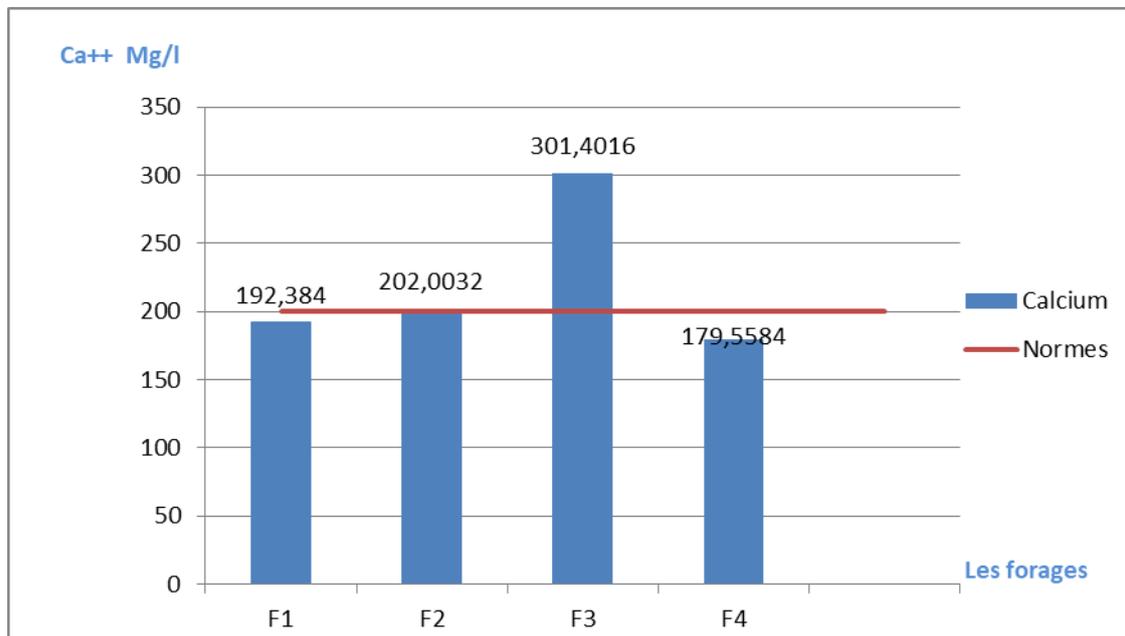


Figure 30 : Variation du calcium des eaux des forages Guerrara

2.2.3 Magnésium

Selon (RODIER et al. 2009), le Magnésium est un des éléments la plus répandu dans la nature, il constitue environ 02,1% de l'écorce terrestre. Son abondance géologique et sa grande solubilité, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes



La représentation graphique (Figure. 31 ; 32) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du Magnésium sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 47.628 mg/l pour le forage F4 (Haoud H'sane) situé à Guerrara et F1 (El modjahidin) situé à Daya Bendahoua et un maximum de 320.433 mg/l pour le forage F3(Bounoura) situé à Guerrara.

Les valeurs du Magnésium obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **BENSLAMA (2023)** , des eaux d'irrigation pour la région de Zelfana moyenne de Magnésium 5.63 meq/l .

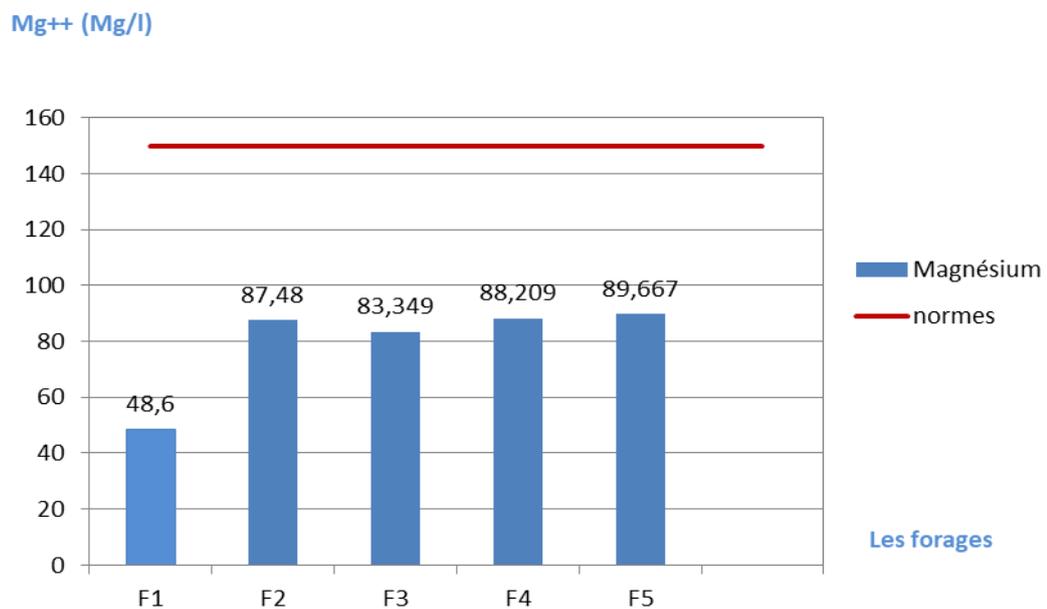


Figure 31 : Variation du magnésienne des eaux des forages Daya Bendahoua

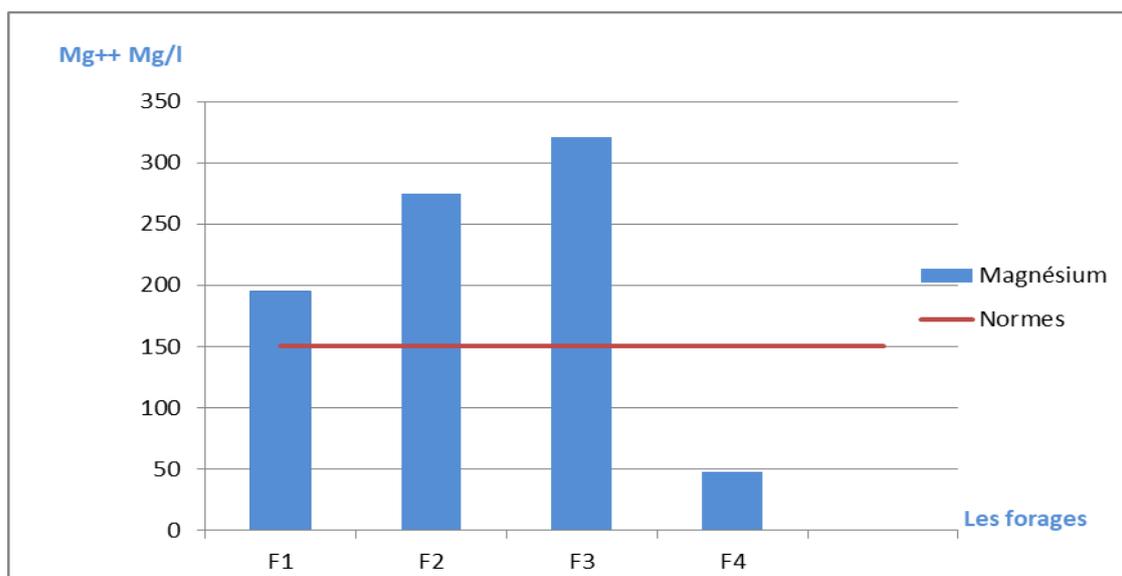


Figure 32 : Variation du magnésienne des eaux des forages Guerrara



2.2.4 Sodium

Le sodium est un métal alcalin. Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (RODIER , 2005). On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture pour l'irrigation.

La représentation graphique (Figure. 33 ; 34) des eaux des forages de la nappe albiene montre que les teneurs du sodium sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 131.75 mg/l pour le forage F2 (Remada) situé à Daya Bendahoua et F2 (Ghartoufa) situé à Guerrara et un maximum de 253.12 mg/l pour le forage F1 F4(Drin , Haoud H'sane) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du Sulfates caractéristique des eaux d'irrigation compris 200 mg/l selon l'Algérie .

Les valeurs du sodium obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par BENNACEUR , (2019) , des analyses hydro chimiques des eaux de la région de Touggourt entre 200 mg/l et 300 mg/l.

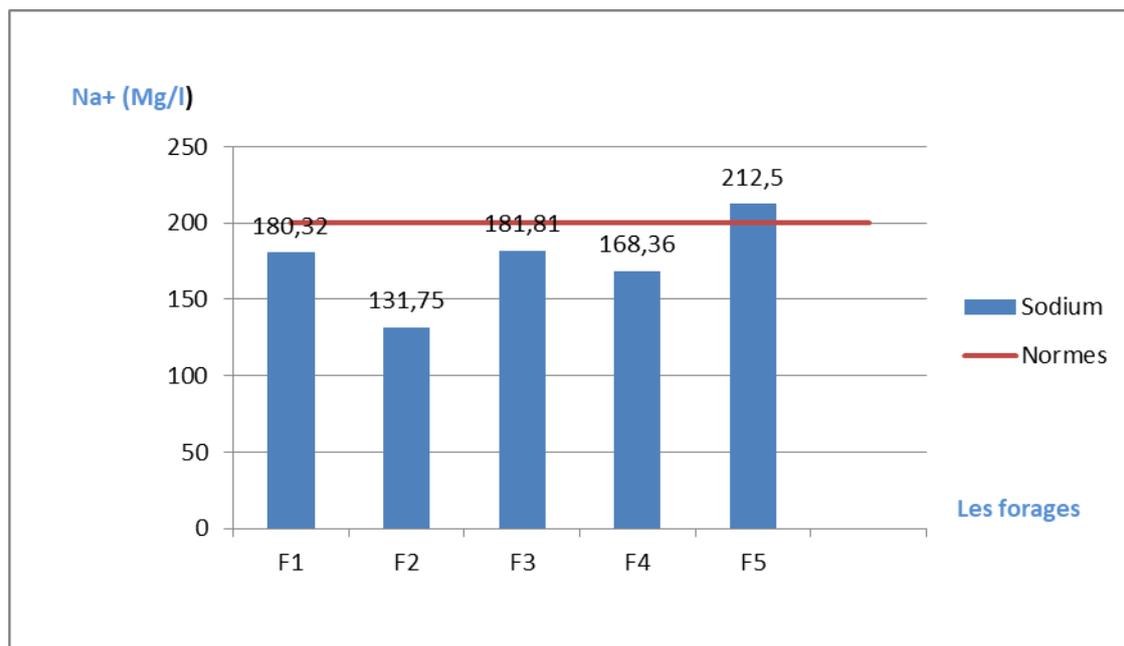


Figure 33 : Variation du sodium des eaux des forages Daya Bendahoua

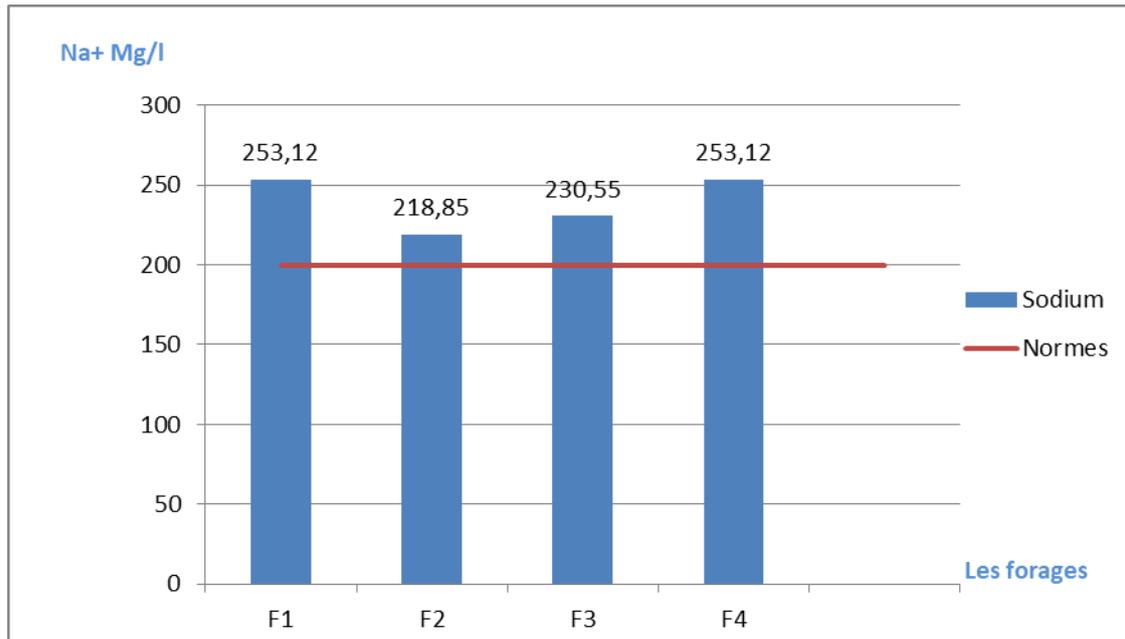


Figure 34 : Variation du sodium des eaux des forages Guerrara

2.2.5 Potassium

La teneur du potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l à une telle valeur, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le potassium joue un rôle essentiel chez l'homme pour lequel les besoins de l'organisme sont de l'ordre de 1,5 à 4 g/jour. Une carence en potassium provoque des dysfonctionnements cardiaques (COULIBALY ,2005).

La représentation graphique (Figure. 35 ; 36) des eaux des forages de la nappe albienne montre que les teneurs du potassium sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 7.32 mg/l pour le forage F2 (Remada) situé à Daya Bendahoua et F1 F2 F4 (Drin ,Ghartoufa ,Haoud H'sane) situé à Guerrara et un maximum de 20.66 mg/l pour le forage F3(Bounoura) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle du potassium caractéristique des eaux d'irrigation compris 12 mg/ l selon l'Algérie .

Les valeurs du potassium obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **BENSLAMA (2023)** , des eaux d'irrigation pour la région de Zelfana moyenne de potassium 0.39 meq/l.

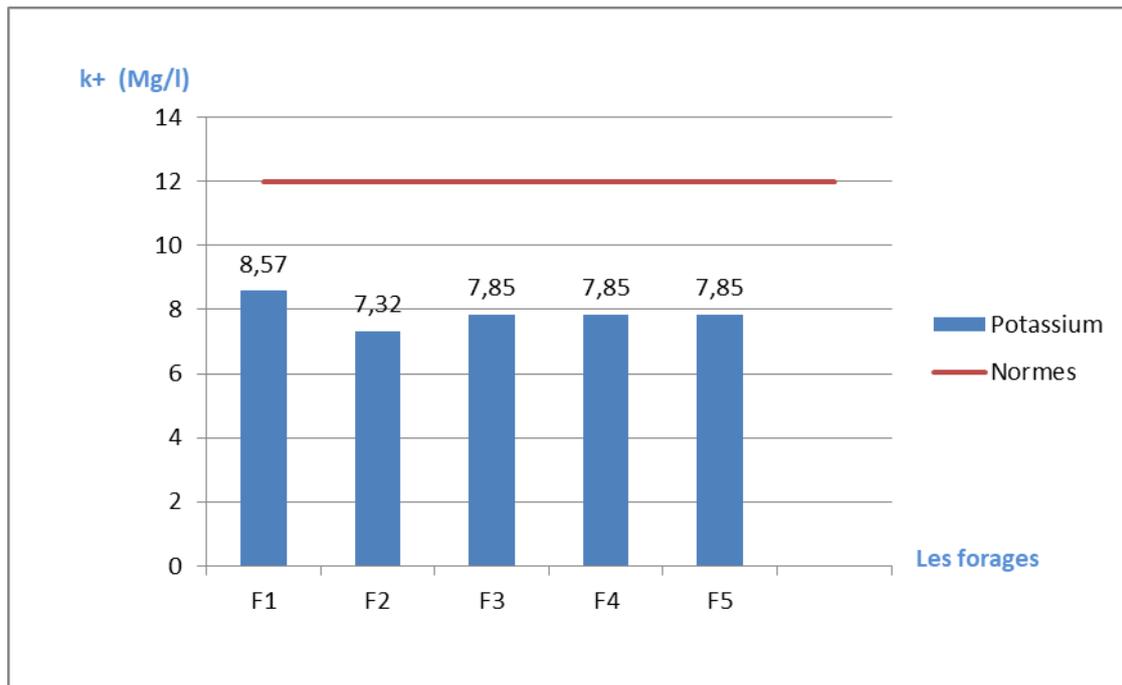


Figure 35 : Variation du potassium des eaux des forages Daya Bendahoua

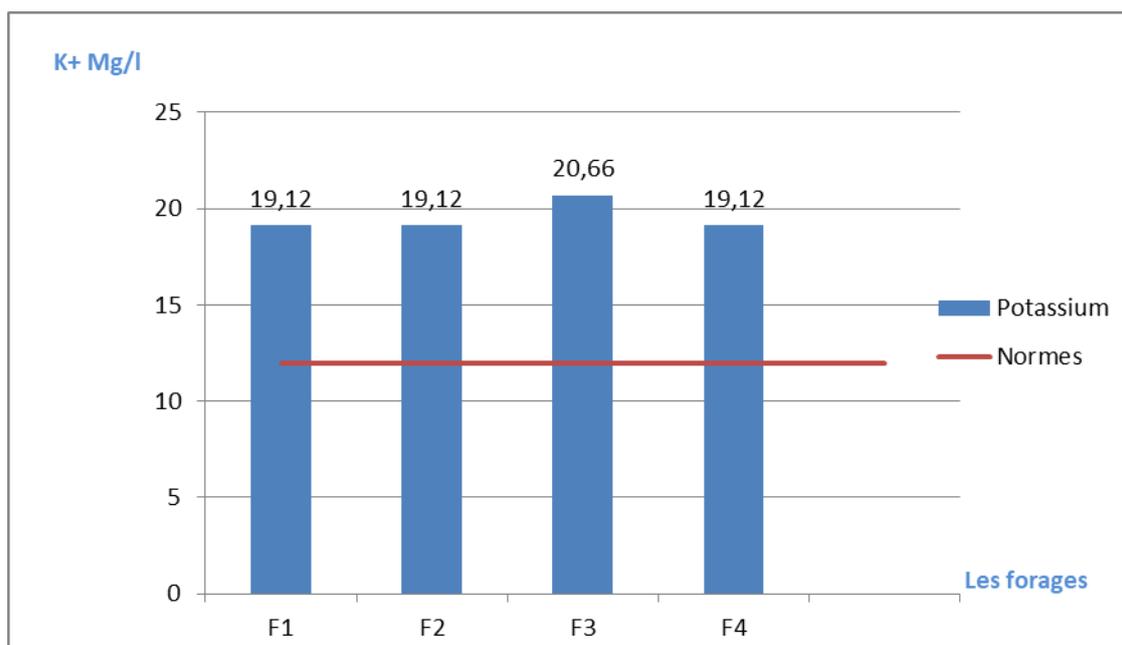


Figure 36 : Variation du potassium des eaux des forages Guerrara

2.2.6 Chlorures

Les chlorures sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂). La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la dissolution de dépôt de sel gemme, aux



effluents de l'industrie chimique, aux rejets des égouts (**BOIZIANI, 2000 ; BENHEDID, 2014**).

La représentation graphique (Figure. 37 ; 38) des eaux des forages de la nappe albiennne montre que les teneurs de chlorures sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 198.55 mg/l pour le forage F1(El moudjahidin) situé à Daya Bendahoua et F4 (Drin) situé à Guerrara et un maximum de 489.25 mg/l pour le forage F2(Remada) situé à Daya Bendahoua.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de chlorures caractéristique des eaux d'irrigation compris 500 mg/l selon l'Algérie .

Les valeurs de chlorures obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **BENSLAMA (2023)** , des eaux d'irrigation pour la région de Zelfana moyenne de chlorures 10.45 meq/l .

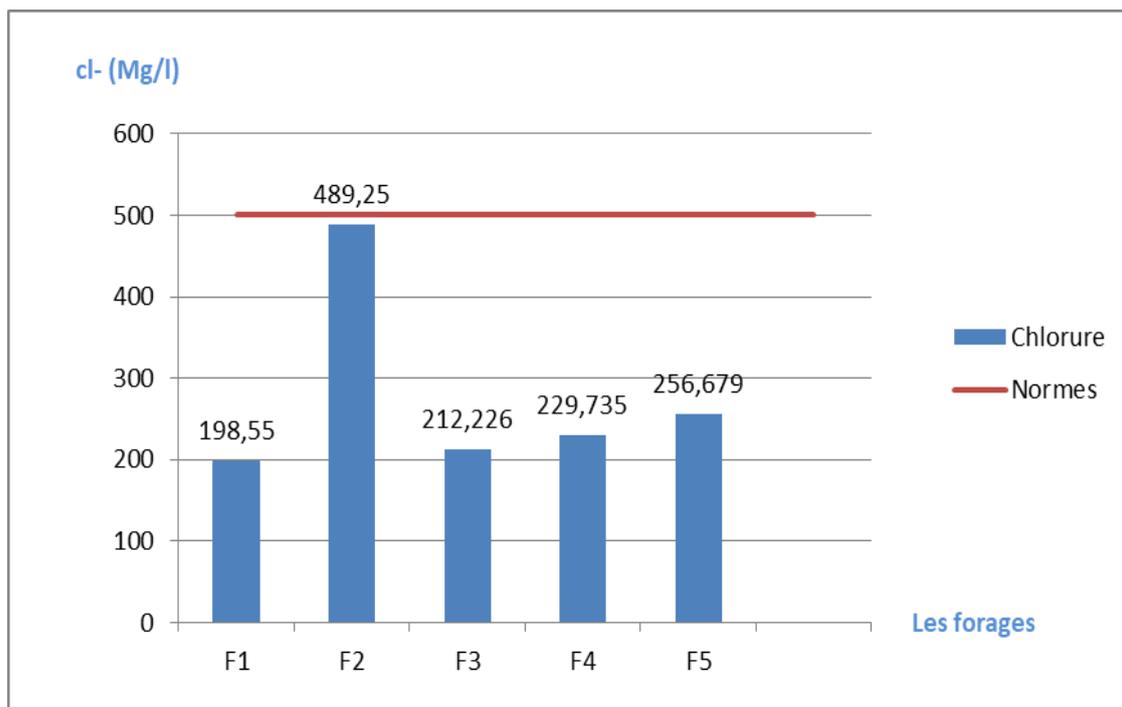


Figure 37 : Variation du chlorure des eaux des forages Daya Bendahoua

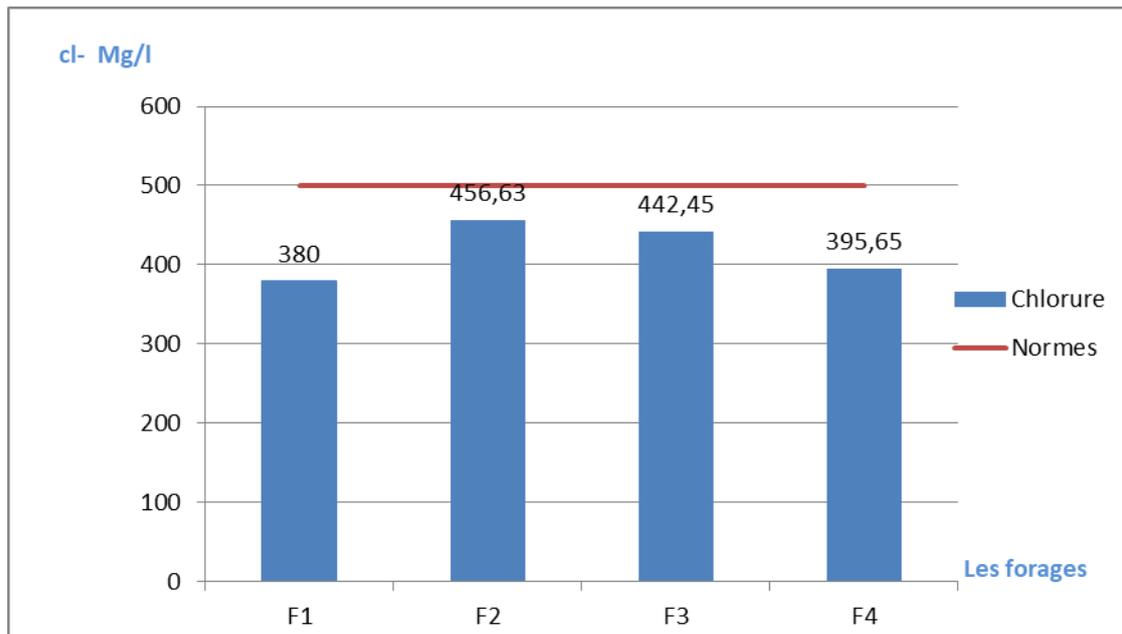


Figure 38 : Variation du chlorure des eaux des forages Guerrara

2.2.7 Sulfate

Les ions Sulfates sont par eux-mêmes peu toxiques. Cependant des concentrations inférieures peuvent affecter les enfants et les nouveaux consommateurs d'eau qui n'y sont pas habitués (troubles gastro-intestinaux et diarrhéiques) (**CHOTEAU, 2014**). Naturellement présents dans les eaux, en concentration très variable (importante au contact de terrains gypseux ou proches de mines de fer), ils sont parfois le témoin d'une pollution industrielle (textile, papeterie...) (**QUENEAU et HABERT, 2009**).

La représentation graphique (Figure. 39 ; 40) des eaux des forages de la nappe albiennaise montre que les teneurs de Sulfates sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 400.57 mg/l pour le forage F1 (El moudjahidin) situé à Daya Bendahoua et F2 (Ghartoufa) situé à Guerrara et un maximum de 670.5 mg/l pour le forage F3 (Bounoura) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de Sulfates caractéristique des eaux d'irrigation compris 400 mg/l selon l'Algérie .

Les valeurs de Sulfates obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **BENNACEUR , (2019)** , avec 480 mg/l et 875 mg/l des eaux d'irrigation pour la région de Touggourt.

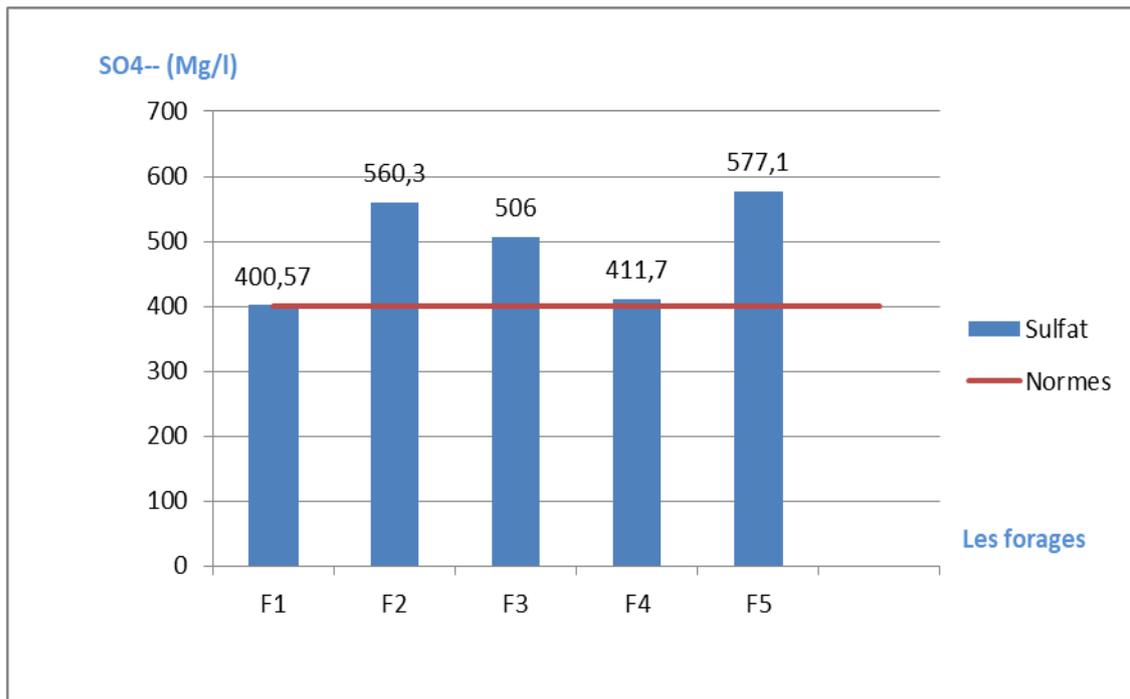


Figure 39 : Variation du sulfate des eaux des forages Daya Bendahoua

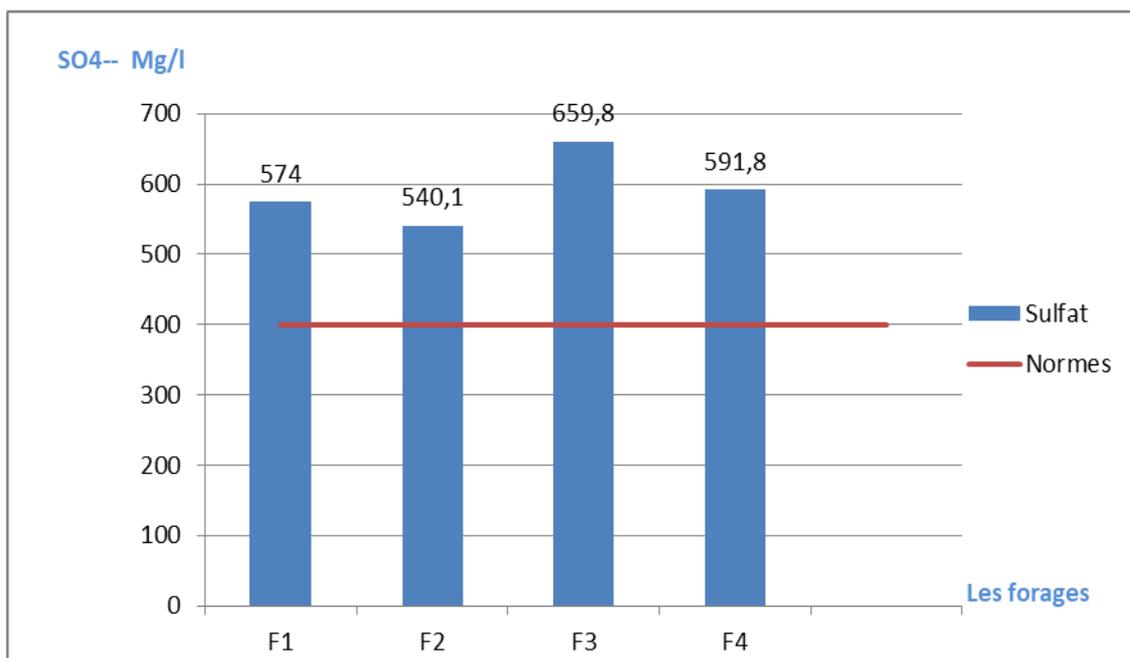


Figure 40 : Variation du sulfate des eaux des forages Guerrara



2.2.8 Bicarbonates

Les bicarbonates résultent de la dissolution de carbonate de calcium ou suite à l’hydrolyse de CO₂, comme le montre les équilibres suivants:



La représentation graphique (Figure. 41 ; 42) des eaux des forages de la nappe albiennne montre que les teneurs du bicarbonate sont proches dans tous les forages étudiés. Elles varient entre un minimum de 137 mg/l pour le forage F4 (Om jeder) situé à Daya Bendahoua et F2 (Ghartoufa) situé à Guerrara et un maximum de 319.64 mg/l pour le forage F4 (Haoud H'sane) situé à Guerrara.

Ces valeurs se trouvent dans l’intervalle du bicarbonate caractéristique des eaux d’irrigation compris 500 selon l’Algérie .

Les valeurs du bicarbonate obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par **BENNACEUR , (2019)** , avec 84.29 mg/l et 602.3 mg/l des eaux d'irrigation pour la région de Touggourt.

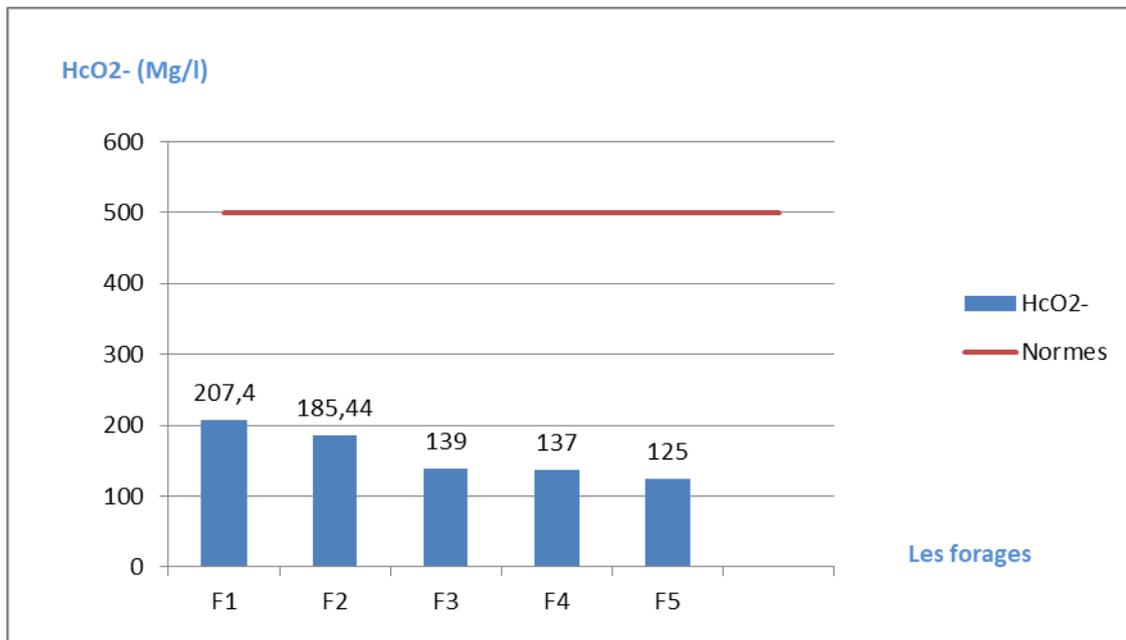


Figure 41 : Variation du HCO₂⁻ des eaux des forages Daya Bendahoua

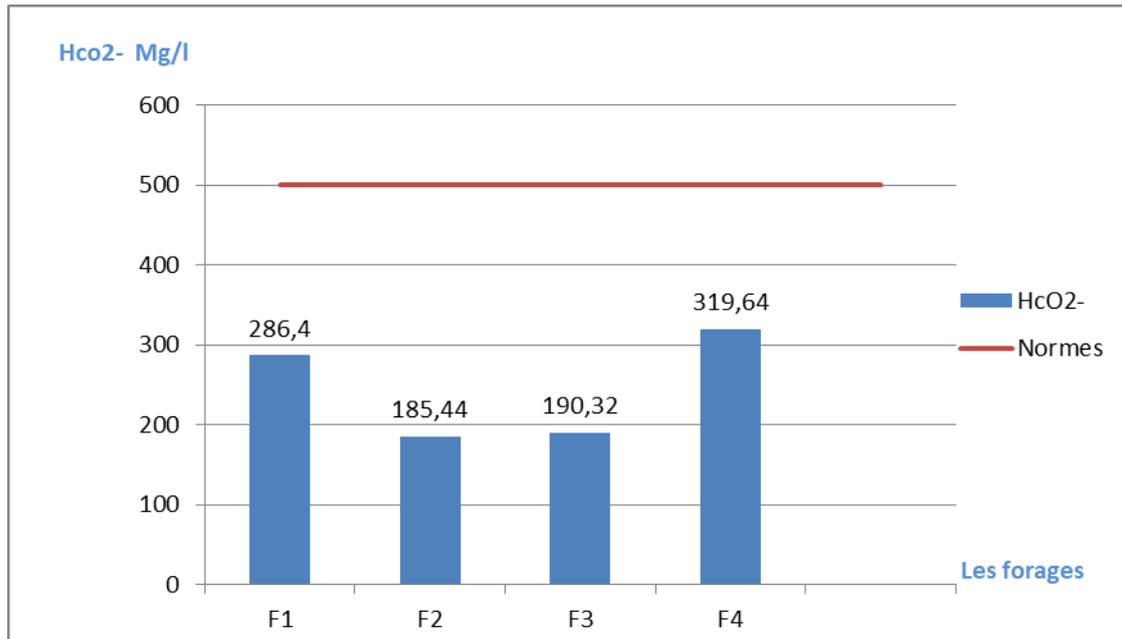


Figure 42 : Variation du HCO_2^- des eaux des forages Guerrara

3. Faciès chimiques des eaux

Pour mieux déterminer le faciès chimique des eaux de la région d'étude, une représentation graphique sur le diagramme triangulaire de PIPER a été effectuée à partir des résultats analytiques obtenus.

Nous remarquons en général que :

- * le chimisme des eaux analysées est caractérisé uniquement par le faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

- * le sulfate est très élevé dans le forage de Sidi AEK et Houad H'sane et pour d'autres échantillons il n'y a pas des cations dominants

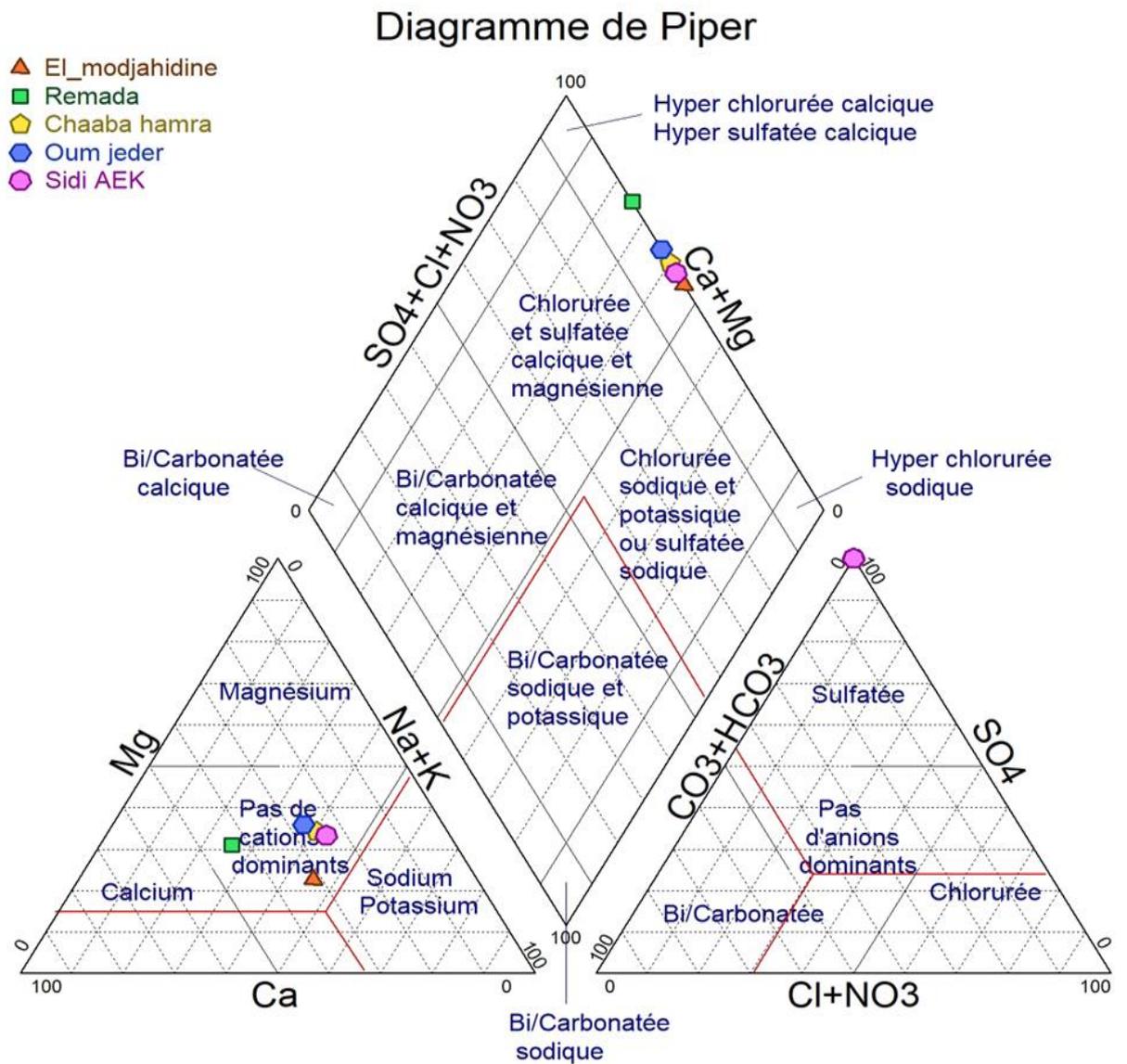


Figure 43 : Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER

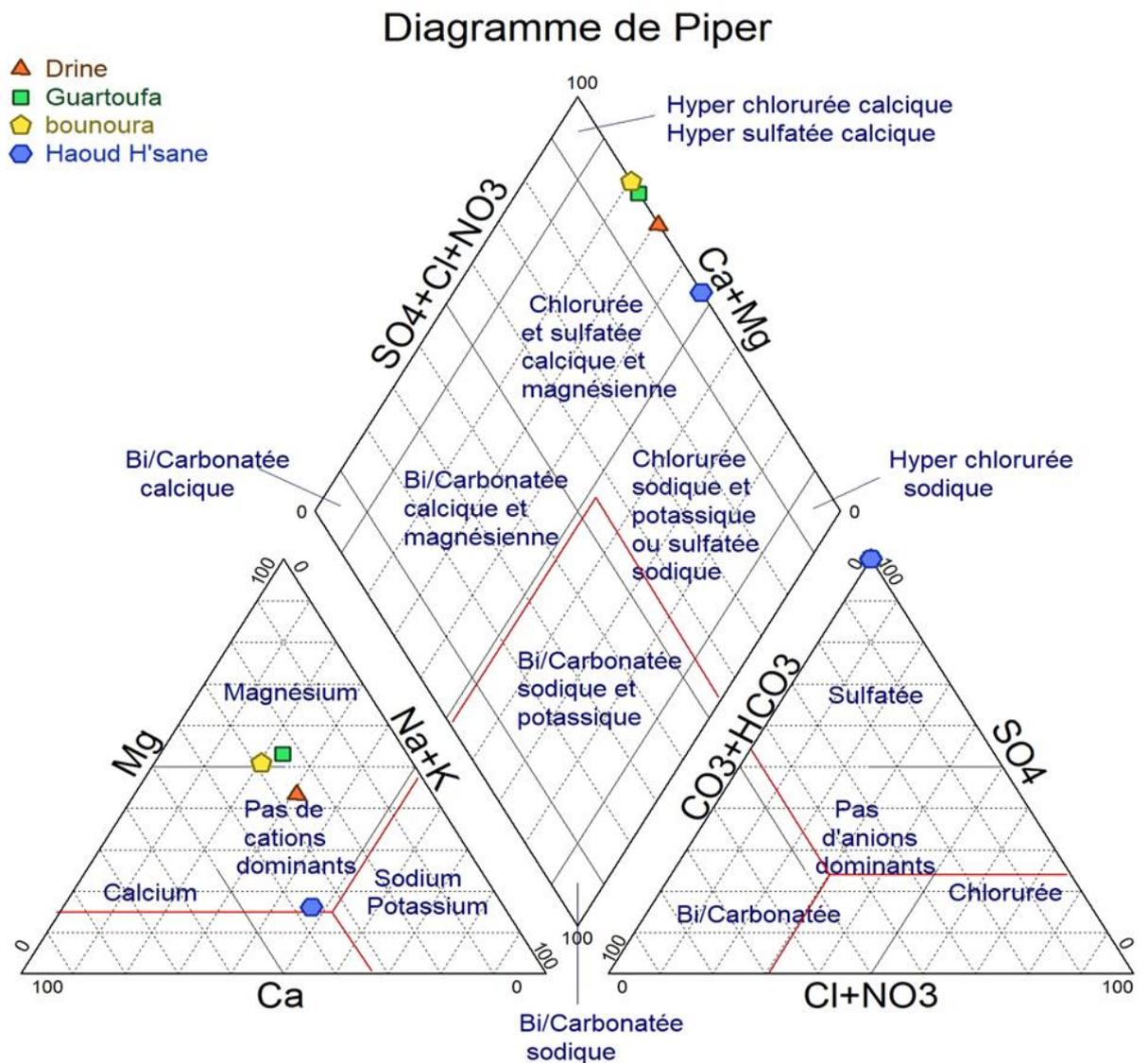


Figure 44: Faciès chimique des eaux d’après le diagramme de PIPER



4. Aptitude des eaux à l'irrigation

Évaluer la qualité de ces eaux à irriguer ainsi que l'influence de ces eaux sur les sols et les cultures de cette région, nous avons étudié la salinité et la sodicité.

4.1. Risque de salinisation

La teneur totale en sels est un critère important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Généralement la teneur en sel des eaux d'irrigation joue un rôle important vis à vis des effets directs sur des végétaux et des risques de salinisation de sol. Afin d'évaluer la qualité des eaux dans l'irrigation selon le risque de salinisation des exemples typiques de classifications suggérées par différents auteurs.

Classe C1: Satisfaisante pour toutes les cultures excepté les cultures sensibles;

Classe C2: Généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées ;

Classe C3 : Satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité Vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats ;

Classe C4 : Normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées Comme les palmiers dattiers et si le lessivage et le drainage sont impératifs. (BENHEDID , 2014) .

Dans la plupart des points d'eaux analysés appartiennent à la classe C3 avec un pourcentage de 70% ; 23.33% des points dans la classe C4, et 0.67% seulement à la classe C2 (Fig. 31).

4.2. Risque d'alcalinisation

L'irrigation du sol par une eau sodique favorise la dispersion des argiles et la structure est dégradée, le milieu devient imperméable et asphyxiant. Le danger d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol, Ce risque est déterminé à partir du rapport du sodium adsorbable (sodium adsorption ratio, SAR) par la formule suivante(BENZAYET, 2010):

Selon U.S.S.L(1954), 3 classes ont été distinguées d'après le taux d'absorption de sodium qui est (Tab.VII) :



S1 : Eau à faible danger d'alcalinisation des sols ;

S2 : Eau à danger d'alcalinisation assez appréciable ;

S3 : Eau à danger d'alcalinisation important.

Tableau VII : Classe de sodicité des eaux (USSSL ,1954)

Classe	SAR
S1	13
S2	13-23
S3	>23

Nous remarquons que la plupart des eaux souterraines du zone étudiée ont un faible danger d'alcalinisation avec 93.33% de la totalité des points d'eaux analysées, et un échantillon seulement à un danger appréciable.

4.3. Classification des eaux d'irrigation

Les diagrammes de RIVERSIDE (Fig.45;46) parallèles à la détermination du risque d'alcalinisation permettent de réaliser la classification de l'eau d'irrigation en fonction des paramètres mesurés de la C.E et du S.A.R. On en a détecté cinq classes d'eau dans la vallée du M'Zab, comme suit:

C2S1: Eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Cette classe contient un point d'eau seulement Forage Daya Bendahoua Remada (Fd2) ;

C3S1: Eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés, c'est le cas de la majorité des points d'eau. Des Forages Daya Bendahoua (El modjahidin , Chaaba Hamra , Om jeder ,Sidi AEK (Fd1 , Fd3, Fd4, Fd5 ,Fg1)) ;

C3S2 : Eau à risque d'alcalinisation assez importante et satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais il y aura des conditions de salinité si le lessivage et le drainage sont adéquats forages Guerrara Haoud H'sane (Fg4) ;

C4S1: Eau convenant à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Cette classe comporte deux échantillons sur l'ensemble des forages Guerrara Ghartoufa et Bounoura(Fg2, Fg3) ;

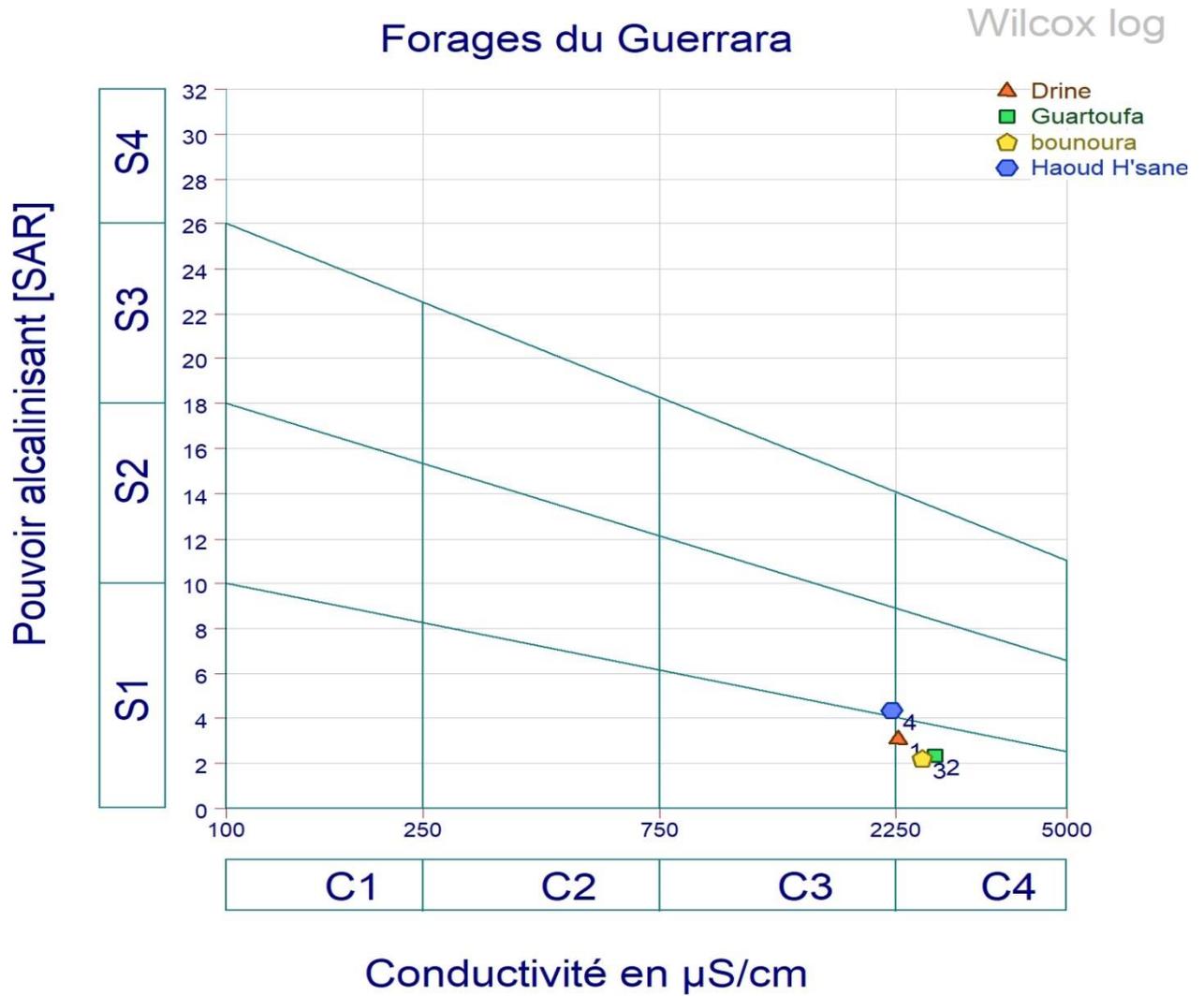


Figure 45 : Qualité des eaux d’irrigation dans la commune de Guerrara en fonction de la C.E et du S.A.R

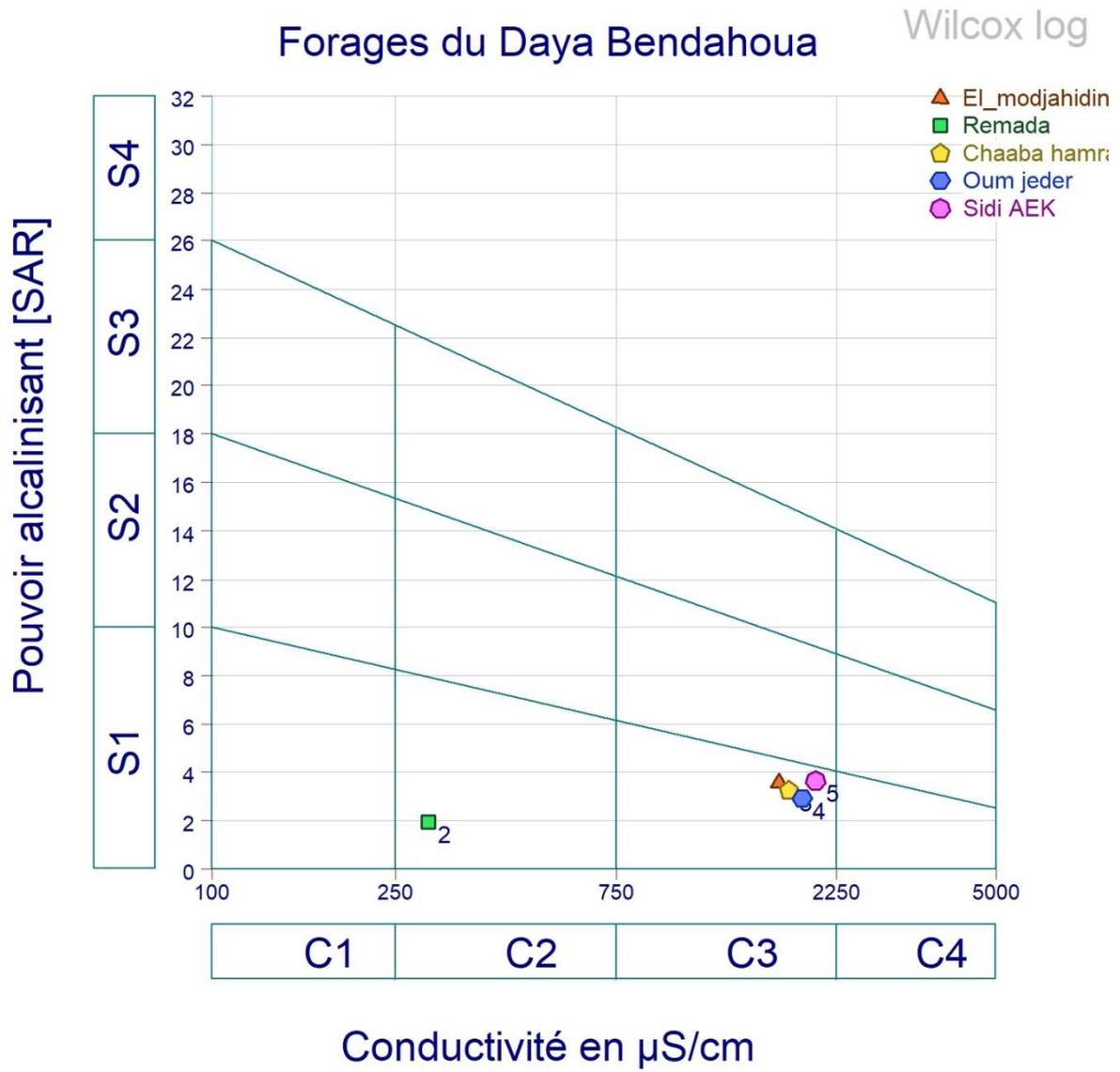


Figure 46: Qualité des eaux d’irrigation dans la commune de Daya Bendahoua en fonction de la C.E et du S.A.R





La gestion de l'eau sera toujours un facteur limitant et/ou critique pour le développement, en particulier dans les régions arides soumises à l'amplification du changement climatique. Cette étude a été menée dans le but d'identifier la qualité de l'eau. Aussi bien dans les régions d'El Guerrara que d'El Daya Bendahoua – Ghardaïa. Donc, Nous avons pu mettre en évidence une stratégie d'évaluation basée sur les études A Échantillons d'eau d'irrigation.

Les résultats physico-chimiques d'une manière générale montrent que la qualité de ces eaux est bonne à moyenne sur l'ensemble des forages d'eau prospectés et conformément aux normes d'irrigation, excepté certains paramètres dont ces teneurs dépassent les normes tel : magnésium, le sodium et le sulfate. La classification de l'eau indique qu'elle est de qualité irrigable, dans chacun des forages étudiés, dont certains avaient causé la salinité du sol selon les normes O M S.

La conductivité la plus élevée avoisine 2710 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui traduit une salinité moyenne à forte, due à la lithologie bien sûr, mais aussi à des conditions climatiques très arides. Ces dernières induisent une forte évapotranspiration qui concentre la solution du sol.

Parallèlement, la concentration moyenne en sodium absorbable a été déterminée à est égal à la valeur la plus élevée dans la région de Guerrara de 3.063 mg /l et la région de Daya 7.35 mg/l, ce qui correspond à un risque plus faible d'alcali. Les résultats ont été confirmés par le Riverside Charte. Pensez à l'eau d'irrigation Ces deux zones sont des eaux moins nocives (modérées) pour la production de cultures sensibles qui ont une tolérance fragile à la salinité et perturbent même la stabilité structurelle des sols A moyen et long terme. De ce fait, le recours vers eaux souterraines qui présente souvent une qualité médiocre voir inutilisable dans certains cas, est indispensable pour l'irrigation, ce qui conduit à une salinisation ou modification des sols.

Pour ce cas, nous recommandons;

Il a une solution au problème du sel à la surface de la terre. La végétation peut aussi agir sur cette dynamique à travers le processus d'évaporation créant les petites différences dans le déplacement des sels observées à terres agricoles - forêts - . Ainsi, l'absence de végétation aide les sels à s'accumuler dans une couche de surface et à diminuer progressivement avec la profondeur. Afin d'obtenir un retour quantitatif et qualitatif la meilleure innovation, Une stratégie appropriée pour assurer une bonne gestion efficace et durable capable de la maintenir Productivité maximale des cultures pour les générations futures. Une des meilleures stratégies Réhabiliter les sols salins est le bon choix de cultures, non seulement pour A des fins



économiques, mais aussi pour lutter contre l'eau salée .Le bon choix des cultures maraîchères en fonction de la nature du sol ,Cela nécessite une sélection appropriée des cultures en fonction de leur résistance au stress salin, suivie d'une Bonne utilisation des ressources en eau par la mise en place de réseaux d'irrigation qui maintiendront le niveau de la nappe et afin d'assurer la pérennité des systèmes agricoles Il y aura besoin de plus de recherche et d'étude dans les deux domaines étudiés sur l'évolution de la valeur des analyses physiques et chimiques .Je recommande également que les étudiants ou chercheurs après nous qui étudient ce type de recherche ajoutent des analyses de sol et prélèvent des échantillons de eux pour compléter la recherche.

Références bibliographiques



Références bibliographiques

1. AMRANI, 2021. Gestion de l'eau d'irrigation dans le Bas-Sahara algérien : le paradoxe hydrique de la palmeraie d'Ouargla pages 77 à 104
2. ANRH (Agence National des Ressources Hydrique).,(2010). Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nati. res. hyd. Ouargla, 10P.
3. ANRH,(2011). Notes relatives aux ressources en eau souterraines de
4. ADE Ghardaïa 2023. Algérienne Des Eau unité de Ghardaïa, Algérienne Des Eau unité de Ghardaïa, Les analyses physico-chimique
5. ANRH Ghardaïa, 2016. Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa ,Agence Nationale des Ressource Hydraulique
6. BAHAZ Khadîdja El-Korba et MANSOUR Khadidja,2020. Qualité des eaux souterraines destinées à la consommation humaines (Cas d'étude Oued M'Zab Wilaya de Ghardaïa).93p.
7. BELGHIT M. L., CHALAOUI A., BENGOUIMI D., EI MOUSTAINE R. 2013. Etude de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Mknès. Biologie
8. BNEDER.,(1988). Etude des ressources du milieu pour la mise en valeur dans la Wilaya de Ghardaïa : Analyse de la situation actuelle, Alger, BNEDER, 164p
9. BENHEDID H ,2014. Etude de l'impact des eaux usées sur la variabilité de la pollution des aquifères superficiels à Oued M'Zab.149p.
10. BENGUELIA RABIE ET HADJ BRAHIM ABLA.,(2017).Etude hydrogéologique de continental intercalaire dans la région de Ghardaïa
11. BOULAHIA, 2016. L'eau d'irrigation en Algérie.55p.unv Constantine
12. BOUDJEMA A, 1987. Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse Universitaire Paris XI Orsay, 290p



13. BOUGHARI DJAOUHAR 2016 Caractérisation et de traitement des eaux résiduaires d'une industrie textile (SOFACT. Tissemsilt.) Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem
14. BOUDJEMA A, 1987. Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse Universitaire Paris XI Orsay, 290p
15. BOUZIANI M, 2000. L'eau, de la pénurie maladies, Ed, IBN-KHOLDON, ORON, p 247.
16. CHOTEAU B, 2014. La souffrance globale en fin de vie, Manuel de soins palliatifs-4 e édition, Clinique, psychologie, éthique, p1260
17. COULIBALY K, 2005. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako, Thèse de doctorat d'état, université de Médecine de Pharmacie et D'Odonto Stomatologie, Bamako.
18. DADDI BOUHOUN M., 1997. Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne. Thèse Magister, El-Harrach, I.N.A., 180p.
19. DEGREMOT., 1989. Mémento technique d'eau. Tome 1 Ed.595p.
20. DEVILLERS J, SQUILIN M, YOURASSOWSKY C, 2005. Qualité Physico chimique et chimique des eaux de surface, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement.
21. DE VILLERS J, 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.
22. Dib I, 2009. L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne- Ain Yaghout (Est Algérien). Mémoire de magister en hydraulique. construction hydro-technique et environnement. faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique. Université Hadj Lakhdar,
23. DOUADI Imane et BENABDERRAHMANE Yamina, 2021. Situation actuelle de la gestion des eaux non conventionnelles dans la vallée du M'Zab -wilaya de Ghardaïa. 82p.
24. DPSB, (2020). Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa, la Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires.
25. DPAT, 2022. Direction de la planification et de l'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Ghardaïa, Atlas de Ghardaïa.



26. DUBIEF, J. (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie Service des Etudes Scientifiques ; Alger, Algérie
27. G. Camps, J. Gascou, A. Raymond et L. Golvin, « Cité », Encyclopédie berbère [En ligne], document C74, mis en ligne le 01 mars 2012, consulté le 22 février 2020.
URL : <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/2293> [archive]
28. GUERBOUZ Fatima, 2006. Contribution à l'étude cinétique de la qualité de l'eau potable au niveau de la ville de Metlili (GHARDAIA). 127p.
29. HADE A, 2007. Nos lacs, Les connaître pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque nationale du Québec, Canada, p 359
30. HARKAT ; BENNACEUR, 2019. Représentation des analyses hydro chimiques des Eaux de la ville Touggourt. 59p
31. HADJ BRAHIM Abla et BENGUELIA Rabie, 2018. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE CONTINENTAL INTERCALAIRE DANS LA REGION DE GHARDAIA. 86p.
32. ISO 6878/1:1998 (F) Qualité de l'eau — dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium
33. ISO 9297 – NA 6917 - Qualité de l'eau – Dosage de chlorures – Titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr)
34. ISO 6058 -1984 (F) Qualité de l'eau – Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA
35. I.S.O., 1984. Qualité de l'eau. NA1653, ISO 6058, Ed, INAPI. Edition et diffusion, Alger, 3p.
36. I.S.O., 1986. Qualité de l'eau. NA 1848, ISO 6332. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 3p.
37. I.S.O., 1989. Qualité de l'eau. NA 752, ISO5813. Ed . INAPI et diffusion, Alger, p5.
38. I.S.O., 1993. Qualité de l'eau. NA 2364, ISO 9964/3. Ed INAPI. Edition et diffusion, Alger, 20p.
39. KACI S., (2005). Contribution à l'étude des potentialités de l'apiculture en milieu oasien : cas de la wilaya de Ghardaïa Mém. d'Ing. d'Etat. en Agr. Saha., Dpt des Science Agronomiques, U.K.M. - Ouargla, 144 p.



40. KEMMER, 1984. Manuel de l'eau et technique et documentation, lavoisier, paris
41. KHADRAOUI A et TALEB S, 2008. Qualité des eaux dans le sud algérien .Ed ,2008khayam. Constantine, 367p
42. LE HOUEROU H. N., 1995 - Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique « diversité biologique développement durable et désertisation ». Option méditerranéenne. Sér. B. N°10. Montpellier. 396 p.
43. MARGAT,J.,1990 . Les eaux souterraines dans le monde, Département en eau,P1.
44. M. BENZAYET, 2010.Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de Oued Labiod.78p
45. MELLAK D, 2009. Etude de la vulnérabilité de l'aquifère alluvionnaire de la vallée du M'Zab, Wilaya de Ghardaïa.
46. MESSID IMANE.,(2009). « Conception du réseau pluvial de la commune de Ghardaïa », Mém. Ingénieur. En Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure de Polytechnique
47. Méthode ISO 5667-3 :2003 (F) Techniques généralement appropriées pour la conservation des échantillons
48. MUTIN G, 1977. La Mitidja, décolonisation et espace géographique. Ed Office Publ. Univ., Algeria, 606 p
49. NA 2364/1994 – Qualité de l'eau— dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium
50. Norme ISO 5667 : 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage
51. NF T90-036
52. O.M.S., 2004. Directive de qualité pour l'eau de boisson. 3eme édition .Volume 1. ORON 156.158p.
53. OULAD LARBI Keltoum et OULAD LAID Fadila,2021. Étude hydro-chimique de Continental Intercalaire dans la région de Metlili -wilaya de Ghardaïa.73p.



- 54 . OULD BABA SY, M. (2005). RECHARGE ET PALEORECHARGE DU SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL. DEPARTEMENT DE GEOLOGIE, UNIVERSITE DE TUNIS EL MANAR. Doctorat: 271.
55. QUENEAU P et HUBUERT J, (2009). Place des eaux minérales dans l'alimentation, Rapport de l'académie national de médecine, Société française de l'hydrologie et climatologie médicale, France, P 220
56. RAMADE F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences
57. REJSEK F .2002. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France. 358 p
58. RODIER J, 1996. L'analyse de l'eau, Eaux naturelles eaux résiduaires, eaux de mer, 8eme Edition, Ed Dunod, paris, p1384
59. RODIER J.2005 . analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer 8eme édition Dunode, paris Rodier 2006
60. RODIER J, BAZIN C, BROUTIN J, CHAMBON P, CHAMPSAUR H, RODI L, 2005. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8ème édition. Dunod, Paris, p 1383-1384.
61. RODIER J ,2005.Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer .Paris, Ed Dunod,1383p. Références bibliographiques 75
62. RODIER. J. (2009), L'analyse de l'eau, édition DUNOD.
63. RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition,. Dunod, 1579 p.
64. RODIER. J. (2009), L'analyse de l'eau, édition DUNOD
65. RAMADE F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences
66. RODIER J ., 2009.Analyse de l'eau.9eme édition. Ed. Dunod, Paris.1526p.
67. SALIM S., et TESSIER D., 1998 - Evolution des propriétés physiques et physico-chimiques de sol salées de la basse vallée de l'Euphrate (Syrie). Etude et gestion des sols 5(4). pp : 277-
68. TARDAT HENRY M., 1992, Chimie Des Eaux, 2ème Edition. Les éditions du griffon D'Argile, pp 213-215.



70. TARDAT H, 1992. Chimie Des Eaux, 2ème Edition. Les éditions du griffon D'Argile, p 537
71. U.S.S.L., 1954. Diagnostic and improvement of saline and alkali soil, Washington, Richards LA, 160 p.
72. <https://www.cieau.com/quelles-sont-les-ressources-mondiales-en-eau/>
73. Superficie des communes de la wilaya de Ghardaïa sur son site officiel [archive]. Consulté le 27 janvier 2011
74. **Web master 2:**https://fr.wikipedia.org/wiki/El_Guerrara
75. **Web master 1:** https://fr.wikipedia.org/wiki/Dhayet_Bendhahoua
- 76 . **Web master 3:** Oued M'Zab .
- 77 . **Web master 4:** Oued Zegrir

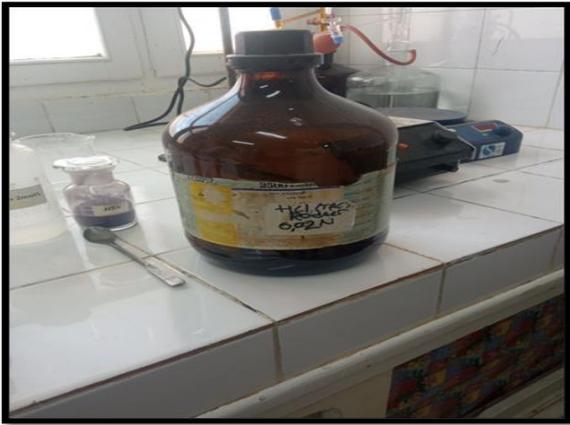
Annexes



Annexe 01

Appareillages Analyses physico-chimique.









Annexe 02

Figure 7 - Coupe lithologique du forage de Daya (ANRH/Ghardaïa)

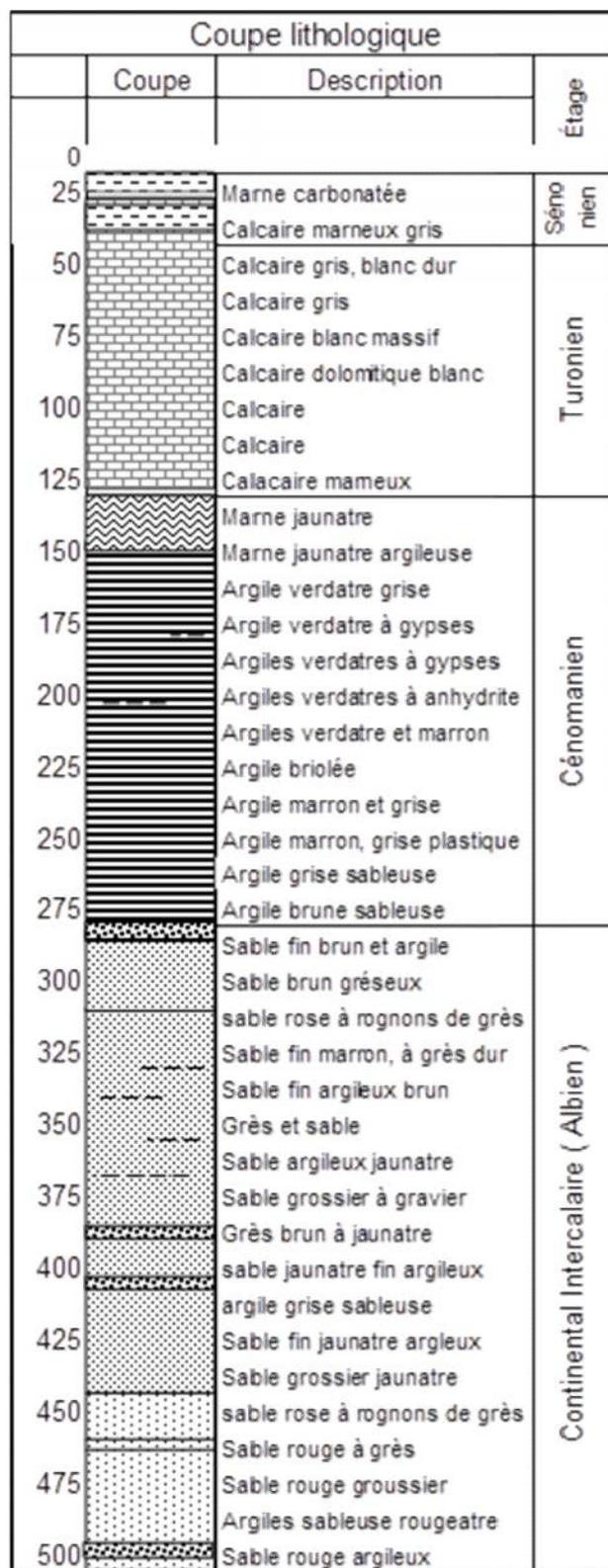
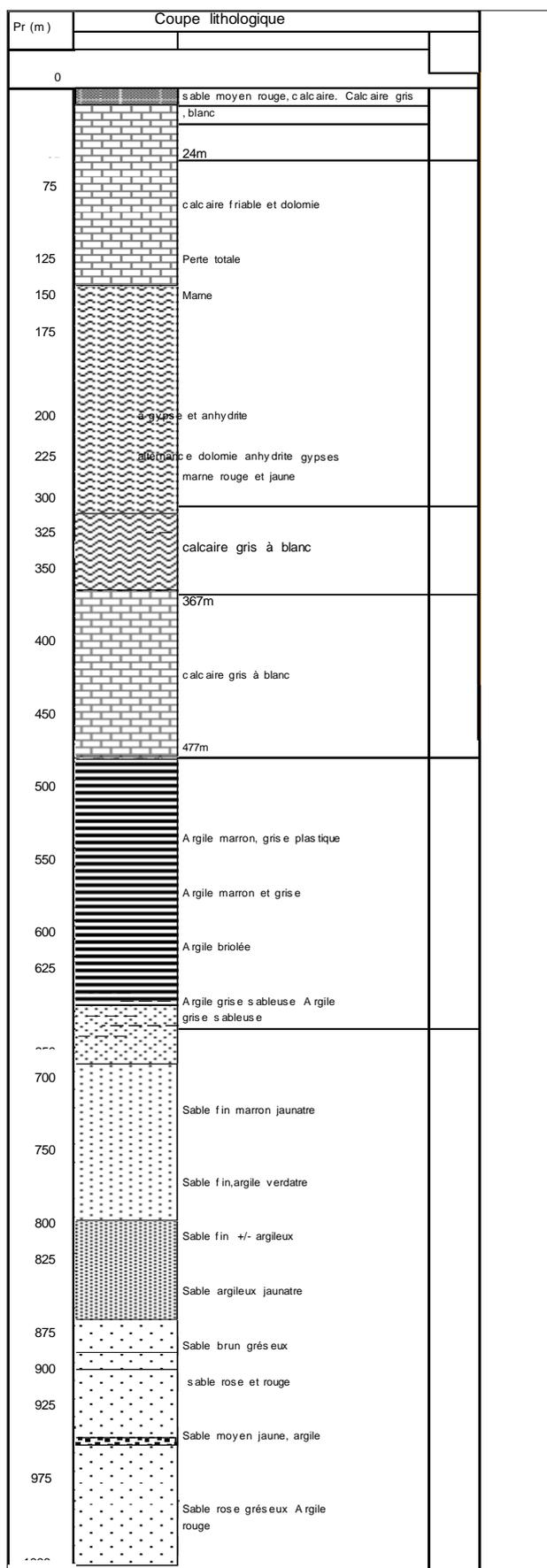




Figure 8 - Coupe lithologique du forage de Foussaa à Guerrara, N-E de Ghardaïa (ANRH/Ghardaïa)



Résumé

Qualité des eaux albiennes destinées à l'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua et Guerrara - Ghardaïa-

Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux des forages utilisées comme l'irrigation au niveau de la vallée de M'Zab (Daya Bendahoua et Guerrara –Ghardaïa-) durant Janvier 2023. Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique des eaux albiennes, afin d'apprécier leur qualité. Les résultats physico-chimiques d'une manière générale montrent que la qualité de ces eaux est bonne à moyenne sur l'ensemble des forages d'eau prospectés et conforme aux normes algériennes pour l'irrigation, excepté certains paramètres dont ces teneurs dépassent les normes tel : magnésium, le sodium et le sulfate. L'eau est la base de la survie de tous les êtres vivants, car c'est un élément vital et nécessaire, il est donc nécessaire de réduire et d'éviter tous les comportements qui peuvent modifier sa qualité et sa qualité.

Mots clés : qualité, forage, physico-chimique, albiennes, M'Zab

Summary

Quality of Albian water intended for irrigation in the commune of Daya Bendahoua and Guerrara-wilaya of Ghardaia

Our work focuses on the study of the physico-chemical quality of borehole water used for irrigation in the M'Zab valley (Daya Bendahoua and Guerrara -Ghardaïa-) during January 2023. Our methodological approach consists of to study the physico-chemical quality of Albian waters, in order to assess their quality. The physico-chemical results generally show that the quality of these waters is good to average on all the prospected water boreholes and complies with Algerian standards for irrigation, except for certain parameters whose contents exceed the standards. such: magnesium, sodium and sulphate. Water is the basis for the survival of all living beings, since it is a vital and necessary element, so it is necessary to reduce and avoid all behaviors that can alter its quality and quality.

Keywords: quality, forage, physico-chemical , M'Zab

مقارنة جودة المياه المعدة للري في منطقتي ضاية بن ضحوة والقرارة

يركز عملنا على دراسة نوعية الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار المستخدمة للري في سهل مزاب (ضاية بن ضحوة و القرارة – غرداية -) خلال شهر جانفي 2023. يتكون منهجنا لدراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار . من أجل تقييم جودتها. تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية بشكل عام أن نوعية هذه المياه جيدة في المتوسط في جميع آبار المياه المتوقعة والمدروسة وتتوافق مع المعايير الجزائرية للري ، باستثناء بعض المعايير التي تتجاوز محتوياتها المعايير مثل: المغنيسيوم والصوديوم والكبريتات . فالماء هو أساس البقاء لجميع الكائنات الحي فهو عنصر حيوي وضروري ، لذلك من الضروري تقليل وتجنب جميع السلوكيات التي يمكن ان تغير من جودته ونوعيته

الكلمات المفتاحية: النوعية ،آبار الارتوازية ، فيزيائية - كيميائية ، مزاب