



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued
Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil
MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Spécialité : conception et diagnostic des systèmes
d'AEP et d'assainissement

Présenté par :

- Saidi Salima.
- Zaoui Riham.

Intitulé :

Étude physicochimique de la qualité des eaux
miopliocènes de la ville d' El Oued

Soutenue le :22/06 /2024

Devant le jury composé de :

Dr. Khezazna Amina	MAB	Président
Dr.Sayeh Lambarek Mohamed	PROFESEEUR	Examineur
Dr. Belabbas Amina	MAB	Encadreur
Dr. Khezazna Amina	MAB	Co- Encadreur

Année académique : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du département des sciences et technologies de l'Université
Hamma Lakhdar - Eloued.

Tout d'abord, louange à Dieu.

Ensuite, nous tenons à exprimer toute notre sincère gratitude à notre estimé superviseur,
le Dr. BELABBAS Amina et KHEZAZNA Amina qui ont effectué la tâche délicate de
superviser ce travail avec sa patience, sa motivation et ses connaissances approfondies. Ses
conseils nous ont aidés tout au long de la recherche et de la rédaction de cette thèse. Nous
n'aurions pas pu imaginer avoir un meilleur superviseur et mentor pour cette étude.

Nos sincères remerciements vont également à Mr. SEGHIERI Mohammed Lamine , qui était
toujours disponible. Nous lui sommes profondément reconnaissantes pour sa lecture très
attentive, ses précieux conseils et l'intérêt qu'il a manifesté pour notre travail. Il a grandement
contribué à l'accomplissement de ce travail.

Dédications

*Bonjour à tous, Mesdames et Messieurs, membres du jury,
J'ai le plaisir de présenter aujourd'hui devant vous mon projet
de fin d'études de master en spécialité [conception et diagnostic
des systèmes d'aep et d'assainissement [2 Master]]. Avant
toute chose,*

*À mon père... Au mur sur lequel je m'appuie dans ma fatigue
et ma tristesse... À l'épaule sur laquelle je pose mes fardeaux et
à la main qui me caresse de temps en temps... À mon cher et
bien-aimé, que J'aime autant que ce monde et plus encore, le
pays auquel j'appartiens et la terre qui me contient... Ils sont
les plus chers à mon cœur et les plus proches de moi....*

*A ma mère... et j'ai hérité dans son cœur comment être un être
humain avant de pousser mon premier cri dans ce monde... pas
seulement parce que tu m'as abrité dans ton ventre chaud : neuf
mois et tu t'es battu contre la mort pour donner ma vie dans le
domaine du travail... mais parce que tu étais pour Jusqu'à ce
moment, tu m'as donné une mère si formidable que j'ai
l'impression que tu es trop pour moi.*

*Et Je remercie tous ceux qui m'ont soutenu, que ce soit de près
ou de loin. Merci à tous.*

RIHAM ZAOUÏ

Dedication

*Au soutien éternel et à la source éternelle, à celle qui donne avant de prendre et donne la priorité
aux autres sur elle-même, à ma mère bien-aimée.*

*À ma forteresse dans les temps difficiles et à mes délices dans les temps de prospérité, à celui
dont le soutien a contribué à mon voyage jusqu'au bout, mon cher père.*

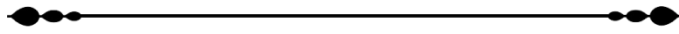
*Aux êtres chers de mon cœur, à ceux sans qui je n'aurais pas accompli ce voyage, mes sœurs et
mon frère.*

*Et enfin, à tous ceux qui ont contribué, même si ce fut un peu, à arriver au terme de ce travail,
je dédie le fruit de mes efforts académiques représentés dans ce mémoire de fin d'études, en
demandant à Allah de le faire sincèrement pour Son noble visage.*

Merci du fond du coeur.

SAIDI SALIMA

Abstract



ملخص

الهدف من هذه العمل هو دراسة الجودة الفيزيائية و الكيميائية للمياه الجوفية لطبقة ميوبلسين وتصنيفها حسب معايير المنظمة الصحة العالمية ومعايير مياه الشرب ومدى ملائمتها لأغراض الري تم اخذ عشرة عينات من عشرة ابار تم اختيارها من الاستخدام اليومي من طرف الجزائرية للمياه ADE وحسب ما اظهرته النتائج نجد ان لمياه ضحلة وغير صالحة للشرب وذلك بتجاوزها معايير منظمة الصحة العالمية OMSمعايير الجزائرية للمياه الشرب وخاصة في الناقلية الكهربائية و العسرة و بقايا الجافة ولاحتوائه ايضا على كميات معتبرة على كل من كلور و صوديوم وكالسيوم وهذا كله بواسطة التمثيلات البيانية (بايبر وشوبلر بيركالوف وستيف) و نعتقد انا مخطط ويلكس رشارد هو الاكثر تفسيراً لنتائج المعطاة وذلك بقدرته اجراء مقارنة وارشفة الرسومات لنتائج التحليل فيما يتعلق بملائمة الري والاحصائيات و بواسطة أيضا خرائط المنشأ ببرنامج Arc Gis فعلى الجهات الوصية اجراء بعض الابحاث لتطوير الجودة الفيزيائية الكيميائية لهذه المياه وجعلها ملائمة للمعايير العالمية قبل صرفها للمستهلك سواء للشرب الري

الكلمات المفتاحية: ميوبوليسين، نوعية المياه، تحاليل فيزيوكيميائية، الوادي.

Abstract

The objective of this study is to examine the physical and chemical quality of groundwater in the Miocene layer and classify it according to the standards of the World Health Organization (WHO) and drinking water standards, as well as its suitability for irrigation purposes. Ten samples were taken from ten wells selected for daily use by the Algerian Water Company (ADE). The results indicate that the shallow water is not suitable for drinking, as it exceeds the standards set by the WHO and Algerian drinking water standards, especially in terms of electrical conductivity, hardness, total dissolved solids, and significant amounts of chlorine, sodium, and calcium. These findings were determined using graphical representations such as Piper, Schuler, Berkloff, and Stiff diagrams. We believe that the Wilcox-Richards plot is the most explanatory for the given results, as it allows for comparison and archiving of analysis results regarding irrigation suitability and statistics. Additionally, ArcGIS software was used to create source maps.

It is the responsibility of the relevant authorities to conduct further research to improve the physical and chemical quality of this water and make it suitable for international standards before it is supplied to consumers for drinking or irrigation purposes.

Keywords: Myopolysin, water quality, physicochemical analyses, El oued

Résumé

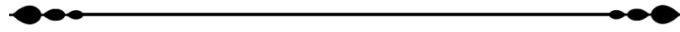
L'objectif de cette étude est d'examiner la qualité physique et chimique des eaux souterraines dans la couche miocène et de les classer selon les normes de l'Organisation

mondiale de la santé (OMS) et les normes de l'eau potable, ainsi que leur aptitude à des fins d'irrigation. Dix échantillons ont été prélevés dans dix puits sélectionnés pour un usage quotidien par la Société algérienne des eaux (ADE). Les résultats indiquent que les eaux peu profondes ne conviennent pas à la consommation, car elles dépassent les normes établies par l'OMS et les normes algériennes de l'eau potable, notamment en termes de conductivité électrique, de dureté, de solides dissous totaux et de quantités importantes de chlore, de sodium et de calcium. Ces résultats ont été obtenus à l'aide de représentations graphiques telles que les diagrammes de Piper, Schuler, Berkloff et Stiff. Nous pensons que le diagramme de Wilcox-Richards est le plus explicatif pour les résultats obtenus, car il permet de comparer et d'archiver les résultats d'analyse concernant l'aptitude à l'irrigation et les statistiques. De plus, le logiciel ArcGIS a été utilisé pour créer des cartes des sources.

Il incombe aux autorités compétentes de mener des recherches supplémentaires afin d'améliorer la qualité physique et chimique de cette eau et de la rendre conforme aux normes internationales avant de la fournir aux consommateurs, que ce soit pour la consommation ou l'irrigation.

Mots clés : Miopolyséne, qualité de l'eau, analyses physico-chimiques, El oued

SOMMAIRE



SOMMAIRE

	Page
<i>Remerciments</i>	-
<i>Dédications</i>	-
<i>Résumé</i>	-
<i>Sommaire</i>	II
<i>Liste des figures</i>	V
<i>Liste des tableaux</i>	VII
<i>Introduction générale</i>	1
Chapitre 1:	
Description géographique et climatologique	
I.1 Introduction	4
I.2.Situation géographique	4
I.3.Topographie d 'El-Oued	5
I.4.Synthèse climatique sur la région	8
I.4.1. Température	8
I.4.2. Précipitations	9
I.4.3 . l'humidité	11
I.4.4. Le vent	12
I.4.5. Evaporation	13
I.5- Conclusion	14
Chapitre 2:	
Contexte géologique et hydrogéologique	
II.1- Introduction	16
II.2.1-Géologie de la cuvette du bas Shara	16
II.2.2-Géologie locale	17
II.2.3. Contexte géologique et hydrogéologique	18
II.2.4- Structure géologique du bassin oriental	20
II.2.5-Tectonique de la région de El-Oued	20
II. 3. Cadre hydrogéologique	21
II. 3. 1. La nappe du Continental Intercalaire	23
II. 3. 2. Alimentation et zones d'exutoire	25
II. 3. 3. La nappe du Complexe Terminal	26

II.3.4 Nappe Phréatique	27
II.4- Conclusion	28
Chapitre 3: HYDROCHIMIE	
III.1.Hydrochimie Des Eaux	30
III.1.1- Introduction	30
III.2- Outil Informatique	30
III.2.1 -Programme Arc GIS	30
III.2.2-Diagrammes	30
III.3.Etude Hydrochimie	32
III.1.3.1.L'échantillonnages	32
III.1.3.2. Analyses Des Eaux	34
III.1.3.2.1. les paramètres physico-chimiques	34
III.1.3.2.2. les paramètres chimiques	35
III.1.3.3. La température	35
III.1.3.4. La Conductivité électrique (CE) en ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	35
III.1.3.5. Potentiel Hydrogène (PH)	36
III.1.3.6. Résidu-sec	37
III.1.3.7. Titre Hydrométrique TH:	37
III.1.3.8. salinité	38
III.1.3.9. Les paramètres chimiques	39
III.1.3.10. la minéralisation	44
III.1.3.11. Balance Ionique(BI)	44
III.1.4.Représentation graphique des faciès hydrochimiques	44
III .2. Analyse statistiques des données physico-chimiques	50
III.2.1.Statistique descriptive	50
III.2.2. Origines du chimisme	51
III.3.Récupération des eaux souterraines à des fins d'irrigation	52
III.3.1. Principe du diagramme	52
III.4.REPRENSETATION GRAPHIQUE DES PARAMETRES HYDROCHIMIQUES DES FORAGES CHOISIS	55
III.4.1. Carte de localisation des forages choisis	55
III. 4.2.Carte de la Conductivité électrique	57

III.4.3.Carte de Résidu Sec	58
III.4.4.Carte du salinité	60
III.4.5.Carte du Titre hydrotimétrique TH	62
III.4.6.Carte du Calcium (Ca ⁺²)	63
III.4.7.Carte du Magnésium (Mg ²⁺)	65
III.4.8.Carte du Sodium (Na ⁺)	66
III.4.9.Carte de Potassium (K ⁺)	68
III.4.10.Carte du Chlorure cl ⁻	69
III.4.11.carte du Sulfates (SO ₄ ⁻)	71
III.4.12.Carte des Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	72
III.4.13.Carte du Nitrate (NO ₃ ⁻)	74
III.5. Discussion des résultats	75
III.6. CONCLUSION	77
CONCLUSION GENERALE	79
References	82

Liste des figures

Titre	Page
Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude	5
Figure N° 02: Carte topographique de la vallée du Souf(DRE d'El-Oued, 2024)	7
Figure N°03 : Répartition moyenne annuelle des températures (2002/2018)	9
Figure N°04: Répartition des moyennes annuelles de précipitation (2002-2018)	10
Figure N°05: Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelle (1993-2018)	11
Figure N°06: Histogramme des vitesses moyennes mensuelles du vent en Km/h (1993-2018)	12
Figure N°07: Histogramme de l'évaporation moyenne mensuelle en mm (1993-2018)	13
Figure N° 08: cartes géologique de l'Algérie d'après l'UNESCO 1990	17
Figure N°09 : Carte géologique locale (d'après la carte dressée par Gouskov)	18
Figure N°10: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO, 1972)	19
Figure N°11: hydrogéologique synthétique du Sahara Septentrional.(Cornet, 1964 et MIMOUNE/ZOUBEIDI 2014)	21
Figure N°12 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)	22
Figure N°13 : Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) OSS	25
Figure N°14: Présentation des formations aquifères du complexe terminal à El Oued	26
Figure N°15:Interface de logiciel Diagrammes	31
Figure N°16: Carte d'inventaire des forages de prélèvement 2024	33
Figure N°17: Vues des Forages de EL-Oued (DRE2023)	34
Figure N°18: Diagramme température de la région de EL-oued (2023).	35
Figure N°19: Diagramme conductivité de la région de EL-oued (2023).	36
Figure N°20: Diagramme Potentiel Hydrogène de la région de EL-oued (2023).	36
Figure N°21: Diagramme Résidu-sec de la région de EL-oued (2023).	37
Figure N°22: Diagramme La Dureté de la région de EL-oued (2023).	38
Figure N°23: Diagramme La Salinité de la région de EL-oued (2023).	38
Figure N°24: Diagramme Calcium de la région de EL-oued (2023).	39
Figure N°25: Diagramme magnésium de la région de EL-oued (2023).	40
Figure N°26: Diagramme Sodium de la région de EL-oued (2023).	40

Figure N°27: Diagramme potassium de la région de EL-oued (2023).	41
Figure N°28: Diagramme Chlorure de la région de EL-oued (2023).	42
Figure N°29: Diagramme Sulfates de la région de EL-oued (2023).	42
Figure N°30: Diagramme Bicarbonates de la région de EL-oued (2023).	43
Figure N°31: Diagramme Nitrates de la région de EL-oued (2023).	44
Figure N°32: Diagramme de Piper du Forages de région EL-Oued	46
Figure N°33: Diagramme de Schöeller Berkaloff du Forges région EL-Oued	47
Figure N°34: Diagramme de Stabler des forages Région EL-Oued 2023.	48
Figure N°35: Diagramme de Riverside: classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R de la région d'Oued Souf,2023	54
Figure N°36: : Diagramme de Wilcox: classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R de la région d'Oued Souf,(2023)	55
Figure N°37: LOCAISATION DES FORAGES DANS LA Région d'étude d' EL-OUED 2024	56
Figure N°38: Cart représentative de taux Conductivité électrique 2023	57
Figure N°39: Cart représentative de taux Résidu Sec 2023	59
Figure N°40: Cart représentative de taux SAL 2023	61
Figure N°41: Cart représentative de taux TH 2023	62
Figure N°42: Cart représentative de taux ca+2 2023	64
Figure N°43: Carte représentative de taux Mg+2 2023	65
Figure N°44:Carte représentative de taux de Na+ 2023	67
Figure N°45:Carte représentative de taux de K+ 2023.	68
Figure N°46:Carte représentative de taux de Cl-2023	70
Figure N°47:Carte représentative de taux de SO4-2023	71
Figure N°48: Carte représentative du taux de HCO3-2023	73
Figure N°49: Carte représentative du taux NO3-2023	74

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau N° 01 : Coordonnées géographiques de la commune d'El Oued	4
<i>Tableau N° 02 : Altitude moyenne des communes d'Oued Souf</i>	6
<i>Tableau N°03 : Coordonnées géographiques de la station météorologique de la région d'El- Oued</i>	8
<i>Tableau N°04 : Coordonnées géographiques de la station météorologique de la région d'El- Oued</i>	8
<i>Le tableau N°05: montre la répartition moyenne annuelle de température durant la période (2002-2018).</i>	10
<i>Tableau N°06 : Vitesses des vents moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf(1993-2018)</i>	12
<i>Tableau N°07: Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en (1993-2018)</i>	13
<i>Tableau N°08 : classification des eaux selon STABLER.</i>	49
<i>Tableau N°09 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).</i>	50
<i>Tableau N°10 : Matrice de corrélation entre les variables:</i>	51
<i>Tableau N°11 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R</i>	53

INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

La seule ressource pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation est l'eau souterraine. La nature chimique de ces eaux, souvent considérées comme de bonne qualité en raison de leur pouvoir épurateur, varie en fonction de divers facteurs tels que la géologie des terrains traversés (concentration, échanges de base, réduction). Le temps nécessaire pour que l'eau entre en contact avec les minéraux, ce qui entraîne une percolation rapide de l'eau dans le sous-sol, le temps nécessaire pour que l'eau de la nappe soit renouvelée par l'eau d'infiltration, les activités humaines (comme l'épandage d'engrais, les rejets d'eaux usées...) et l'activité bactériologique.

En fonction de ces divers éléments, il est possible que les eaux souterraines soient surchargées en certains éléments, ce qui les rend potentiellement inappropriées pour la consommation humaine et/ou l'irrigation de certaines plantes, ainsi que pour l'utilisation industrielle [1].

En ce qui concerne le sol, il est essentiel d'avoir une compréhension des processus hydrogéologiques afin de garantir un suivi constant de la qualité et de la quantité du sol et de permettre une gestion efficace et durable. Toutefois, comprendre ces processus peut parfois être une tâche difficile à réaliser. Afin de résoudre cette problématique, de plus en plus d'études se sont appuyées sur la modélisation informatique, qui s'est avéré un outil précieux lors de la conception de stratégies et de politiques de gestion efficaces pour l'évaluation et la préservation du sol. Malgré cela, les aquifères sont des systèmes complexes et hétérogènes, avec de nombreux paramètres temporels et spatiaux qui varient (décharges, recharges, niveau de stockage, qualité de l'eau, etc.) [2].

Les pays semi-arides, tels qu'Algérie, sont touchés par des pénuries d'eau liées à la détérioration de la composition chimique et de la qualité de l'eau en raison de l'exploitation excessive des ressources en eau. Par exemple, le sol saharien d'Algérie est la deuxième source la plus importante pour l'irrigation, l'industrie et la consommation [3]. L'augmentation de la population, la production agricole et les industries lourdes dans cette région ont conduit à une diminution significative du niveau d'eau de l'aqueduc. L'aquifère du nord-est de l'Algérie est l'un des plus importants de la planète, composé d'un aquifère terminal complexe (CT) et d'un aquifère continental intercalaire (CI) [4].

La production d'eau souterraine dans la zone d'étude (la vallée de Souf) est passée de 600 à 2120 M³/an de 1970 à 2020. L'eau souterraine extraite de l'aquifère CT est utilisée à la

fois pour l'arrosage et l'irrigation, avec une augmentation continue du nombre de puits opérationnels (203 forage d'eau en 2019) [5–6].

Dans cette étude on va entamer aux:

- ❖ Premier chapitre le contexte global de la région d'étude (géographie et hydro climatologie)
- ❖ Au deuxième chapitre, on va présenter le cadre géologique et hydrogéologique de zone de El Oued.
- ❖ Enfin, Un troisième chapitre porte l'hydrochimie et la qualité des eaux de la région d'étude.

Chapitre 1:
*Description géographique et
climatologique*



I.1 Introduction :

La wilaya d'El-Oued est une région aride, fait partie du Sahara Septentrional partagé par la Tunisie, la Libye et l'Algérie. Elle est située au Sud-Est du Sahara Algérien.

La wilaya répartie en deux zones bien distinguées qui sont les suivantes :

- La vallée de Souf ;
- La zone frontalière (Taleb Larbi).

Dans cette Partie, nous mettrons en évidence la localisation géographique et la climatologie de la région d'El-Oued.

I.2.Situation géographique :

La zone d'étude est située dans la wilaya d'El Oued, l'une des principales oasis du Sahara septentrional algérien.

Elle est située au Sud-est de l'Algérie, à une distance de 650 km de la capitale.

Elle est administrativement limitée par les wilayas suivantes :(DRE/2024)

1. Biskra, Khenchela et Tébessa au Nord.
2. Ouargla au Sud et Sud-ouest.
3. La Tunisie à L'Est.

Géographiquement elle est limitée par les coordonnées suivantes :

Tableau N° 01 : Coordonnées géographiques de la commune d'El Oued

Longitudes	X₁ = 5° 30' X₂ = 07°00' EST
Latitudes	Y₁ = 35° 30' Y₂ = 37°00' NORD

Quant à la commune d'El Oued, elle est située au centre de la wilaya de Oued Souf, elle est administrativement limitée par les communes suivantes :

1. Hassani Abdelkrim au Nord.
2. Kouinine Oued El Alenda au Nord-ouest.
3. Bayadha au Sud.
4. Trifaoui à L'Est.

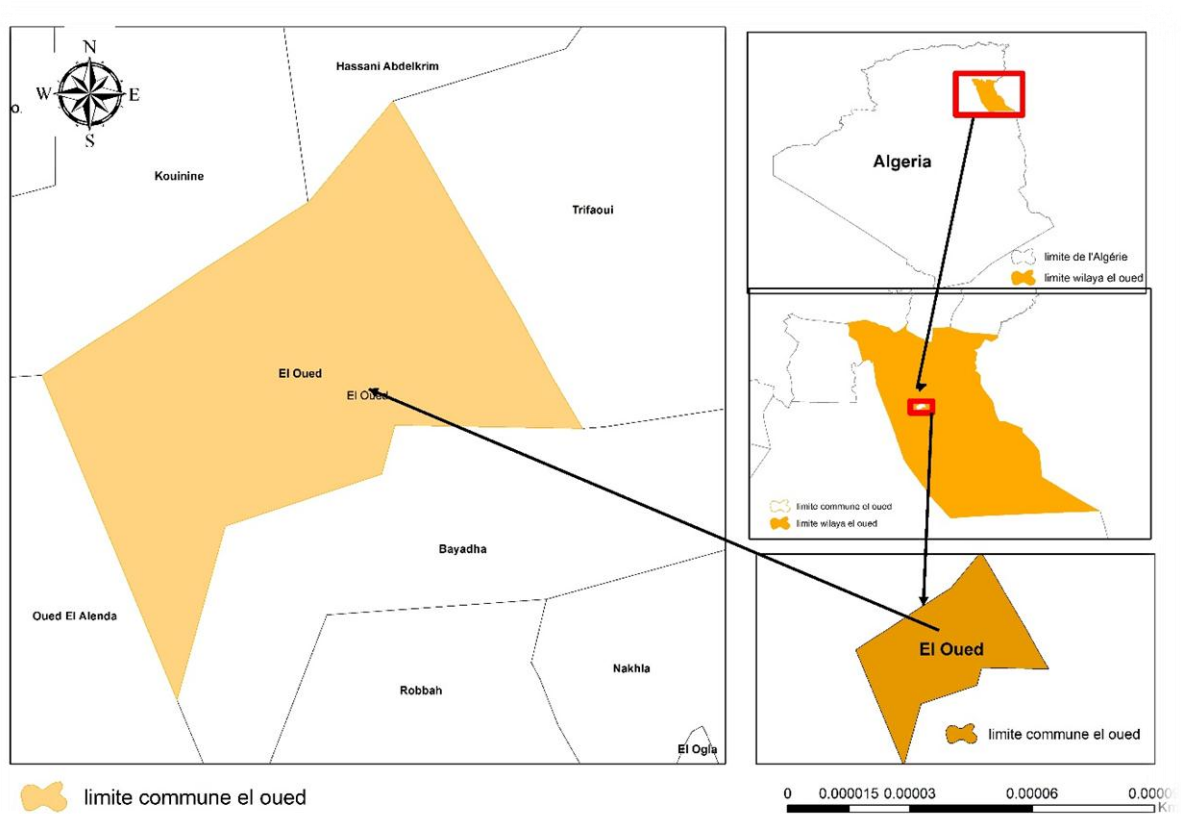


Figure N° 01: Situation géographique de la région d'El-Oued(Khezazna Amina., 2024).

- **Aperçu sur la wilaya D’El – Oued:**

La wilaya d’El-Oued occupe une superficie de 35 752km², divisé en 30 communes avec une population de 757 000 habitants et une densité de 21.17 hab/km² habitants au kilomètre carré. (DBSP2024). [7]

Cette population est répartie à travers 22 communes regroupées dans 10 daïras.

I.3.Topographie d ’El-Oued :

La région d’Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara caractérisée par une faible altitude au Sud-est du pays.(Cornet,1967)

- Le point le plus haut se trouve à la cote 125m dans la commune d’Essoualah,
- Le point le plus bas se trouve à la cote -4 m dans la commune de Réguiba (Foulia), (ANRH, 2024)

L’altitude moyenne de la région est de 61 mètres et marque une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l’immense bassin du bas Sahara.

Tableau N° 02 : Altitude moyenne des communes d'Oued Souf

N°	N° Commune	Altitude Moyenne (m)	N°	N° Commune	Altitude Moyenne (m)
1	Hassi Khalifa	77	10	Sidi Aoun	54
2	El-Ogla	91	11	Trifaoui	81
3	MihOuansa	91	12	Magrane	60
4	El-Oued	77	13	Ourmes	85
5	Robbah	93	14	Kouinine	75
6	Oued Allenda	83	15	Reguiba	57
7	Bayadha	90	16	Taghzout	78.5
8	Nakhla	85	17	Debila	62
9	Guemar	64	18	Hassan Abdelkerim	66

Source : (DRE d'El-Oued, 2024)

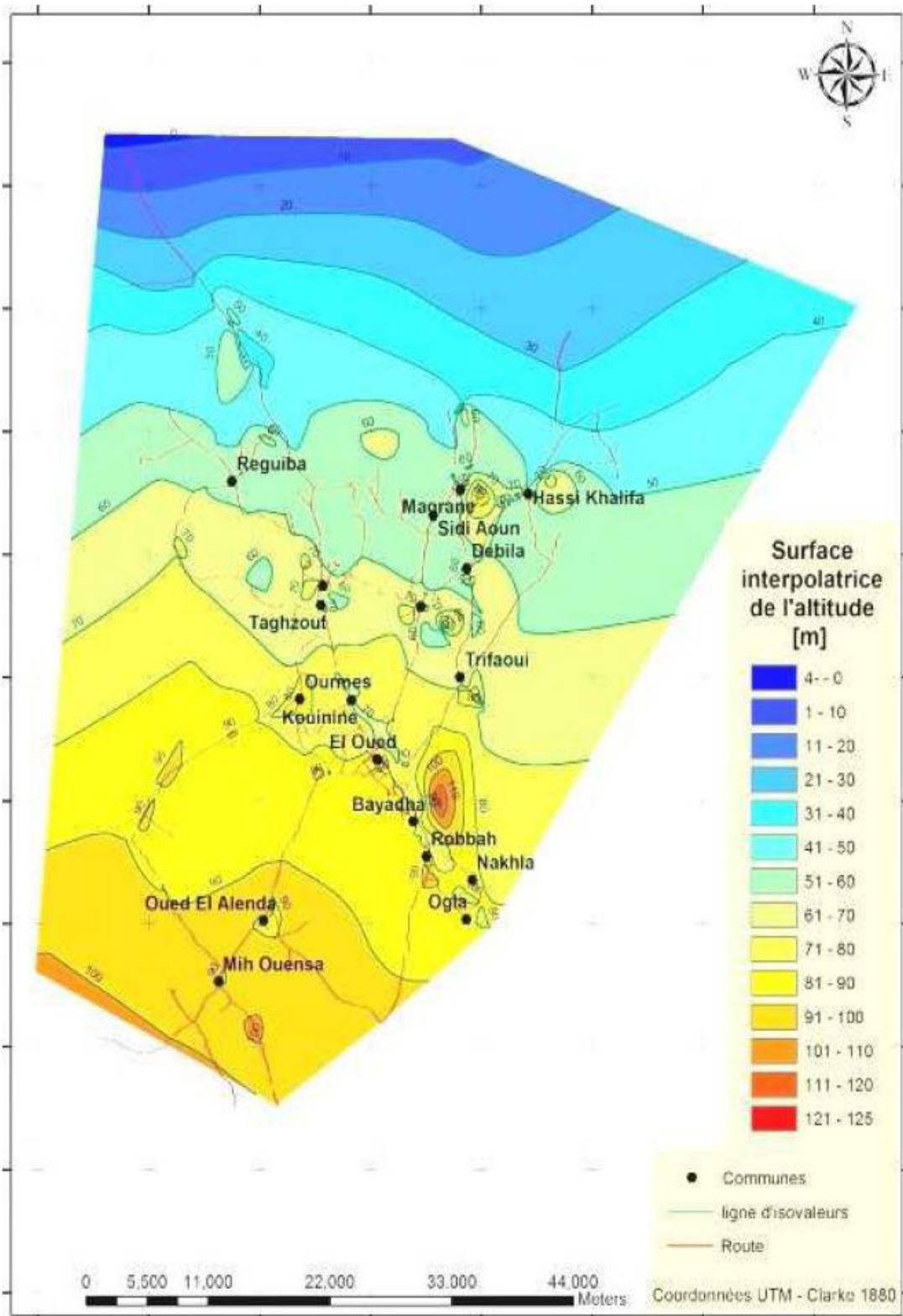


Figure N° 02: Carte topographique de la vallée du Souf (DRE d'El-Oued, 2024)

I.4.Synthèse climatique sur la région:

La région d'El-Oued présente un climat de type saharien, avec un taux de précipitations faible et des températures élevées, une forte évaporation et un manque de rayonnement solaire. [8] Si les stations climatiques ne couvrent pas toute la Wilaya, nous utiliserons la station de Guemar pour caractériser la zone d'étude. La localisation géographique de cette station

Tableau N°03 : Coordonnées géographiques de la station météorologique de la région d'El- Oued

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Guemar	13 04 09	64	06°47'E	33°30'N

I.4.1. Température:

- **Définition:**

C'est une grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid, la température est mesurée avec le thermomètre.

La température atteint parfois 46°C en été, alors qu'elle peut atteindre 5°C et 21°C en hiver.

- **Températures moyennes annuelles :**

Le tableau 4 II-3 montre la répartition moyenne annuelle de température durant la période (2002-2018).

Tableau N°04 : Répartition des moyennes annuelles de température sur la période (2002-2018)

Année	T(C°)	Année	T(C°)
2002/2003	22.75	2010/2011	21.45
2003/2004	23.4	2011/2012	21.2
2004/2005	22.7	2012/2013	22.8
2005/2006	22.4	2013/2014	22.7
2006/2007	22.35	2014/2015	22.8
2007/2008	22.6	2015/2016	23
2008/2009	22.45	2016/2017	22.9
2009/2010	22.0	2017/2018	23.2
Moyenne annuelle		22.45	

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

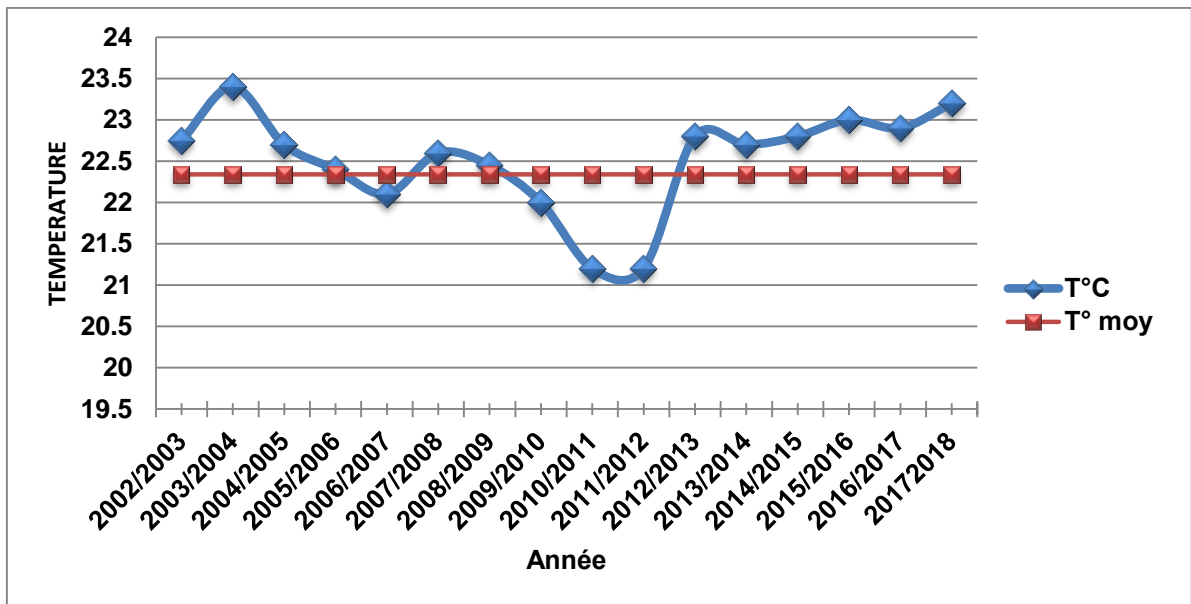


Figure N°03 : Répartition moyenne annuelle des températures (2002/2018)

La figure 03 montre la répartition des températures moyennes annuelles:

- L'année la plus chaude est 2003/2004 avec une température moyenne $T=23.4^{\circ}\text{C}$
- L'année la plus froide est l'année 2011/2012 avec une moyenne de température égale à 21.2°C .

I.4.2. Précipitations:

- **Définition:**

Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à surface du globe. Les différentes formes de la précipitation sont : la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosée, la quantité de la précipitation est mesurée à l'aide d'un pluviomètre.

- **Précipitations moyennes annuelles:**

Le tableau II.5 montre la répartition moyenne annuelle de Précipitations durant la période (2002-2018).

Le tableau 05 montre la répartition moyenne annuelle de Précipitations durant la période (2002-2018).

Année	P(mm)	Année	P(mm)
2002/2003	47.12	2010/2011	102.78
2003/2004	48.91	2011/2012	197
2004/2005	74.44	2012/2013	40.51
2005/2006	97,9	2013/2014	27.2
2006/2007	142.7	2014/2015	21.1
2007/2008	57.94	2015/2016	23.5
2008/2009	68.72	2016/2017	28.4
2009/2010	44.46	2017/2018	43.85
Moyenne annuelle		75.38 mm	

(O.N.M. El - Oued Guemar, 2018)

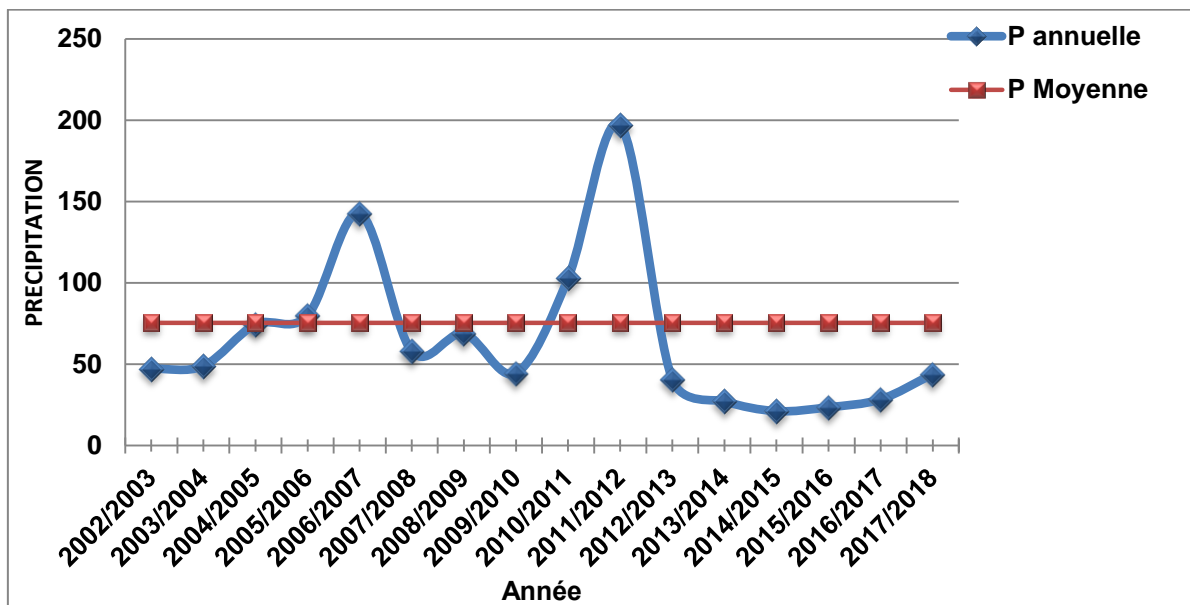


Figure N°04: Répartition des moyennes annuelles de précipitation (2002-2018)

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de l'aéroport de Guemar sur la période allant de 2002 jusqu'à 2018 permet de dire que

- l'année la plus pluvieuse était celle de (2011/2012) avec 197 mm/an
- l'année la plus sèche était celle de (2014/2015) avec 21.1 mm/an

I.4.3 . l'humidité:

L'humidité est un état de climat qui se traduit par le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation. (O.N.M. El-Oued Guemar 2018)

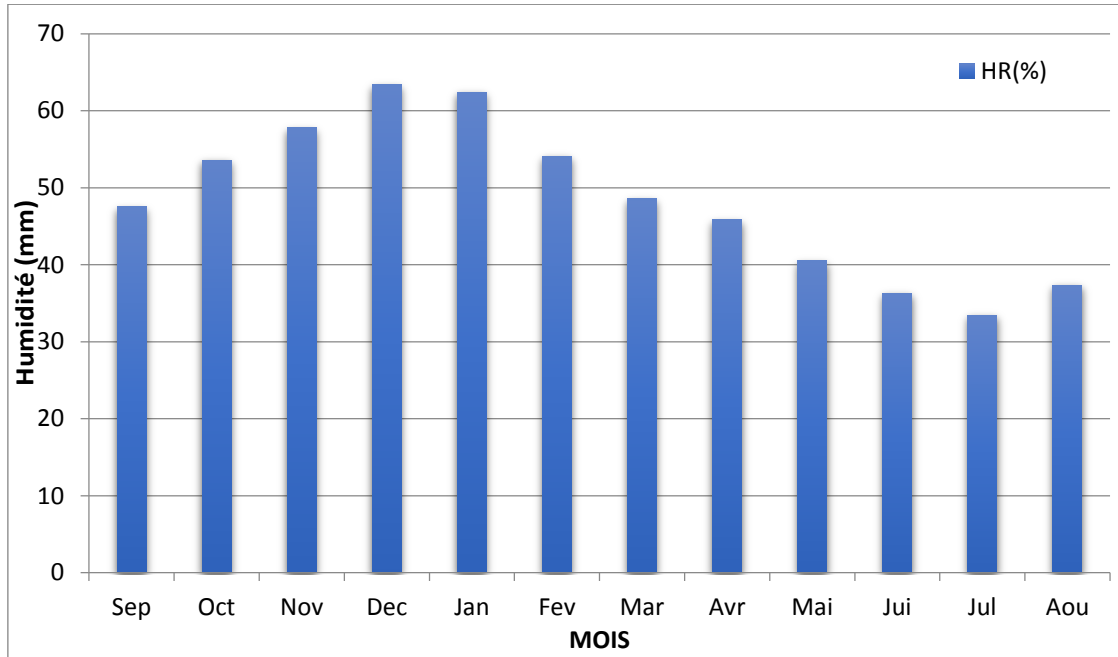


Figure N°05: Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelle (1993-2018)

L'histogramme (Fig N°05) permet de distinguer les mois secs des mois relative ment humides.

- ❖ les mois humides sont Janvier, Février, Octobre, Novembre, Décembre
- ❖ les mois secs caractérisant le reste de l'année.

D'après le tableau (Tableau I.5) on remarque que :

- ❖ un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 33.42 %, c'est la saison d'été.
- ❖ un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 63,42 %, c'est la saison d'hiver.
- ❖ Humidité annuelle de l'ordre de 48,41%

I.4.4. Le vent:

- **Définition:**

C'est le mouvement de l'air entre deux différentes pressions atmosphérique de la haute pression vers la basse pression il est influencé par la température les observations sont effectuées à la station météorologies d'el-Oued

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps.

La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud-Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables.

Tableau N°6: Vitesses des vents moyennes mensuelles de la région d'Oued Souf(1993-2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moy
Vent (Km/h)	17,10	15,44	14,00	15,27	17,27	17,36	18,09	19,64	18,82	18,30	15,60	17,73	17,05

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

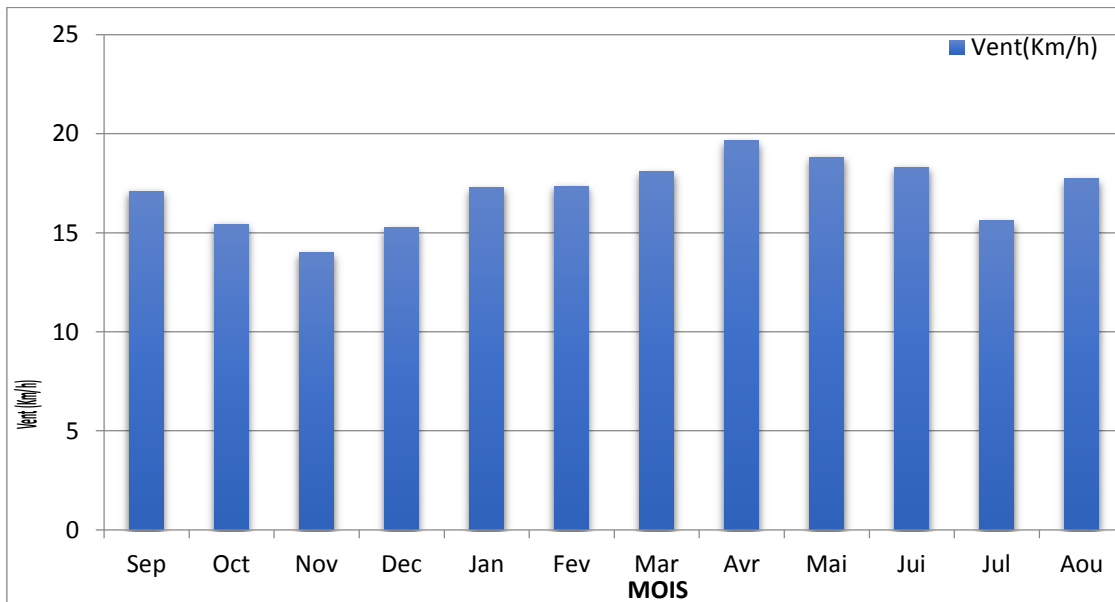


Figure N°06: Histogramme des vitesses moyennes mensuelles du vent en Km/h (1993-2018)

D'après l'histogramme on peut remarquer que la vitesse du vent moyenne varie entre 15,27Km/h enregistrée durant le mois de décembre et 17,73 m/s pour le mois d'avril, Les vitesses du vent moyennes annuelles est 17,05 m/s.

I.4.5. Evaporation:

Le tableau suivant (07) porte les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation période (1994-2018).

L'évaporation la plus élevée se produit en juin, Juillet et Août, et la plus faible en janvier. En moyenne elle est de 47.38 mm par an.

Tableau. N°07: Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en (1993-2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moy
EVAP (mm)	19.98	14.76	9.833	7.865	7,79	9.6	14.72	20.62	25.57	29.92	33.39	30.79	22.485

(O.N.M. El-Oued Guemar, 2018)

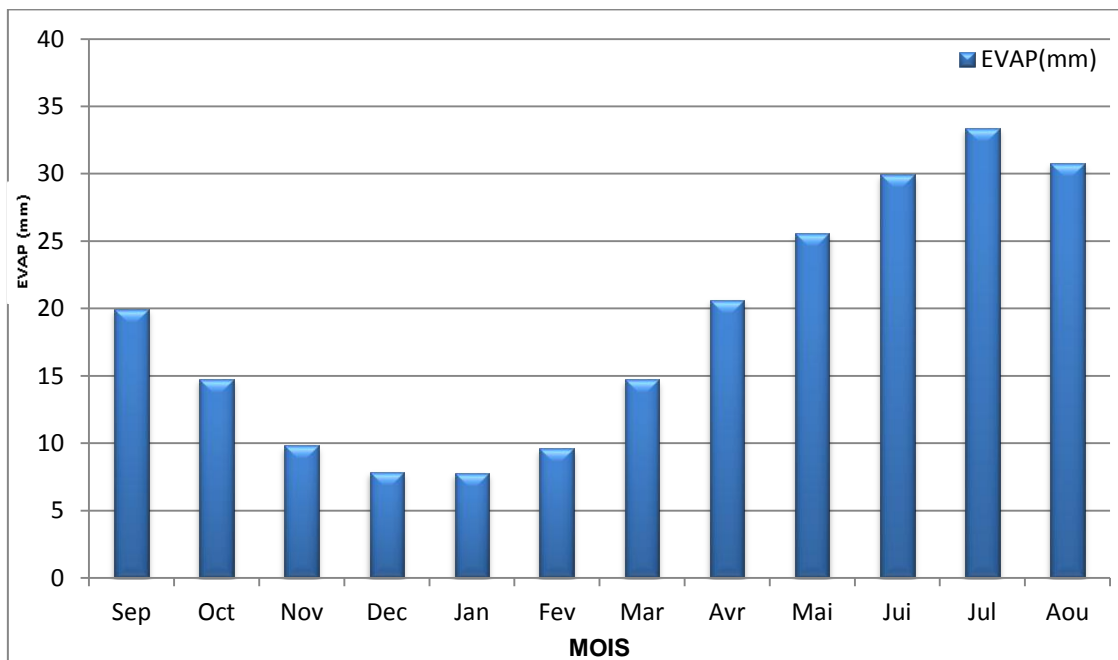


Fig. N°07: Histogramme de l'évaporation moyenne mensuelle en mm (1993-2018)

I.5- Conclusion:

La wilaya d'El-Oued est située au Nord-est du Sahara septentrional, elle occupe une superficie de 35 752 km², avec une population de 757 000 habitants. Quant à la commune d'El Oued, elle est située au centre de la wilaya d'Oued Souf et elle est divisée en six localités.

La région du Souf, qui fait partie du Sahara septentrional et appartenant administrativement à la wilaya de l'Oued Souf, est caractérisée par une activité économique basée principalement sur le commerce et la culture de palmiers dattiers, et dernièrement la pomme de terre.

Ces résultats montrent que les conditions climatiques (infiltration efficace) ne contribuent pas à la recharge de la nappe libre.

Chapitre 2:
Contexte géologique et
hydrogéologique



II.1- Introduction

Les réserves d'eau du Sahara algérien ; Le Continental Intercalaire, Le Complexe Terminal (UNESCO, 1972). Le CI ou albien est un aquifère très étendu qui s'étend sur une superficie de Son eau, qui couvre une superficie de 600000 km², coule directement dans la partie sud de Tinhert et Tadmait, puis se déverse à plus de 1000 m de profondeur dans l'erg oriental : les eaux des eaux de Righ et Souf. Selon Dubost (1986), il est déconseillé d'utiliser l'eau du CI dont la température à la sortie des forages artésiens dépasse les 60 °C pour l'irrigation directe. Le taux de résidu sec est inférieur à 3 g/l, la valeur SAR varie de 4 à 7,1 et la composition chimique est de type sulfato-chlororé. Le CT de petite envergure s'étend sur environ 350 000 km²[09].

II.2.1-Géologie de la cuvette du bas Shara:

Le Bas-Sahara est une grande cuvette circonscrite à l'Ouest par la dorsale du Mzab, au Sud par les hamadas du Tadmait et de Tinhert et à l'Est par .[10]plateaux Le Dahar tunisien.

Le Bas Sahara est donc une cuvette synclinale dont les terres, du Cambrien au Tertiaire, sont la plupart du temps dissimulées par le grand erg oriental. Néanmoins, quelques formations sont constatées sur les bordures. Trois ensembles sont identifiés de bas en haut : Au Sud, on peut observer des terrains paléozoïques, situés entre les plateaux du Tademaït.

Le centre de la cuvette est occupé par des dépôts continentaux datant de la fin du Tertiaire et du Quaternaires, situés aux bordures du Bas Sahara.

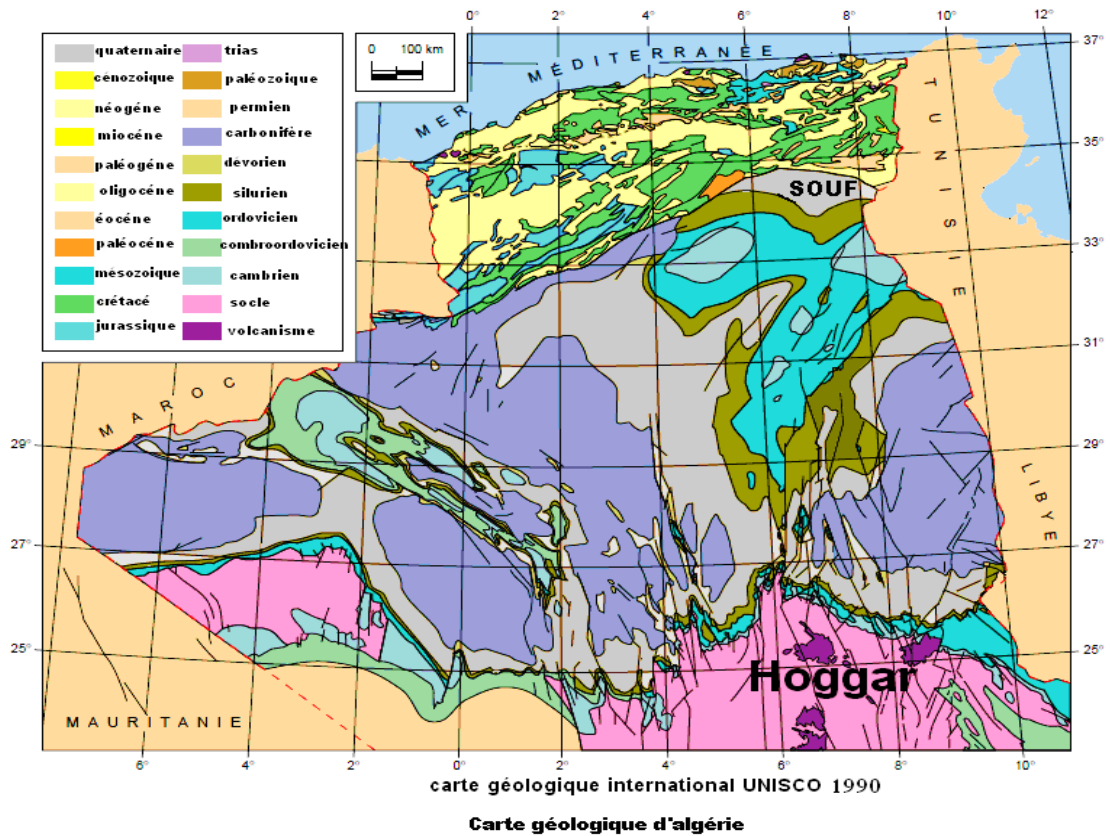


Figure N°08: cartes géologique de l'Algérie d'après l'UNESCO 1990

II.2.2 Géologie locale:

La pente de la zone d'étude, qui est d'origine continentale et d'âge quaternaire, est habituellement orientée Sud-Nord, avec des altitudes variant de 64m à 120m. Nous mentionnons ici la présence d'entonnoirs artificiels creusés par les résidents afin de planter des palmeraies et d'autres plantes.

Les légumes, communément appelés « Ghout ». La région présente un climat de type saharien, avec une température moyenne annuelle d'environ 28,4°C. Les précipitations sont peu abondantes, avec une moyenne annuelle d'environ 70,03mm. [11]

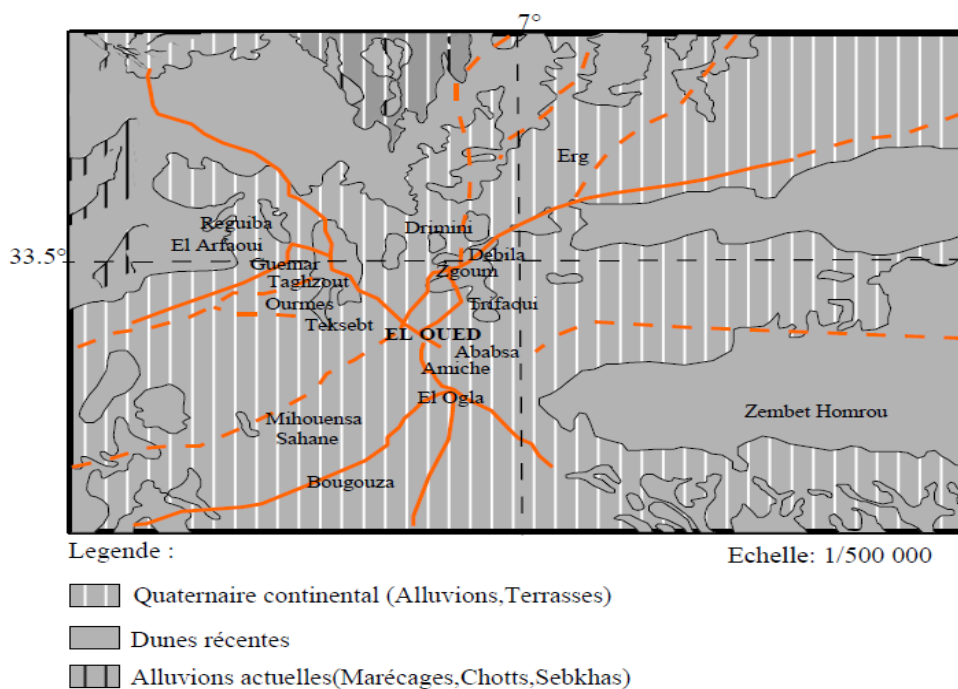


Figure N°09 : Carte géologique locale (d'après la carte dressée par Gouskov) Bensaddik / Aouadi (2014)

II.2.3. Contexte géologique et hydrogéologique:

Les limites inférieures et supérieures d'un épisode sédimentaire d'origine continentale appelé Continental Intercalaire sont les cycles marins du Paléozoïque et du Crétacé Supérieur. Selon l'approche hydrogéologique, le CI est une entité [12].

nappe située, d'Ouest en Est, entre un mur constitué par les horizons imperméables Paléozoïques à Néocomiens et un toit correspondant à la basse argileuse Cénomaniens qui est celle de l'Albien.

L'intercalaire continental est composé de dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux, avec des inclusions d'argile et d'argile sableuse du Crétacé inférieur.

✓ **Substratum:**

Formations de sable, d'argile ou d'argile-carbonate selon la région et l'âge de formation. Du sud au nord, ils sont de plus en plus contemporains. Il s'agit de terres situées au sud et au sud-ouest.

Les carbonates primaires et même certaines régions du Dévonien. Au nord, les bases du Trias, de l'Elias, du Jurassique supérieur et même, à l'échelle locale, du Néocomien [13].

✓ **La couverture:**

cénomanienne argilo-évaporitique représente la limite supérieure sur la plupart des régions. La nappe est donc en charge sauf sur les parties supérieures [14].

Les bords et le bassin occidental. C'est grâce à cette charge considérable que les fuites peuvent se propager en remontant vers le centre grâce aux grandes failles du champ d'Amguid el Abiod. La profondeur de ce toit diffère selon les régions. Le toit de ce réservoir se trouve à plus de 1500 mètres de profondeur par rapport au sol dans le secteur de l'axe de direction Nord-Sud. Le Continental Intercalaire, qui se trouve sous le grand Erg Occidental, n'est plus protégé par les terrains peu perméables du Crétacé Supérieur qui ont subi une érosion, mais est en contact avec les structures du Mio-pliocène

✓ **La puissance du réservoir:**

Plusieurs centaines d'opérations de forage pétrolier et de nombreuses expéditions géophysiques ont permis de déterminer l'épaisseur utile de ce réservoir [15].

parcouru l'ensemble des terrains secondaires. La somme des couches perméables (grès et sables limoneux) dont la fraction sableuse dépasse 50 % est définie comme cette épaisseur. L'épaisseur la plus importante est à l'est du ravin où elle s'élève de 750 m à 1000 m.

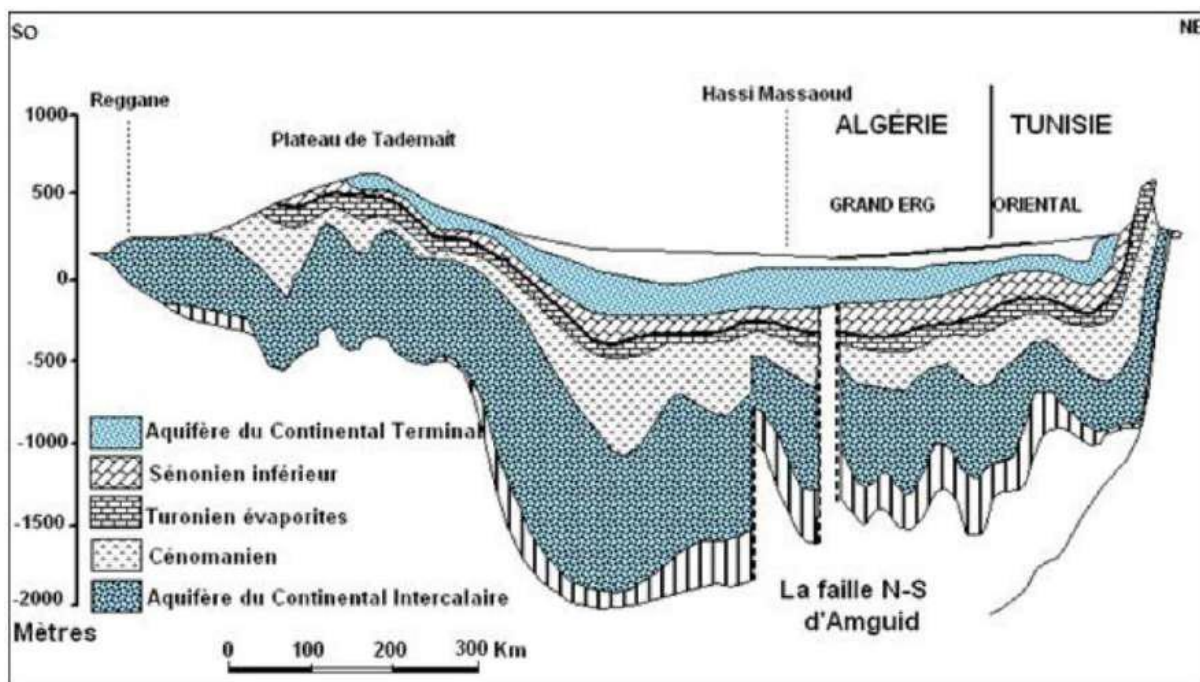


Figure N°10: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO, 1972).

II.2.4- Structure géologique du bassin oriental:

La couverture sédimentaire du bassin oriental du Sahara, datant du Paléozoïque au Récent, est bien plus connue que sa partie occidentale, grâce aux études pétrolières. Il est bordé par la dorsale du M'zab à l'Ouest et par les plateaux du Tadmait et du Sud.

Tinrhert, se plonge vers l'est en Tunisie et en Libye. À la base, on trouve des sédiments Paléozoïques plissés, qui ont été pénétrés par l'orogénèse hercynienne, et qui sont surmontés de sédiments divers (marins et continentaux) du Secondaire et du Tertiaire sur une surface discordante.

Avec une épaisseur d'environ 2000 mètres. Le bassin oriental se présente également comme un vaste synclinal, ouvert vers le Nord. Dans sa moitié Sud, ce synclinal est traversé par un grand axe anticlinal Nord-Sud; siège de plusieurs gisements pétroliers. Il s'agit du sommet d'Amguid-El Biod. Dans les formations du Mio-Pliocène, cet axe n'est plus visible ; il y a même une inversion de relief car l'axe de l'actuel synclinal Mio-Pliocène se superpose à l'ancien haut-fond. [16].

II.2.5- Tectonique de la région de El-Oued:

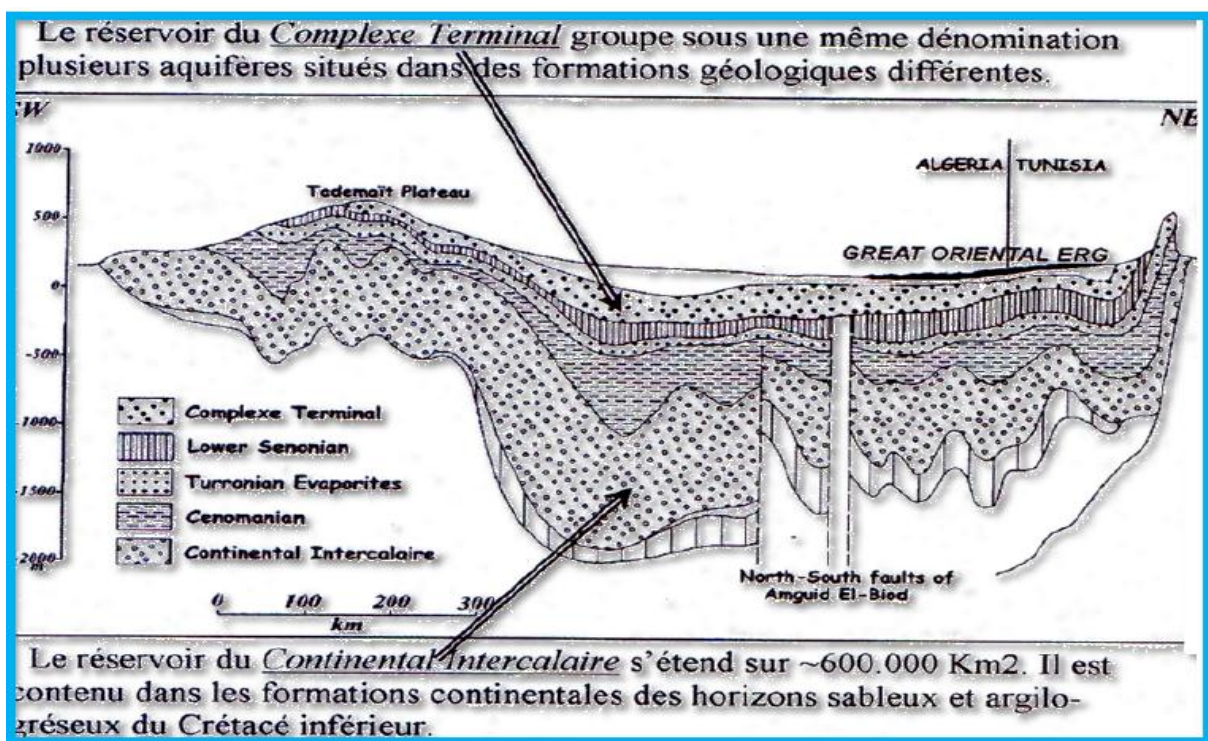
La zone d'étude est incluse dans le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, qui s'étend sur une surface de 780 000 km². Ce bassin, qui est une vaste zone d'épandage, représente une dépression topographique majeure, qui est soutenue par une cuvette structurale comme un synclinal dissymétrique. Au centre de la fosse, on observe de nombreux accidents tectoniques sub-verticaux qui marquent la série sédimentaire. [17]

La plate-forme crétacée est recouverte d'une série sédimentaire lagunaire qui forme un synclinal dont le fond présente un rayon de courbure très étendu. On observe une épaisseur des courbes sédimentaires du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui démontre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Ainsi, pour retracer l'événement paléogéographique du Souf, il est important de souligner que pendant la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'influence de En raison de l'impact de la sédimentation, le centre de la dépression se déplace progressivement vers le Nord tout en créant de nouvelles dépressions, qui sont actuellement situées dans la zone des chotts, où leur formation n'a eu lieu qu'à la fin du Quaternaire.

Grâce à ces caractéristiques, plusieurs formations aquifères ont été développées dans le Souf et dans tout le bas Sahara, avec des comportements hydrodynamiques différents en fonction de leurs caractéristiques.

L'épaisseur moyenne de l'aquifère Quaternaire du Souf est de 40 mètres. Il est composé de nombreuses dépressions, dômes et sillons dans son substratum. Il se trouve au Nord-Ouest de la région de Foulia et à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-Est de la région d'étude. La plate-forme crétacée est constituée d'une série sédimentaire lagunaire.

Un grand synclinal avec un rayon de courbure très élevé au fond (MIMOUNE / ZOUBEIDI 2014 _ KHECHNA /S 2014).



Figur N°11: hydrogéologique synthétique du Sahara Septentrional.(Cornet, 1964 et MIMOUNE/ZOUBEIDI 2014)

II. 3.Cadre hydrogéologique:

Trois aquifères composent le système aquifère d'El-Oued (Figure 11) : un aquifère libre et deux aquifères captifs (le complexe terminal "CT" et le continental intercalaire "CI"). Les formations détritiques d'âge Quaternaire et Miopliocène forment l'aquifère libre.

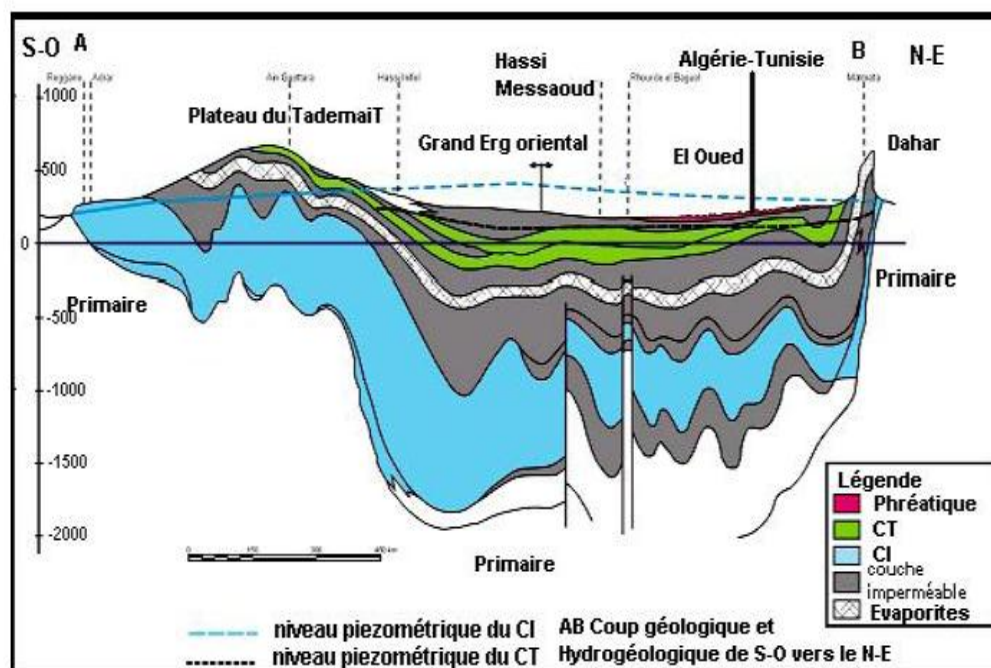
On retrouve différentes substances telles que le sable, le grés, le sable argileux et l'argile sableuse, tandis que le substratum est composé d'argile. Le substratum a une profondeur

variant de 50 à 90 mètres. Le complexe terminal (CT) est constitué de trois (3) horizons aquifères, dont les deux premiers sont des aquifères de sables d'âge Mio-Pliocène, qui sont largement exploités dans la région d'étude. En moyenne, ces aquifères se situent entre 280 et 450 mètres.

Les forages captant cette nappe, situés à une profondeur de mètres, ont un débit allant de 10 l/s à 30 l/s. L'horizon aquifère final est composé de calcaire fissuré, datant de l'Eocène inférieur et du Sénonien carbonaté. Il est peu utilisé dans la région en raison de sa salinité élevée de 8g/l. Il se situe entre 500 m et 800 m de profondeur. Le principal aquifère du Sahara septentrional est le continentale intercalaire (CI). Il est composé de sables et de grés d'âge crétacé plus bas. Cette nappe est renfermée dans un toit, formé d'une couche épaisse d'argiles et de marnes.

Ce réservoir aquifère, dont l'âge est Cénomaniens et dont le mur est composé d'argiles, est très vaste dans son étendue (plus de 600000 km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Le principal atout de ce système aquifère réside dans les importantes quantités d'eau qui ont été conservées pendant les périodes de pluie du quaternaire et qui peuvent être exploitées à présent. La nappe est captée à une profondeur moyenne de 1500 à 2100 mètres, et les forages sont effectués à une profondeur moyenne de 1500 à 2100 mètres.

Le débit de cet aquifère varie de 100 à 150 l/s, la température de l'eau est très élevée, atteignant plus de 60 °C, et le résidu sec varie de 1,8 à 3 g/l respectivement. [18].



FigureN°12: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

II. 3.1. La nappe du Continental Intercalaire:

Le concept de « CT » fait référence aux formations continentales du Crétacé inférieur. Cette période se trouve entre deux cycles sédimentaires caractérisés par une régression marine suivie d'une transgression du Crétacé supérieur. [19]

L'intervalle stratigraphique entre la base du Trias et le sommet de l'Albien est occupé par le Continental Intercalaire, qui est le plus grand aquifère. Sa lithologie est principalement composée de sables et de grès, parfois argileux. Son mur et son toit sont composés d'épaisse couches d'argile qui lui confèrent le caractère captif.

Les formations du Crétacé inférieur (Albien et Barrémien) contiennent le réservoir du Continental Intercalaire.

Il peut atteindre une profondeur de 1600 à 2000 mètres, voire 2220 mètres dans le cas du forage D4 F9 « AGID » situé à Meghaier. On peut atteindre une épaisseur utile de 900 m. La valeur de cette nappe Son volume important se traduit par une extension très importante (600000 km²) et une épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Ce système aquifère présente un grand intérêt en fournissant de très grandes quantités d'eau de qualité supérieure par rapport à la nappe précédente.

Aujourd'hui, cet aquifère est utilisé pour fournir de l'eau potable aux villes et pour irriguer les zones agricoles.

3 forages dans la région du Souf exploitent cette nappe, dont 2 pour l'approvisionnement en eau potable et 1 pour l'irrigation. Le débit de forage est de 200 litres par seconde et 18 forages ont été effectués dans la région de l'Oued R'igh Nord.

✓ **Nappe Mio-pliocène:**

Le Mio-pliocène est une nappe d'âge terminale qui se trouve sous des toits imperméables formés par plusieurs couches réservoirs. Elle est principalement composée de sables peu grossiers, de sables argileux, d'argiles sableuses ou marneuses, de sable et de gravier gypseux, et se trouve à une profondeur allant de 180 m à 400 m. Presque toute la wilaya est couverte par cette nappe du Mio-Pliocène. Elle est divisée en deux nappes supplémentaires séparées par un horizon semi-imperméable qui confère à ce dernier un aquifère de type captif. Le substratum argileux de la nappe sous-jacente correspond à la nappe calcaire de la troisième nappe du complexe terminal[20].

Selon l'inventaire de l'ANRH en 1998, plus de 113 forages exploitent cette nappe, avec des débits allant de 10 (l/s) par pompage aux environs du chef-lieu de la Wilaya à 30 (l/s) artésien à Douar-El-Maâ (frontière tunisienne). À Oued R'igh Nord, cette même nappe est exploitée par 405 forages.

✓ **Nappe du Pontien:**

La nappe du Pontien est une deuxième nappe de sables d'âge Pontien (Éocènes supérieur), qui se trouve entre la première et la nappe des calcaires. Elle est de 400 à 600 mètres de profondeur. Il existe quelques forages qui captent cette dernière dans la région de Hamraia, Reguiba et Hassi Khalifa [21].

Note : Plus de 60 forages exploitent les sables et graviers du Pontien dans la région du Souf.

✓ **Nappe des calcaires (Éocène et Sénonien):**

Il s'agit d'une nappe non sollicitée, car sa structure géologique n'est pas intéressante, elle est constituée de formations calcaireuses de l'éocène inférieur [22].

Son bord supérieur est en contact avec l'éocène moyen composé d'argile lagunaire et son bord inférieur est en contact avec le sénonien lagunaire composé d'évaporites et d'argile. (Éocène moyen à sénonien carbonaté).

Les eaux souterraines sont classées en fonction de deux niveaux durs. Il y a un banc de nature calcaire et un autre composé de calcaires gypseux et poudingues. Au-dessus de ces deux bancs, on trouve des sables grossiers et des graviers siliceux du Pontien [23].

Dans cette région, le niveau hydrostatique de la nappe CT varie de 10 à 60 mètres en fonction des zones. À la fin de l'année 1998, le débit extrait de cette nappe s'élève à 78 Hm³.

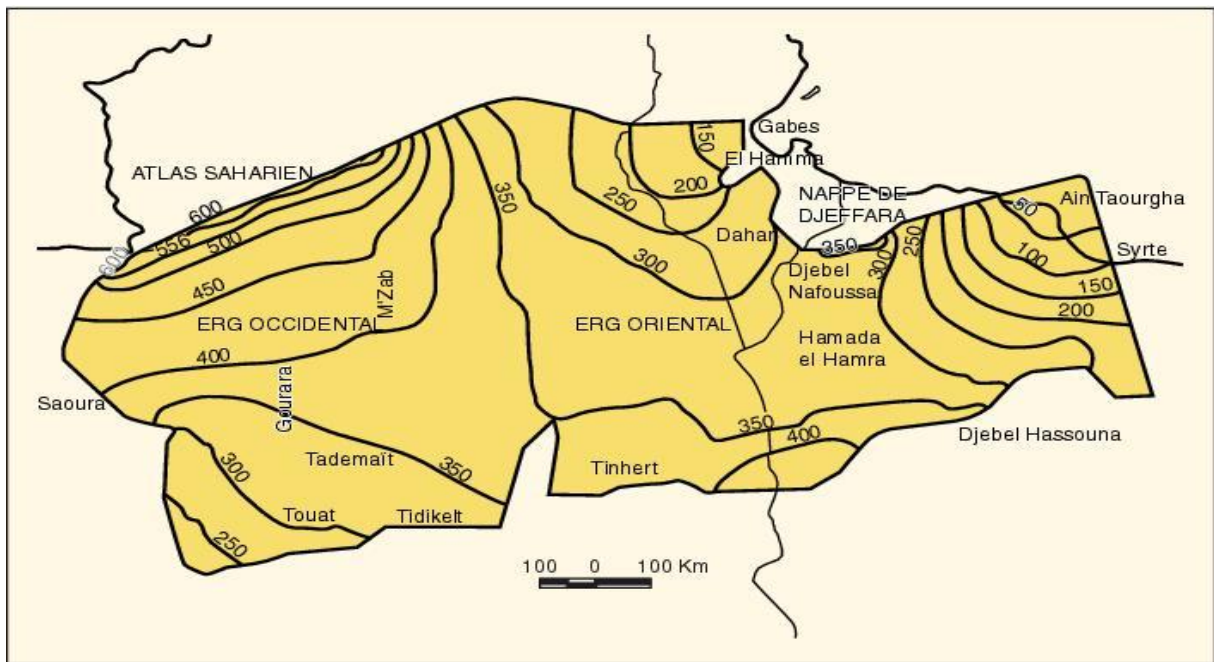


Figure N°13 : Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) OSS

II. 3.2. Alimentation et zones d'exutoire

a) Alimentation:

Les eaux qui se trouvent dans le grand aquifère « Albin » sont issues de l'infiltration pendant les périodes de pluie du Quaternaire. Cet aquifère du Continental Intercalaire (CI) est principalement composé de ressources fossiles (non renouvelables)[24].

Elles reçoivent une alimentation très faible, principalement provenant de :

- L'infiltration directe des piémonts de l'Atlas Saharien et du massif du Dahar (Tunisie), ainsi que des bordures occidentales de la zone du Touat, Gourara (Adrar) et du Sud de Tidikelt (In Salah).
- La contribution provenant des formations de la région Sud-Est de Tinherth (Nord d'Illizi)

b) Exutoires:

Les principaux points d'écoulement naturels sont :

- Au Sud-Ouest : les rives occidentales du Tademaït forment une zone d'écoulement majeure, avec le Saoura et Foggara

- Au Nord-Est, il y a le Golf de Gabes, qui est accessible par des remontées verticales par faille dans la région du Chott Fedjej ;
- La fuite se fait à travers le toit de l'aquifère, en partie par la dorsale d'Amguid el Abiod et en partie par les Chotts[25].

II. 3. 3. La nappe du Complexe Terminal :

Le complexe terminal est un ensemble de nappes aquifères situées dans des formations géologiques variées, allant du Sénonien supérieur (carbonaté) au Mio-Pliocène (détritique). À l'est du bassin, la nappe est présente.

Le territoire du complexe terminal couvre environ 350 000 km², et bordée à l'Ouest par la dorsale du M'zab, au Nord par l'important accident de l'Atlas saharien et à l'Est par le Dahar.

ligne sous l'Erg oriental au nord de l'axe d'In Salah-Zarzaïtine. Selon (D.H.W, 2005), il est important de se rappeler l'existence de trois nappes, dont les deux premières sont les nappes des sables d'âge mio-pliocène et pontien, tandis que la troisième est la nappe des sables d'âge pontien. La nappe calcaire d'âge sénonien à éocène supérieur est la dernière[26].

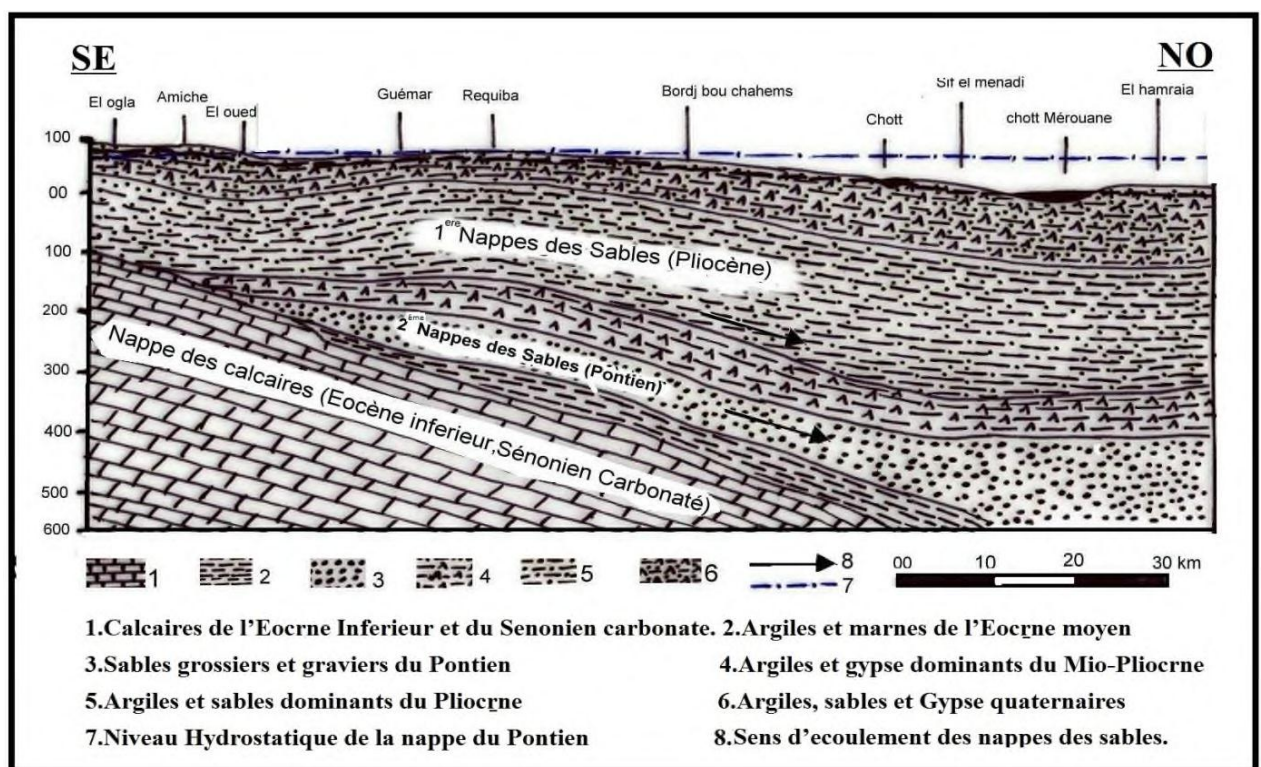


Figure 14: Présentation des formations aquifères du complexe terminal à El Oued.

II.3.4 Nappe Phréatique:

Dans toute la région du Souf, la nappe phréatique est principalement la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire, et elle se trouve à des profondeurs allant de 10 à 60 mètres. En raison de son importance, cette nappe est la principale source d'eau des régions défavorisées. Elle est principalement exploitée par des puits traditionnels, qui sont estimés à 21 000 selon les enquêtes.

Dans cette nappe, les eaux circulent assez rapidement sur toute la région du Souf et surtout dans les zones où l'on trouve des lentilles argileuses qui influencent la perméabilité des sables. La nappe libre est présente sur toute la zone d'étude, à l'exception de la région des Chotts.

Dans la région du Souf, la nappe phréatique est principalement alimentée par les eaux domestiques, d'irrigations, industrielles et domestiques. Les eaux utilisées proviennent principalement des nappes profondes du Complexe Terminale et de la Continentale Intercalaires[27].

II.4- Conclusion:

Selon l'analyse hydrogéologique, il est évident que la région de l'oued Souf possède une réserve d'eau considérable, qui se manifeste sous la forme de trois nappes souterraines:

- La nappe phréatique
- La nappe du complexe terminal (CT).
- L'intercalaire continentale (CI).

Les conditions tectoniques et paléogéographiques du Souf ont favorisé la formation d'une série sédimentaire à lithologie évolutive, régulière et homogène dans l'espace. Grâce à ces caractéristiques, plusieurs formations aquifères ont été formées dans le Souf et dans tout le bas Sahara, avec un comportement hydrodynamique différent selon leur forme.

L'aquifère détritique de la nappe phréatique est formé dans le Souf par les formations du quaternaire récent. Il est principalement composé de sable à gréseux, avec parfois du gypse et des argiles, principalement dans la partie Nord-Est de la région, où il se termine par une croûte gypseuse.

- Le substratum est d'un matériau argileux imperméable, parfois très peu sableux à son sommet, ou alors entièrement gypsifère.
- L'épaisseur moyenne de l'aquifère Quaternaire du Souf est de 40 mètres.
- Elle est composée de nombreuses dépressions, dômes et sillons dans son substratum.

Chapitre 3:
HYDROCHIMIE



III.1.Hydrochimie Des Eaux

III.1.1. Introduction:

Notre approche de travail implique la création de cartes de contour et l'analyse des données provenant des coupes géologiques de l'aquifère du Mio-Pliocène de la région de El-Oued, en utilisant des logiciels spécialisés, dans le but d'obtenir le maximum d'informations sur la qualité de l'eau.

Entre le 03 et le 23 JANVIER 2023, une campagne d'échantillonnage a été mise en place en partenariat avec Algérienne Des Eaux Wilaya d'EL-Oued Souf la (ADE). d'Oued Souf et . 10 prélèvements ont été effectués.

III.2. Outil informatique :

III.2 .1.Programme Arc GIS:

Arc GIS est un outil intégré qui facilite la collecte, l'organisation, la gestion, l'analyse, la communication et la diffusion d'informations géographiques. Arc GIS est la plateforme mondiale de développement et d'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) qui permet à des utilisateurs du monde entier d'utiliser les connaissances géographiques pour le gouvernement, les entreprises, la science, l'éducation et les médias.

Arc GIS facilite la diffusion des données géographiques de manière à ce qu'elles puissent être consultées et exploitées par n'importe qui. Le système est accessible à n'importe quel endroit grâce à des navigateurs Web, des appareils mobiles comme des smartphones et des ordinateurs PC. [27].

III.2.2- Diagrammes :

a. Présentation de logiciel diagrammes :

Afin de mieux comprendre les différentes formes hydrochimiques et obtenir une représentation graphique des résultats d'analyses, la représentation graphique des résultats d'analyses est un outil indispensable. À cet effet, nous avons utilisé le diagramme de PIPER et STABLER en plus de celui de SHOELLER – BERKALOFF. Ces diagrammes ont été réalisés à l'aide du logiciel Diagrammes, développé par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

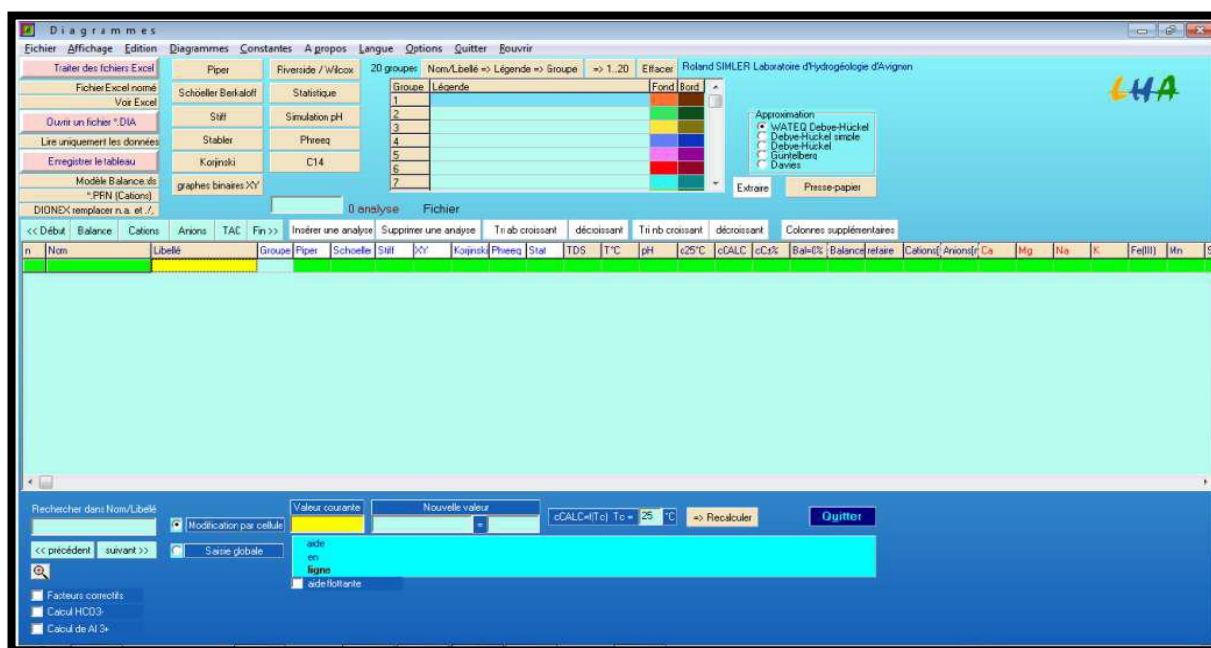


Figure N° 15: Interface de logiciel Diagrammes

b. Le diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper utilise les principaux éléments pour illustrer les diverses formes des eaux souterraines. Il permet également de visualiser l'évolution de l'eau en passant d'une forme à une autre en analysant des échantillons à différents endroits [28].

c. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF:

Selon H. SCHOELLER en 1932 et BERKALOFF en 1952, le diagramme est constitué de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions étudiés dans l'eau.

En reliant tous les points représentant les différents éléments chimiques, on obtient une ligne. Une famille de lignes brisées parallèles entre elles sera formée par une classe de minéralité variable dont la proportion est la même pour l'élément dissous. Quand les lignes se rencontrent, on observe un changement de morphologie chimique [29].

d. Diagramme de Stabler :

C'est un diagramme qui représente les concentration de cation et d'anion en réduisant l'onde de droite à gauche ou de haut en bas .

III.3.Etude Hydrochimique :

La compréhension de l'évolution du chimisme des eaux souterraines à la région EL-Oued à travers l'étude hydrochimique des eaux souterraines. Les différents échanges entre l'eau dans le système aquifère sont responsables des phénomènes qui se produisent.

L'objectif de l'étude physico-chimiques était de comprendre la diversité des classifications des eaux souterraines en fonction de l'alimentation en eau potable et de comparer les résultats aux normes de potabilité OMS de l'étude physico-chimiques de savoir:

- les facteurs qui influencent la variation physico-chimique des eaux.
- les composants physico-chimiques des eaux.

III.1.3.1.L'échantillonnages:

Des prélèvements de (10) échantillons d'eau de la nappe des sables du Mio-Pliocène ont été prélevé par ADE (2023), couvrant le long de notre zone d'étude, leurs emplacement sont indiqués sur la carte ci-dessous (Figure .17)

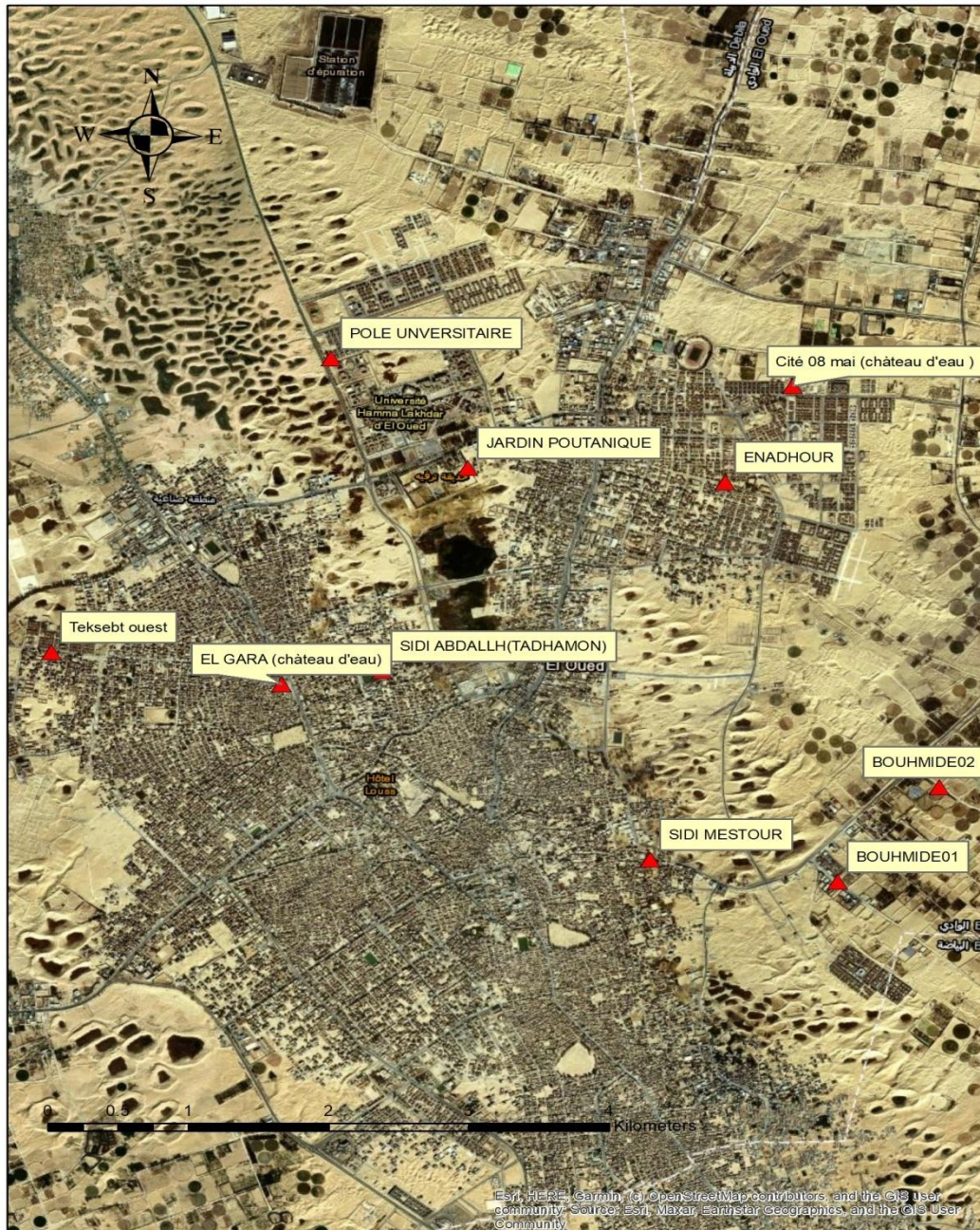


Figure N°16 : Carte d'inventaire des forages de prélèvement 2024



Figure N°17 : Vues des Forages de EL-Oued(DRE2023)

III.1.3.2. Analyses Des Eaux:

Les analyses chimiques effectuées aux échantillons concernant :

III.1.3.2.1.les paramètres physico-chimiques :

- La température .
- Potentiel d'Hydrogène (PH).
- la Conductivité Électrique (CE).
- Résidu du Sec .
- Titre Hydrométrique (TH).
- salinité des eaux souterraine.

III.1.3.2.les paramètres chimiques :

Cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Anions: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- .

III.1.3.3.La température :

La température a un impact considérable sur la circulation des sels et des gaz, ainsi que sur la conductivité électrique. Elle permet de distinguer les eaux qui circulent en profondeur et les éventuels mélanges entre les eaux. La température des formations augmente en même temps que la profondeur. En augmentant la profondeur de 35 mètres, la température augmente de 1°C . Au-delà de 2000 mètres de profondeur, la température de l'eau peut atteindre 65°C . L'eau potable devrait être à une température inférieure à la température de l'air en été et supérieure à la température de l'air en hiver. Une eau est stable à une température spécifique. Toute altération de cette température entraînera des changements dans sa structure. .[30].

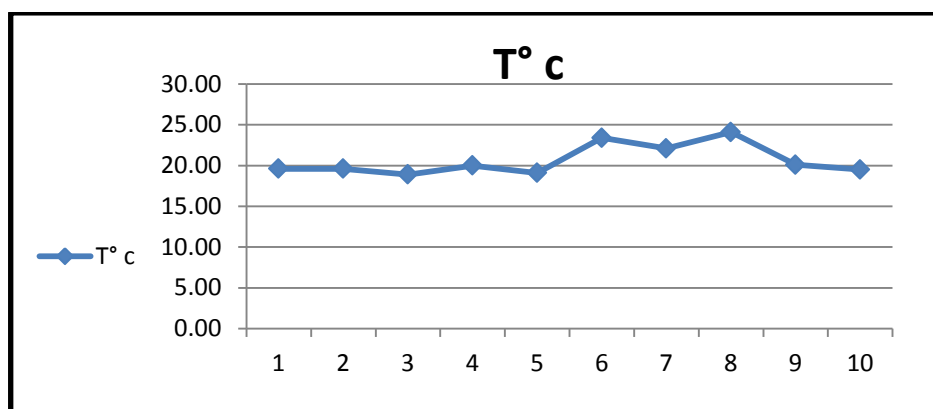


Figure N°18: Diagramme température de la région de EL-oued (2023).

La profondeur de l'eau sous le sol a un impact considérable sur les températures de l'eau de la nappe libre. La température oscille entre $18,9^\circ\text{C}$ au puits ENADHOUR situé en bordure et $24,1^\circ\text{C}$ au puits POLE UNIVERSITAIRE situé au centre. Elles respectent presque la norme algérienne pour l'eau potable (à une température de 25°C).

III.1.3.4. La Conductivité électrique (CE) en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :

La conductivité électrique est une méthode efficace pour évaluer la salinité et évaluer les risques pour les cultures. En raison de l'excès de salinité, les plantes perdent leur capacité à absorber l'eau et les nutriments du sol), [31]

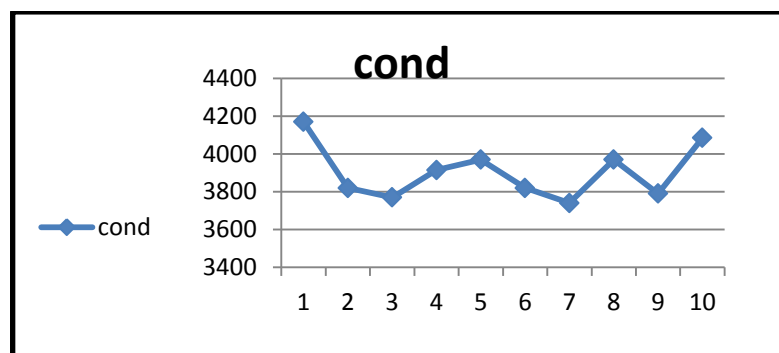


Figure N°19: Diagramme conductivité de la région de EL-oued (2023).

La conductivité énergétique varie de 3770 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 4170 $\mu\text{s}/\text{cm}$, avec un minimum enregistré au ENADHOUR et un maximum enregistré à Teksebt ouest. La conductivité électrique des eaux souterraines fluctue en fonction de la nature géologique du substrat traversé. La région moyenne présente une conductivité élevée en raison de l'augmentation de la concentration en sels dissous et du résidu sec. La valeur dépassé les normes OMS (2800 mg/l).

III.1.3.5. Potentiel Hydrogène (PH):

La concentration en ions H^+ est mesurée par le pH (potentiel Hydrogène). La présence d'acidité dans l'eau ne pose aucun souci pour la santé des consommateurs. Toutefois, la distribution d'eau acide par le réseau de canalisations peut représenter un danger indirect pour la santé des consommateurs mal informés ou imprudents. Les normes de qualité de l'eau potable locales et internationales préconisent un pH de 6,5 à 8,5. Il est un indicateur significatif de l'agressivité de l'eau (capacité à dissoudre le calcaire).). [Journal... 1993; WHO 1994]. [32].

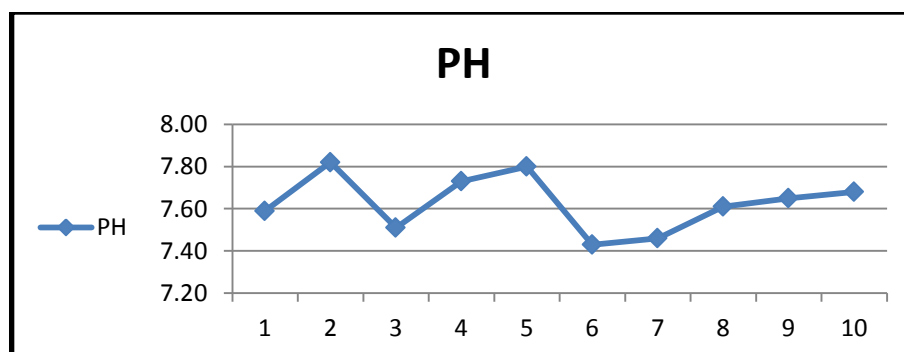


Figure N°20: Diagramme Potentiel Hydrogène de la région de EL-oued (2023).

Selon les analyses réalisées sur les échantillons d'eau prélevés, on a observé une teneur minimale de pH de 7,43 au forage BOUHMIDE 02, tandis que la teneur maximale est

enregistrée au forage SIDI MESTOUR, avec $\text{pH} = 7.82$ ce qui témoigne d'une nature basique des eaux de la région..Les valeurs n'ont pas dépassé les normes OMS (6.5-8.5).

III.1.3.6. Résidu-sec :

La quantité de sels en grammes après évaporation d'un litre d'eau minérale à 180°C est appelée résidu sec à 180°C . Il permet d'établir :

- L'eau avec une teneur élevée en minéraux (résidu sec supérieur à 1500 mg/l),
- L'eau avec une teneur moyenne en minéraux (résidu sec compris entre 500 mg/l et 1500 mg/l).
- l'eau avec un taux de minéraux faible (résidu sec compris entre 50 mg/l et 500 mg/l),
- et l'eau à très faible contenu en minéraux (résidu sec < 50 mg/l).[33]

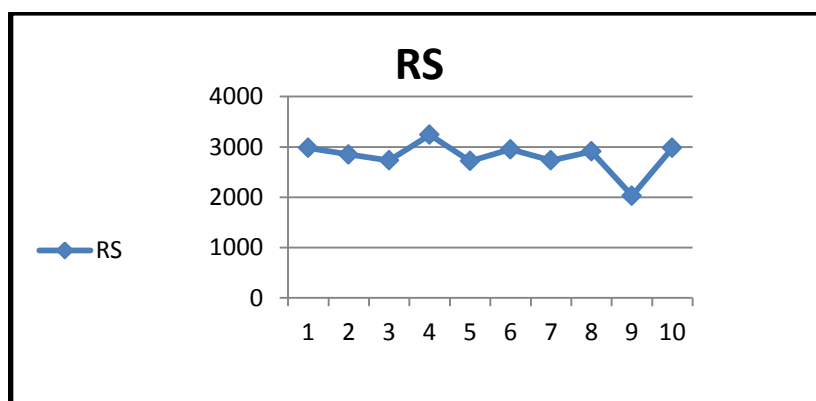


Figure N°21: Diagramme Résidu-sec de la région de EL-oued (2023).

Les analyses ont révélé que les eaux de la région ont un niveau de salinité de (2030mg/l) comme minimum enregistré au JARDIN POUTANIQUE et un niveau de salinité de (3240mg/l) comme maximum enregistré au CITE 08 MAI (château d'eau), ce qui dépasse les normes algériennes (500 à 2000). Ainsi, la qualité des eaux de la région en ce qui concerne le résidu-sec est médiocre, selon tous les points prélevés.par tous les points prélevés. La valeur dépassé les norme OMS (2000 mg/l).

III.1.3.7. Titre Hydrométrique TH:

La dureté totale de l'eau, également connue sous le nom de titre hydrotimétrique (TH), est un indicateur de la minéralisation de l'eau. C'est principalement dû aux ions calcium et magnésium.[34] les normes algériennes (50 F°) les normes de potabilité des eaux établies par (OMS1972) qui fixe une valeur de 54 °F .

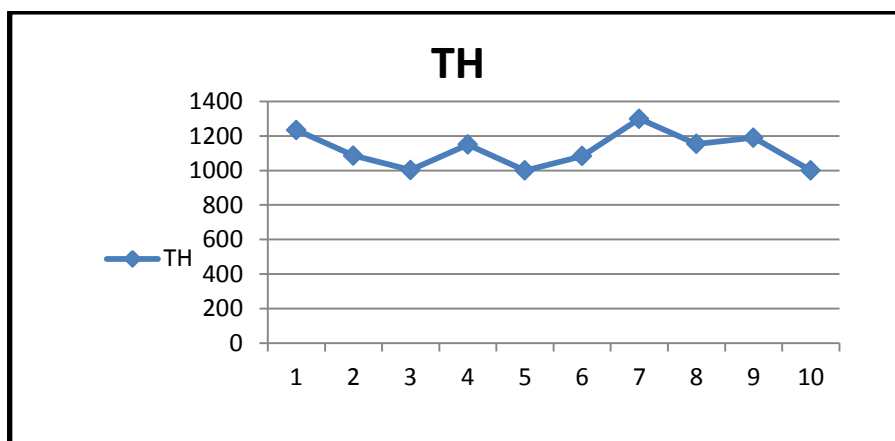


Figure N°22: Diagramme La Dureté de la région de EL-oued (2023).

La dureté des eaux dans la région d'étude varie entre EL GARA (château d'eau) avec une teneur de 1000 mg/l et SIDI ABDALLH (TADHAMON) avec une teneur de 1300 mg/l, ces teneurs indiquent que les eaux très dures sont supérieures à 500 (mg/l). dépassent les normes algériennes (50 F°) et les normes de potabilité des eaux établies par (OMS,1972) qui fixe une valeur de 54 °F .

III.1.3.8.Salinité:

La minéralisation totale de l'eau est représentée par la totalité des sels dissous et des matières organiques (MO) présents dans l'eau après évaporation à 110°C. Elle est exprimée en mg/l ou en mg/l.

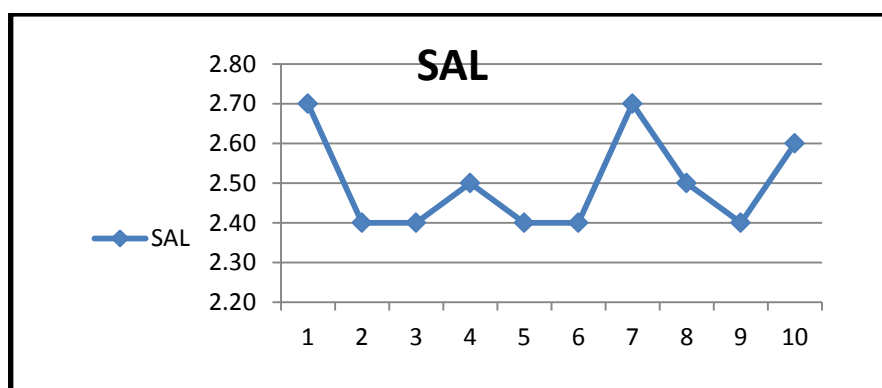


Figure N°23: Diagramme La Salinité de la région de EL-oued (2023).

Après avoir examiné le taux de salinité de l'eau des puits, nous avons constaté que la valeur la plus faible était de 2,4 mg/l dans les puits SIDI MESTOUR et ENADHOUR, tandis que la valeur la plus élevée était de 2,7 mg/l dans le puits Teksebt ouest.

III.1.3.9. Les paramètres chimiques :

a) Calcium Ca^{2+} :

Le calcium Ca^{2+} est un composé naturel qui est très réactif. Il joue un rôle important dans la dureté totale de l'eau. Son origine réside dans la dissolution des roches carbonatées par le gaz carbonique qui s'est introduit à travers ces roches. De 100 à 140 mg/l de calcium sont présents dans les eaux potables de bonne qualité, tandis que les eaux qui dépassent 200 mg de calcium présentent de nombreux désavantages pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières. (l'installation de chauffage). (Rodier, 1984). [35] formations :

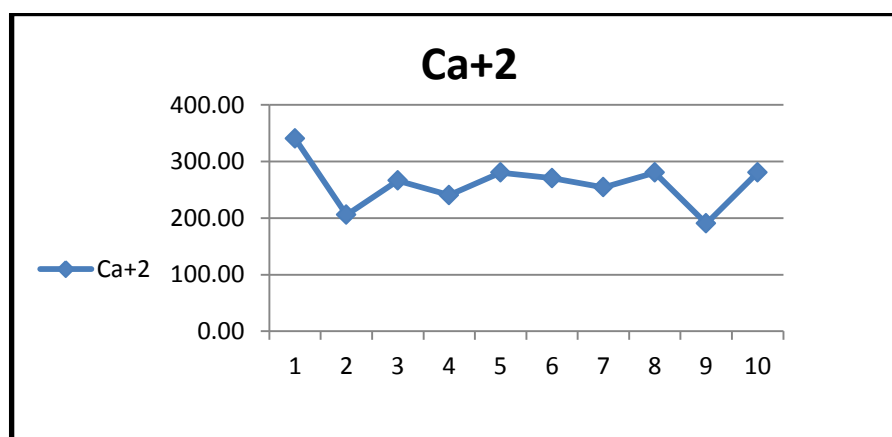
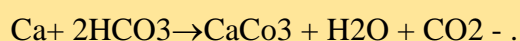


Figure N°24: Diagramme Calcium de la région de EL-oued (2023).

La teneur maximale en calcium de **Teksebt ouest** est de 340.59 mg/l pour les eaux Moï pliocènes, tandis que la teneur minimale en calcium de **JARDIN POUTANIQUE** est de 190.5 mg/l. On peut observer que ces concentrations sont très élevées. La valeur est supérieure aux normes de l'OMS (200 mg/l).

b) Le magnésium Mg^{2+} :

Le magnésium joue un rôle crucial dans la résistance de l'eau et est largement présent dans la nature, dans de nombreux minéraux et dans les calcaires (contenant 2,1 % de l'écorce terrestre). Leurs concentrations dans l'eau peuvent être élevées en raison de leur abondance géologique, de leur solubilité élevée et de leur utilisation industrielle (allant de quelques mg/L à plusieurs centaines de mg/L). (Labioud Kotbia, 2010). [36].

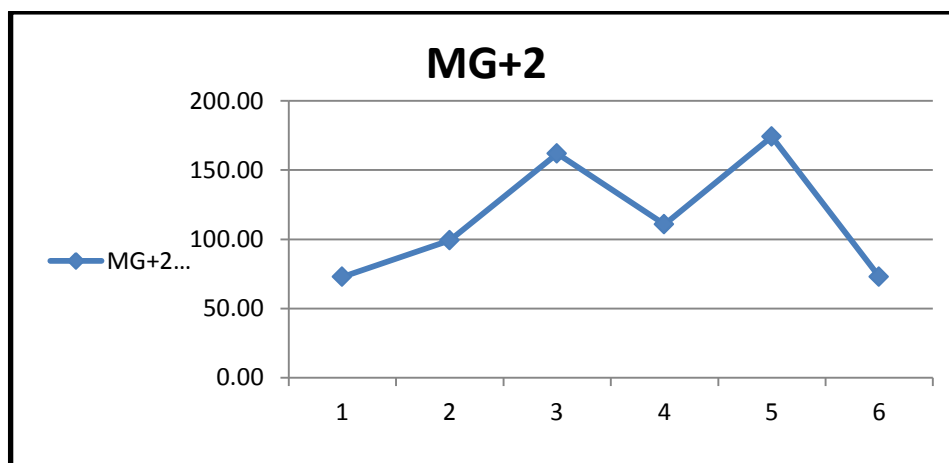


Figure N°25: Diagramme magnésium de la région de EL-oued (2023).

Selon les mesures réalisées sur les échantillons d'eau, on a constaté une teneur minimale de magnésium de 72,91 mg/l au forage BOUHMIDE 01, tandis que la teneur maximale a été enregistrée au forage JARDIN POUTANIQUE avec 174,25 mg/l environ. La valeur est supérieure aux normes de l'OMS (150 mg/l).

c) Sodium Na+ :

On retrouve une grande quantité de cation sodium (Na+) sur la terre, qu'il soit présent dans les roches cristallines ou dans les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). Le sel de cuisine est composé de la roche Halite (évaporite Na Cl). Il se dissout facilement dans l'eau. (Gouaidia, 2008) [37] Afin de prendre en compte des critères gustatifs, l'OMS préconise une limite de 200 mg/l.

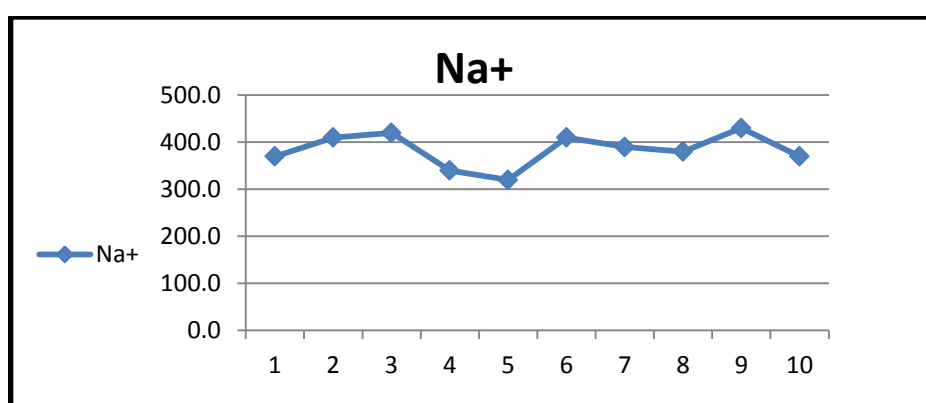


Figure N°26: Diagramme Sodium de la région de EL-oued (2023).

Les concentrations dans la région sont extrêmement élevées et suggèrent que les eaux EL-Oued sont présentes dans des formations salines qui dépassent largement les 200 mg/l. La

valeur la plus basse a été observée dans le forage BOUHMIDE 01 avec 320 mg/l, tandis que la valeur la plus élevée a été observée dans le forage JARDIN POUTANIQUE avec 430 mg/l.

d) Potassium K⁺:

Dans la croûte terrestre, le potassium est principalement présent dans les roches ignées (granite, rhyolite, syénite). Dans les eaux naturelles, il est à peu près constant (10 à 15 mg/L) et n'a aucun impact sur la santé des populations. Le potassium provient également de la dissolution d'engrais chimique (NPK), largement utilisé par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au rejet des eaux usées domestiques dans la nappe phréatique (Gouaidia, 2008). [38].. Selon les normes de l'OMS, la concentration maximale autorisée est de 20 mg/l.

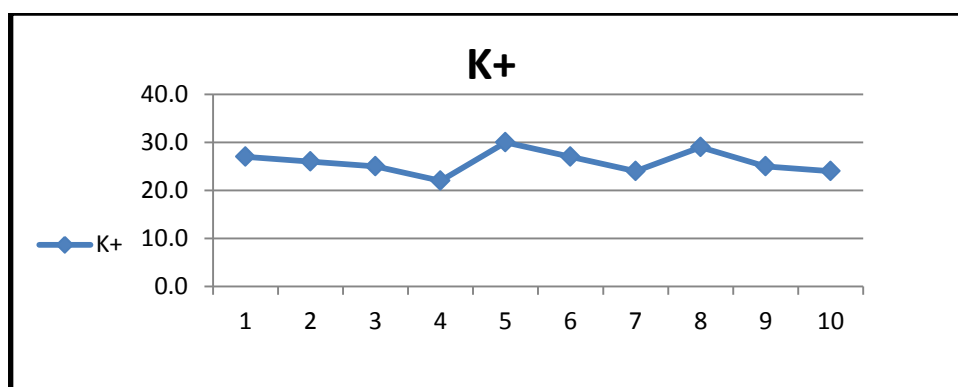


Figure N°27: Diagramme potassium de la région de EL-oued (2023).

Les eaux ayant traversé des formations évaporitiques riches en sylvie (KCl) et carnallite présentent des niveaux élevés de potassium, avec des valeurs enregistrées minimale 22 mg/l dans le forage Cité 08 mai (château d'eau) et avec des valeurs enregistrées maximale 30 mg/l dans le forage BOUHMIDE 01. La valeur est supérieure aux normes de l'OMS (20 mg/l).

e) Chlorures Cl⁻ :

Les chlorures (Cl⁻) sont des anions inorganiques essentiels présents à des concentrations variées dans les eaux naturelles, principalement sous forme de sels de sodium (Na Cl) et de potassium (K Cl). On les utilise fréquemment comme un indicateur de pollution. Selon , ils ont un impact sur la faune et la flore aquatiques ainsi que sur la croissance des plantes, Makhoukh (2011) [39].

.Selon la norme de l'OMS, il est recommandé de ne pas dépasser 350 mg/l de chlorure (Cl⁻) dans les eaux. La dose maximale autorisée est de 500 mg.

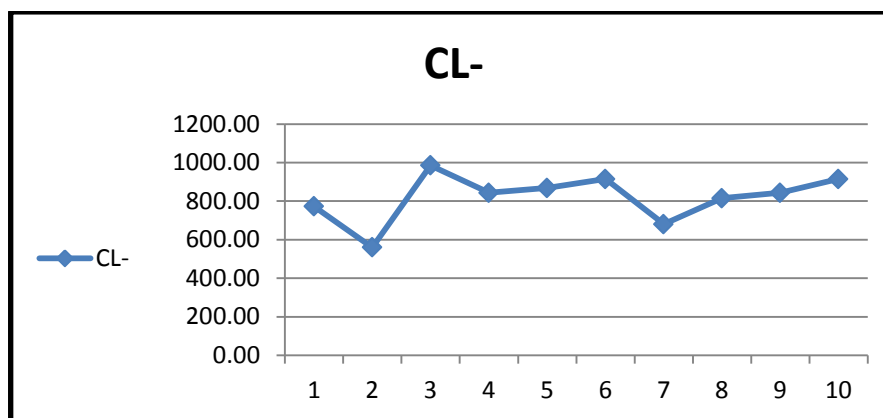


Figure N°28: Diagramme Chlorure de la région de EL-oued (2023).

Selon les mesures réalisées sur les échantillons d'eau prélevés, on a observé une teneur minimale de chlorure de 560.15 mg/l au forage SIDI MESTOUR, tandis que la teneur maximale est enregistrée au forage ENADHOUR avec 985.59 mg/l. Il est évident que ces concentrations sont très élevées. Il dépasse les normes de l'OMS (entre 200-500mg/l).

f) Sulfates SO₄-2:

Les sulfates présents dans les eaux peuvent être issus de différentes sources, telles que l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer : $1 < c < 20$ mg/l), ainsi que de la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, telles que le gypse (CaSO₄), la pyrite (Fe S) et plus rarement des roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les causes humaines comprennent la combustion de charbon et de pétrole, ce qui entraîne une production significative de sulfures (visibles dans les pluies). Les concentrations maximales admissibles en sulfates sont d'environ (200-500) mg/l selon la norme d'O.M.S, ainsi que l'utilisation d'engrais chimiques. (Gaujous, 1995). [40].

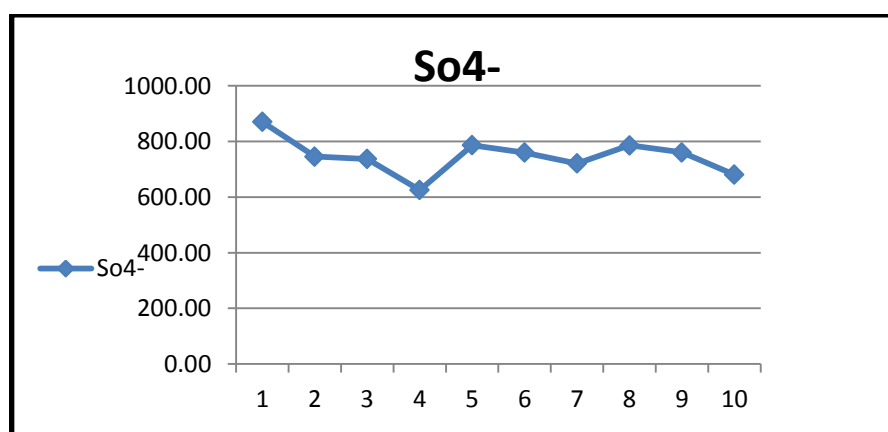


Figure N°29: Diagramme Sulfates de la région de EL-oued (2023).

L'eau de la région diffère, avec des concentrations très élevées, allant de 625.35 mg/l dans le forage Cité 08 mai (château d'eau) à 870.15 mg/l dans le forage Teksebt ouest. La valeur est supérieure aux normes de l'OMS (500 mg/l).

g) Les Bicarbonates (HCO_3^-):

Dans les eaux souterraines, la quantité de bicarbonates est principalement influencée par la présence de minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que par la concentration de CO_2 dans l'air et le sol dans le bassin d'alimentation. (Matthess., G ,1994).[41]

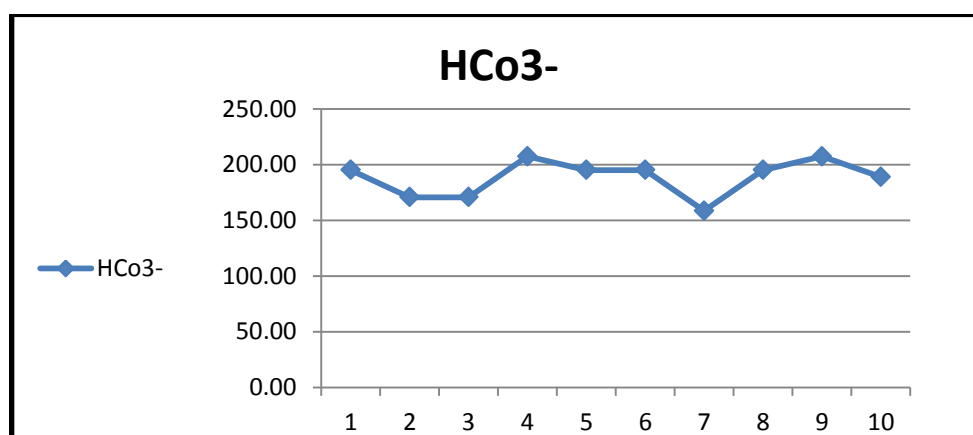


Figure N°30: Diagramme Bicarbonates de la région de EL-oued (2023).

Les niveaux de bicarbonates dans les eaux de la région EL-Oued fluctuent entre 158,6 mg/l à SIDI ABDALLH (TADHAMON) et 207.4 mg/l à JARDIN POUTANIQUE, ce qui n'a pas dépassé les normes de l'OMS (250mg/l).

h) Nitrates NO_3^- :

Les eaux souterraines contiennent naturellement des nitrates, principalement en raison du lessivage des sols. Cependant, depuis quelques décennies, leur concentration a augmenté de manière préoccupante dans certaines régions (L. Levesque, 1976) [42].. Selon la norme d'O.M.S, les concentrations maximales admissibles en Nitrates sont d'environ (50-100) mg/l.

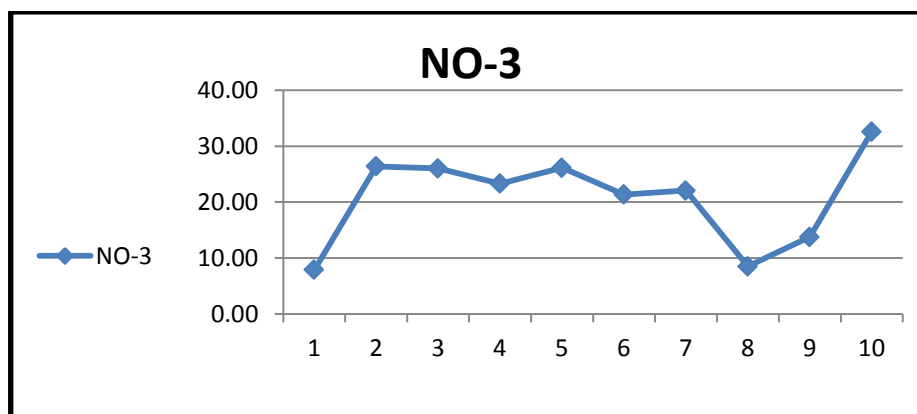


Figure N°31: Diagramme Nitrates de la région de EL-oued (2023).

Ces résultats varient entre une teneur maximale de 32,57 mg/l dans le forage EL GARA (château d'eau) et une teneur minimale de 7,89 mg/l dans le forage Teksebt ouest. Les valeurs ne sont pas supérieures aux normes de l'OMS (50 mg/l).

III.1.3.10.la minéralisation :

Les phénomènes de minéralisation de l'eau sont causés par des interactions entre l'eau et la roche, ainsi que par des mélanges entre différents types d'eau. La composition chimique des eaux naturelles est le résultat de la combinaison de la composition chimique des précipitations qui atteignent le sol et des réactions avec les minéraux présents dans l'encaissant. Elle diffère également en fonction du substrat géologique traversé. (Belghiti et al, 2013).[43]

III.1.3.11.Balance Ionique(BI) :

Nous pouvons vérifier la fiabilité des analyses chimiques de l'eau en vérifiant la charge électrique des cations et des anions majeurs en utilisant la méthode de la balance ionique. Cette étape est essentielle avant d'interpréter les résultats. Effectivement, l'eau naturelle est constituée de divers ions chargés électriquement, tels que des cations (chargés positivement) et des anions (chargés négativement). Cependant, sa charge électrique totale est neutre. Cela n'est possible que si la somme des charges positives est égale à la somme des charges négatives. C'est le principe de la balance ionique. (Brouyère, 2020)[44].

III.1.4.Représentation graphique des faciès hydrochimiques :

Le logiciel DIAGRAMMES, développé par Roland SIMLER du laboratoire d'Avignon, est le principal outil de représentation graphique des analyses chimiques. Il s'agit d'un logiciel libre d'hydrochimie qui simplifie l'utilisation des analyses d'eau. Parmi ces graphiques, nous avons pu extraire les interprétations suivantes :

- Diagramme de Piper,
- Diagramme Schöeller-Berkaloff,
- Diagramme Stabler,

A.)Diagramme de Piper:

Les anions et les cations sont représentés sur deux triangles particuliers dont les côtés indiquent les teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

Le résultat analytique est positionné de manière relative sur chacun de ces deux triangles.

En premier lieu, cela permet de clarifier la prédominance anionique et cationique. De cette manière, les résultats des analyses réalisées sur le diagramme de Piper (Fig.32) présentent un nuage de points correspondant au faciès dominant. Nous constatons que la majorité des eaux analysées à l'échelle de notre zone d'étude présentent un faciès chloruré calcique en relation avec la nature lithologique des terrains aquifères.

Selon le schéma de Piper, il est observé que la principale famille chimique des eaux des forages étudiés de la wilaya d'El Oued pour l'année 2023 est **chlorurée sulfaté calcique et magnésienne,**

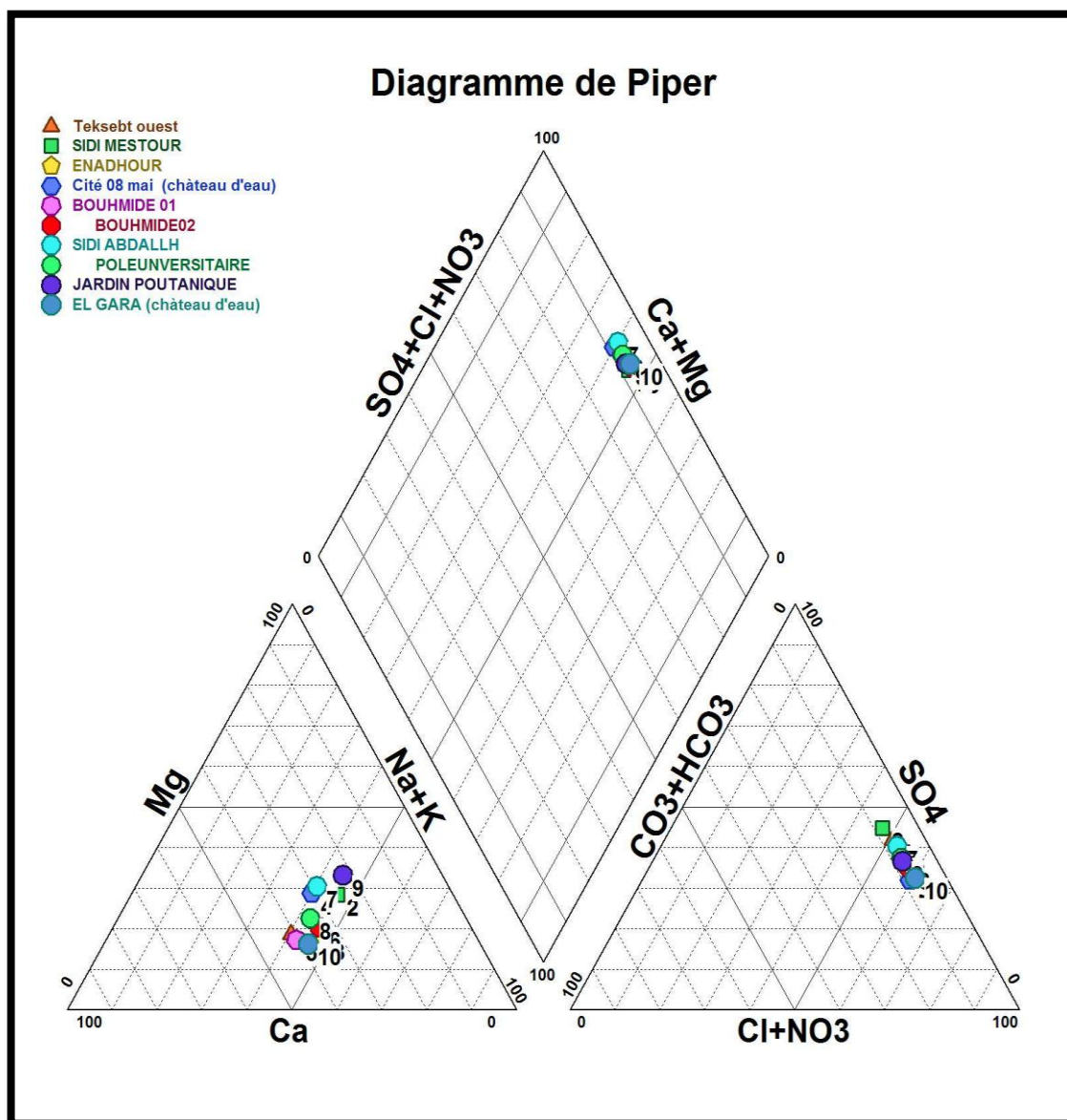


Figure N°32 : Diagramme de Piper du Forages de région EL-Oued

B.) Diagramme de Schöeller Berkaloff :

Le schéma de Schoeller Berkaloff offre la possibilité de visualiser plusieurs analyses sur le même schéma. Les droites obtenues sont superposées si les concentrations sont identiques, tandis que dans le cas contraire, il y a un décalage relatif des droites les unes au-dessus des autres. Les (figures 33) illustrent la nature chimique prédominante.

Selon la représentation graphique de Schoeller Berkaloff, il est observé que la principale composante chimique des eaux de forage de la wilaya d'El Oued pour l'année 2023 est chlorurée sodique parce que le sodium est le plus élevé dans les cations. On remarque que les droites sont presque parallèles ce qui indique que les eaux des forages appartiennent à la même famille chimique.

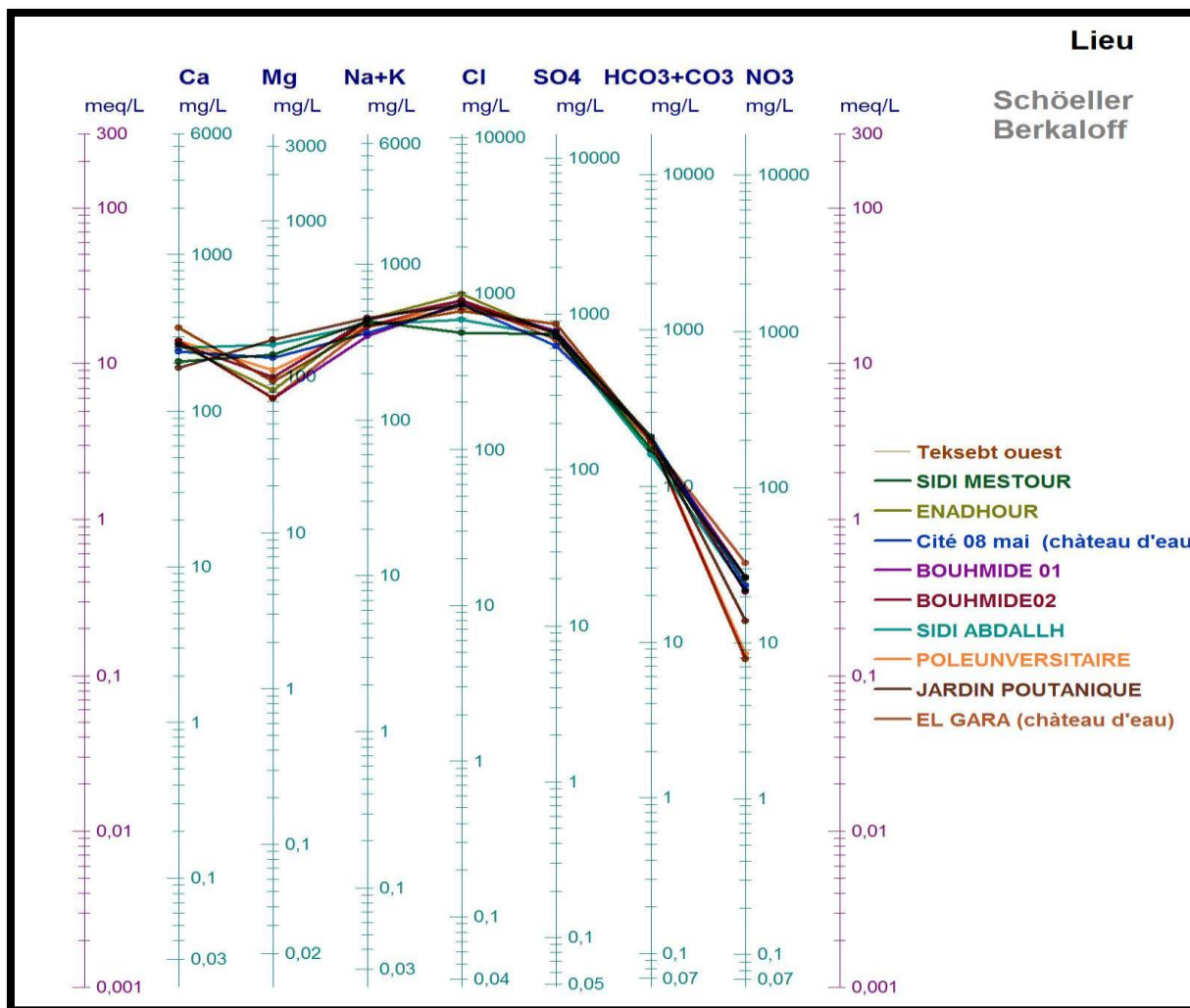


Figure N°33: Digramme de Schöeller du Forges région EL-Oued

C) Diagramme de Stabler :

Selon Sean Stabler, il est simple de classer les eaux en comparant les concentrations en pourcentage des cations et des anions entre eux.

Dans notre situation, la quantité de sodium est la plus élevée parmi les cations pris en compte, tandis que pour les anions, la quantité de sulfate et de chlorure est la plus élevée. Selon cette classification (Figure, 34), il est démontré que l'eau de la wilaya d'El Oued présente des niveaux de sulfate sodique et de chlorure sodique.

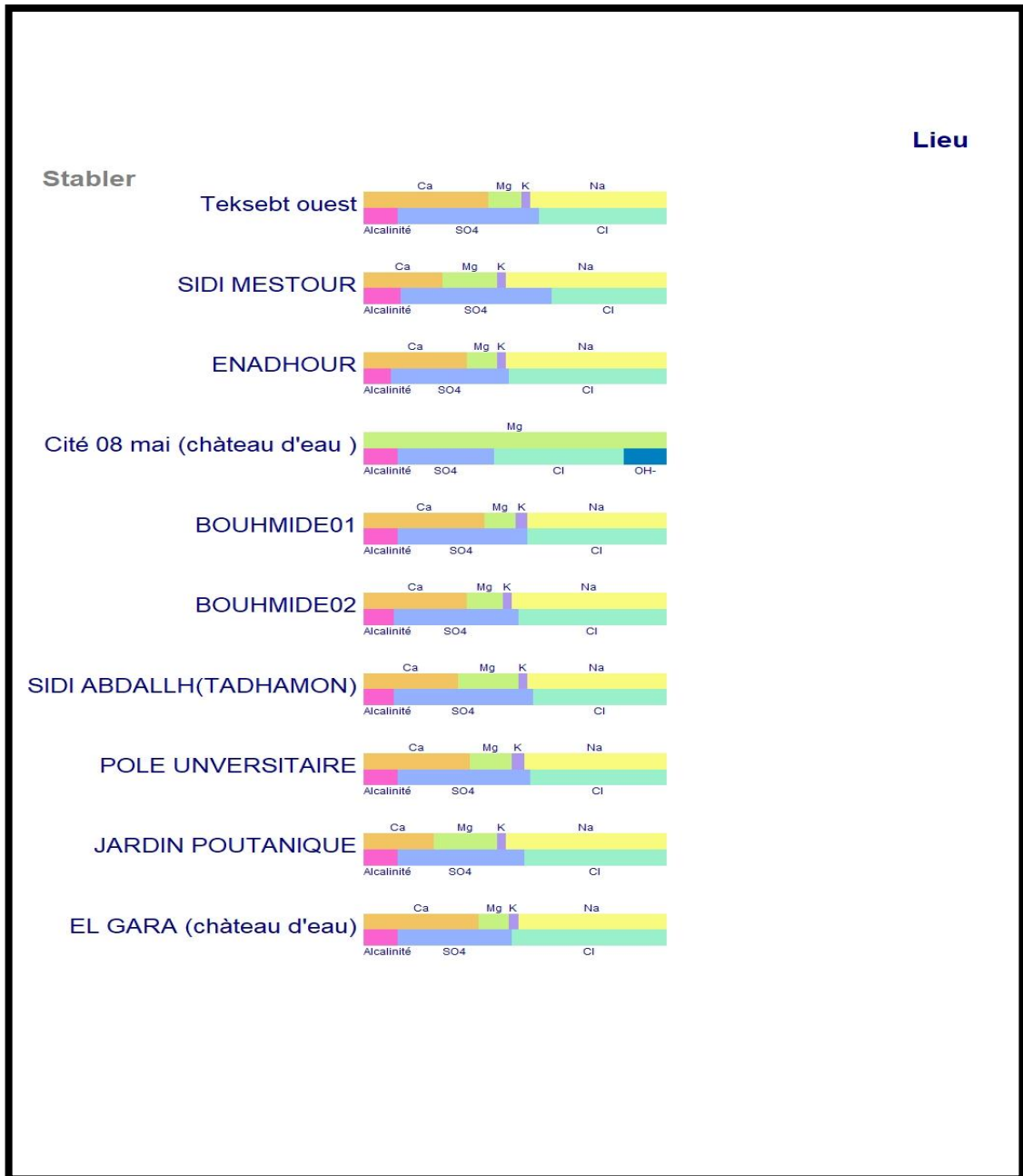


Figure N°34: Diagramme de Stabler des forages Région EL-Oued 2023.

Tableau 08 : classification des eaux selon STABLER.

Les Forages	La formule caractéristique de Stabler	facies chimique
Teksebt ouest	SO ₄ ⁻² > Cl ⁻ > HCO ₃ ^{->} NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Sulfaté sodique
SIDI MESTOUR	SO ₄ ⁻² > Cl ⁻ > HCO ₃ ^{->} NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Sulfaté sodique
ENADHOUR	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻² >HCO ₃ ^{->} >NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Chloruré sodique
Cité 08mai(château d'eau)	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻² >HCO ₃ ⁻ >K ⁺ et Mg ⁺²	Chloruré magnésien
BOUHMID01	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻² >HCO ₃ ^{->} >NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Chloruré sodique
BOUHMID02	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻² >HCO ₃ ^{->} >NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Chloruré sodique
SIDI ABDALLAH	SO ₄ ⁻² > Cl ⁻ > HCO ₃ ^{->} NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Sulfaté sodique
POLE UNIVERSITAIRE	SO ₄ ⁻² > Cl ⁻ > HCO ₃ ^{->} NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Sulfaté sodique
JARDIN POUTANIQUE	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻² >HCO ₃ ^{->} >NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Chloruré sodique
EL GARA (château d'eau)	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻² >HCO ₃ ^{->} >NO ₃ ⁻ et Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² >K ⁺	Chloruré sodique

D'après le Tableau N°08 Les analyses chimiques réalisées sur l'année 2023 montrent que:

- 05 échantillons ont un faciès chimique chlorurée sodique; soit (50%) des forages de la wilaya d'El Oued.
- 04 échantillons ont un faciès chimique sulfatée sodique; soit (40%) des forages de la wilaya d'El Oued.
- 01 échantillons ont un faciès chimique Chloruré magnésien; soit (10%)

III .2. Analyse statistiques des données physico-chimiques:

III.2.1.Statistique descriptive :

Les variables physico-chimiques utilisées ont des caractéristiques statistiques descriptives telles que les valeurs minimales et maximales, la moyenne et l'écart-type, ainsi que le coefficient de variation.

Le tableau 9 présente les paramètres statistiques des variables physico-chimiques et chimiques des eaux souterraines de la région EL-Oued :

Tableau N°09 : Statistiques descriptives (Données quantitatives).

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV(%)
T°	18.9	24.1	20.64	1.864	9.03296216
PH	7.43	7.82	7.628	0.135	1.76512274
CE	3740	4170	3905	143.101	3.66454766
SAL	2.4	2.7	2.5	0.125	4.98887652
R.S	2030	3240	2812	316.782	11.2653782
TH	1000	1300	1120.1	104.134	9.29684328
Ca+2	1950	340.59	261.021	42.261	16.1906157
MG+2	72.91	174.25	114.157	36.458	31.9364359
NA+	320	430	384	35.340	9.20302658
K+	22	30	25.900	2.424	9.36066746
CL-	560.16	985.59	820.009	123.808	15.0983529
SO4-	625.349	870.146	747.038	65.476	8.76468503
HCO3-	1586	207.4	188.490	16.381	8.69045698
NO3-	7.82	32.57	20.798	8.175	39.3061457

III.2.2. Origines du chimisme :

Les données du tableau ci-dessous indiquent que la plupart des éléments sont étroitement liés les uns aux autres, voir plus avec la conductivité, comme le montre la matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques. Consultez le (Tableau) :

- **Matrice de corrélation entre les variables :**

La corrélation est une méthode statistique, une application pour connaître la relation entre les variables. Le coefficient de corrélation est déterminé par la force et la direction de la relation linéaire entre elles. Lorsqu'il existe une relation, le coefficient de corrélation se rapproche de 0, puis la relation entre les variables est faible, et lorsqu'il s'approche de (-1) ou (1),

Tableau N°10 : Matrice de corrélation entre les variables:

Variables	T° c	PH	cond	SAL	RS	TH	Ca+2	MG+2	Na+	K+	CL-	So4-	HCo3-	NO-3
T° c	1													
PH	-0.536	1												
cond	-0.188	0.300	1											
SAL	0.086	-0.285	0.458	1										
RS	0.118	0.038	0.439	0.315	1									
TH	0.379	-0.340	-0.092	0.606	-0.135	1								
Ca+2	0.069	-0.286	0.722	0.541	0.518	-0.018	1							
MG+2	0.216	-0.036	-0.573	0.039	-0.461	0.709	-0.718	1						
Na+	0.184	-0.467	-0.586	-0.252	-0.525	0.137	-0.453	0.417	1					
K+	0.249	0.108	0.261	-0.257	-0.114	-0.217	0.377	-0.415	-0.189	1				
CL-	-0.066	-0.311	0.123	-0.252	-0.012	-0.512	0.293	-0.564	-0.073	0.012	1			
So4-	0.098	-0.143	0.330	0.100	-0.258	0.197	0.478	-0.197	0.109	0.755	-0.129	1		
HCo3-	0.025	0.279	0.428	-0.232	-0.027	-0.062	0.037	-0.069	-0.311	0.118	0.405	0.036	1	
NO-3	-0.438	0.250	-0.224	-0.231	0.191	-0.649	-0.248	-0.279	-0.136	-0.349	0.134	-0.649	-0.363	1

A partir des résultats du tableau (Tableau N°10), On trouve les corrélations significatives suivantes :

- la conductivité avec le Calcium ($r = 0.722$)
- la dureté TH avec magnésium ($r = 0.709$) avec Nitrates ($r = -0.649$)
- la Calcium avec magnésium ($r = -0.718$)
- la potassim avec le sulfates ($r = 0.755$)
- la sulfates avec le Nitrates ($r = -0.649$)

Les fortes corrélations correspondent aux couples Conductivité électrique /Ca²⁺, TH /Mg²⁺,k⁺/SO₄⁻. Si on considère les corrélations des autres paramètres, D'autres corrélations moins significatives sont observées notamment TH/NO₃⁻ et SO₄⁻/NO₃⁻ liés également à la formation salifère

III.3.Récupération des eaux souterraines à des fins d'irrigation :

On a évalué la qualité des eaux souterraines en comparant celles-ci avec les règles établies pour l'irrigation. Le jugement de l'eau d'irrigation principalement sur la salinité et la sodicité a synthétisé les conclusions de l'analyse et les divers paramètres établis, en incluant un élément statistique essentiel. Il est important de savoir que les eaux souterraines utilisées pour l'irrigation ont un effet à la fois sur les plantes et sur les sols. La présence de sel dans les eaux souterraines peut entraîner des modifications dans la perméabilité du sol, la structure du sol et la ventilation. Le drainage joue un rôle essentiel dans la croissance des cultures. Si le drainage est bon, la croissance des cultures sera favorable, tandis que si le drainage est mauvais, la croissance des cultures sera faible. Afin de déterminer si l'utilisation des eaux souterraines est appropriée pour l'irrigation, il est essentiel de prendre en compte les diverses caractéristiques de l'eau d'irrigation, telles que le rapport d'absorption du sodium (SR). Afin de déterminer la capacité des eaux de forage de la commune d'El Oued à être utilisées pour l'irrigation, nous effectuons leur classification.

III.3.1. Principe du diagramme

Le S.A.R (Sodium Adsorption Ration) est calculé en appliquant la formule suivante

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

Où : Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ sont exprimés en (méq/l).

Si **S.A.R<10** eau utilise avec un danger appréciable d'alcalinisation des sols ;

10<S.A.R<18 : eau utilise avec un danger appréciable d'alcalinisation;

18<S.A.R<26 : eau utilise paravents provoquer un danger d'alcalinisation;

S.A.R<26: eau présente un danger d'alcalinisation très fort.

Tableau N°11 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1- S1	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols
2	Bonne	C2- S1	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plants moyennement tolérants en sels
		C2- S2	
3	Admissible	C3- S1	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
		C4- S2	
		C3- S3	
4	Médiocre	C4- S1	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols biens drainés et lessivés
		C4- S2	
		C4- S3	
5	Mauvaise	C4- S1	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions
		C4- S2	
		C3- S3	

❖ **Conductivité:**

Après que la plante a prélevé l'eau, les sels présents dans les eaux d'irrigation se rassemblent dans la zone racinaire. Ces sels s'accumulent et restreignent la quantité d'eau disponible dans le sol pour la culture. Afin de prévenir ce danger, il est nécessaire de calculer la valeur de la conductivité et de la classer en fonction des valeurs seuils suivantes.

- inférieure à 250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: l'eau ne présente aucun risque.
- varie entre 250 et 750 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: l'eau peut être utilisée que s'il y a de drainage.
- supérieure à 2250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

Les eaux souterraines présentent une conductivité varie entre 3740 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et 4170 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, donc elles sont impropre à l'irrigation.

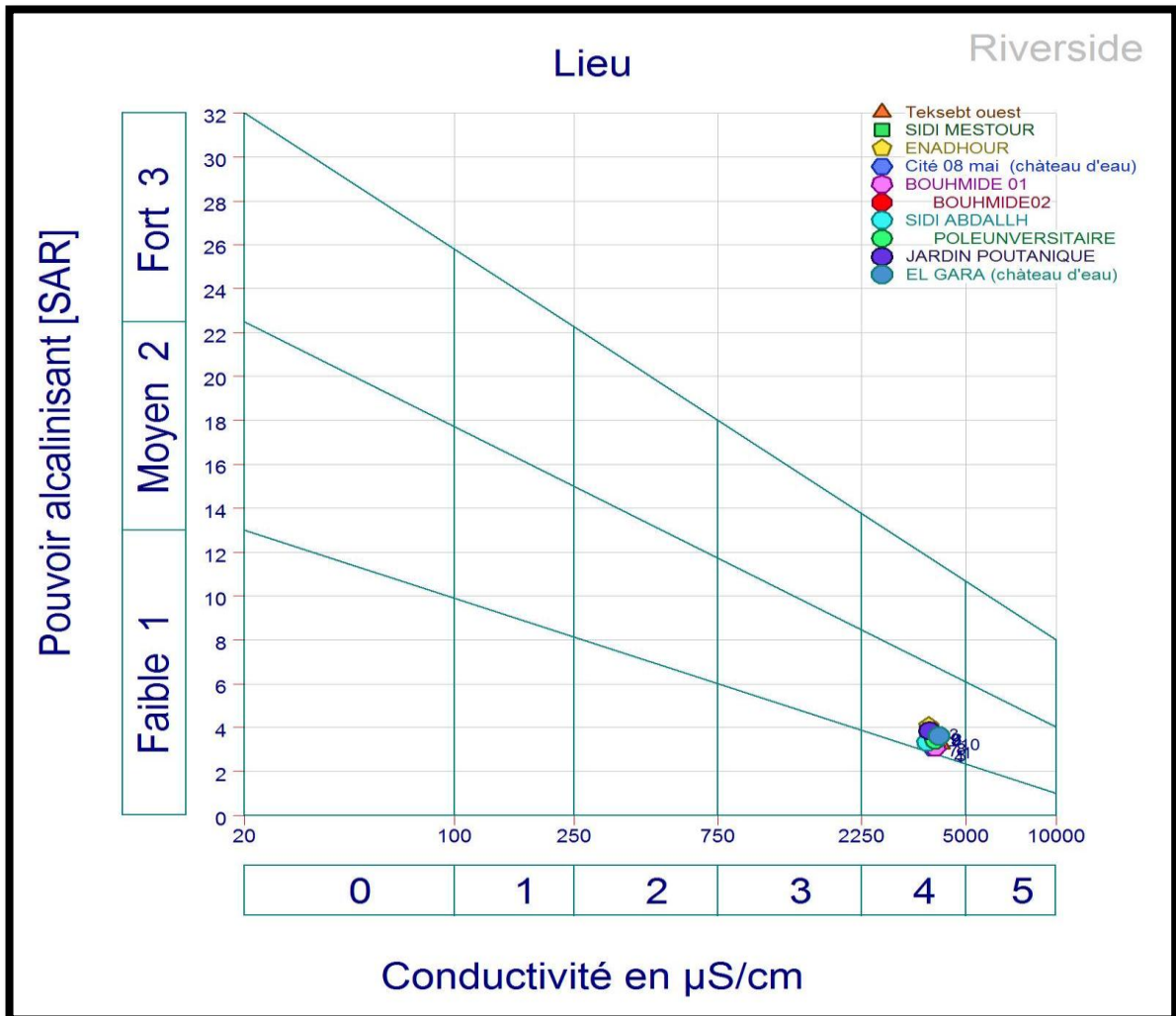


Fig N°35: Diagramme de Riverside: classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R de la région d'Oued Souf,2023

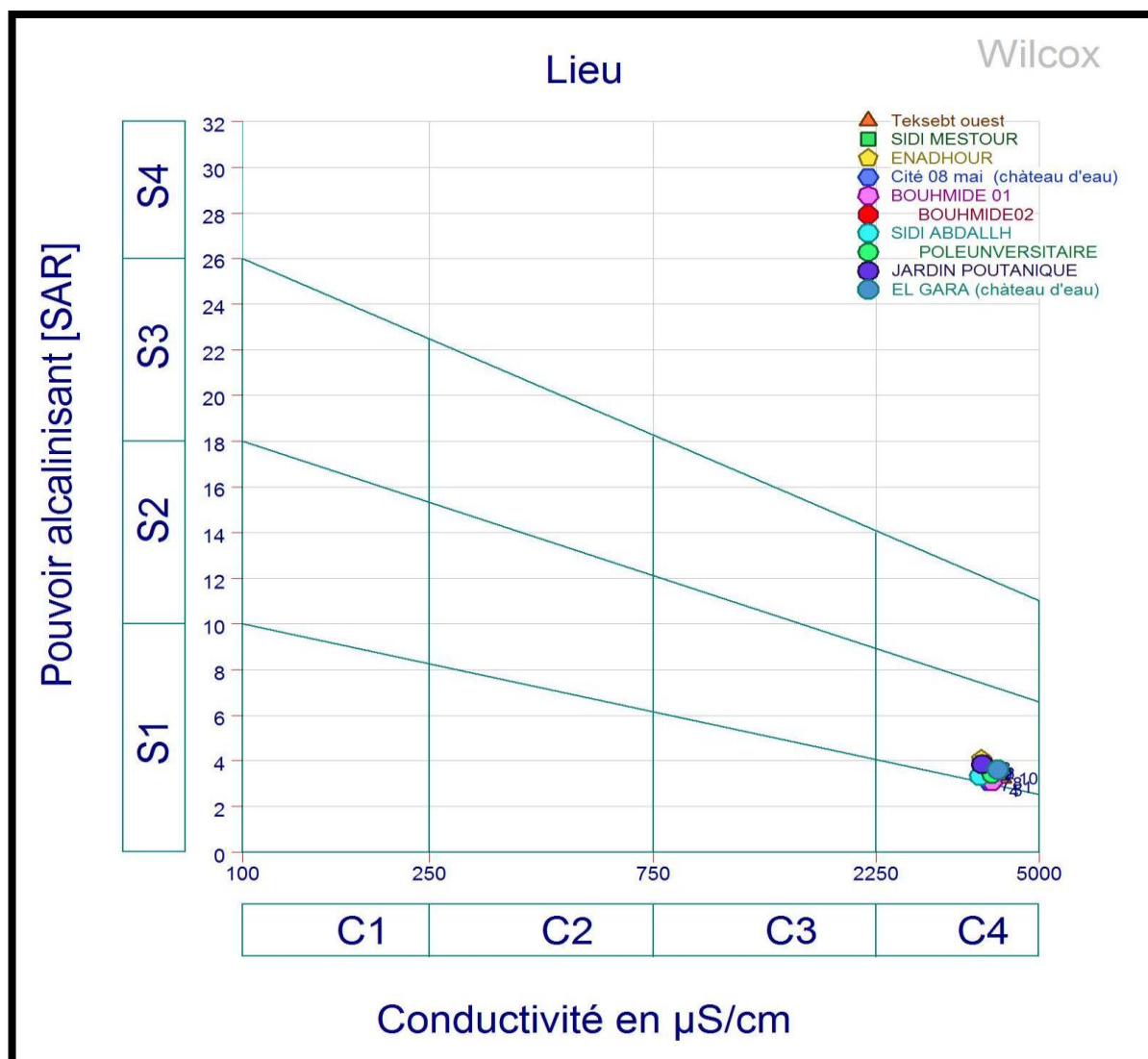


Figure N°36 : Diagramme de Wilcox: classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R de la région d'Oued Souf,(2023)

D'après le diagramme de Riverside et Wilcox on remarque que la qualité de l'eau est médiocre parce que tous les points sont concentrés dans la classe C4 S2 l'eau de la région d'el oued est fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes.

III.4.REPRESENTATION GRAPHIQUE DES PARAMETRES HYDROCHIMIQUES DES FORAGES CHOISIS :

III.4.1. Carte de localisation des forages choisis :

On a représenté la localisation des forages dans la carte suivante (figure 37.) , dont seul neuf forages qu'on a pu représenter à cause du manque de données (le forage Pôle universitaire n'a pas été représenté).

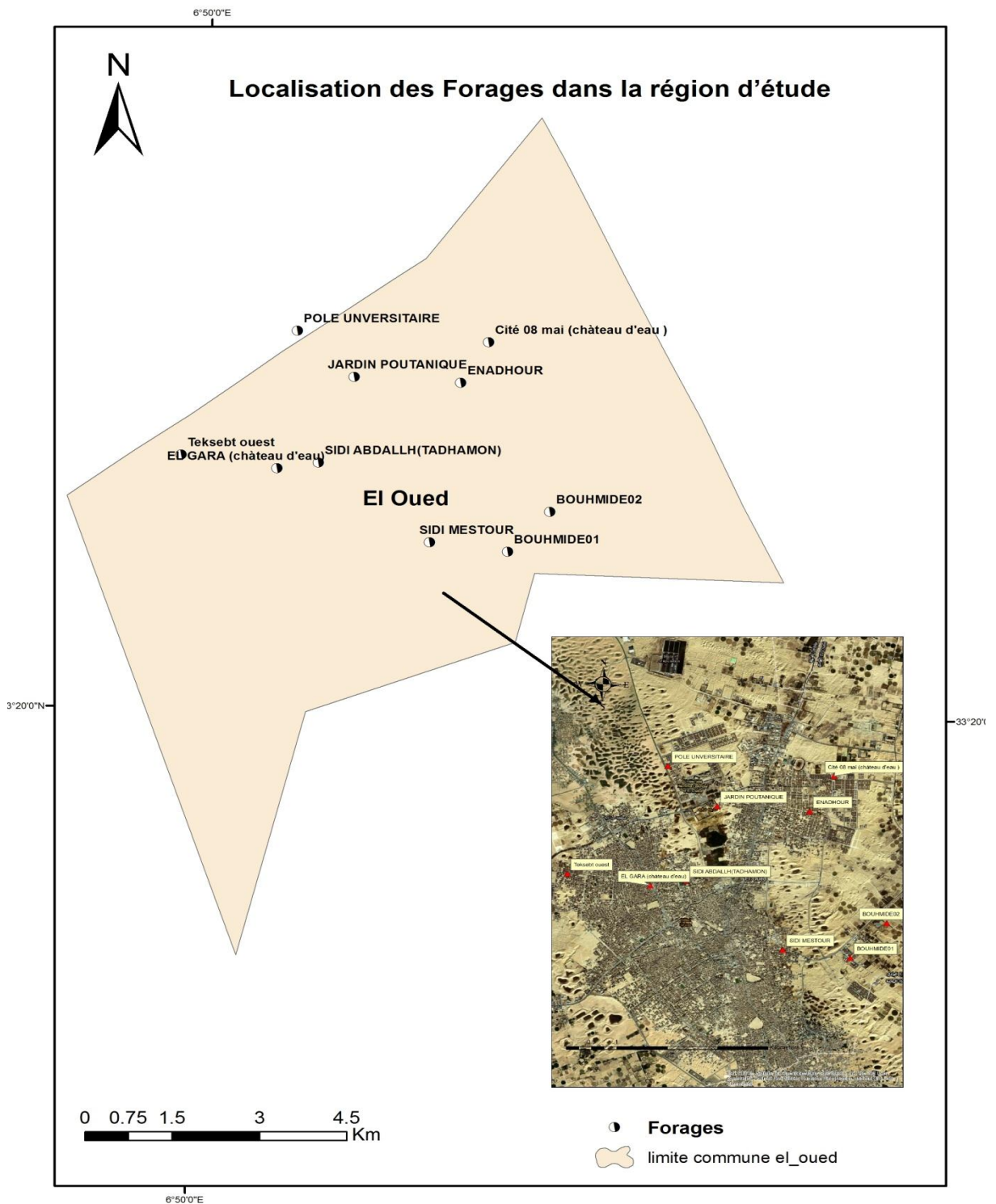


Figure N°37: LOCAISATION DES FORAGES DANS LA Région d'étude d' EL-OUED
 (Khezazna Amina., 2024)

III. 4.2. Carte de la Conductivité électrique :

La conductivité électrique dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est mesurée.

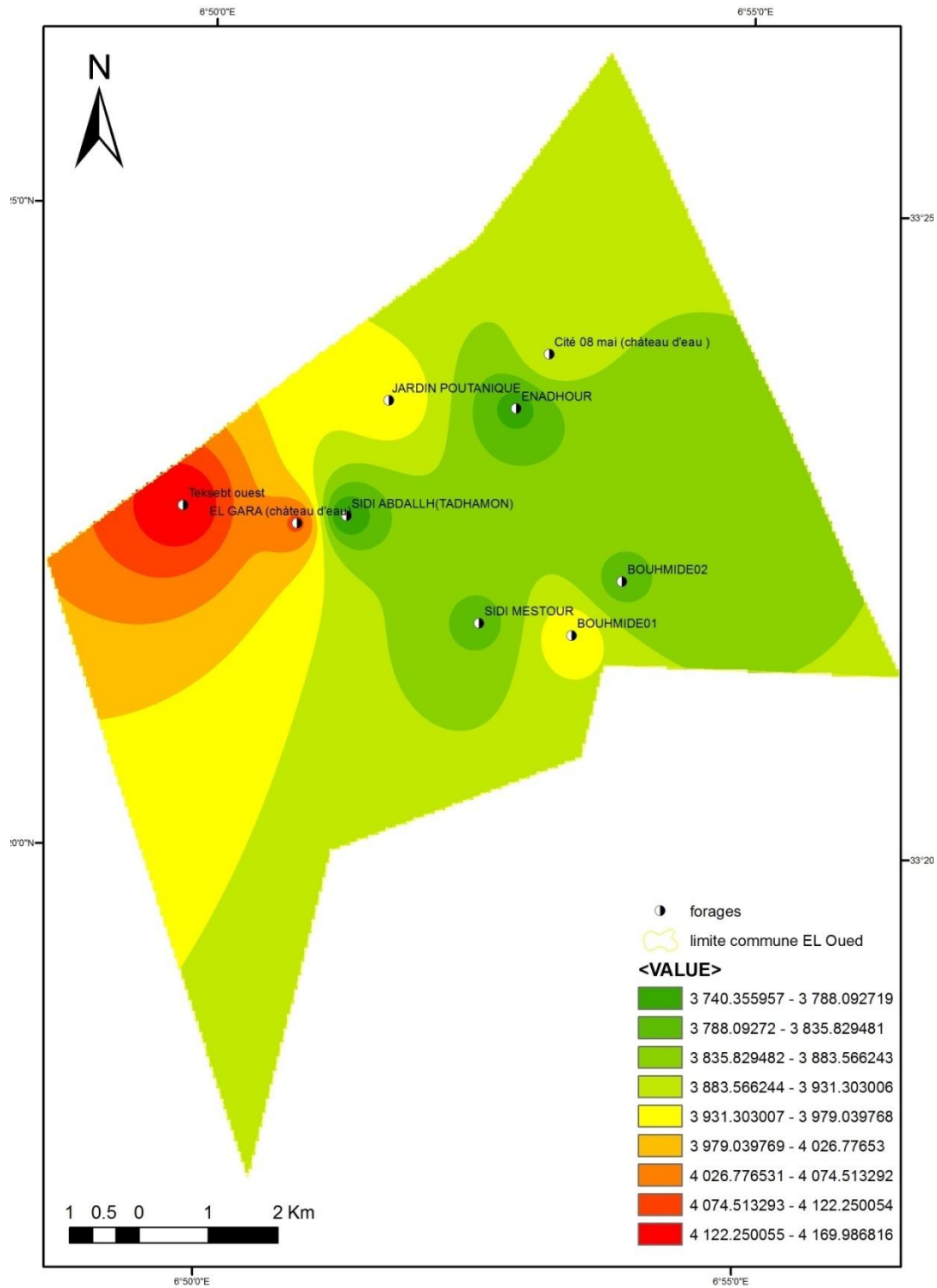


Figure N°38: Carte représentative de la conductivité électrique(Khezazna Amina., 2024)

Interprétations de la carte de variation de la conductivité (2023) d'après (figure N°38), on note que :

- les faibles teneurs sont observées au niveau du forage SIDI ABDALLH (TADHAMON) et oscillent entre 3740 $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- les valeurs moyenne varient entre (3788 à 3979) $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau des forages SIDI MESTOUR, ENADHOUR, Cité 08 mai (château d'eau), BOUHMIDE 01, BOUHMIDE02, POLE UNVERSITAIRE, JARDIN POUTANIQUE, EL GARA (château d'eau).
- les fortes valeurs varient entre 3979 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 4169 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau des forages Teksebt oust, EL GARA (château d'eau).

III.4.3. Carte de Résidu Sec :

Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110 °C. Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. Les eaux de la nappe souterraine d'aquifère Mio-pliocène affichent des valeurs de résidu sec élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable et norme OMS (2000mg/l).

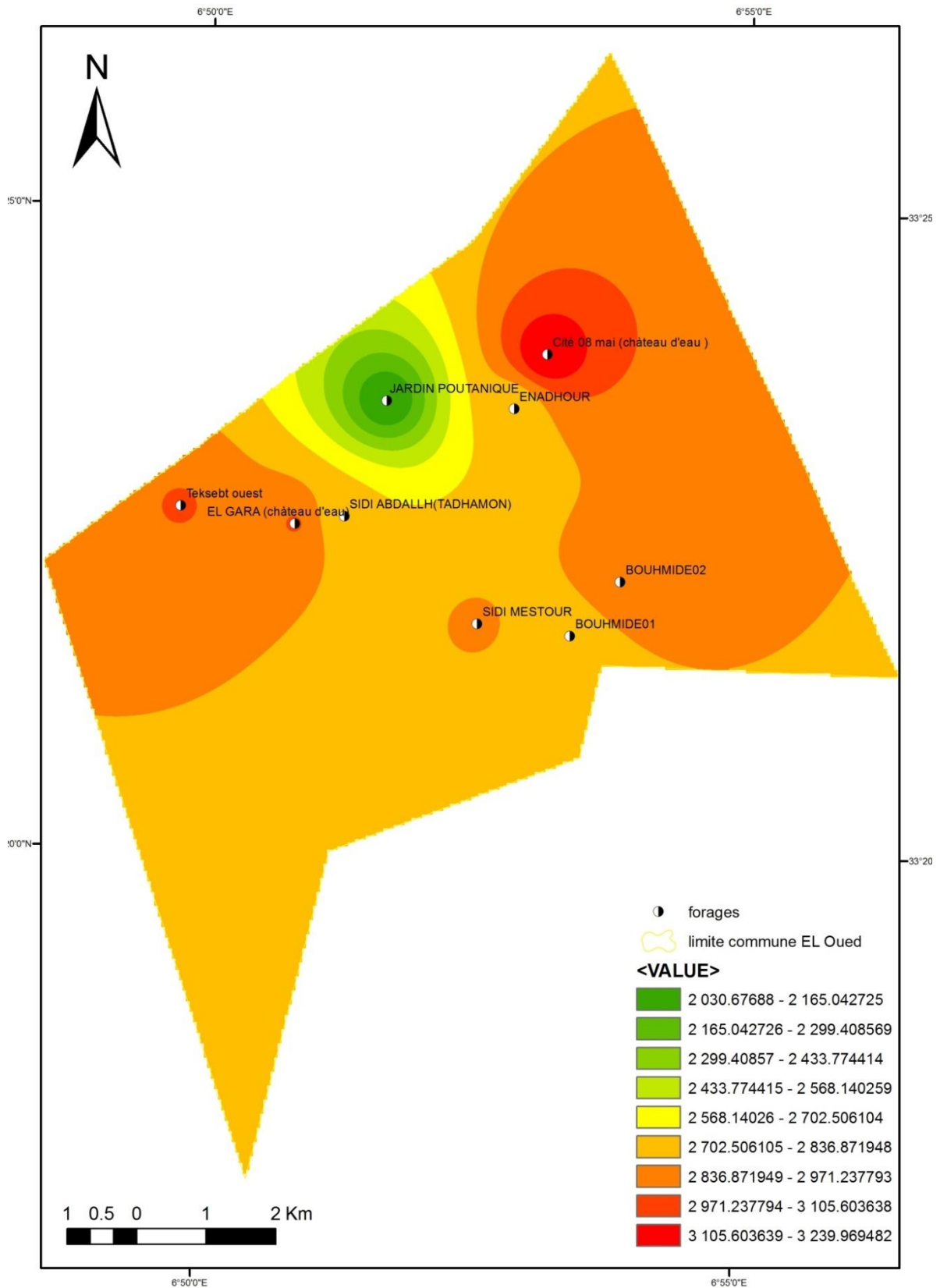


Figure N°39: Carte représentative de Résidu Sec(Khezazna Amina., 2024)

Interprétations de la carte de variation du résidu sec (2024) :

D'après la carte de variation du résidu sec (figure N°39), on note que :

- les faibles teneurs sont observées au niveau du forage JARDIN POUTANIQUE et oscillent entre 2030 $\mu\text{s/cm}$.
- les valeurs moyennes varient entre (2703 à 2836) $\mu\text{s/cm}$ au niveau des forages ENADHOUR, BOUHMIDE 01, SIDI MESTOUR, SIDI ABDALLH(TADHAMON)
- les fortes valeurs varient entre (2837 à 3240) $\mu\text{s/cm}$ au niveau des forages Teksebt ouest, Cité 08 mai (château d'eau), POLE UNVERSITAIRE, BOUHMIDE02, EL GARA (château d'eau)).

III.4.4. Carte du salinité :

La salinité (mg/l) des eaux de forage est représenté dans la carte suivante :

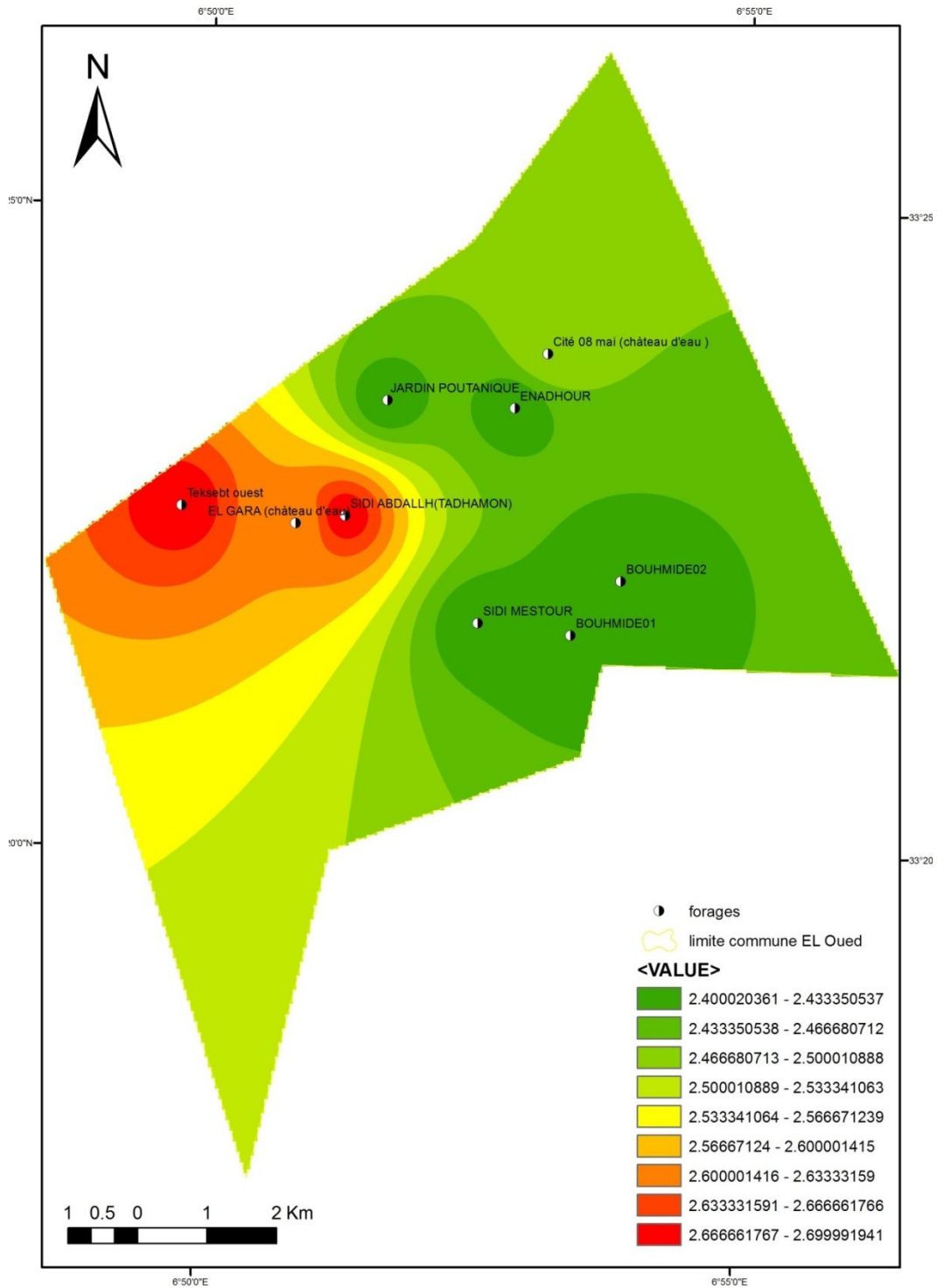


Figure N°40: Carte représentative de la salinité (Khezazna Amina.,2024).

Selon la carte de salinité (Figure N°40):

- Les valeurs moyennes enregistrées dans les forages (JARDIN POUTANIQUE, Cité 08 mai (château d'eau), ENADHOUR, BOUHMIDE 01, POLE UNVERSAITRE, BOUHMIDE 02, SIDI MESTOUR) sont de(2.4à 2.53) mg/l.

- Les valeurs élevées desalinité sont observées dans les forages (Teksebt ouest, EL GARA (château d'eau), SIDI ABDALLH (TADHAMON) sont de (2.54à 2.69) mg/l.

III.4.5. Carte du Titre hydrotimétrique TH:

Elle exprime la teneur de l'eau en sels de calcium et de magnésium. Dans la région d'étude, la dureté totale est très variable allant de 25°F à 98°F. 70 % des puits analysés représentent une dureté moyenne < 50°F. la valeurs de élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable et norme OMS (54mg/l).

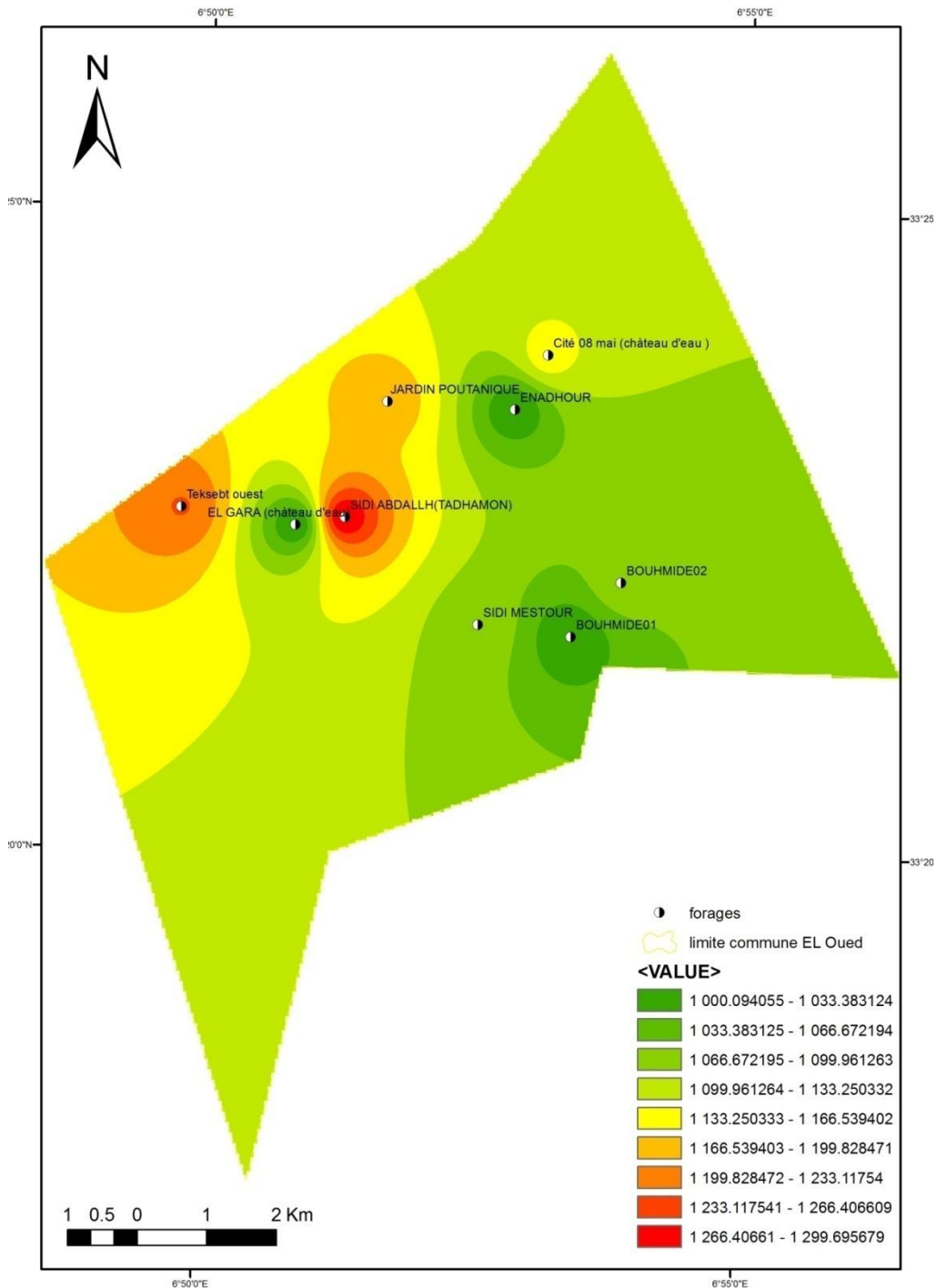


Figure N°41: Carte représentative de TH (Khezazna Amina., 2024)

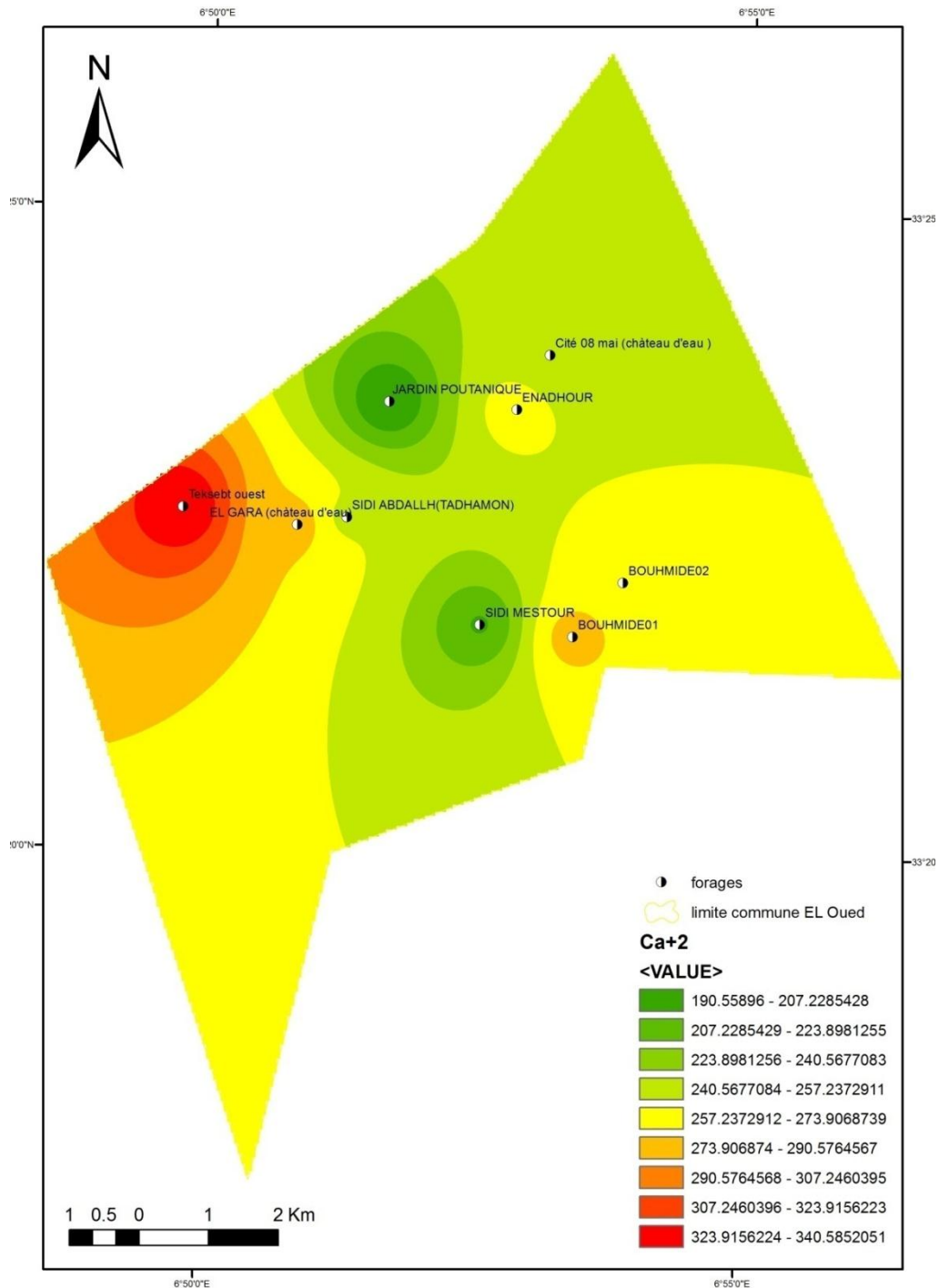
D'après la carte de variation de la Titre hydrotimétrique TH:

(figure N°41) on note que :

- les faibles teneurs sont observées au niveau du forage JARDIN POUTANIQUE et BOUHMIDE 01,BOUHMIDE 02,SIDI MESTOUR ,ENADHOUREL GARA (château d'eau).oscillent entre (1000à1033) F°.
- les valeurs moyenne varient entre (2703 à 2836) F° au niveau des forages Cité 08 mai (château d'eau)
- les fortes valeurs varient entre (2837 à 3240) F° au niveau des forages Teksebt oust ,Cité 08 mai (château d'eau), POLE UNVERSITAIRE,JARDIN POUTANIQUE ,SIDI ABDALLH(TADHAMON).

III.4.6.Carte du Calcium (Ca⁺²) :

Il est principalement causé par l'infiltration des eaux météoriques par des formations carbonatées Une autre source de minéralisation peut également être envisagée, à savoir les formations gypsifères du Trias (figure 42).



- les faibles teneurs sont observées au niveau du forage JARDIN POUTANIQUE , SIDI MESTOUR et oscillent entre 223.89mg/l et 190.50mg/l.
- Les valeurs moyennes enregistrées dans les forages (JARDIN POUTANIQUE, Cité 08 mai (château d'eau), ENADHOUR, SIDI ABDALLH (TADHAMON), BOUHMIDE 02) sont de 273.90mg/l à 223.89 mg/l.

- Les valeurs élevées de calcium sont observées dans les forages (Teksebt ouest, EL GARA (château d'eau), BOUHMIDE 01, POLE UNVERSITAIRE) sont 273,90mg/l et 340.59 mg/l .

III.4.7. Carte du Magnésium (Mg²⁺) :

La carte suivante montre le taux de magnésium dans les forages choisis :

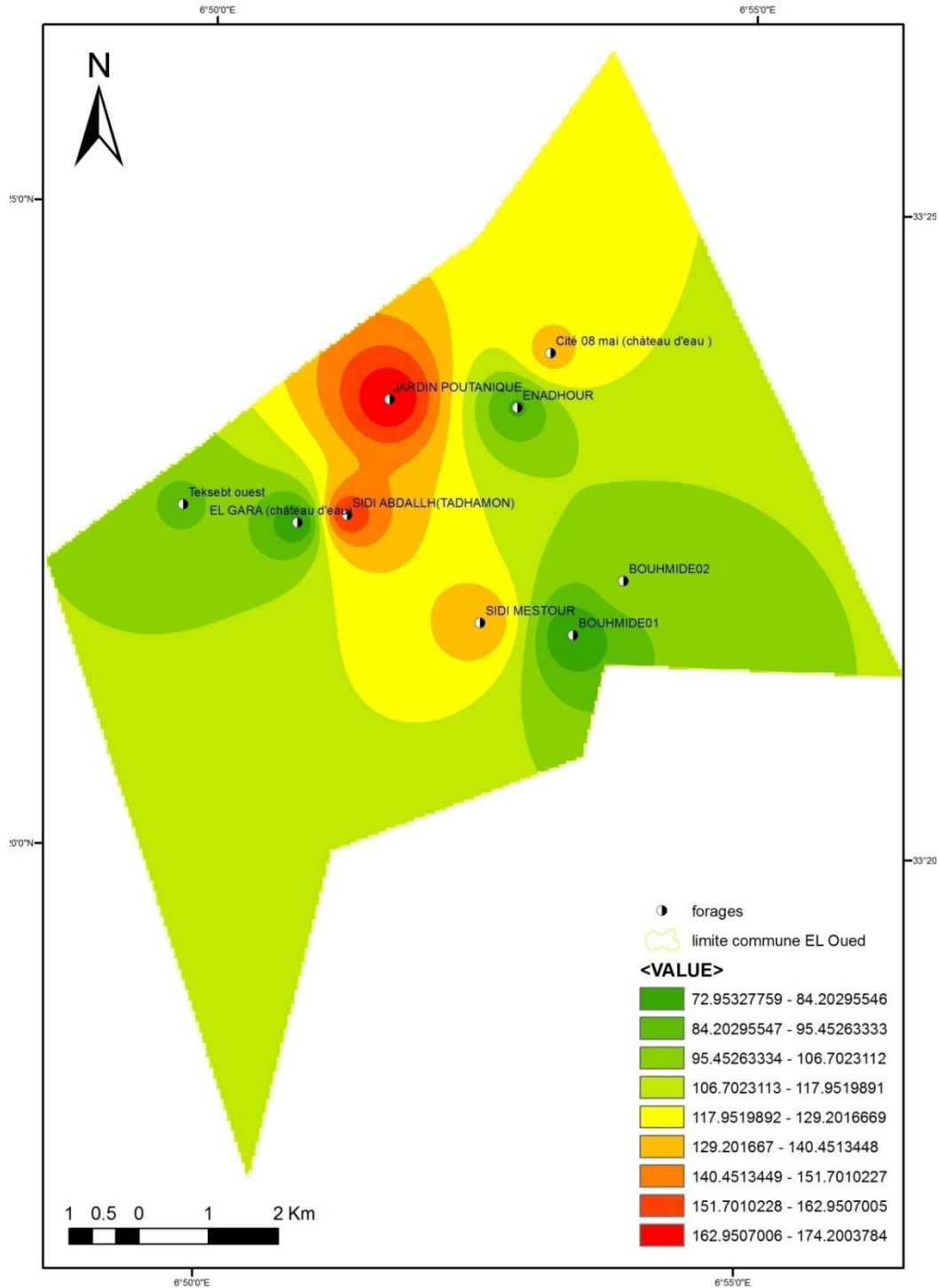


Figure N°43: Carte la qualité des souterraines Mg²⁺(Khezazna Amina., 2024)

La représentation du taux de Magnésium (mg/l) (2023) (Figure N°43) montre que:

- les faibles teneurs sont observées au point forage BOUHMIDE 01, BOUHMIDE02 , ENADHOUR , Teksebt ouest , EL GARA (château d'eau). avec une valeur de (72.95-117.95)mg /l.
- les valeurs moyenne varient entre (117.96/140.45) mg/l ont été enregistré dans les forages Cité 08 mai (château d'eau), SIDI MESTOUR.
- les fortes valeurs varient entre(140.45/174.20) mg/l et sont enregistrées dans les forages SIDI ABDALLH (TADHAMON), POLE UNVERSITAIRE, JARDIN POUTANIQUE.

III.4.8. Carte du Sodium (Na⁺):

La carte suivante montre le taux de sodium dans les forages choisis :

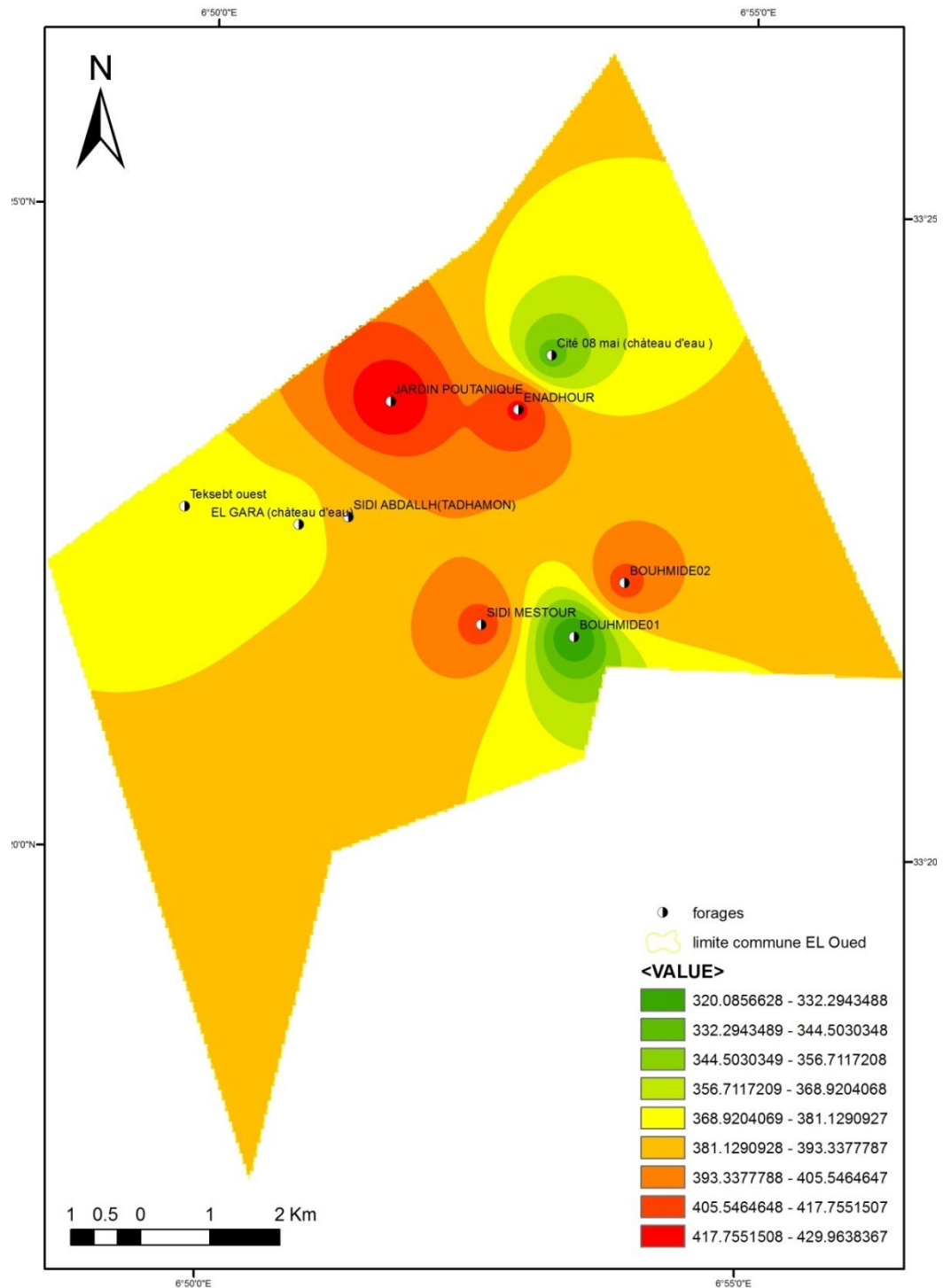


Figure N°44: Carte représentative de taux de Na⁺ (Khezazna Amina., 2024)

La carte du teneur en sodium (Figure N°44) montre que :

- ✓ les faibles teneurs sont observées au point forage BOUHMIDE 01 avec une valeur de 320mg /l.
- ✓ les valeurs moyennes varient entre (340/380) mg/l ont été enregistrées dans les forages (Cité 08 mai (château d'eau), Teksebt ouest, EL GARA (château d'eau)).

✓ les fortes valeurs varient entre(380/430) mg/l et sont enregistrées dans les forages (SIDI MESTOUR, ENADHOUR, BOUHMIDE02, SIDI ABDALLH(TADHAMON), POLE UNIVERSITAIRE, JARDIN POUTANIQUE,).

III.4.9.Carte de Potassium (K⁺) :

La carte suivante montre le taux de potassium dans les forages choisis:

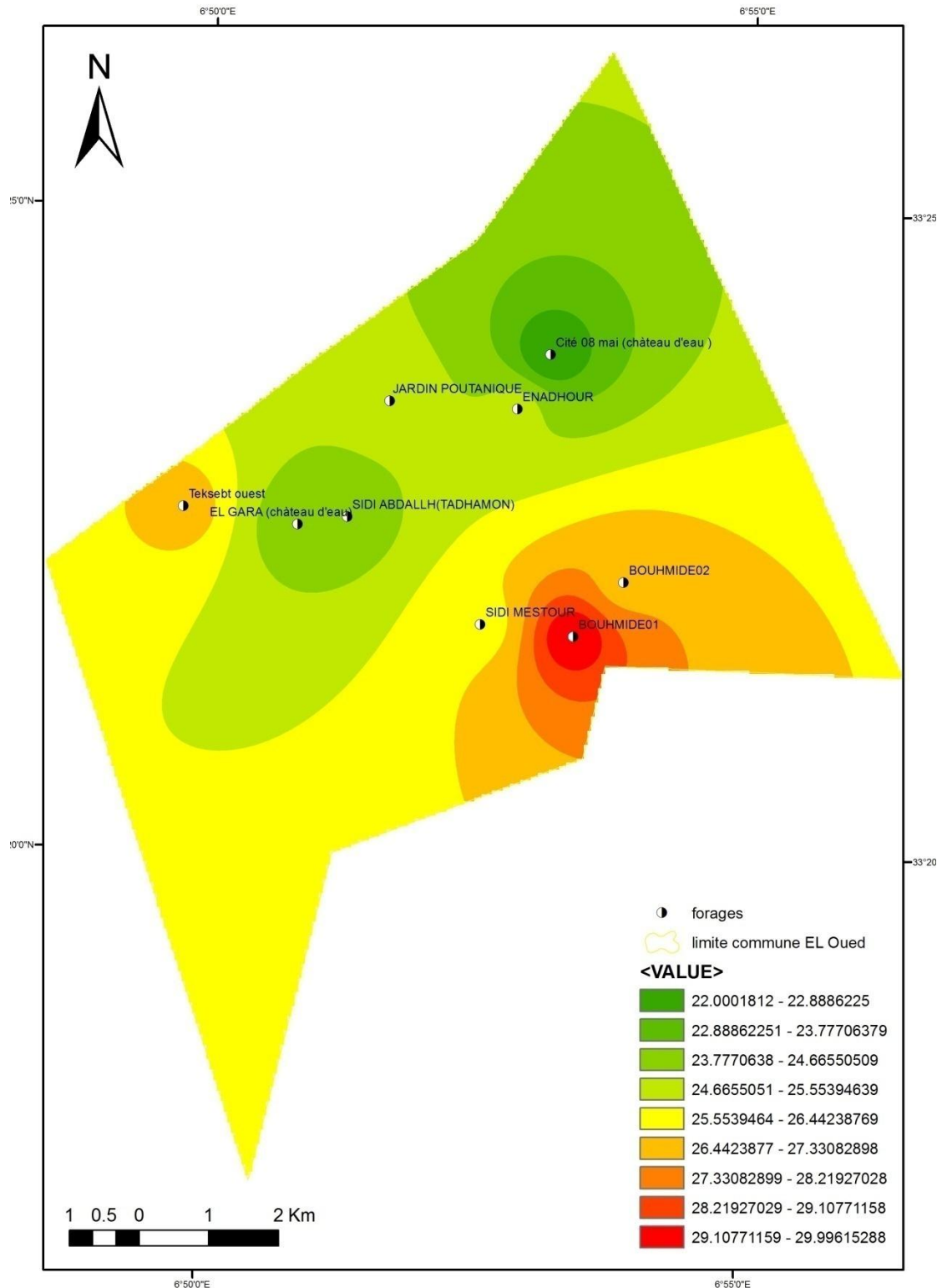


Figure N°45: Carte représentative de taux de K⁺(Khezazna Amina., 2024).

Interprétation de la carte de variation **Potassium** (mg/l) (2023) (Figure N°45) montre que :

- ✓ les faibles teneurs sont observées au point forage SIDI ABDALLHA (TADHAMON), EL GARA (château d'eau), Cité 08 mai (château d'eau) avec une valeur de (22-26.44) mg /l.
- ✓ les valeurs moyenne varient entre (26.45/27.33) mg/l ont été enregistré dans les forages , JARDIN POUTANIQUE, SIDI MESTOUR, ENADHOUR.
- ✓ les fortes valeurs varient entre(26.44/29.99) mg/l et sont enregistrées dans les forages BOUHMIDE01 , BOUHMIDE02,POLE UNVERSITAIRE,Teksebt ouest

III.4.10.Carte du Chlorure cl-:

On remarque une augmentation significative du chlore dans l'eau Analyse donne de changement Chlorure (Cl-) .

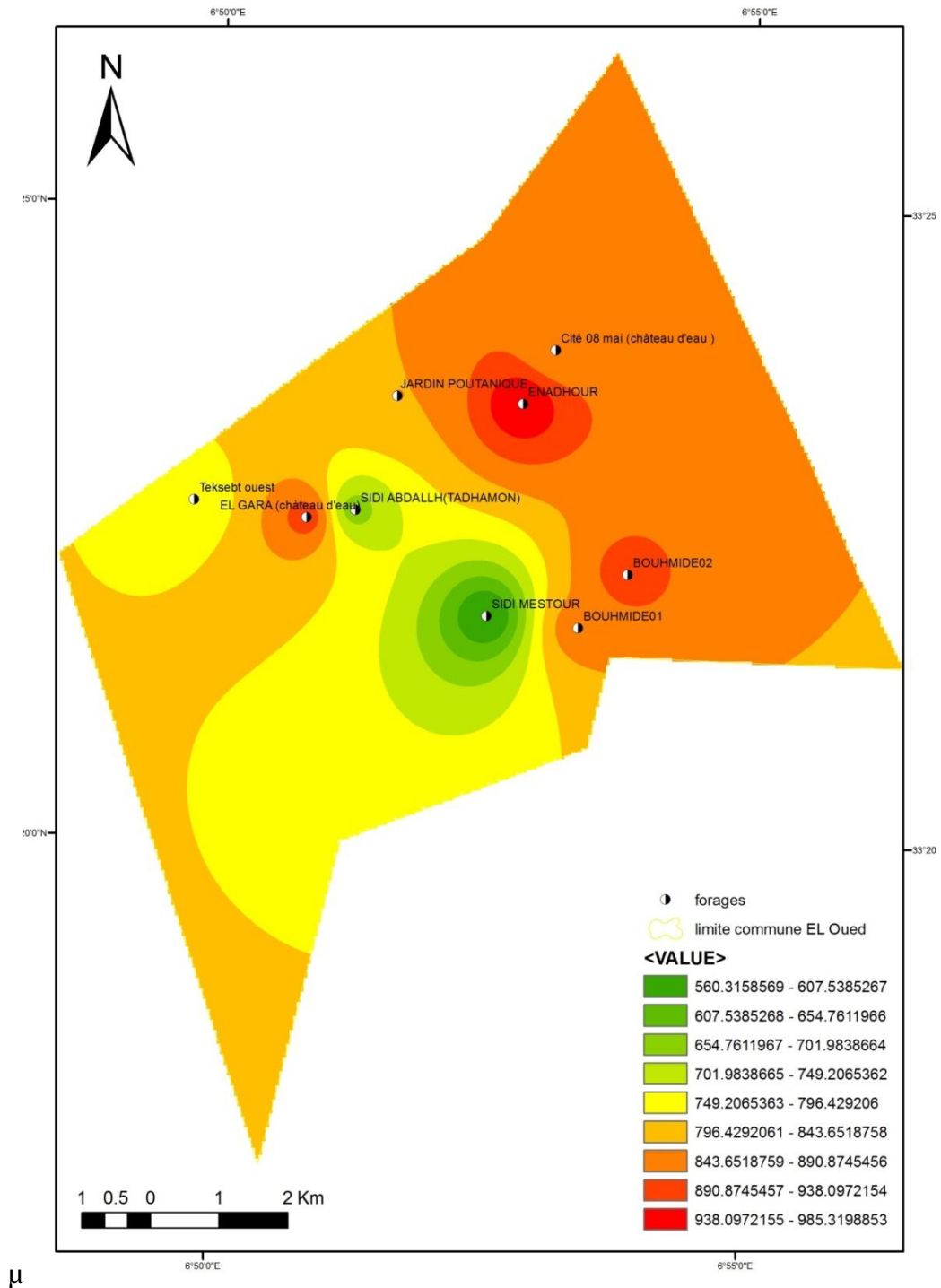


Figure N°46: Carte représentative de taux de Cl- (Khezazna Amina., 2024)

Après avoir examiné la carte de partition chlorure (Fig.46), on constate :

- ✓ La valeur minimum cela varie entre (560.31-749.20) enregistré dans des puits , SIDI MESTOUR et SIDIABDALLH (TADHAMON),
- ✓ La valeur moyen cela varie entre (749.20-797.42) enregistré dans des puits JARDIN POUTANIQUE, Teksebt ouest,

- ✓ La valeur maximale cela varie entre (796,42-985.31) enregistré dans des puits, EL GARA (château d'eau), Cité 08 mai (château d'eau), BOUHMIDE01 , BOUHMIDE02, ENADHOUR.

III.4.11. carte du Sulfates (SO4-):

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses.

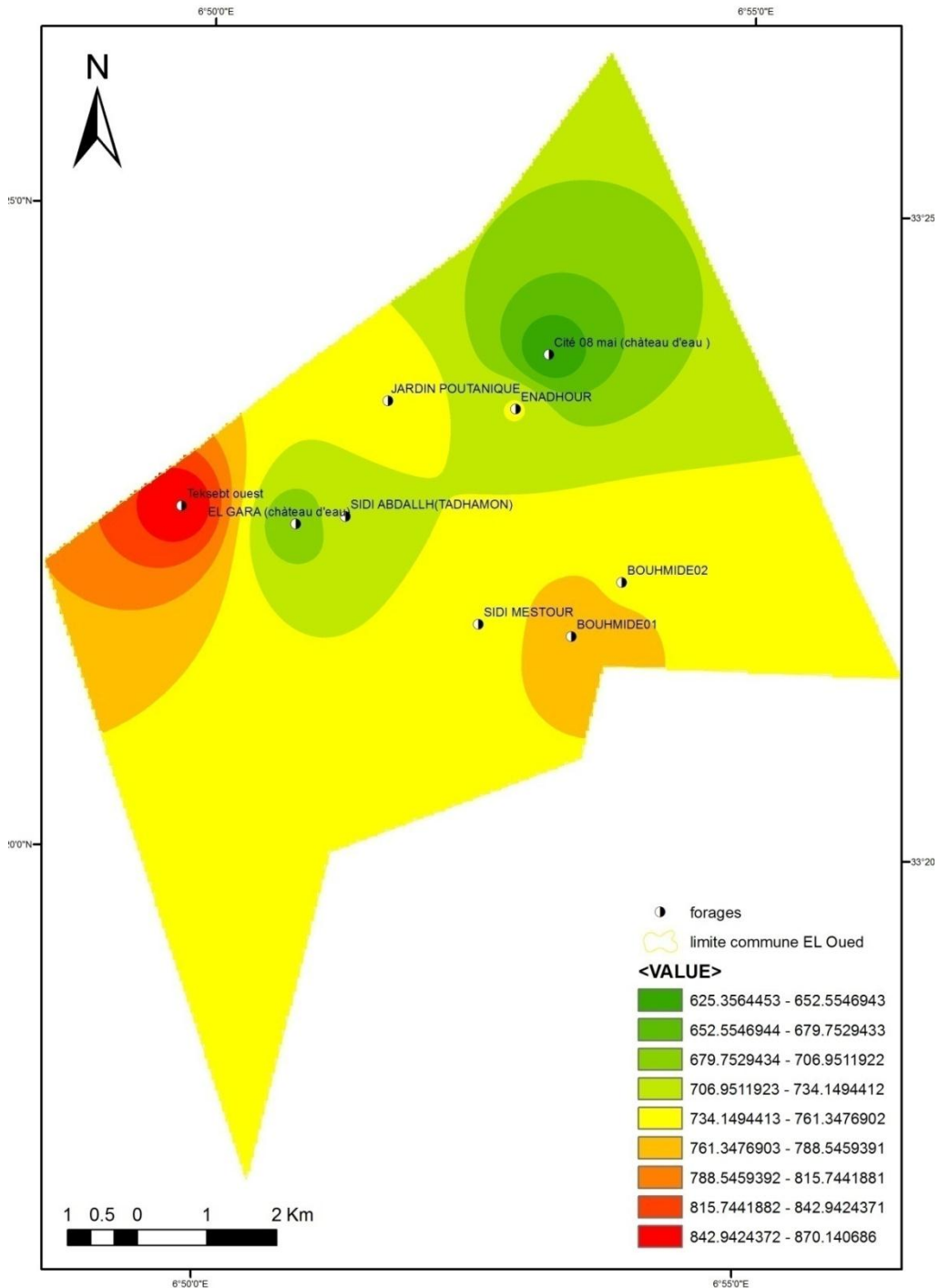


Figure N°47: Carte représentative de taux de SO4-(Khezazna Amina., 2024)

D'après la (Figure N°47) nous relevons :

- les faibles teneurs sont observées au niveau des points Cité 08 mai (château d'eau) et SIDI ABDALLH (TADHAMON) et EL GARA (château d'eau) avec des valeurs de l'ordre de (625.35/734.14) mg/l.
- les valeurs moyennes varient entre (734.15/788.45) mg/l et ont été enregistrées dans les forages (JARDIN POUTANIQUE, POLE UNIVERSITAIRE, BOUHMIDE 02, (SIDI MESTOUR, ENADHOUR, BOUHMIDE 02, POLE UNIVERSITAIRE).
- les fortes valeurs varient entre (788.46/870.14) mg/l ont été enregistrées dans le forage Teksebt ouest.

III.4.12. Carte des Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau,
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

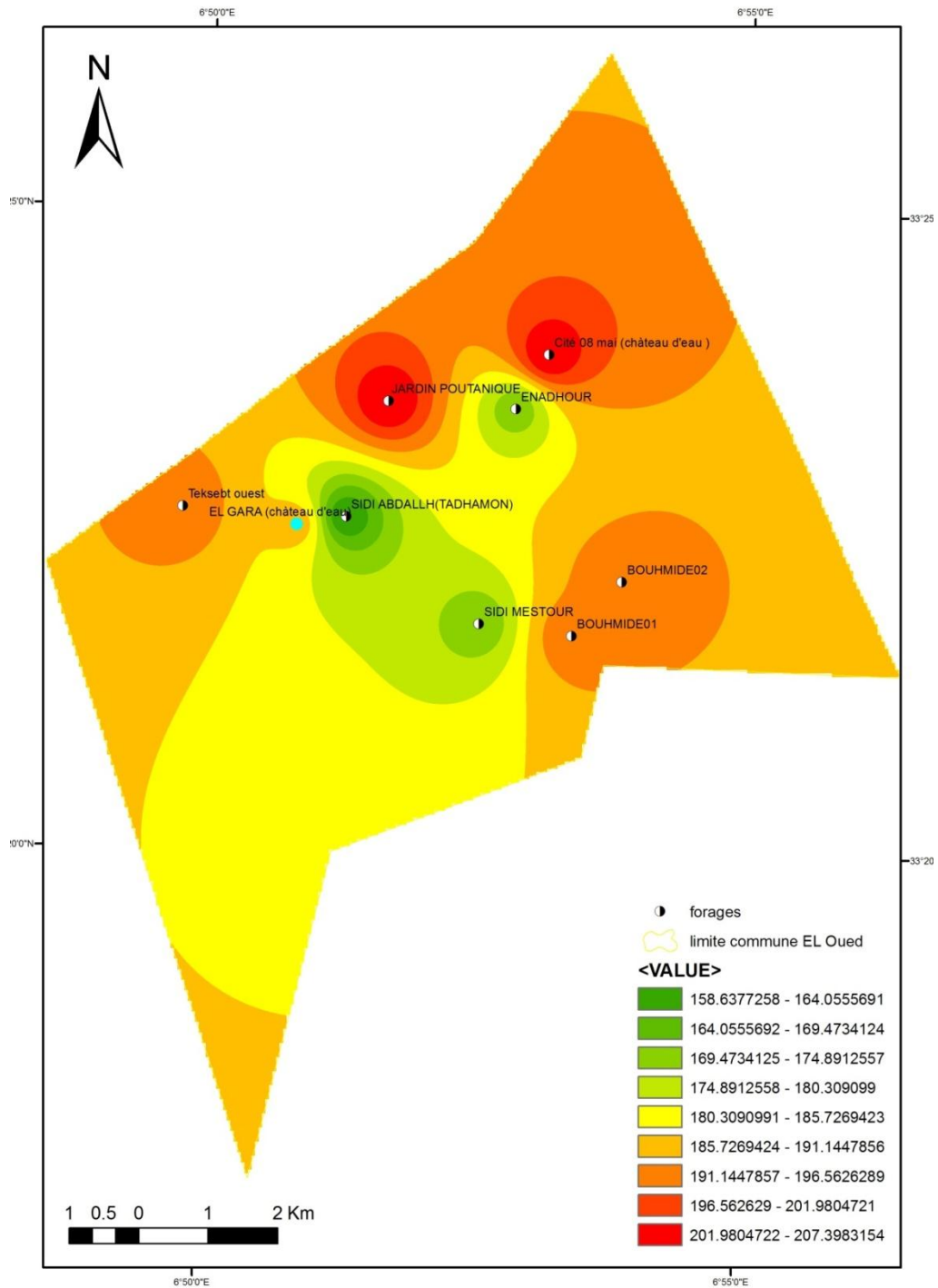


Figure N°48: Carte représentative du taux de HCO_3^- – (Khezazna Amina., 2024)

D'après (Fig.48) on note que :

- les faibles teneurs sont observées au niveau des forages (SIDI MESTOUR, ENADHOUR, SIDI ABDALLH (TADHAMON)), elles varient de (158.6-189.10) mg/l.

- les fortes valeurs varient entre (189.10-207.4) mg/l au niveau des forages (Teksebt ouest, Cité 08 mai (château d'eau), BOUHMIDE 01, BOUHMIDE 02, POLE UNVERSITAIRE, JARDIN POUTANIQUE, EL GARA (château d'eau).

III.4.13. Carte du Nitrate (NO3-) :

Les nitrates sont présents à l'état naturel dans le sol et solubles, ils pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau Ils sont l'une des causes de la dégradation de la qualité de l'eau.

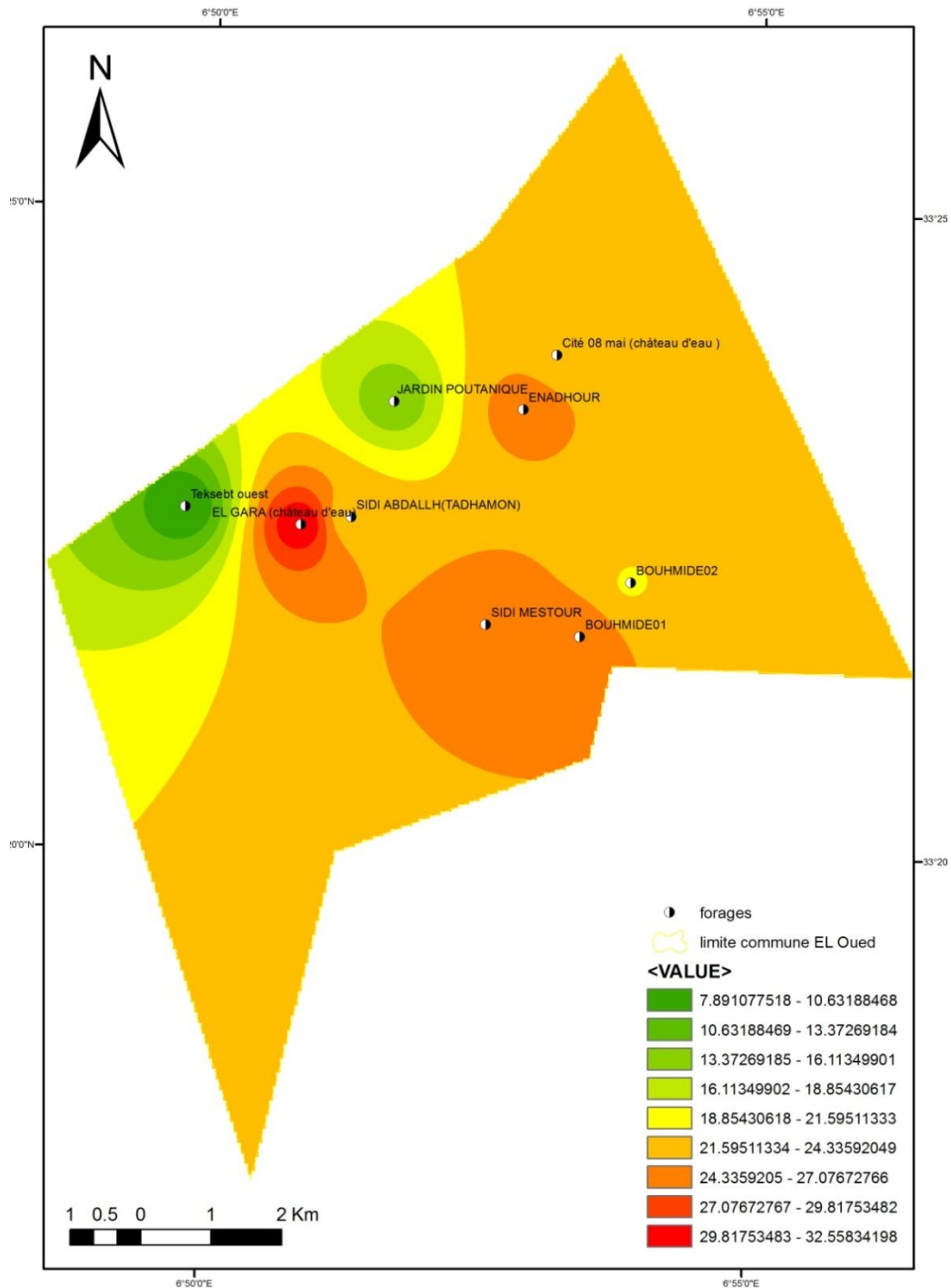


Figure N°49: Carte la représentative du taux NO3-(Khezazna Amina., 2024)

- les faibles teneurs sont observées au niveau des forages Teksebt ouest ,JARDIN POUTANIQUE et varient entre (7.89-18.58) mg/l .
- les valeurs moyennes varient de (18.59-24.33) mg/l au niveau des forages Cité 08 mai (château d'eau), BOUHMIDE 02, SIDI ABDALLH (TADHAMON).
- les fortes valeurs varient entre (24.34-32.55) mg/l au niveau des forages SIDI MESTOUR, ENADHOUR, BOUHMIDE 01, EL GARA (château d'eau).

Mais ici on constat que les valeurs de nitrates ne dépassent pas les normes OMS, et c'est une bonne chose.

III.5. Discussion des résultats:

Les résultats obtenus grâce à notre étude physique et chimique de la qualité des eaux souterraines dans la couche Miopliocène en prélevant dix échantillons ont montré que la plupart des eaux de puits étudiées étaient de très mauvaise qualité en raison des valeurs élevées enregistrées dans certaines variables présentes dans l'eau qui dépassaient les normes OMS Selon les normes algériennes, nous avons enregistré une augmentation de la conductivité dans les puits de Taksbat ouest, POLE UNVERSITAIRE. EL GARA (château d'eau), et Bouhamid01. Ceci est comparé aux résultats précédents il y a une dizaine d'années, Nous constatons cette augmentation des variables, devenue dangereuse pour l'homme, et l'irrigation, à l'exception de certaines plantes qui acceptent un pourcentage de salinité important. Grâce à notre étude de quelques références il nous apparaît clairement que les raisons de l'augmentation de ces variables indiquent que les teneurs en bicarbonate et en nitrate de l'eau sont faibles pourcentages et ne dépassent pas les normes. Nous notons que l'eau de mio-pliocène contrôle le chlorure de sodium avec une valeur de 70%. Les sources les plus importantes de nitrite sont les rejets d'eaux usées et la décomposition des organismes végétaux et animaux, il est rapidement absorbé par le sol en raison de sa susceptibilité il se dissout dans l'eau et devient éventuellement une source d'eau potable

Les valeurs globales de chlorure dans toutes les eaux de puits étudiées indiquent également que l'eau est hautement minéralisée et démontre la présence d'une forte filtration des matériaux de la couche superficielle d'argile, de sable et de gravier.

On explique que plus la température est élevée, plus les valeurs de conductivité sont élevée.

Comme on explique l'augmentation des niveaux de chlorure ,au raison de manque de pluie dans la région d'étude.

Nous notons que les eaux des forages étudiés sont très dures car elles dépassent les 50F° degrés Fahrenheit, et elles varient en fonction de chaque région et de la profondeur. Cela est dû à la nature rocheuse de l'aquifère mi-pliocène d'une part, et d'autre part, sa salinité, qui résulte également du pourcentage de dureté des ions calcium et magnésium.

III.6. CONCLUSION:

L'étude hydro chimique des eaux de la wilaya d'El Oued (l'aquifère Mio-pliocène),à travers les résultats obtenus matérialisés sous formes de diagrammes et sous formes de cartes hydro chimiques et analyse statistique, on a parvenu à mettre en évidence ce qui suit:

A partir de résultat des diagrammes Piper, SCHELLER BERKALOFF, STABLER Le facies chimique dominant est sulfaté sodique et chloruré sodique , L'étude des paramètres physico-chimiques et potabilité selon les normes Algérienne et OMS montre que la majorité des éléments ne sont pas conformes donc il n'est pas utilisable pour l'AEP.

Pour l'aptitude de l'eau a l'irrigation et sur le diagramme de Riverside et Wilcox on remarque que la qualité de l'eau est Médiocre .par ce que toute les points concentrés dans la classe C4 S2 l'eau de la région d'el oued est fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non- conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal).

CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Trois nappes composent le système aquifère d'El-Oued : la nappe libre (phréatique) et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire). Le réservoir de la nappe de complexe terminal est composé de formations très variées. Ces assises perméables couvrent le Sénonien calcaire et le Mio-Pliocène. Effectivement, trois corps aquifères principaux peuvent être identifiés, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Les couches Mio-Pliocènes se distinguent par une épaisseur importante de plus de 200 mètres.

La région d'El-Oued présente un climat de type saharien, avec un été chaud, sec et un hiver doux. La température moyenne annuelle est d'environ 22,45°C. Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 75.38 mm. En raison des faibles précipitations et d'une forte évapotranspiration, le bilan hydrique présente un déficit.

Les eaux de notre région d'étude, provenant de la nappe du Mio-Pliocène, sont en contact avec une lithologie riche en évaporites. Cela montre une minéralisation importante, avec des valeurs de conductivité électrique très élevées (4170 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), un niveau de Résidu-sec de (3240mg/l) comme maximum enregistré au CITE 08 MAI (château d'eau), Titre Hydrométrique SIDI ABDALLH (TADHAMON) avec une teneur de 1300 mg/l ,la Salinité 2,7 mg/l dans le puits Teksebt ouest , La teneur maximale en calcium de Teksebt ouest est de 340.59 mg/l, la teneur maximale a été enregistrée au forage JARDIN POUTANIQUE avec 174,25 mg/l , la valeur la plus élevée a été observée dans le forage JARDIN POUTANIQUE avec 430 mg/l, valeurs enregistrées maximale de la potassium 30mg/l dans le forage BOUHMIDE01, Chlorure tandis que la teneur maximale est enregistrée au forage ENADHOUR avec 985.59 mg/l, Bicarbonates 207.4 mg/l à JARDIN POUTANIQUE, une teneur maximale de 32,57 mg/l dans le forage EL GARA (château d'eau) . Les concentrations en éléments chimiques dépassent les normes de l'OMS et augmentent également le long du cours des eaux. Les eaux de la nappe du Mio-Pliocène dans la région de EL-Oued présentent une couleur chlorée, ce qui témoigne de l'influence de la matrice halite. On ne peut pas ignorer l'impact humain, des nitrates et du potassium ont été introduits dans les eaux de la nappe souterraine par infiltration. Toutefois, il est nécessaire que les cations et les anions importants proviennent de la dissolution. Les plus solubles des formations évaporitiques sont l'halite, le gypse et l'anhydrite. En revanche, les carbonates présentent une solubilité réduite et leur contribution en éléments chimiques dans les eaux de la nappe demeure moins significative.

- L'eau provenant de la nappe du Moi-Pliocène démontre qu'elle est inappropriée pour la consommation humaine, car elle est très exigeante et très polluée.
- Selon Piper, la classification des eaux révèle une prédominance des types de chlorure sodique et de sulfate sodique. Selon la nature géologique de la région, cette prédominance de la surface est liée au contact entre l'eau et la roche, car l'interaction entre l'eau et la roche entraîne une dissolution.
- Après avoir examiné les éléments physico-chimiques des 10 échantillons prélevés, nous avons remarqué que l'eau de la nappe aquifère Moi-Pliocène présente la même composition chimique.

L'analyse de l'eau destinée à l'agriculture, montre que:

Après avoir effectué les diagrammes de Richards, effectué le calcul du SAR et utilisé le et utilisés pour la cartographie des données c'est le logiciel Arc Gis qu'il on a l'utilisé dans ce travail, , nous avons constaté que les eaux de la nappe du Moi-Pliocène présentent une qualité chimique très médiocre pour l'irrigation. En résumé, quelle que soit l'objectif des eaux de la nappe du Moi-Pliocène, il est nécessaire de les traiter (station de traitement) avant d'être utilisées pour l'AEP. En ce qui concerne l'irrigation, ces eaux sont extrêmement minéralisées et peuvent entraîner une salinisation importante des terres agricoles .Cette eau ne peut être utilisée que pour les plantes qui ne sont pas sensibles au sel, comme le blé, l'orge et les palmiers.

REFERENCES



Références

- [1] Wada Y, Van Beek L P H, Van Kempen C M, Reckman J W T M, Vasak S, and Bierkens M F P. *Geo physical Research Letters*. 2010, 37 (20), 1–5,
- [2] Bekesi G, McGuire M, Moiler D. *Water Resour. Manag.* 23, 2009, 1665–1683,
- [3] Lezzaik, K.; Milewski, A.; Mullen, J. The Groundwater Risk Index: Development and Application in the Middle East and North Africa Region. *Sci. Total Environ.* 2018, 628–629, 1149–1164.
- [4] Besbes, M.; Abdous, B.; Abidi, B.; Ayed, A.; Bachtta, M.; Babasy, M.; Ben Baccar, B.; El Batti, D.; Ben Salah, Y.; Biet Charreton, M.; et al. Système Aquifère Du Sahara Septentrional Gestion Commune d'un Bassin Transfrontière. *La Houille Blanche* 2003, 89, 128–133.
- [5] Bouselsal, B.; Zeddouri, A.; Belksier, M.; Fenazi, B. Contribution de La Méthode de Vulnérabilité Intrinsèque GOD à l'Etude de La Pollution de La Nappe Libre d'Ouargla (SE Algérie). *Int. J. Environ. Glob. Clim. Change* 2015, 3, 92–99.
- [6] Bouselsal, B.; Kherici, N. Effets de La Remontée Des Eaux de La Nappe Phréatique Sur l'homme et l'environnement: Cas de La Région d'El-Oued (SE Algérie). *Afr. Sci. Rev. Int. Des Sci. Et Technol.* 2014, 10, 161–170.
- [7] (DPSP2024). Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaire de la wilaya d' El-Oued .
- Cornet, A., 1967. Introduction à l'hydrogéologie saharienne .Géographie Physique et Géologie dynamique .Vol.VI.1967.fascl,p5-72.
- [8] O.N.M 2018: Officie National de la Météorologie, (EL-Oued). Données climatiques de la région de (EL-Oued) (Algérie) (EL-Oued) STATION Guemar Données climatiques de la région de (EL-Oued) Période 2002-2018
- [9].Mihoub, A., Helimi, S., Mokhtari, S., & Halitim, A. (2016). Appréciation d'une method pour l'estimation des besoins en eau d'une culture cultivée dans un milieu salin (cas du palmier dattier). *Revue Agriculture*. Numéro spé, 189-197.
- [10].HADRAOUI.A BOUNEGAB.B., 2014, Reconnaissance géologique de l'aquifère du moi-pliocène de la région de Touggourt, Mémoire d'ingénieur d'état En géologie Université Kasdi Merbah Ouargla
- [11] BOUSELSAL Boualem¹, KHERICI Nacer², HADJ-SAID Samia³ et BELKSIER Mmed Salah;International Journal for environnement et global climate change ; QUALITE DES EAUX

- DES AQUIFERES DE SAHARA SEPTENTRIONALE CAS DES EAUX DES AQUIFERES D'EL-OUED (SE ALGERIE)
- [12] [13] [14] [15] AHMED FOUAD Tidjani; NAJOUA Serraoui(2022) , Mémoire ETUDE HYDROCHIMIQUE DE QUALITE DES EAUX MIO-PLIOCEN DE LA WILLAYA DE TOUGGOURT p
- [16] HOUARI I., 2012, contribution a l'étude de l'évolution géochimique des eaux de la nappe du complexe terminal du Sahara septentrional, Mémoire de Magister En géologie Université Kasdi Merbah Ouargla
- [17] MIMOUN Saliha et ZOUBEIDI Basma (2014); Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Sud-est Algérien).Mémoire de Master en Hydraulique Option : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement. Université d'El Oued ,88 p.
- [18] BOUSELSAL Boualem¹, KHERICI Nacer², HADJ-SAID Samia³ et BELKSIER Mmed Salah;International Journal for environment et global climate change ; QUALITE DES EAUX DES AQUIFERES DE SAHARA SEPTENTRIONALE CAS DES EAUX DES AQUIFERES D'EL-OUED (SE ALGERIE)
- [19] Seghieri Mohammed Lamine. Mémoire contribution a l etudeb de la relation entre la mineralisation et l evolution du rabattement des eaux de la nappe du complexe terminal dans la region d el oued ;sud algerien p77
- [20] [21] [22] Seghieri Mohammed Lamine Mémoire contribution a l etudeb de la relation entre la mineralisation et l evolution du rabattement des eaux de la nappe du complexe terminal dans la region d el oued ;sud algerien p76.77
- [23]GHERAIRI YAMINA ETUDE HYDROCHIMIQUE DE QUALITE DES EAUX MIO-PLIOCEN DE LA WILLAYA DE TOUGGOURT P64
- [24] [25] GHERAIRI YAMINA ETUDE HYDROCHIMIQUE DE QUALITE DES EAUX MIO-PLIOCEN DE LA WILLAYA DE TOUGGOURT P64.
- [30] BOUSELSAL Boualem2016 Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère libre d'El Oued souf (SE Algérie) Thèse de Doctorat en Sciences, Option : Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar- Annaba,p 168.
- [26].KHECHANA Salim (2014). Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyperaride. Application sur la vallée d'Oued Souf (Sud-Est algérien). Thèse de Doctorat en Sciences, Option : Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar- Annaba, 130p.
- [27]Application des systèmes d'information géographique , site d'internet.

- [28], [29] TERCHI Sara.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de Master en Hydraulique, Option Irrigation et Drainage, Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah,p.13
- [30] Impacte de la qualité des eaux souterraines (CI et CT) de la région d'oued Righ sur les réseaux distributions.Mémoire de Master Académique Spécialité : Hydrogéologie page 77
- [31] TERCHI Sara.2014. Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation . Mémoire de Master en Hydraulique,p3
- [32] [Journal... 1993; WHO 1994] WHO 1994. Quality guidelines for drinking water. World Health Organization p. 19–187.
- [33] . Lounnas A. (2008) : Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi Kroma de Skikda, Algérie. Mémoire de magister. Université 20 Août 1955, Skikda, 120p.
- [34] TFEILA, M. M., MOSA KO, Souabi S., ABOULHASSAN, M. A., et al. Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal: Cas du captage du Beni Nadji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott. Journal of Materials and Environmental Science, 2016, vol. 7, no 1, p. 148-160
- [35] Rodier, 1984 : caractéristique physico-chimique d'eau de timliha- tamantit –adrar pp 79.
- [36] Labiod k., 2010 : the de memoire : etude de caractere incristant des eaux et son inhibition par des essais chimique et d'electro deposition, page 133 .
- [37] [38] Gouaidia, 2008 : influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la Variation des parametres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi des Zones arides, cas de la nappe de meskiana nord-est algerien; universite badji mokhtarAnnaba algerie. 199 p.
- [39] Makhoukh,M. (2011),Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya .(Maroc).p46
- [40] . Gaujous D. (1995) : La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Paris, 200p.
- [41] MIHOUB, Redouane et CHABOUR, Nabil. Essais d'interprétation des anomalies hydrogéothermales de la région de Ghardaia, Algérie. Thèse de doctorat. قسنطينة.منتوري الإخوة جامعة
- [42] L. Levesque, 1976 ; elimination des nitrates dans les eaux potable, 1976, page 175.
- [43] SAIDA, AZLAOUI et NAIMA, ZENATI. Evaluation de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau consommée au site de l'université Ziane Achour de Djelfa. 2019. Thèse de doctorat. Université Ziane Achour-Djelfa: Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

[44] MIMOUNI, Yassine, et al. Evaluations de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface de trois sous bassins de Tensift. 2020.

Cornet,A,1967. Introduction à l'hydrogéologie saharienne .Géographie Physique et Géologie dynamique .Vol.VI.1967.fascl,p5-72.

Autres document consultes:

- (A.D.E) : Algérienne Des Eaux Wilaya d'EL-Oued.
- (A.N.R.H): L'agence National des Ressources Hydriques.
- (D.R.E):Direction des ressources en eau.
- O.N.M : Officie National de la Météorologie
- ONM El-Oued, (données Météorologiques période 1993/2018)

Tableau.01 : Analyses physico-chimiques des forage EL-Oued (ADE)2023

NOM	T (C°)	pH	CE (µs/cm)	SAL	Rés.se (mg/l)	TH (mg/l)	Ca2+ (mg/l)	Mg2+ (mg/l)	Na+ (mg/l)	K + (mg/l)	Cl- (mg/l)	SO4 2- (mg/l)	HCO3- (mg/l)	NO-3 (mg/l)
Teksebt ouest	19.6	7.54	4170	2.7	2980	1235	340.59	93.85	370	27	772.88	870.15	195.20	7.89
SIDI MESTOUR	19.6	7.82	3820	2.4	2850	1086	205.86	139.47	410	26	560.16	745.36	170.80	26.39
ENADHOUR	18.9	7.51	3770	2.4	2730	1003	266.17	82.56	420	25	985.59	736.59	170.80	26.03
Cité 08 mai (château d'eau)	20.0	7.73	3915	2.5	3240	1150	240.48	133.67 0	340	22	843.78	625.35	207.40	23.30
BOUHMIDE 01	19.1	7.80	3970	2.4	2720	1000	280.56	72.91	320	30	868.33	786.26	195.20	26.13
BOUHMIDE 2	23.4	7.43	3820	2.4	2950	1083	270.65	99.23	410	27	914.68	759.63	195.20	21.36
SIDI ABDALLH (TADHAMON)	22.1	7.46	3740	2.7	2730	1300	254.38	161.93	390	24	680.79	720.58	158.60	22.06
POLE UNVERSITAIRE	24.1	7.61	3970	2.5	2910	1154	280.46	110.79	380	29	815.42	758.69	195.20	8.49
JARDIN POUTANIQUE	20.1	7.65	3790	2.4	2030	1190	190.50	174.25	430	25	843.78	760.37	207.40	13.76
EL GARA (château d'eau)	19.5	7.68	4085	2.6	2980	1000	280.56	72/91	370	24	914.69	680.41	189.10	32.57
OMS	25	6.6- 8.5	2800		2000	54	75-200	50	200	20	200	200	_	50
ADE 2008	25	6.5- 9	2000		2000	500	75-200	150	150	12	200	400	_	50

