



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El oued



Faculté de Technologie

Département : Hydraulique et Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option : ouvrages hydraulique

THEME

Contribution à l'étude de la pollution de la nappe phréatique de la commune d'El Oued par les fuites d'hydrocarbures.

Diriger par :
MILOUDI Abdelmonem

Présenté par :
SOUALAH MED Nasser Eddine
SOUALAH ALILA Oualid

Devant le jury composé de :

Président	SALIM KHACHANA	U. El-Oued
Examineur	ZAIR NADJAT	U. El-Oued
Rapporteur	MILOUDI Abdelmonem	U. El-Oued

Année universitaire 2023 /2024

Remerciements

En premier lieu, je remercie Dieu le Tout-Puissant qui nous a donné la force de mener à terme ce travail.

Nous tenons particulièrement à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur, Monsieur MILOUDI Abdelmonem. Ce fut un grand plaisir de travailler avec lui durant la préparation de ce travail. Sans ses encouragements, nous ne serions jamais arrivés à ce stade de notre formation. Qu'il reçoive l'expression de remerciements les plus sincères.

Nous tenons à remercier les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail. Un grand merci à tous les enseignants qui nous ont accompagnés durant ce cursus universitaire.

Nous remercions Mr RADWANI Nacer, ingénieur de la D.H.W. d'El-Oued qui nous aide pour la réalisation de ce travail et pour lui approvisionnement par des importantes informations.

Nous remercions aussi Mr MAHAWA MOHAMMED, de la ADE d'El-Oued. Aux tous personnels des services approchés : de la ADE d'El-Oued. Agence National de ressource Hydraulique d'El-Oued (A.N.R.H).

Grand merci à ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. Vraiment, nous vous remercions énormément, et que Dieu vous protège, bénisse, et nous prions Dieu de vous donner la santé et le bien-être. Qu'ils ont fait pour nous, que Dieu leur prête bonheur et longue vie."

RÉSUMÉ

Les eaux de la nappe phréatique sont exposées à de nombreux problèmes de pollution, dont la contamination par différents polluants dans la nature. La zone d'étude fait partie du système aquifère du Sahara septentrional (SASS), de la wilaya El-Oued, qui est très menacée par la pollution des eaux. Cette étude a été abordée par un prélèvement au niveau des 18 puits de la zone d'étude (8 puits près de différentes stations-service et 10 puits éloignés de celles-ci). Le principal objectif de cette étude est de mettre en place un diagnostic de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d'El Oued, ainsi que son exposition à la pollution par les fuites d' hydrocarbures, sur la base d'un système d'information géographique (SIG). La qualité des eaux a été déterminée par l'analyse des paramètres physico-chimiques, biochimiques et des métaux lourds. Les résultats obtenus ont montré une élévation en conductivité, TDS. Les résultats ont également montré des concentrations importantes en (Ca^{++}), (Mg^{++}), (Cl^-), (HCO_3^-) et (TAC) au niveau des stations d'étude. Cependant, les résultats obtenus montrent des valeurs élevées des concentrations de Pb , NO_2^- et NO_3^- , dépassant la norme recommandée par l'OMS pour les eaux potables. Cette étude nous a permis de déduire que la qualité des eaux de la commune d'El Oued a été altérée par les activités anthropiques et les phénomènes naturels.

Mots clés : Nappe phréatique, Commune d'El-Oued, pollution, plomb, SIG.

الملخص

مياه الجوفية معرضة لعدة مشاكل في التلوث، بما في ذلك التلوث بواسطة ملوثات مختلفة في الطبيعة. تقع منطقة الدراسة ضمن نظام الأحواض المائية الجوفية للصحراء الشمالية (SASS)، في ولاية الوادي، والتي تتعرض لخطر التلوث بشكل كبير. تمت هذه الدراسة من خلال أخذ عينات في 18 بئرا في منطقة الدراسة (ثمانية آبار قرب محطات البنزين المختلفة وعشرة آبار بعيدة عنها). الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو إجراء تشخيص لجودة مياه الجوفية في منطقة الوادي ومدى تعرضها للتلوث بواسطة التسربات الهيدروكربونية، استنادًا إلى نظام معلومات جغرافية ArcGis 10.7 (SIG). تم تحديد جودة المياه من خلال تحليل المعلمات الفيزيائية والكيميائية والبيوكيميائية والمعادن الثقيلة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ارتفاعًا في التوصيلية والمواد الذائبة الكلية. كما أظهرت النتائج تركيزات مهمة من (Ca^{++}) ، (Mg^{++}) ، (Cl^-) ، (HCO_3^-) ، و (TAC) عند مستوى محطات الدراسة. ومع ذلك، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها قيمًا مرتفعة لتراكيز الرصاص و (NO_3^-) و (NO_2^-) ، تجاوزت القيم الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب. أتاحت لنا هذه الدراسة الاستنتاج أن جودة مياه بلدية الوادي قد تأثرت بالأنشطة البشرية والظواهر الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: الطبقة الجوفية ، بلدية الوادي، تلوث، الرصاص، SIG .

Liste des abréviations

°C : degré Celsius.

A.D.E.: Algérienne Des Eau.

A.N.R.H.: Agence Nationale des Ressources Hydriques.

ACP: Analyse en Composantes Principales.

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

D.H.W : Direction de l'hydraulique de la Wilaya

D.R.E : Direction de Ressources en Eau.

DCO: Demande Carbonique en Oxygène.

OMS : L'Organisation Mondiale de la Santé.

ONM : Office National Météorologique.

ONS : Office National de Statistique.

pH : Potentiel hydrogène.

SAA: Spectrométrie d'Absorption Atomique

SASS: Système aquifère du Sahara septentrional.

SIG : Système d'Information Géographique.

T : température.

U.N.E.S.C.O. : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

Sommaire

Titre	page
Remerciement.....	
Resume.....	
Liste des abréviations.....	
Sommaire.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Introduction générale	01
Chapitre I: Présentation de la région du Souf (Commune d'El-Oued)	
I. Présentation de la zone d'étude	04
I.1. Situation géographique de la région d'Oued Souf.....	04
I.2. Peuplements du Souf	05
I.3. Situation économique	06
I.4. Géomorphologie	07
I.5. Le relief et topographie de la région du Souf.....	07
I.5.1. Le relief:.....	07
I.5.2. Situation topographique	08
I.6. Contexte climatique du souf	08
I.6.1. Climatologie	09
I.6.1.1. Températures	09
I.6.1.2. Précipitations	10
I.6.1.3. Evaporation potentielle.....	12
I.6.1.4. Vitesse du vent	13
I.6.1.5. Humidité	13
I.6.1.6. Insolation.....	14
I.6.2. Synthèse climatique.....	15
I.6.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	15
I.6.2.2. Quotient pluviothermique.....	16
Conclusion.....	17
Chapitre II: géologie et hydrogéologie de la zone d'étude	
1. Cadre hydrogéologique.....	19
1.1. Ressources en eau dans la wilaya d'El-Oued.....	19
1.1.1. Nappe phréatique.....	20
1.1.2. La nappe du complexe terminal.....	21
1.1.3. Nappe du Continental Intercalaire (C.I).....	21
1.2. Aperçu de la qualité des eaux de la nappe phréatique	22
II. Géologie.....	22
II.1. Stratigraphie régionale.....	23
II.1.1. Formation de l'ère secondaire (Mésozoïque).....	23
II.1.2. Tertiaire.....	25
II.1.3. Quaternaire.....	26
III. Conclusion.....	28
Chapitre III Caractérisation hydrochimiques des eaux souterraines de la commune d'El-Oued.	
I. Introduction).....	30
II. Généralités sur la pollution).....	30

Sommaire

II.1. Modes de pollution).....	30
II.1.1. Les pollutions accidentelles.....	30
II.1.2. Les pollutions diffuses).....	31
II.1.3. La pollution anthropique).....	32
II.2. Types de pollution).....	32
II.2.1. Pollution chimique).....	32
II.2.2. Pollution physique).....	33
II.2.3. Pollution microbiologique).....	33
III. Méthodologie et données utilisées :)	34
III.1. Prélèvement).....	35
III.2. Appareillage).....	35
III.2.1. Spectrophotomètre à flamme.....	35
III.2.2. Spectrophotomètre.....	36
IV. Cartographie hydrochimies.....	36
IV.1. Paramètres physico-chimiques.....	36
IV.1.1. Température.....	36
IV.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	38
IV.1.3. Les solides totaux dissous (TDS).....	39
IV.1.4. La Conductivité Electrique (CE).....	40
IV.2. Minéralisation Globale.....	41
IV.2.1. Les chlorures (Cl ⁻).....	41
IV.2.2. Les bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	42
IV.2.4. Le Magnésium (Mg ⁺²).....	43
IV.2.5. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	44
IV.3. Paramètres de pollution:.....	45
IV.3.1. Ammonium (NH ₄ ⁺).....	45
IV.3.2. Nitrite (NO ₂ ⁻).....	47
IV.3.3. Plomb Pb.....	49
V. Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51
Référence bibliographique.....	50

Liste des figures	Page
Figure 01: Situation Géographique de la Wilaya d 'El-Oued.....	04
Figure 02: Les frontières de la vallée du Souf.....	06
Figure 03: Carte topographique de vallée d' El-Oued.....	08
Figure 04: Variation interannuelle des précipitations (1978-2023) du Souf.....	11
Figure 05: L'évaporation potentielle de la région du Souf (1986-2009).....	12
Figure 06 : Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Souf (1978-2017).....	15
Figure 07: Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.....	16
Figure 08 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la région de Oued Souf.....	19
Figure 09: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara.....	20
Figure 10 : Carte des ressources en eaux aquifères du CT et du CI.....	24
Figure 11 : Carte géologique du SASS.....	26
Figure12 : Colonne stratigraphique des forages de CI existant dans la zone d'El-Oued.....	27
Figure 13: Pollution industrielle.....	31
Figure14: Pollution diffuses.....	31
Figure15: Pollution chimique.....	32
Figure 16: Pollution physique.....	33
Figure17: Contamination microbienne des eaux.....	34
Figure 18: Points d'échantillonnages de la zone d'étude.....	35
Figure19: Spectrophotomètre à flamme (UDERZA, El Oued 2024).....	35
Figure 20 : Carte de T° (C) des eaux souterraines de la région d'étude (2024).....	37
Figure 21 : Carte de pH des eaux souterraines de la région d'étude (2024).....	38
Figure 22 : Carte de TDS des eaux souterraines de la région d'étude (2024).....	39
Figure 23 : Carte de Conductivité électrique (CE).....	40
Figure 24 : Carte de Chlorure (Cl) des eaux de la nappe phréatique de la zone d'étude (2024).....	41
Figure 25 : Carte de Bicarbonates (HCO_3^-) des eaux souterraines de la région.....	42
Figure 26 : Carte de Calcium (Ca^{+2}) des eaux souterraines de la région d'étude.....	43
Figure 28 : Carte de Magnésium (Mg^{+2}) des eaux souterraines de la région d'étude.....	44
Figure 29 : Carte de Nitrates (NO_3^-) des eaux souterraines de la région d'étude.....	45
Figure 30: Carte d'Ammonium (NH_4^+) des eaux souterraines de la zone d'étude.....	46
Figure 31 : Nitrite des eaux souterraines de zone d'étude.....	47
Figure 32 : distribution de Plomb dans les eaux de la nappe phréatique de zone	48

Liste des figures

d'étude.....•	
---------------	--

Liste des tableaux

Liste des tableaux	Page
Tableau 01 : Répartition de la superficie et nombre d'habitant de la zone d'étude par commune.....	04
Tableau 02 : Données climatiques de la région d'Oued Souf Température & précipitation (1978 - 2018).....	09
Tableau 03 : Précipitations interannuelles (1978 -2023) du Souf.....	10
Tableau 04 : Données climatiques de la région d'Oued Souf-Evaporation-(1986-2009)..... ...	11
Tableau 05 : Données climatiques de la région d'Oued Souf-Vents-(1993-2015).....	12
Tableau 06 : Données climatiques du Souf- Humidité de l'air-(1978-2015)....	13
Tableau 07 : Données climatiques de la région d'Oued Souf- Insolation -(1997- 2009)	13

Introduction générale

L'eau, essentielle à la vie et cruciale pour de nombreuses activités humaines, représente un défi majeur dans diverses régions, notamment les zones arides et semi-arides où elle est rare, ainsi que dans d'autres où sa qualité est médiocre. Son rôle dans l'économie humaine ne cesse de croître, passant de l'utilisation des sources et des nappes phréatiques à une dépendance croissante à l'égard des eaux de surface, en raison des besoins croissants de la civilisation moderne (Chaden M.H, 2014). Malheureusement, ces ressources sont confrontées à des problèmes environnementaux majeurs, notamment la pollution des eaux de surface, sujet qui a fait l'objet de nombreuses études approfondies.

L'eau, précieuse ressource vitale, représente les trois quarts de la planète, mais seulement 0,014% de cette ressource est constituée d'eau douce (Nehme N. 2014), y compris les eaux de surface telles que les rivières, les lacs et les étangs. La répartition inégale de l'eau sur Terre représente un défi majeur sur les plans politique, économique et stratégique. Selon les Nations Unies (ONU), près de la moitié de la population des pays méditerranéens sera confrontée à des situations de stress hydrique ou de pénurie d'eau d'ici 2025 (Raïs MT, Xanthoulis D. 1999). Actuellement, les ressources en eau douce sont exposées à divers polluants d'origines multiples, ce qui menace non seulement la santé humaine mais aussi l'environnement dans son ensemble. Cette menace a suscité une prise de conscience mondiale et incité les chercheurs à étudier l'état de contamination des milieux aquatiques (N'guessan YM, et al. 2016).

Dans la région de la vallée du Souf, l'eau joue un rôle crucial dans le soutien de la vie et la satisfaction des besoins des habitants, de l'agriculture et de l'industrie. Cependant, cette ressource vitale est confrontée à des défis majeurs en raison de la pollution (Ghazali A., et al.,2013). Le problème de la pollution de l'eau dans la vallée du Souf est le résultat de plusieurs facteurs, notamment les activités industrielles et agricoles, l'élimination inappropriée des déchets industriels et agricoles, la fuite de produits chimiques des exploitations agricoles et des usines dans les sources d'eau, ainsi que la pollution causée par le déversement des eaux usées non traitées. Cette pollution entraîne une détérioration de la qualité de l'eau et a un impact néfaste sur la santé publique et l'environnement local, menaçant de réduire l'approvisionnement en eau potable et compromettant la durabilité des ressources hydriques dans la région (Saker A. 2000).

Le but principal de cette étude est d'évaluer l'état actuel ainsi que le risque de pollution des ressources en eau causée par les fuites d'hydrocarbures en se fondant sur les données relatives à la qualité des eaux et des systèmes d'information géographiques SIG (ArcGis 10.7) (indices spectraux). La création d'une cartographie détaillée de la vulnérabilité de la nappe phréatique à la pollution vise à assurer la protection et la préservation des eaux souterraines.

Introduction générale

Pour parvenir à ces objectifs, nous avons suivi une approche méthodologique articulée autour de deux axes principaux : l'identification des différentes sources de pollution des eaux.

Le travail proposé est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons des informations générales sur la zone d'étude, notamment sa situation géographique, les caractéristiques démographiques et économiques de la région, la géomorphologie, le relief, la topographie et la climatologie de la région du Souf.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.

La Troisième chapitre, est consacrée à l'hydrochimie où nous avons évalué les qualités physico-chimiques des eaux de différents points de la commune d'El Oued (Autour et loin des stations d'essence) par rapport à la norme algérienne et les normes de l'OMS. Et en fin la cartographie des paramètres de pollution et leurs évolutions dans le temps. Ce travail n'aurait pas pu être effectué sans l'utilisation d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) en utilisant l'environnement ArcGis.

Enfin, une conclusion générale est apportée à ce travail en dégagant les principales perspectives.

Chapitre I Présentation générale de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique de la région d'Oued Souf :

La région du Souf, faisant partie de la wilaya d'El-Oued, est située dans le Sud-Est algérien, entre les coordonnées 33° et 34° de latitude nord et 6° et 8° de longitude est. Elle se caractérise par un vaste paysage de palmiers entourés par les dunes de sable, se trouvant à une altitude d'environ 70 mètres au-dessus du niveau de la mer (BEGGAS, 1992).

La wilaya d'El Oued occupe une superficie de 44 585 km² avec une population d'environ 990 000 habitants, ce qui donne une densité de population de 12 habitants par kilomètre carré. La zone étudiée comprend 22 communes regroupées en 10 Daïras, couvrant une superficie d'environ 14 518,33 km² (ONS, 2013).

Le terme "Souf" dérive du nom berbère signifiant rivière ou oued. À l'origine, l'activité principale des habitants de la région était l'agriculture. Chaque palmeraie a vu le jour grâce à d'importants efforts tant sur le plan physique que financier (DSA, 2005).

Elle est limitée :

- au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa.
- à l'Est par la Tunisie.
- à l'Ouest par les wilayas de El Meghaier, et Touggourt.
- Au Sud par la wilaya d'Ouargla.

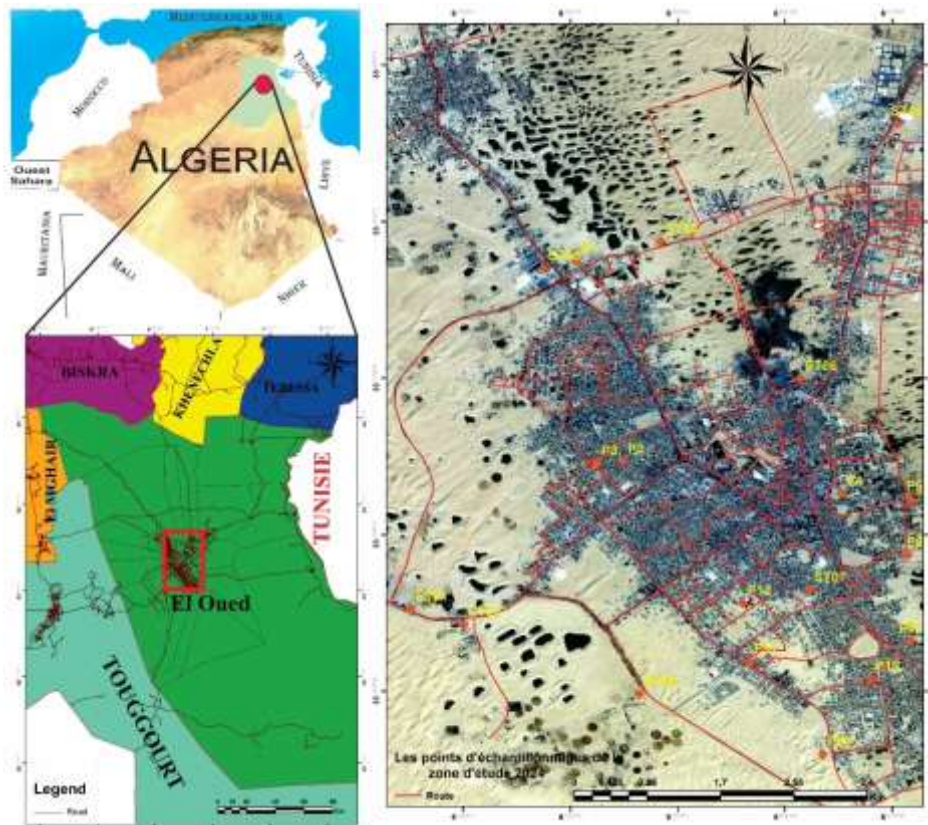


Figure 01 : Situation Géographique de la Wilaya d'El-Oued

Chapitre I Présentation général de la zone d'étude

La longueur de sa frontière avec la Tunisie est de 300 Km environ. Elle est couverte par le grand Erg Oriental sur les 2/3 de son territoire. La wilaya est divisée en trois principales sous régions (Hillisse Y, 2007) : Région du Souf - Régions des dépressions (Hamraia) -zone frontière.

I.2. Peuplements du Souf :

La vallée du Souf occupe une superficie de 35674,2 km², et avec un nombre de population de 757000 habitants selon la DPSB 2023.

Tableau 01: Répartition de la superficie et nombre d'habitant de la zone d'étude par commune (DPSB, 2023).

Commune		Population (hab)	Superficie (km ²)	Commune		Population (hab)	Superficie (km ²)
1	El Oued	205600	77.2	12	Bayadha	48405	139
2	Kouinine	16015	116	13	Oued el Alenda	9440	712
3	Réguiba	65865	1965.6	14	Ben Guecha	7105	2646
4	Hamraia	8185	2444	15	MihOuansa	26455	1111
5	Guemar	64220	1264.4	16	Trifaoui	12595	474
6	Taghzout	20540	539,2	17	Magrane	35570	618
7	Ourmés	8340	442,8	18	Sidi Aoun	17650	480
8	Débila	37745	78	19	Robbah	32895	499,2
9	Hassani Abdelkrim	35600	58	20	Nakhla	19975	700
10	Hassi Khalifa	48010	1112	21	El Oglia	9530	1352
11	Taleb Larbi	16770	1110	22	Douar Elmaa	10490	17813
Superficie total :		35674,2 Km²		Population total		757000 hab	

Elle s'étend sur 22 communes, dont la commune d'El-Oued qui est la chef-lieu de la wilaya et la commune la plus peuplée 205 600 habitants avec une densité 2404,34 hab/km², suivie par la commune de Reguiba de 65 865 habitants (29,82 hab/km²), par contre la commune d'Hamraia 8 185 hab (la plus faible densité de population 6,17 hab/km²).

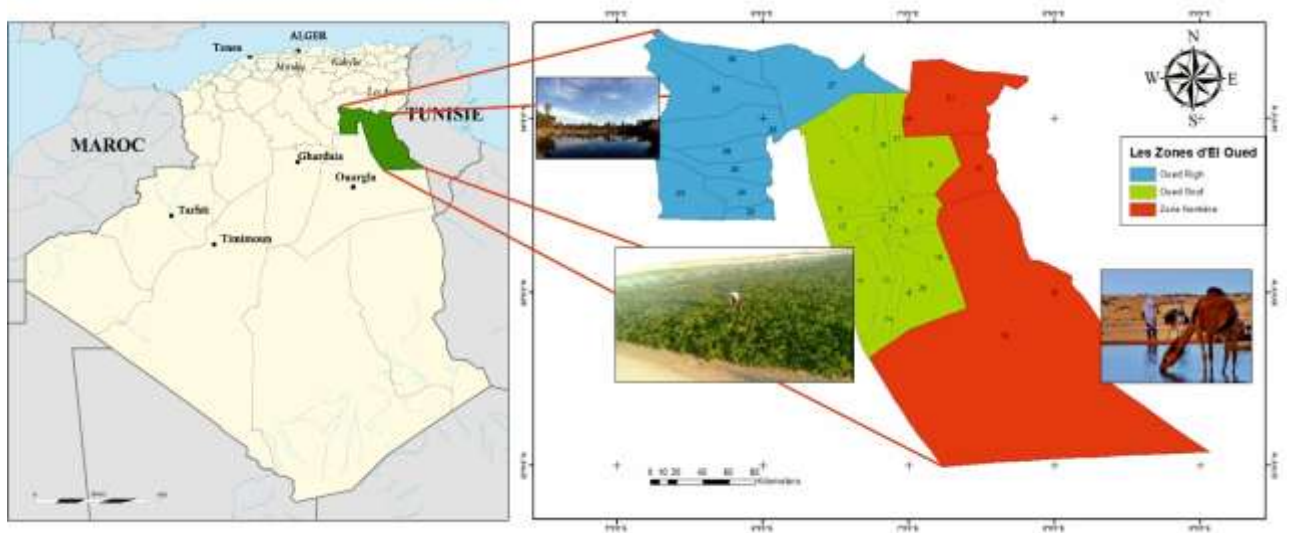


Figure 02: Les frontières de la vallée du Souf.

I.3. Situation économique :

La région est caractérisée par une économie agricole liée intimement au palmier dattier. Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an. L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit (DSA; 2016):

- Ovin : 500 000 têtes.
- Caprin : 153 000 têtes.
- Camelin : 27300 têtes.
- Bovin : 4700 têtes.

Cela permet d'avoir :

- Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an .
- Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an .
- Une production d'œufs estimée à : 27561270 (œufs /an).
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est le palmier dattier viennent après le tabac, les arachides en dernier la pomme de terre et quelques cultures maraîchères. La ville d'EL-Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique. En ce qui concerne les activités artisanales, la région du Souf a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinés à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés. Enfin son architecture est admirable, distinctes par les coupes qui coiffent les maisons (Fetter C.W.,2001).

I.4. Géomorphologie

La région du Souf est une région sablonneuse avec des dunes qui peuvent atteindre les 100 mètres de hauteur. Ce relief est assez accentué et se présente sous un double aspect. L'un est un Erg c'est-à-dire région où le sable s'accumule en dunes et c'est la plus importante. Cette dernière occupe 3/4 de la surface totale de la région. L'autre est le Sahane ou région plate et déprimée, formant des dépressions fermées, entourées par les dunes, souvent assez étendus et parfois caillouteux ou recouverts par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire a (ANRH, 2005).

Une observation du sol permet de distinguer les formations suivantes (Zidane M. L. et Soufi M. 2018):

1. **Tercha** : Composé de fins cristaux qui lui confèrent une apparence de grès, se présentant en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est constitué de cristaux de fer.

2. **Louss** : Caractérisé par des cristaux de gypse en fer disposés en lames imbriquées, le Louss se trouve sous forme de couches continues, très résistantes, formant des réseaux mélangés avec du sable, des bancs isolés ou des colonnes qui semblent être formées autour d'anciennes racines de gypse.

3. **Salsala ou Smida** : Présentant des plaques continues ou des bancs extrêmement durs, le Salsala est composé de cristaux de fer comme le Louss, mais ils sont plus fins et plus serrés.

4. **Tefza** : Il s'agit d'un grès blanc assez dur, utilisé comme pierre à chauffer pour produire du plâtre. (Les termes Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont des désignations locales utilisées pour différentes couches géologiques).

I.5. Le relief et topographie de la région du Souf :

I.5.1. Le relief:

La wilaya d'El-Oued en Algérie présente un relief diversifié, composé de trois principaux ensembles (Halitim. A, 2011):

1. **La région du Souf** : Une zone sablonneuse située dans l'Erg oriental, couvrant entièrement le Sud-Est et une partie du Sud de la région. L'Erg, qui occupe environ les trois quarts de sa superficie, constitue la majeure partie de cette région.

2. **L'Oued Righ** : Des plateaux rocheux s'étendant vers le Sud et l'Ouest, caractérisés par des dunes de sable et des formations rocheuses de faible hauteur. Ces plateaux alternent entre des zones de dunes et des crêtes rocheuses.

3. **Des dépressions** : Marquées par la présence de nombreux chotts qui descendent vers l'Est, avec une altitude qui diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est, atteignant même des niveaux négatifs au niveau des chotts. Ces dépressions abritent des formations quaternaires

sous forme de sebkhas ou de chotts (Serraye A ; 2014).

I.5.2. Situation topographique :

La zone d'étude fait partie du grand Erg oriental, caractérisé par un ensemble de dunes de sable d'origine continentale, avec des altitudes oscillantes entre 64 mètres et 100 mètres (Cornet A, 1964). La région d'Oued Souf, également connue sous le nom de région du Bas-Sahara, se caractérise par une faible altitude dans le Sud-est du pays.

- Le point culminant se situe à une altitude de 125 mètres dans la commune d'Essoualah.
- Le point le plus bas est à une altitude de -4 mètres dans la commune de Réguiba (Foulia), selon les données de l'ANRH en 2019.

L'altitude moyenne de la région est de 61 mètres, avec une diminution en allant du Sud vers le Nord, atteignant 25 mètres en dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts, qui occupent le fond de l'immense bassin du Bas Sahara(ANRH 2005).

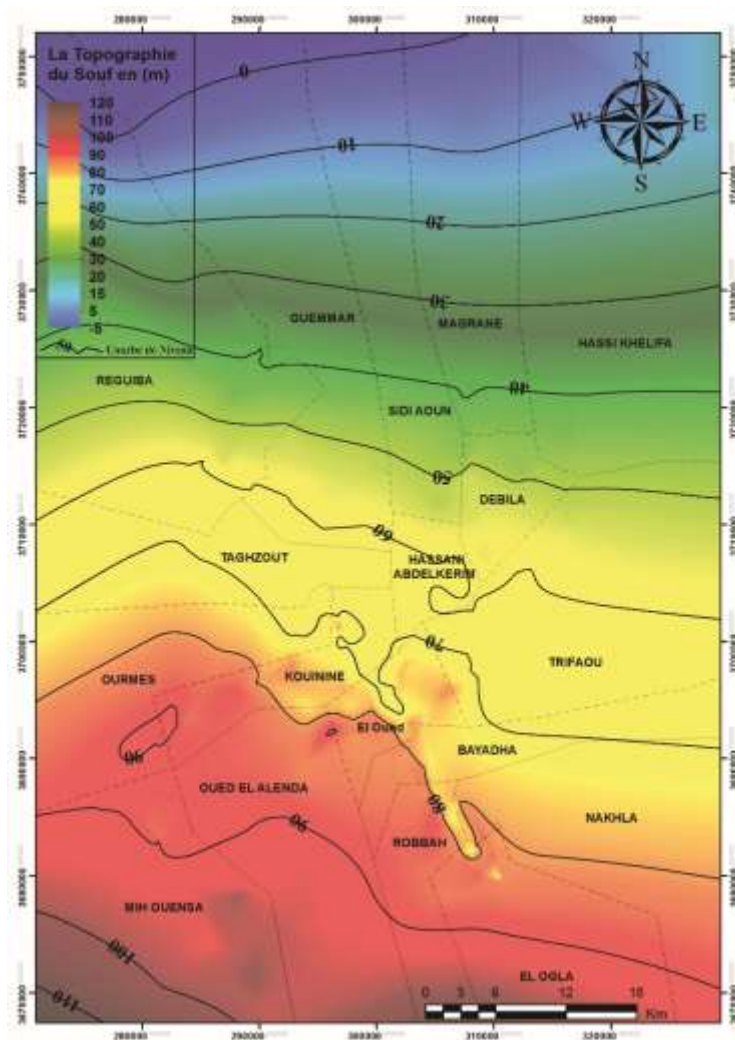


Figure 03: Carte topographique de vallée d'El-Oued

I.6. Contexte climatique du Souf :

L'Algérie, est partagée en trois zones climatiques distinctes, la première à climat

méditerranéen au Nord, la seconde semi-aride vers l'intérieur du pays (hauts plateaux) et enfin un climat aride qui caractérise le grand Sahara.

L'analyse des paramètres climatiques se fait sur la base des données de la station météorologique de l'aéroport d'El-Oued située dans la daïra de Guemar au nord de la ville. Cette station est exploitée par l'ONM.

I.6.1. Climatologie

Le climat de la région est de type saharien caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulier des vents et leur violence connue sous le nom de Sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps.

Les données pluviométriques, de la température, de l'humidité, de l'évaporation, etc....) ont été observées par la station Météorologique de l'ONM de l'aéroport de Guemar qui représente la seule station existante dans la zone d'étude. Ces données sont choisies durant une période (1978-2018) (DSA, 2014).

I.6.1.1. Températures :

La température moyenne annuelle est de 27,06 °C, avec un maximum en Juillet de 37,77 °C (maxima moyens 45,31 °C), et un minimum en janvier de 15,31 °C (minima moyens 9,62 °C). Le Souf a des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent dans le Sahara septentrional. Il nous faut préciser que, contrairement au reste de la zone climatique définie, on enregistre dans le Sud des variations importantes de température, entre le jour et la nuit, où le thermomètre indique jusqu'à 55 °C à l'ombre dans la journée pour n'enregistrer dans la nuit que 15 °C ou 16 °C ; car le sable se refroidit beaucoup plus vite que la pierre ou l'argile. Cet écart peut se chiffrer à 30 °C. Mais en hiver par contre la température descend souvent au-dessous de 0°C dans la nuit.

Mois \ Paramètre	Température (C°)			Précipitation (mm)
	T _{min}	T _{max}	T _{moy}	
Janvier	9,62	20,76	15,31	14,61
Février	11,51	24,41	18,08	5,30
Mars	15,69	29,52	22,76	8,40
Avril	19,49	34,26	27,02	7,69
Mai	24,37	38,85	31,76	4,56
Juin	28,52	43,52	36,16	1,48
Juillet	30,03	45,31	37,77	0,26
Août	30,18	44,98	37,67	1,87
Septembre	26,79	40,67	33,85	5,80
Octobre	21,89	34,89	28,53	6,82
Novembre	15,87	27,10	21,38	7,51
Décembre	10,32	20,98	15,76	6,41

<i>Moyenne</i>	20,36	33,77	27,06	70,70*
----------------	--------------	--------------	--------------	---------------

Tableau 02: Données climatiques de la région d'Oued Souf –Température & précipitation (1978- 2018)(ONM, 2020).

* Cumulé annuel

I.6.1.2. Précipitations :

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne annuelle de la région est de 70,70 mm/an.

Tableau 03 :Précipitations interannuelles (1978 -2023) du Souf (ONM, 2023) :

Année	P _i (mm)	Année	P _i (mm)	Année	P _i (mm)	Année	P _i (mm)	Année	P _i (mm)	Année	P _i (mm)
1978	73,8	1986	90,2	1994	48,3	2002	32	2010	49	2018	30
1979	86	1987	40	1995	60,1	2003	97,9	2011	29	2020	5
1980	106	1988	77,9	1996	105,4	2004	133,5	2012	22	2022	11,8
1981	29,9	1989	18,5	1997	72,2	2005	35,7	2013	64	2023	18,6
1982	88,4	1990	209	1998	79,1	2006	121,3	2014	18		
1983	15,9	1991	47,6	1999	124,3	2007	56,3	2015	13		
1984	45	1992	64	2000	37,3	2008	31,4	2016	103,2		
1985	40,6	1993	46,5	2001	52	2009	233,7	2017	100,1		
<i>P moy (1978-2023)</i>											

La variation interannuelle des précipitations pour la période de 1978 à 2023 est présentée dans le tableau ci-dessus et illustrée sur le graphique. Pour la station de mesures nous remarquons que la hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 13 mm en 2015 à 233,7 mm en 2009, tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 65,07 mm.

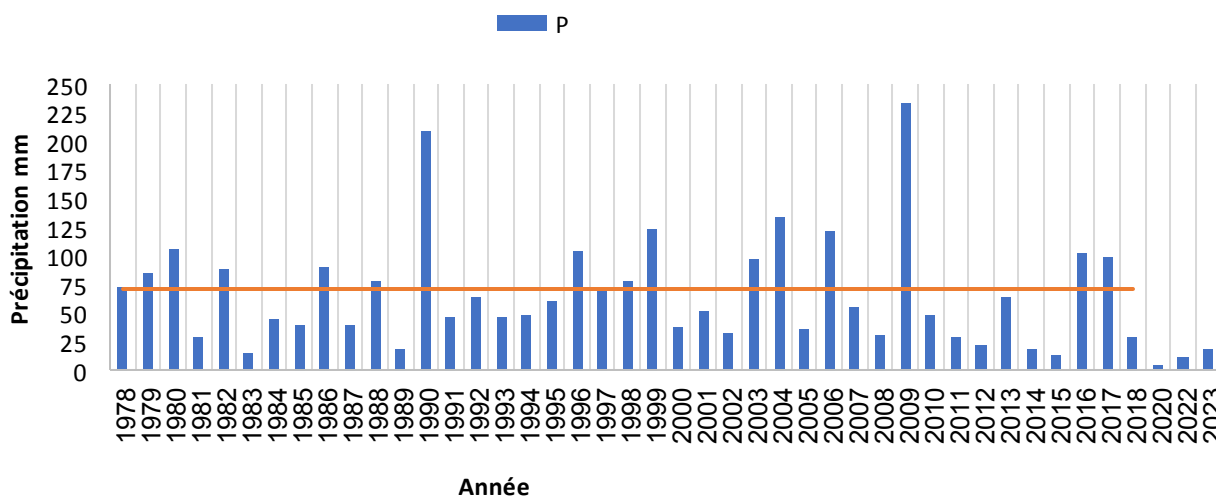


Figure 04: Variation interannuelle des précipitations (1978-2023) du Souf.

La station météorologique de Guemmar a enregistré 24 années de précipitations inférieures à la moyenne et 17 années au-dessus de la moyenne.

Dans le Souf, la pluviométrie assez capricieuse, satisfaisante dans l'ensemble, les précipitations se produisent généralement d'octobre à février. Le plus souvent fines et modérées, elles deviennent parfois torrentielles, où on a enregistré 146 mm au mois de janvier 2009.

I.6.1.3. Evaporation potentielle :

Les plans d'eau (sebkhas et chotts) situés dans des zones arides présentent une forte évaporation puisque l'ensemble des facteurs se trouvent réunis; une température de l'air souvent élevée pendant les saisons sèches, une forte insolation presque continue durant toute l'année et une présence considérable de vents secs (grande vitesse) surtout durant l'automne et le printemps (Remini B; 2005). Les volumes d'eau perdus par évaporation atteignent leur maximum au mois de Juillet

Tableau 04: Données climatiques de la région d'Oued Souf-Evaporation-(1986- 2009) (ONM., 2018) :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Evaporation (mm)	76,47	99,55	148,93	197,68	252,37	278,76	316,13	278,88	200,08	149,64	99,68	76,00	2174,16*

*Cumulé annuel

L'évaporation est importante, elle atteint dans le Souf une ampleur considérable car ce phénomène physique rencontre ici les conditions nécessaires optimales : la moyenne annuelle est de 2174,16 mm (ONM., 2018).

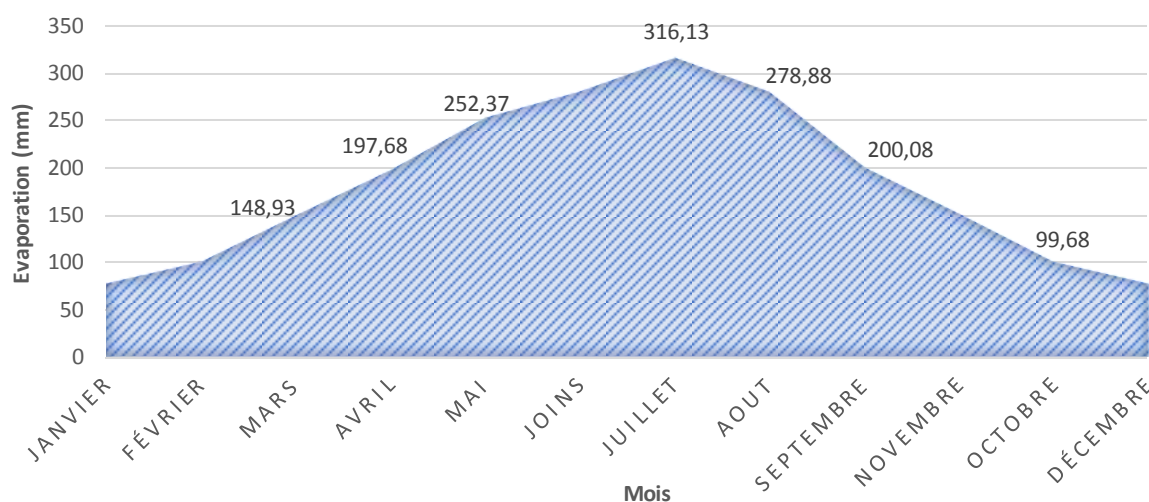


Figure 05: L'évaporation potentielle de la région du Souf (1986-2009).

Le maximum est atteint au mois de juillet avec une moyenne de 316,13 mm. Le minima est enregistré durant le mois de décembre 76 mm (ONM., 2020)

.I.6.1.4. Vitesse du vent :

Tableau 05: Données climatiques de la région d'Oued Souf-Vents-(1993- 2015) :

Mois / Paramètre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Vents (km/h)	21,13	27,17	31,78	37,83	38,83	38,09	33,22	29,52	29,96	21,17	19,52	19,78	29

Il est un dernier phénomène qui joue son rôle dans certains aspects de la vie au Souf ; c'est le vent. Selon le Tableau ci-dessus, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant d'Avril jusqu'en Septembre, avec un maximum de 38,83 km.h⁻¹ durant le mois de Mai.

Tout comme les météorologistes, les habitants du Souf ont leur idée sur les vents : chacun a son nom : Le gharbi (mot Arabe) c'est-à-dire d'Ouest, est de peu d'intérêt. Au contraire, le bahri, vent d'Est qu'il faudrait appeler le « marin », en été il apporte de la fraîcheur.

Il faut signaler ; que le période du printemps les vents de sable sont les plus forts. Ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de plus 150 à 180 km/h, caractérisés par une température élevée due au "Chihili" ou sirocco, parfois violent : il souffle du Sud, mais plus encore du Sud-Ouest (Serraye A ; 2014).

I.6.1.5. Humidité :

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace (LATIFI S, 2018). Dans la région d'El-Oued, l'humidité de l'air est faible ; la moyenne annuelle de l'humidité relative est de 47.59%. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 31.34% pendant le mois de Juillet; et ceci sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds, alors qu'en hiver, elle s'élève et

atteint une moyenne maximale de 65.95 % au mois de Décembre.

Tableau 06: Données climatiques du Souf- Humidité de l'air-(1978- 2015) :

Mois / Paramètre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Humidité (%)	63,95	54,76	48,68	42,84	38,21	34,03	31,34	34,39	44,87	52,66	59,39	65,95	47,59

L'humidité de l'air est faible. La moyenne annuelle est de 47,59 %. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année(O.N.M., 2018).

I.5.1.6. Insolation :

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximale au cours du mois de juillet avec une moyenne de 352.59 heures, et un minimum enregistré pendant le mois de décembre (225.92 heures).

Dans la région d'El-Oued, le rayonnement solaire est excessif durant l'année avec une moyenne de 3371,15 heures ce qui se traduit par un pouvoir évaporant très élevé (Khechana S; 2007).

Tableau 07 : Données climatiques de la région d'Oued Souf- Insolation -(1997- 2009) (O.N.M., 2018) :

Mois / Paramètre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Insolation (h)	236,37	247,08	278,39	281,92	308,20	342,09	352,59	329,06	271,82	259,20	238,52	225,92	3371,15*

uel

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (Ozenda P., 1983).

I.6.2. Synthèse climatique :

La combinaison des données des précipitations et celle des températures permet de mettre en évidence :

- les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme Ombrothermique de Gaussen.

-le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger et/ou le calcul de l'indice d'aridité.

I.6.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen :

I.6.2.1.1. Diagramme d'Emberger:

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger (1955) a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q. Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds.

$$Q_3 = 3,43 P / M - m$$

Q :facteur des précipitations d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

Selon FAURIE et al. (1980), le diagramme ombrothermique (Ombro=pluie, thermo=température) est construit en portant en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations "P" sur un axe et les températures "T" sur le second en prenant soin de doubler l'échelle par rapport à celle des précipitations "P = 2T". Les périodes d'aridité sont celles où la

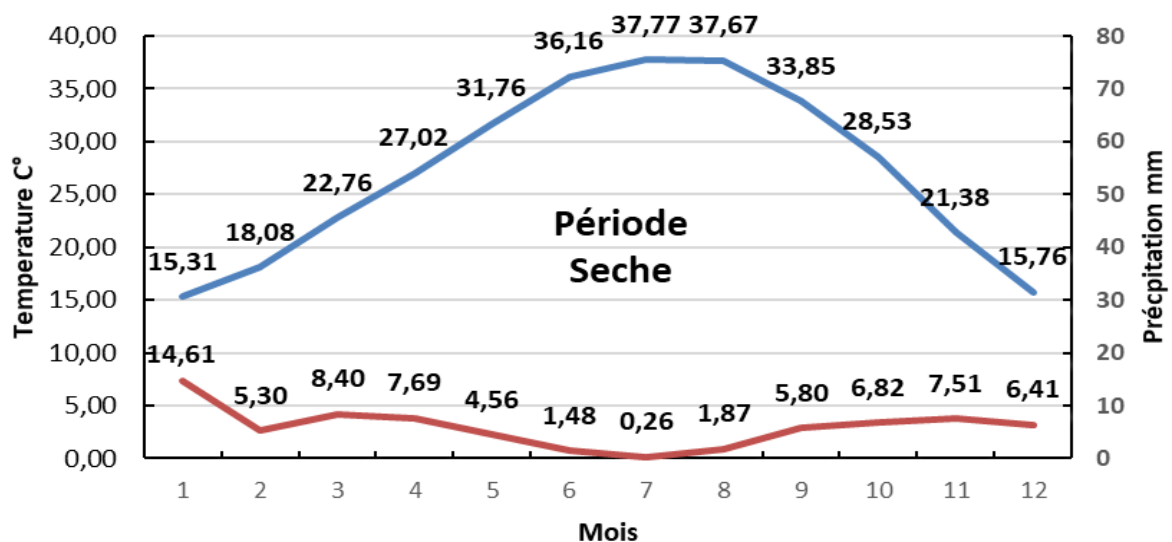


Figure 06 : Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Souf (1978-2017).

Le climat de la région du Souf présente des similitudes avec celui du reste du Sahara, caractérisé par un environnement désertique marqué par une faible couverture végétale, une atmosphère aride, une insuffisance d'eau en surface et une irrégularité des précipitations

(NAJAH A; 1971). La région du Souf se divise en deux périodes distinctes : une période sèche et une période humide. Il est à noter que la période sèche persiste tout au long de l'année, et ce depuis une décennie, notamment au cours des dix dernières années (1978 à 2017).

I.6.2.2. Quotient pluviothermique :

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé la formule de Stewart (1969) adaptée à l'Algérie qui a la forme suivante :

$$Q2=3.43 P/ (M-m)$$

Avec :

Q2: Quotient pluviométrique d'Emberger.

P:Précipitation moyenne annuelle (mm).

M:Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (c°).

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (c°).

Pour notre cas : P= 70.70 ; M = 49.4°c; m = 3c°

$$\text{Donc : } Q2=3.43*70.70/(49.4-3)=5.22$$

Selon le climagramme d'Emberger, le climat de la région d'étude est saharien de type hyper-aride à hiver doux. Puisque Q2 est égal à 5,22.

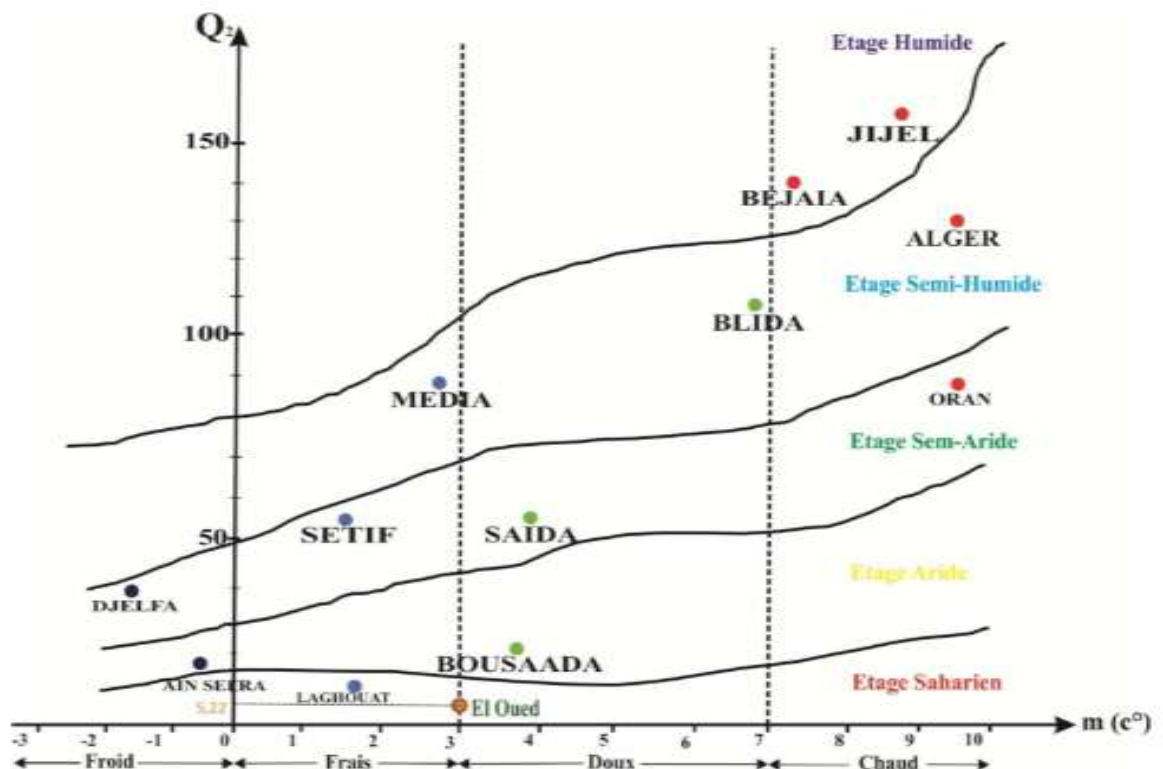


Figure 07: Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.

II. Conclusion

La wilaya d'El Oued, située au cœur des trois vallées du Souf, de Franière et de Choot, représente l'une des destinations touristiques les plus prisées en Algérie, notamment dans le Sahara septentrional. Cette région, avec son Oasis du Souf, constitue un joyau au sein du vaste territoire géomorphologique du Grand Erg oriental. D'un point de vue géographique, le Souf joue un rôle crucial en tant que point central du Grand Erg, assurant la liaison entre les différentes régions du Sud-Est algérien. Sur le plan économique, il se distingue en tant que centre commercial majeur, abritant des activités agricoles, industrielles et artisanales. Avec un climat aride et des températures moyennes annuelles de 27,06 °C, ainsi qu'une faible pluviométrie annuelle de 65,07 mm, la région offre un environnement unique et propice au développement économique et touristique.

Chapitre II: géologie et hydrogéologie de la zone d'étude

I. Cadre hydrogéologique

La région du Souf abrite trois formations aquifères distinctes qui font partie intégrante du vaste ensemble saharien septentrional. À la base, on trouve le Continental Intercalaire, composé de sable et de grès, suivi du Complexe Terminal, caractérisé par des dépôts argileux et sablonneux, tandis qu'au sommet se situe la nappe phréatique sableuse (Cornet A, 1964). La carte piézométrique de la nappe phréatique révèle une direction générale d'écoulement des eaux du Sud vers le Nord-Ouest (Chotts Melrhir et Merouane), et vers le Nord-Est (Chott Djerid).

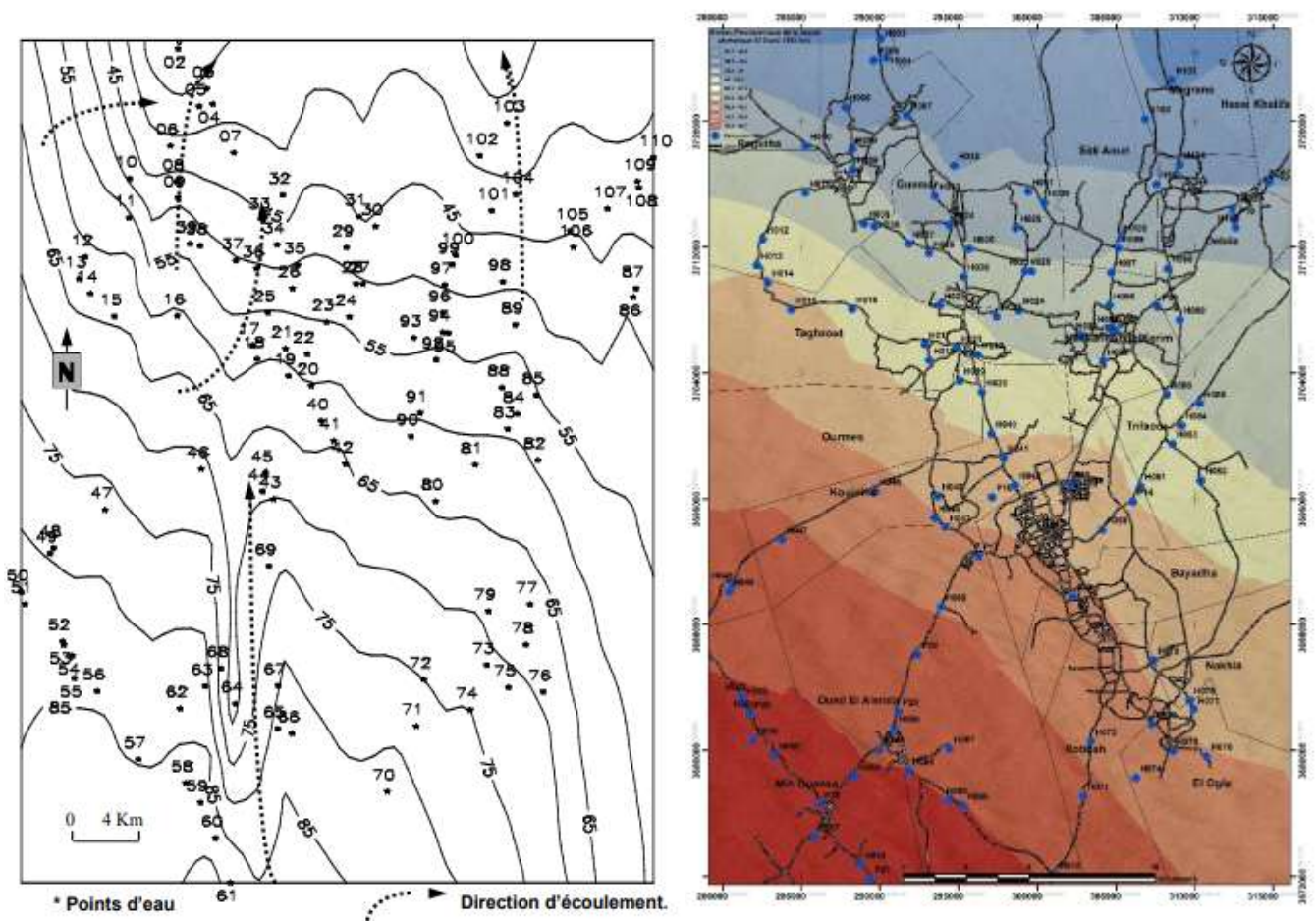


Figure 08 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la région de Oued-Souf

Le niveau piézométrique de cette nappe a connu d'importantes variations au fil du temps. Au cours de la dernière décennie, il n'a cessé de croître, atteignant des proportions particulièrement préoccupantes au cours des deux dernières années. Ces augmentations considérables ont donné lieu à la formation de véritables mares d'eau au niveau des Ghouts, entraînant la disparition de milliers de palmiers ou les plaçant en voie de disparition (Nadjah A., 1971).

1.3. Ressources en eau dans la wilaya d'El-Oued

Dans la wilaya d'El-Oued, les seules ressources en eaux sont souterraines, alors que leur mobilisation est primordiale. Le potentiel des ressources en eaux souterraines établi par la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued en se répartit comme suit (Todd D.K. et Mays L.W. 2005):

Nappe phréatique : 130 hm³.

Nappes profondes : 4.90 Milliards hm³ (soit 2.7 Milliards hm³ pour le CT et 2.2 Milliards hm³ pour le CI).

Total : 4.90 Milliards hm³(F.A.O).

Figure 09: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (Moulla AS., et al 2005).

1.3.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique" est un terme utilisé en géologie pour désigner une couche d'eau souterraine située sous la surface de la terre. On peut définir la nappe phréatique comme une couche de roches ou de matériaux du sol où les vides sont saturés d'eau. Ces vides peuvent être situés entre les particules de roche ou dans de grandes cavités à l'intérieur des roches.

Les sources et les fontaines sont souvent associées aux nappes phréatiques, où l'eau jaillit naturellement à la surface en raison de la pression. La nappe phréatique est caractérisée par le fait qu'elle est constamment pleine d'eau tout au long de l'année et peut interagir avec d'autres nappes phréatiques stratigraphiques.

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf correspond principalement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire. Elle se situe à des profondeurs variantes entre 10 et 60 mètres. En raison de son importance cruciale, cette nappe constitue la principale source d'eau pour les palmeraies, et elle est principalement

exploitée à travers 31 000 puits traditionnels, selon les enquêtes menées par la Direction des Services Agricoles en 2014 (D.S.A, 2014).

La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide dans toute la région du Souf, en particulier dans les zones caractérisées par la présence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables.

La nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations, comprenant les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques. La source principale de ces eaux est constituée par les nappes profondes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire, (Cote M ;1998).

1.3.2. La nappe du complexe terminal

Les formations du complexe terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Miopliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois ensembles aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois ensembles sont représentés par les calcaires et dolomites du Sénonien et de l'Eocène inférieur par des sables, des grès et des graviers du Pontien, et par les sables du Miopliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 m, et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (PAEPEGAEY et al., 2011). Elle est exploitée par 129 forages dans toute la wilaya. D'après l'inventaire des forages et les enquêtes sur les débits extraits de la wilaya d'El-Oued, certains d'entre-eux présentent un léger artésianisme dans la partie nord (ANRH, 1999)

1.3.3. Nappe du Continental Intercalaire (C.I) :

Le terme "C.I", correspond ainsi aux formations continentales du crétacé inférieur, ne peut être que la période Continentale Intercalée entre deux cycles sédimentaires : La régression marine suivit d'une transgression du crétacé supérieur. Le Continental Intercalaire (C.I) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est considérable du à son extension (surplus de 600000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres (DHW; 2005). L'intérêt majeur de ce système aquifère et qu'il est constitué par de grandes quantités d'eau, qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et peuvent être maintenant exploitées, il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisée par une alimentation, un écoulement et une série

d'exutoires. L'épaisseur totale du réservoir dépasse 250 mètres dans les plus grands partis du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 mètres au Nord-Ouest. Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-Ouest par contre il plonge vers le Nord-Est (Baba Sy.M, 2005).

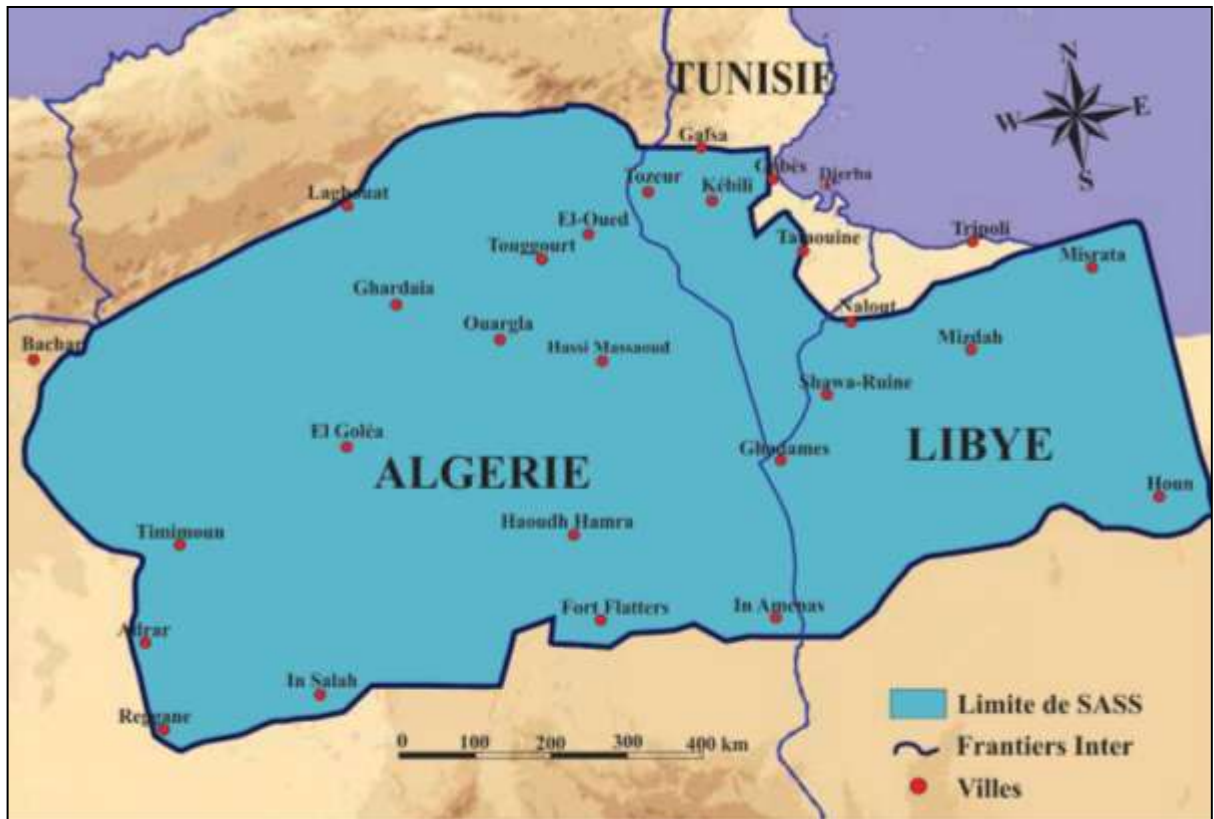


Figure 10 : Carte des ressources en eaux aquifères du CT et du CI (SASS., 2016).

1.4. Aperçu de la qualité des eaux de la nappe phréatique

Les eaux de la nappe phréatique du Souf présentent une qualité chimique très dégradée, caractérisée par une minéralisation très élevée selon l'étude de (Moulla et al; 2005). Les faciès chimiques prédominants sont de type sulfaté à chlorurés sodiques, typiques des régions évaporitiques, et ils sont répartis de manière diffuse dans toute la vallée. La présence de nitrates dans les eaux souterraines est généralement considérée comme un indicateur de pollution d'origine agricole, provenant également de l'azote organique du sol et des eaux usées domestiques non traitées (BETTA B et GHANIA F. 2020). La norme fixée par l'OMS pour la teneur en nitrates est de 45 mg/l pour l'eau potable. Selon cette norme, la majeure partie de la zone dépasse le taux acceptable pour l'eau de boisson. Les rares endroits où le taux de nitrates est inférieur à 45 mg/l sont les plantations irriguées par des forages dans le domaine Daouia, à Foulia et à Hobba, où les nitrates sont dilués par l'eau des nappes profondes. De même, dans les zones humides recouvertes de roseaux et au niveau du rejet d'El-Oued, les nitrates sont utilisés par les roseaux, et quelques points spécifiques ont permis une dénitrification adéquate (Cote M ; 1998).

II. Géologie

Les facteurs édaphiques d'une région exercent une influence significative sur la variabilité écologique des communautés biologiques. Ces facteurs englobent toutes les propriétés physico-chimiques d'un sol, en d'autres termes, les caractéristiques géologiques et lithologiques qui jouent un rôle crucial dans la pédogenèse. La région d'Oued Souf est située au sein d'une mer de sable, affichant une teinte jaune ocre, résultant de dépôts quaternaires (DREUX P ;1980).

Dans le contexte spécifique de la région d'Oued Souf, les conditions tectoniques et paléogéographiques ont favorisé la mise en place d'une série sédimentaire présentant une diversité lithologique, tout en restant relativement constante, régulière et homogène dans l'espace au fil du temps. Ces caractéristiques ont été propices à la formation de plusieurs nappes aquifères dans la région d'Oued Souf et dans l'ensemble du Bas Sahara. Ces nappes présentent un comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès (O.N.A ;2003). Le bassin oriental du Bas Sahara, situé entre la dorsale du M'Zab et les reliefs du Dahar, abrite un système aquifère généralement indépendant du Continental Intercalaire (GUENDOUZ et al;1992).

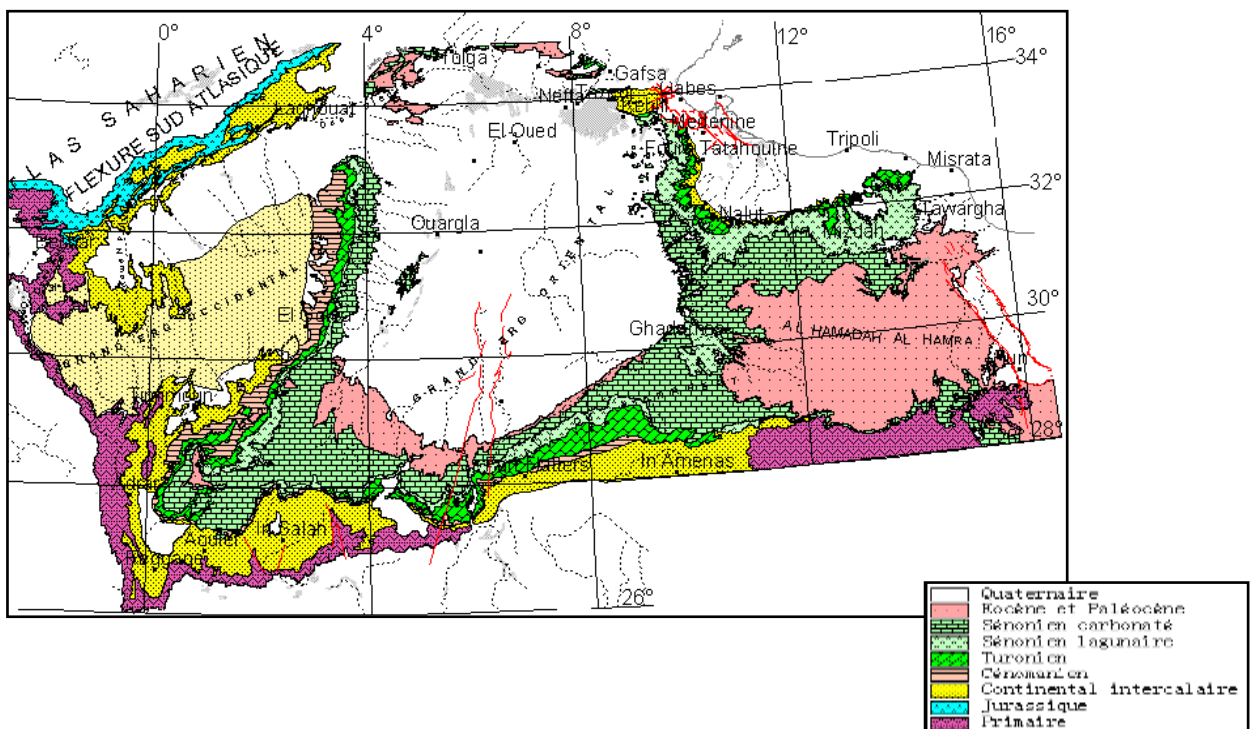


Figure 11: Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

II.1 Stratigraphie régionale :

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'ANRH(1993) sur la région d'Oued Souf, nous citons les principales strates répétées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers la plus récente:

II.1. Formation de l'ère secondaire (Mésozoïque) (OSS., 2003)

Cette couche est constituée de plusieurs strates:

II.1.1. Trias (de 248 à 213 millions d'années.)

Le Trias transgressif, discordant sur les formations paléozoïques, est représenté par des dépôts argilo-gréseux et lagunaires (Sel et Anhydrite).

II.1.2. Jurassique (de 213 à 144 millions d'années).

Le Jurassique, largement développé dans la province triasique, est composé de sédiments marins et lagunaires, débute par un niveau dolomitique caractéristique et omniprésent, appelé horizon B.

II.1.3. Crétacé (de 144 à 65 millions d'années.)

Le Crétacé est présent partout sur la Plate-forme Saharienne, IL comporte des faciès grés-argileux à la base évoluant vers un pôle essentiellement carbonaté au sommet.

II.1.3.1. Crétacé inférieur

II.1.3.1.1. Le Barrémien

Cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

II.1.3.1.2. L'Aptien

Ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

II.1.3.1.3. L'Albien :

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

II.1.3.1.4. Le Vraconien

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo

dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire, dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien. Du Barrémien jusqu' à' au Vraconien on remarque la présence de formations marines traduisant la présence d'un milieu marin (grès calcaire marne) profond.

II.1.3.2. Crétacé moyen

II.1.3.2.1. Le Cénomanién

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable. Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

III.1.3.2.2. Le Turonien

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes. Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

II.1.3.3. Crétacé supérieur

II.1.3.3.1. Le Sénonien

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès : l'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

II.1.3.3.1.1. Sénonien lagunaire

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien. Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride (OSS., 2003)..

II.1.3.3.1.2. Le Sénonien carbonaté

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Éocène inférieur, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

II.2.Tertiaire (Baba Sy M., 2005)

Elle est composée de deux couches, l'Eocène et le Miopliocène.

II.2.1.L'Éocène

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base (Eocène inférieur), sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire (Eocène moyen). L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

II.2.2. Le Moipliocène

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T). La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Moi-pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès. Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne séparent cet horizon en 4 niveaux:

II.2.2.1.Niveau argileux :

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Moi-pliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

II.2.2.2.Niveau grès sableux :

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

II.2.2.3. Niveau argileux :

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Moi-pliocène.

II.2.2.4. Niveau sableux :

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal. Sur la base des coupes de forages, elle est orientée du Nord vers le Sud, On remarque que l'épaisseur du mio-pliocène qui est constitué

par des argiles, de sable et de calcaire diminue du Nord vers le Sud. On remarque l'absence des formations quaternaire représentée par des sables; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud.

II.2.Quaternaire :

Cette strate est représentée par des dunes de sable récentes. On y trouve des grès beiges ou blanchâtres, des sables fins à moyens de couleur beige, ainsi que des paillettes de gypse. Les terrains quaternaires forment la couverture superficielle, localisée principalement au niveau des dépressions. Ces terrains couvrent une grande partie du Bas Sahara et sont constitués de matériaux alluviaux et éoliens. Les nappes phréatiques sont généralement contenues dans ces niveaux. Selon l'étude des conditions climatiques et des formations géomorphologiques de cette région, la pédogenèse n'est pas très active en raison de la faible pluviosité et d'un couvert végétal très limité. La pédogenèse est fortement influencée par la nature lithologique des éléments sous-jacents(ANRH, 2009).

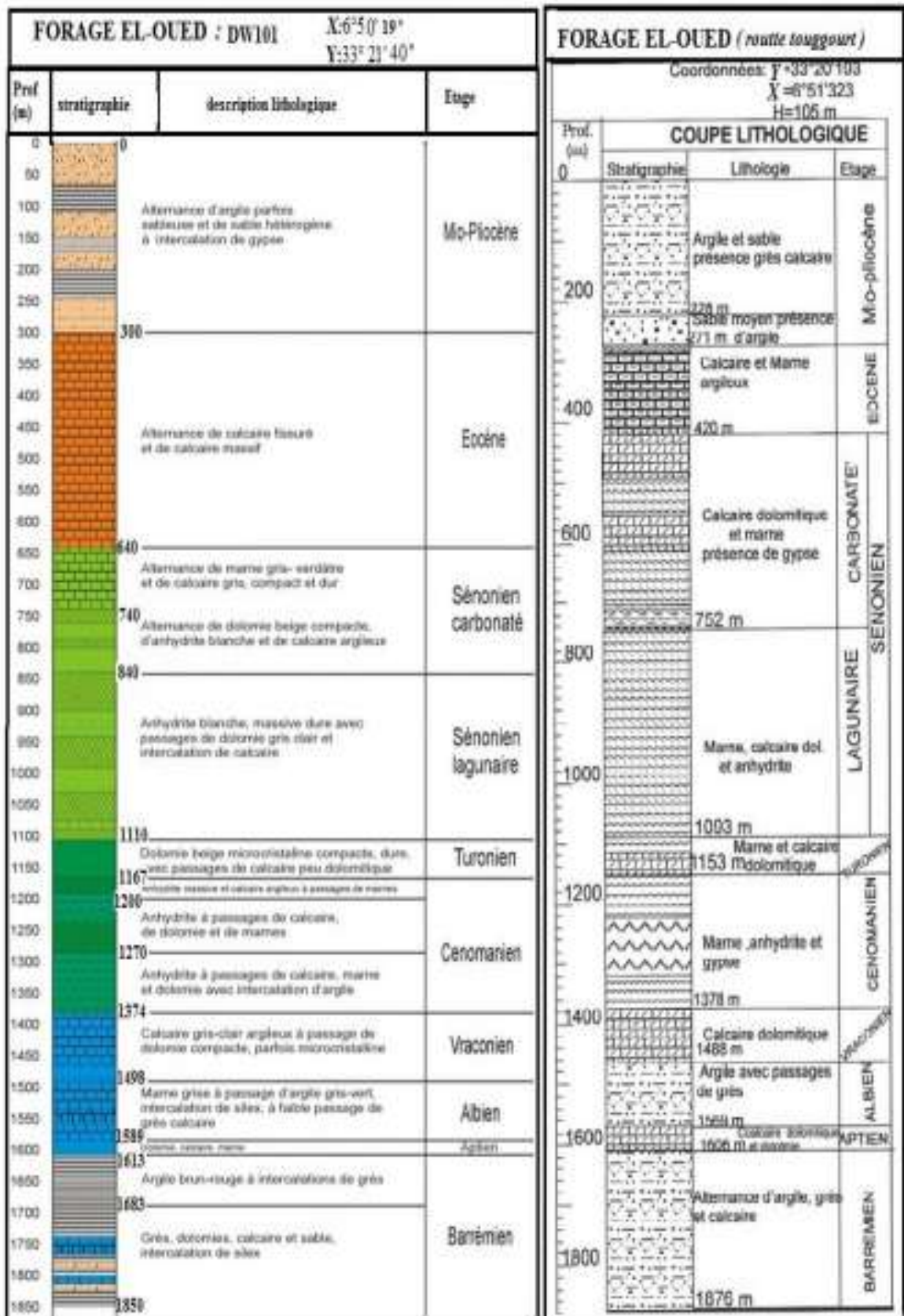


Figure 12 : Colonne stratigraphique des forages de CI existant dans la zone d'El-Oued (ANRH., 1993).

III. Conclusion

La région d'El Oued fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, dont l'étendue couvre environ 780 000 km². Ce bassin constitue une vaste dépression topographique, structurée en une cuvette en forme de synclinal dissymétrique, et est caractérisé par une série sédimentaire allant du Crétacé inférieur jusqu'au Quaternaire. Au centre de cette région, des accidents tectoniques sub-verticaux marquent la série sédimentaire, notamment au niveau de formations gypseuses et argileuses.

Le substratum de la région est imperméable et comprend des couches de gypse et d'argile, avec des formations détritiques superficielles formant des aquifères, parfois sableux à gréseux. Une étude stratigraphique détaillée a identifié plusieurs étages, dont le Barrémien, l'Aptien, l'Albien, le Vraconien, le Cénomaniens, le Turonien, le Sénonien, l'Eocène et le Miocène-Pliocène, avec le Cénomaniens et l'Eocène agissant comme écrans imperméables.

Le système aquifère d'El-Oued est composé de trois nappes : la nappe libre (phréatique), la nappe de complexe terminal (CT) et la nappe de continentale intercalaire (CI). Bien que la nappe phréatique ait été traditionnellement utilisée pour l'irrigation des palmeraies, son exploitation intensive a conduit à des problèmes environnementaux, nécessitant une exploitation plus rationnelle. Les nappes CT et CI jouent désormais un rôle crucial pour répondre aux besoins croissants en eau, résultant de l'expansion démographique et agricole, et sont essentielles pour assurer la durabilité de l'approvisionnement en eau dans la région.

Chapitre III

*Caractérisation hydrochimiques des eaux
de la nappe phréatique de la commune*

I. Introduction :

La principale ressource pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole est le système aquifère de la vallée d'El-Oued, dans un contexte de stress hydrique accentué par la rareté des eaux de surface et une baisse des précipitations. Il est indéniable que les réserves de ce système ont diminué, ce qui est confirmé par les importantes baisses observées dans différentes parties de la région depuis une dizaine d'années.

La réalisation de cette étude a impliqué plusieurs méthodes de travail, notamment des mesures *in situ* (paramètres physicochimiques) et des analyses en laboratoire (éléments chimiques tels que les métaux lourds).

Une campagne de prélèvements a été réalisée en mars 2024 dans le cadre de cette étude pour analyser la qualité chimique des eaux et l'évolution des éléments polluants (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Pb, etc...).

Les analyses ont été effectuées au niveau de laboratoire l'ADE d'El Oued et au laboratoire d'unité de développement d'énergies renouvelables dans les zones arides à l'université Echahid Hamma Lakhdar El oued.

II. Généralités sur la pollution

La préoccupation majeure concernant la contamination des eaux est la protection des écosystèmes et des ressources hydriques. Cette question fait l'objet de nombreuses études, tant pour les eaux de surface que pour les eaux souterraines. Selon Boschet A.F (2002), la contamination par divers intrants peut revêtir différentes formes en fonction du type d'eau et de son emplacement. En ce qui concerne les eaux de surface, elle peut se produire de manière directe et intentionnelle par l'utilisation courante de produits phytosanitaires et d'autres substances dans la vie quotidienne (comme la lutte contre les acridiens, l'utilisation d'engrais ou de pesticides en agriculture, les rejets d'usines, etc.). Elle peut également être indirecte, résultant du ruissellement ou du transfert des substances après leur dispersion dans l'environnement ou le drainage des eaux usées (Ramade F., 2003).

II.1. Modes de pollution

Toutes ces formes de contamination peuvent être regroupées en trois types de pollutions liées aux méthodes de propagation : les pollutions accidentelles, diffuses et anthropiques (Chaden M.H; 2014).

II.1.1. Les pollutions accidentelles

Les pollutions ponctuelles sont souvent associées aux grandes activités industrielles ou agricoles. Elles peuvent également découler d'accidents de transport ou de catastrophes naturelles affectant des installations industrielles ou des zones de stockage, entraînant ainsi une pollution.



Figure 13: Pollution industrielle.

II.1.2. Les pollutions diffuses

Ces pollutions résultent de la propagation de l'agent polluant par divers vecteurs de transport, qu'ils soient utilisés couramment ou non pour des usages ordinaires. Par exemple, le lessivage des pesticides du sol et le transport des substances actives par le vent vers des zones parfois difficiles d'accès constituent des exemples concrets et préoccupants, comme en témoigne la présence de pesticides dans l'Arctique.



Figure14: Pollution diffuses.

II.1.3. La pollution anthropique

La pollution peut être définie comme la conséquence d'une cause spécifique : la pollution agricole, la pollution urbaine et la pollution industrielle. Cette classification permet d'identifier l'origine de la pollution, ce qui peut impliquer, pour les experts du domaine, l'ensemble des intrants dans l'environnement en fonction de la région concernée, du mode de vie de sa population et de son niveau de développement. Par exemple, la pollution agricole est principalement responsable de l'augmentation des niveaux de nitrates dans les eaux de surface.

II.2. Types de pollution

Le terme "pollution de l'eau" englobe les divers dommages auxquels peuvent être exposés les utilisateurs et les organismes aquatiques. Cette pollution peut prendre différentes formes, qu'elles soient physiques (comme les radiations et l'augmentation de la température), chimiques (telles que les déchets agricoles, industriels et urbains) ou microbiologiques (comme les déchets urbains et l'élevage). Pour mieux évaluer cette pollution, il existe des critères qui permettent d'estimer son ampleur en fonction de son type (Boschet A.F; 2002).

II.2.1. Pollution chimique

La pollution chimique survient lorsqu'un élément indésirable (ou plusieurs) pénètre dans la composition chimique de l'eau, initialement destinée à un usage spécifique.

Deux types de critères sont utilisés pour évaluer l'état de cette pollution (BelhajA; 2001):

- Les critères globaux : ils résultent de l'effet cumulatif de plusieurs substances en même temps, tels que le pH, la conductivité, la turbidité, la Demande Chimique en Oxygène (DCO), etc. La DCO d'une eau représente l'ensemble des espèces chimiques oxydables, organiques et minérales, dissoutes ou en suspension.



Figure 15: Pollution chimique

II.2.2. Pollution physique

La pollution physique est associée aux facteurs influant sur l'état physique de l'eau, tels que la température, le pH, la conductivité électrique (EC), les solides totaux dissous (TDS), la présence de particules ou de mousses, ainsi que les changements dans les propriétés optiques de l'eau.



Figure 16: Pollution physique.

II.2.3. Pollution microbiologique

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de micro-organismes qui sont transportés par celle-ci et qui sont responsables de nombreuses maladies liées à l'eau (BelhajA; 2001). L'eau peut constituer un milieu propice au développement de bactéries et de virus nuisibles pour la santé des populations qui en font usage. Les bactéries pathogènes (*Vibrionaceae*, *Enterobacteriaceae*, etc.) sont à l'origine des principales maladies liées à l'eau. Les parasites sont également responsables de plusieurs autres affections (hépatite infectieuse, méningite, etc.).



Figure 17 : Contamination microbienne des eaux.

III. Méthodologie et données utilisées :

III.1. Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (RODIER, 2009).

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté ou en polyéthylène haute densité (PEHD) avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau déionisée puis séchés.

Les puits échantillonnés ont été référenciés selon le système de projection WGS 1984. La majorité d'entre eux sont des puits destinés à l'irrigation. En mars 2024, nous avons prélevé des échantillons d'eau de 18 puits de la nappe phréatique dans plusieurs points de la commune d'El-Oued (ST1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6, ST7, ST8) près de différentes stations-service et 10 puits éloignés de celles-ci (fig18).

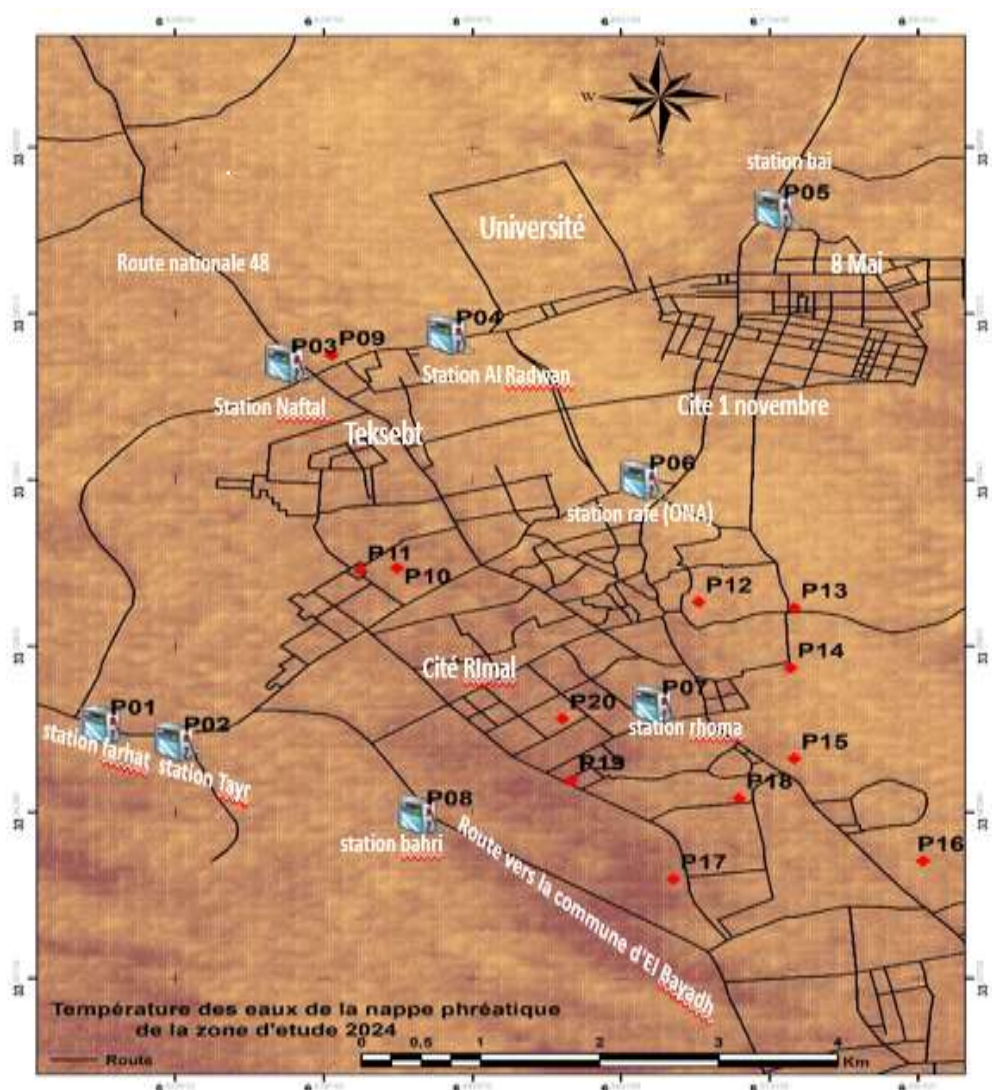


Figure 18 : Points d'échantillonnages de la zone d'étude

Pour effectuer les mesures ont été mesuré le taux de métal lourd (Pb) qui effectuée au laboratoire de l'université ECHAHID Hamma Lakhdar d'El oued. Nous avons également utilisé les résultats d'analyse des éléments Minéral (Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , TH, TAC) et quelques paramètres physico-chimiques (TDS, Turbidité et Résidu sec à 105°C), qui ont été effectuée au niveau de l'ADE d'El Oued. Les autres paramètres physico-chimiques (température et conductivité) ont été déterminés en situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon, grâce à un multiparamètres portatif. Les échantillons à analysés au laboratoire ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène après avoir été filtrés et acidifiés.

III.2. Appareillage

Dans ce travail expérimental, nous avons employé deux appareils dont le principe de fonctionnement est résumé dans ce qui suit :

III.2.1. Spectrophotomètre à flamme

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau s'évapore, les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atome ou de radicaux. Ceux - ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme (air/ acétylène) leur permettant ainsi d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. Ce dernier est lié à la concentration de l'élément considéré.

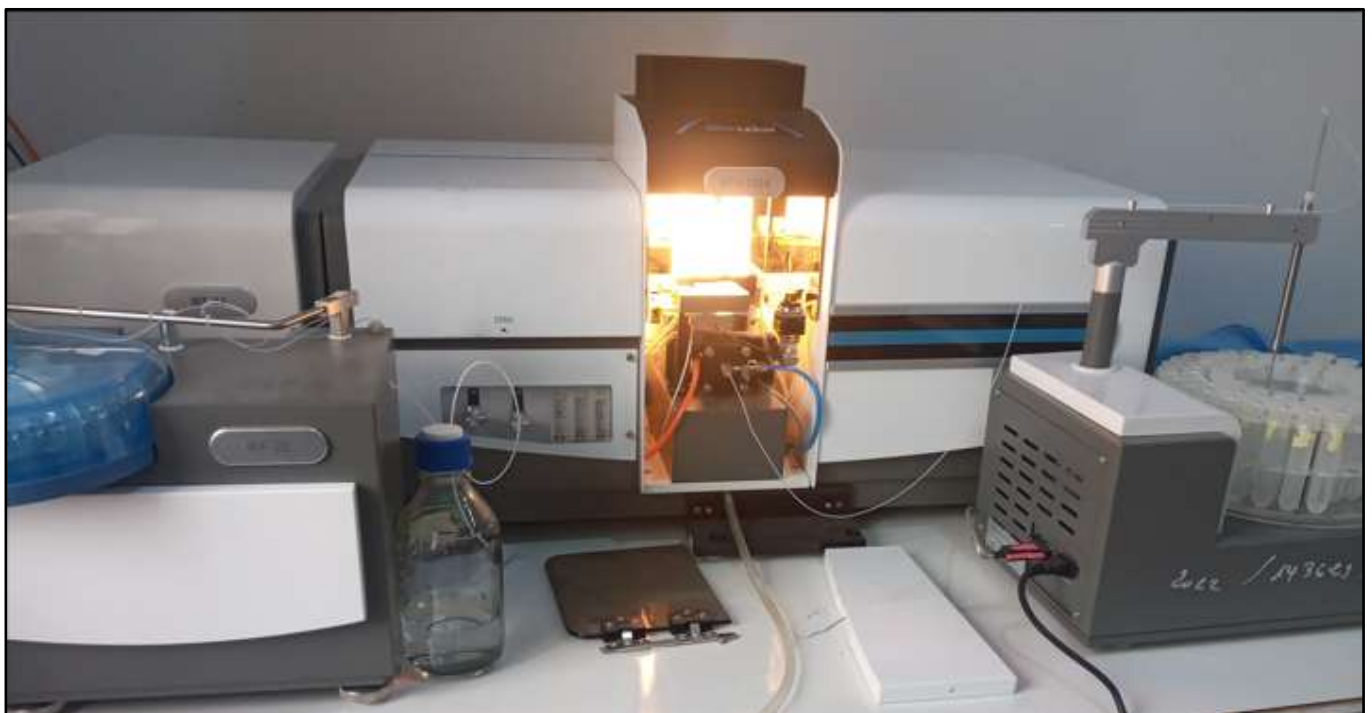


Figure19 : Spectrophotomètre à flamme (UDERZA, El Oued 2024).

III.2.2. Spectrophotomètre :

La lumière d'une lampe tungstène est réfléchiée par un miroir parabolique et dispersée par un double passage à travers un prisme ; la longueur d'onde choisie est reçue sur une fente mobile. Lorsque le faisceau lumineux traverse la solution colorée une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé coloré.

IV. Cartographie hydrochimies :

L'outil cartographique reste un outil très appréciable dans la vision de l'évolution spatiale d'un constituant chimique quelconque ou d'un polluant.

Les éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques sont cartographiés, ils montrent une évolution significative durant toute la période d'observation. La cartographie hydrochimies a été illustrée par interpolation IDW (Inverse Distance Weighted), en utilisant le logiciel ArcGIS 10.7.

IV.1. Paramètres physico-chimiques

IV.1.1. Température

La température de l'eau dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire. La température influence des paramètres comme (l'oxygénation, la conductivité, la solubilité de différentes substances, ...etc.).

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (Leynaud G. 1968). Les paramètres Température, conductivité et pH ont été mesurés en situ par à un analyseur multiparamétrique portable.

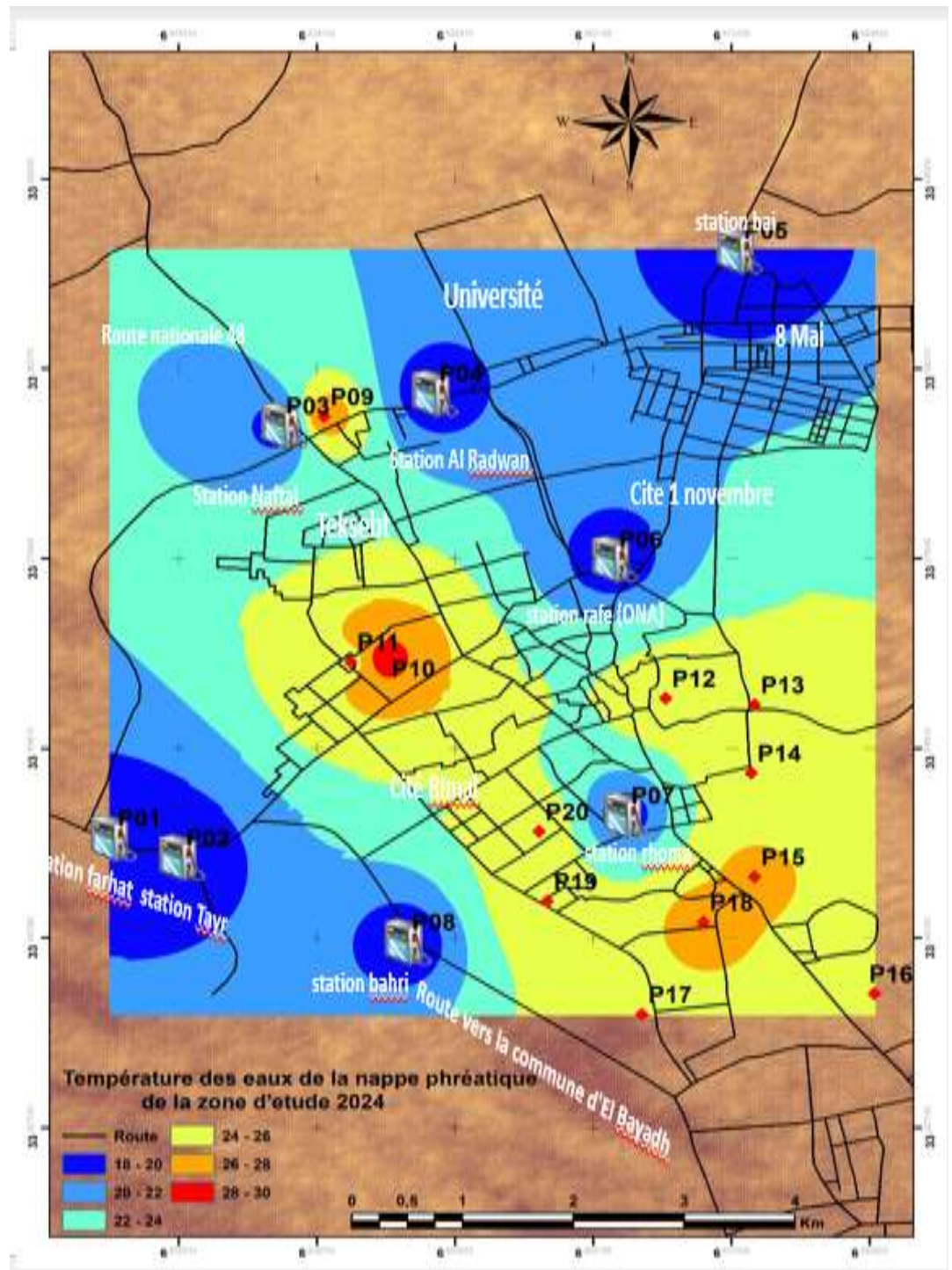


Figure 20 : Carte de T° (C) des eaux souterraines de la région d'étude (2024).

La température mesurée sur les eaux souterraines de la région d'étude, varie de 18 à 28°C. La température moyenne des eaux souterraines dans la région d'El-Oued est de 23°C. Ces valeurs sont dues principalement à la profondeur du plan d'eau, et sont très proches de la température moyenne de l'atmosphère de la région d'étude, soit 16,5°C. Nous pouvons donc penser que l'aquifère est en équilibre thermique avec l'atmosphère

IV.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Pendant la période des hautes eaux le pH varie entre 6.85 et 8.1, alors qu'en période de basses eaux, les valeurs oscillent entre 7.2 et 7.81, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles (Fig.21).

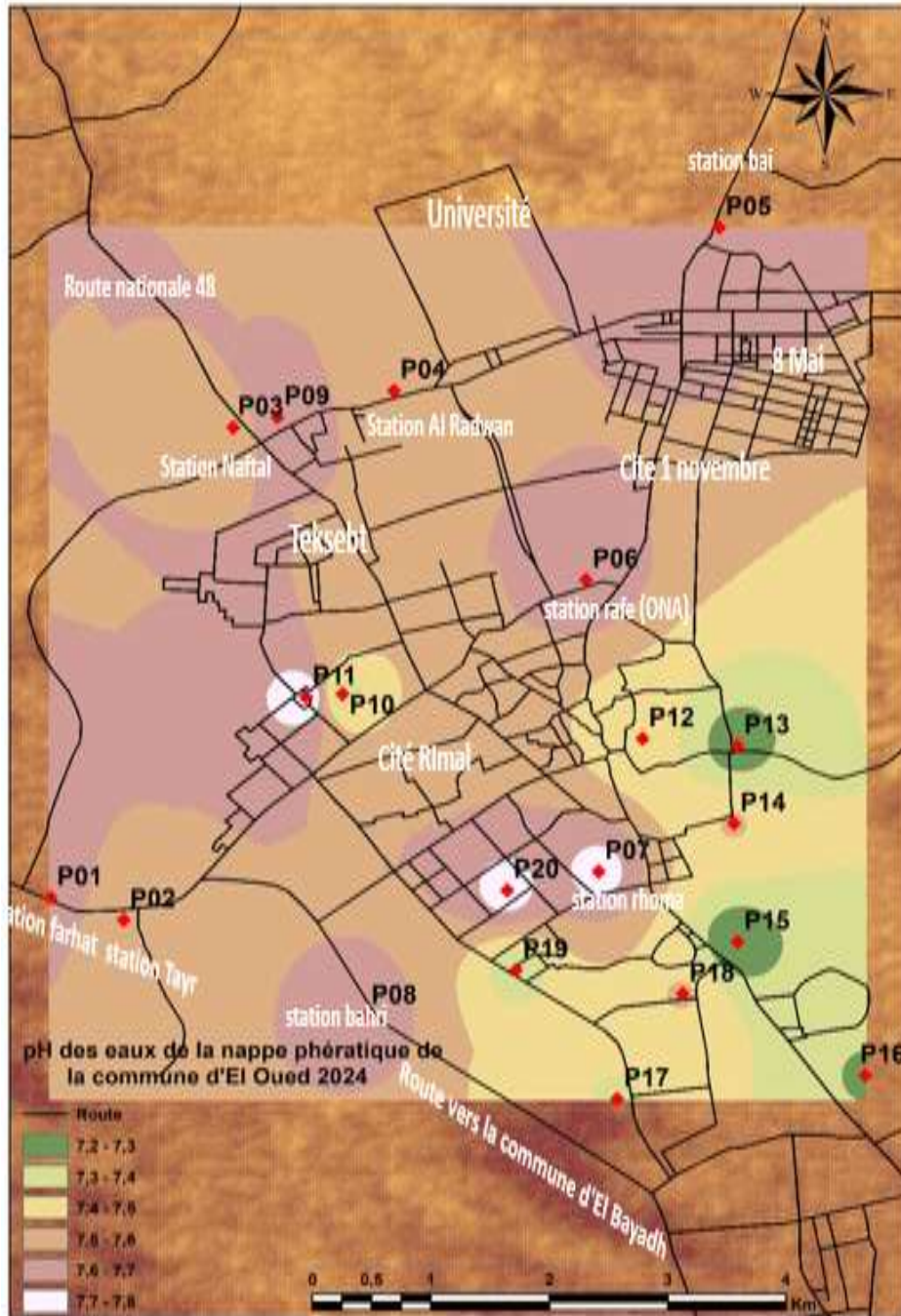


Figure 21 : Carte de pH des eaux souterraines de la région d'étude (2024).

IV.1.3. Les solides totaux dissous (TDS) :

TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des Cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions.

Les valeurs de TDS montrent que la plupart des puits dépassent les normes de l'OMS. Les valeurs maximales sont de l'ordre de 8500 (mg/l) particulièrement au niveau de deux points d'eaux ST04 et ST06, ce paramètre augmente généralement de Sud vers le Nord (Fig.22).

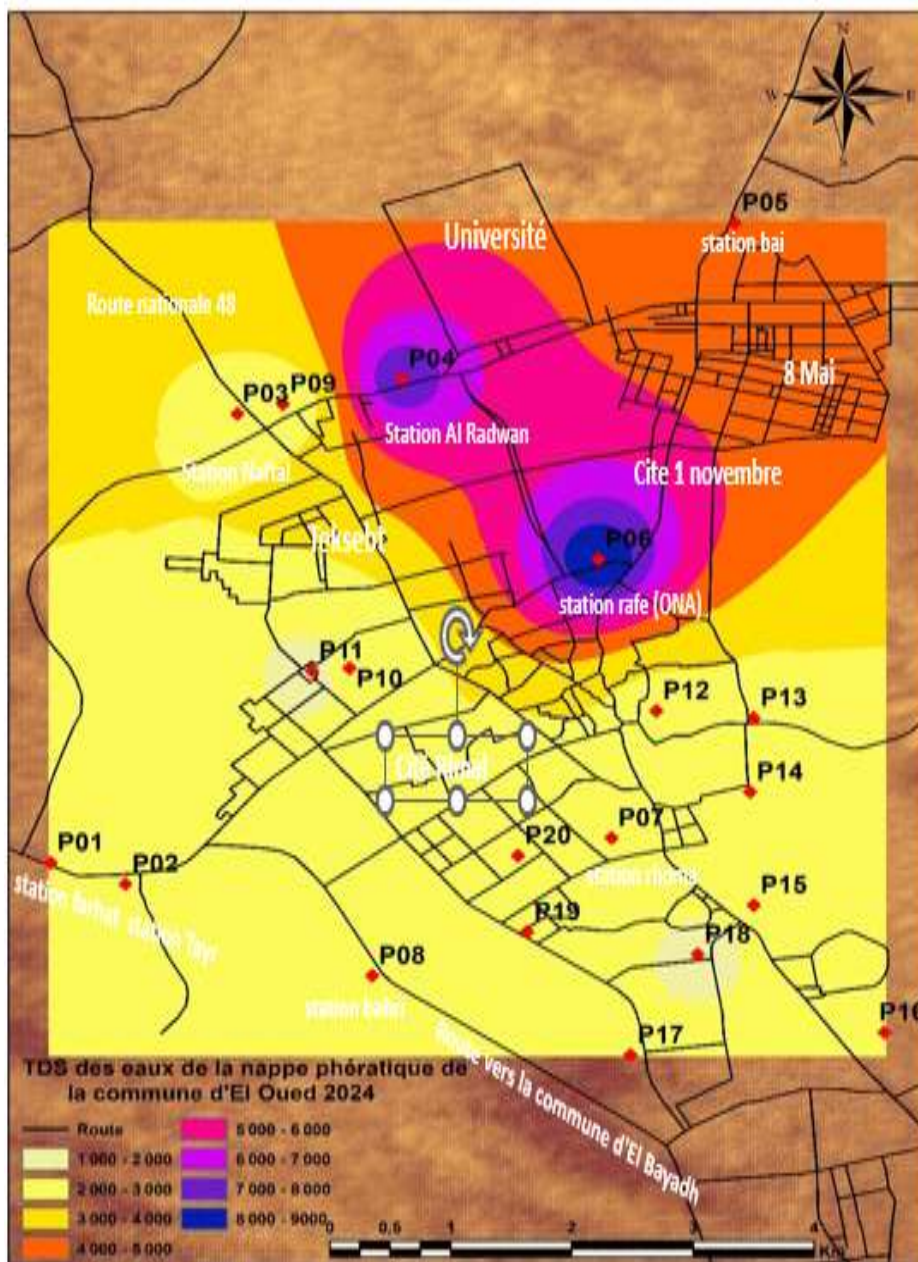


Figure 22 : Carte de TDS des eaux souterraines de la région d'étude (2024).

IV.1.4. La Conductivité Electrique (CE):

Chapitre III Caractérisation hydrochimiques des eaux souterraines de la commune d'El-Oued

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs mesurées ont été ramenées à 25°C. Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des puits dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux. Les valeurs maximales sont de l'ordre de 14000 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), ce paramètre augmente généralement de Sud vers le Nord. La conductivité devient liée plus aux ions évaporitiques (Fig.23).

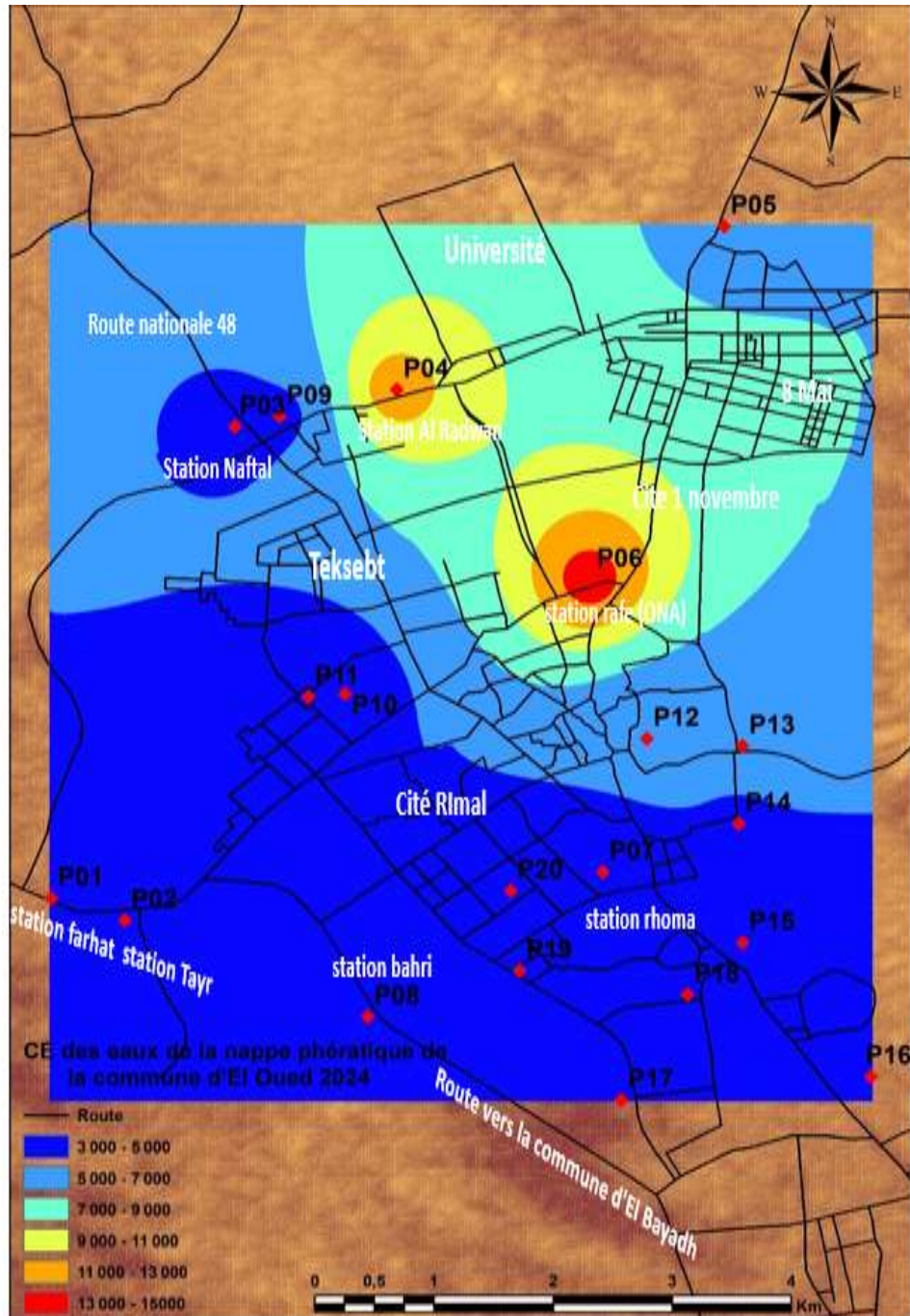


Figure 23 : Carte de Conductivité électrique (CE).

IV.2. Minéralisation Globale

IV.2.1. Les chlorures (Cl⁻) :

L'observation des cartes des chlorures montre que les teneurs varient entre 400 mg/l et 4400 mg/l. Les valeurs des concentrations durant l'année 2024 sont dues à l'effet du lessivage et de l'évaporation et l'impact des activités humaines telles que l'utilisation domestique. Au nord et au centre de la zone d'étude, nous avons enregistré des concentrations très importantes en chlorures (dépassée 2000 mg/l).

Ces teneurs très élevées résultent de l'infiltration des eaux usées dans la nappe phréatique (Fig.24). Il est à signaler que l'évolution de la teneur en chlorures se fait suivant l'axe du sens de l'écoulement des eaux souterraines, c'est-à-dire selon une direction Sud-Nord. La valeur minimale est d'environ 400 mg/l ; elle est enregistrée dans le Sud de la zone d'étude (Fig.24).

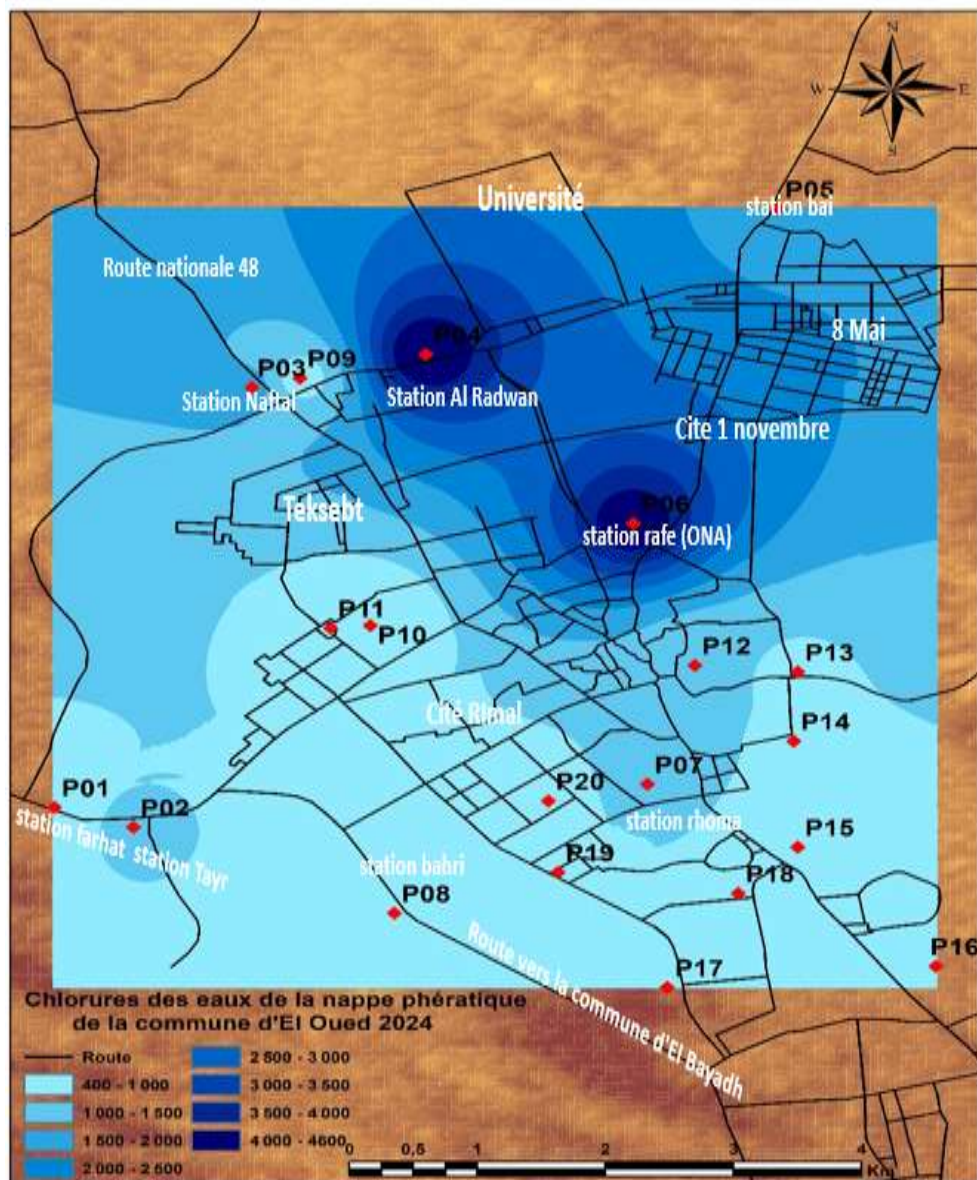


Figure 24 : Carte de Chlorure (Cl⁻) des eaux de la nappe phréatique de la zone d'étude (2024).

IV.2.2. Les bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les concentrations oscillent entre 20 et 220 mg/l. Nous notons que pour tous les points de prélèvements, les valeurs ne dépassent pas les normes de l'OMS, sont rencontrées presque sur la totalité de la zone d'étude. Les faibles concentrations sont enregistrées dans une partie au Nord et au Sud-Ouest de la région d'étude (Fig. 25).

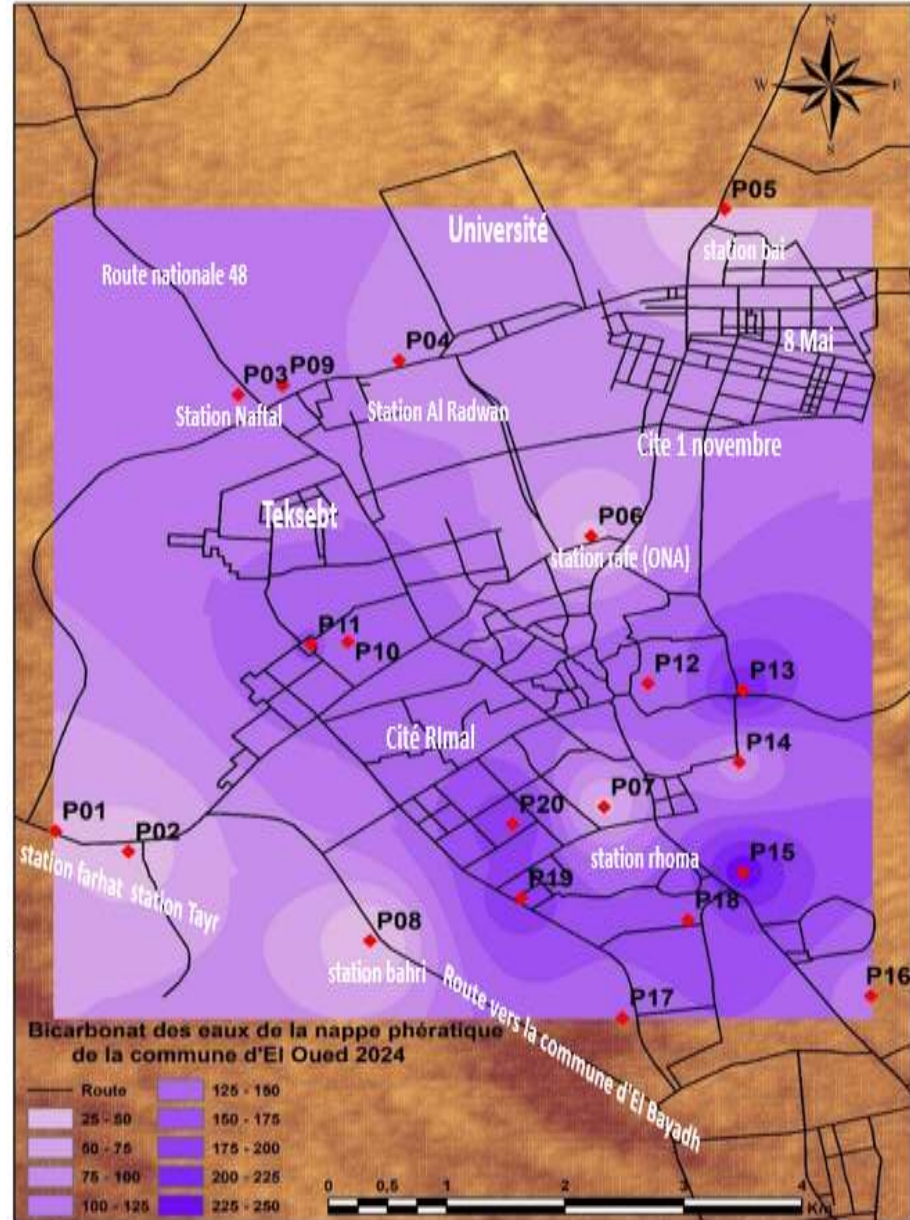


Figure 25 : Carte de Bicarbonates (HCO_3^-) des eaux souterraines de la région.

IV.2.3. Le calcium (Ca^{+2}):

Les concentrations oscillent en général entre 100 et 800 mg/l. Ces dernières sont relativement faibles au Sud-est vers le centre et à l'Ouest de la nappe par rapport aux autres endroits, car les eaux souterraines ne sont pas encore minéralisées et proviennent de la dissolution des formations carbonatées de la plaine. Nous remarquons que les teneurs décroissent dans le sens de l'écoulement. Les fortes teneurs apparaissent au Nord et au sud- Ouest, nous

pensons qu'elles résultent de la dissolution des formations des dépôts évaporitiques. La variation des teneurs en calcium est semblable à celle des chlorures, ce qui confirme la prédominance du faciès chloruré-calcique (Fig. 26).

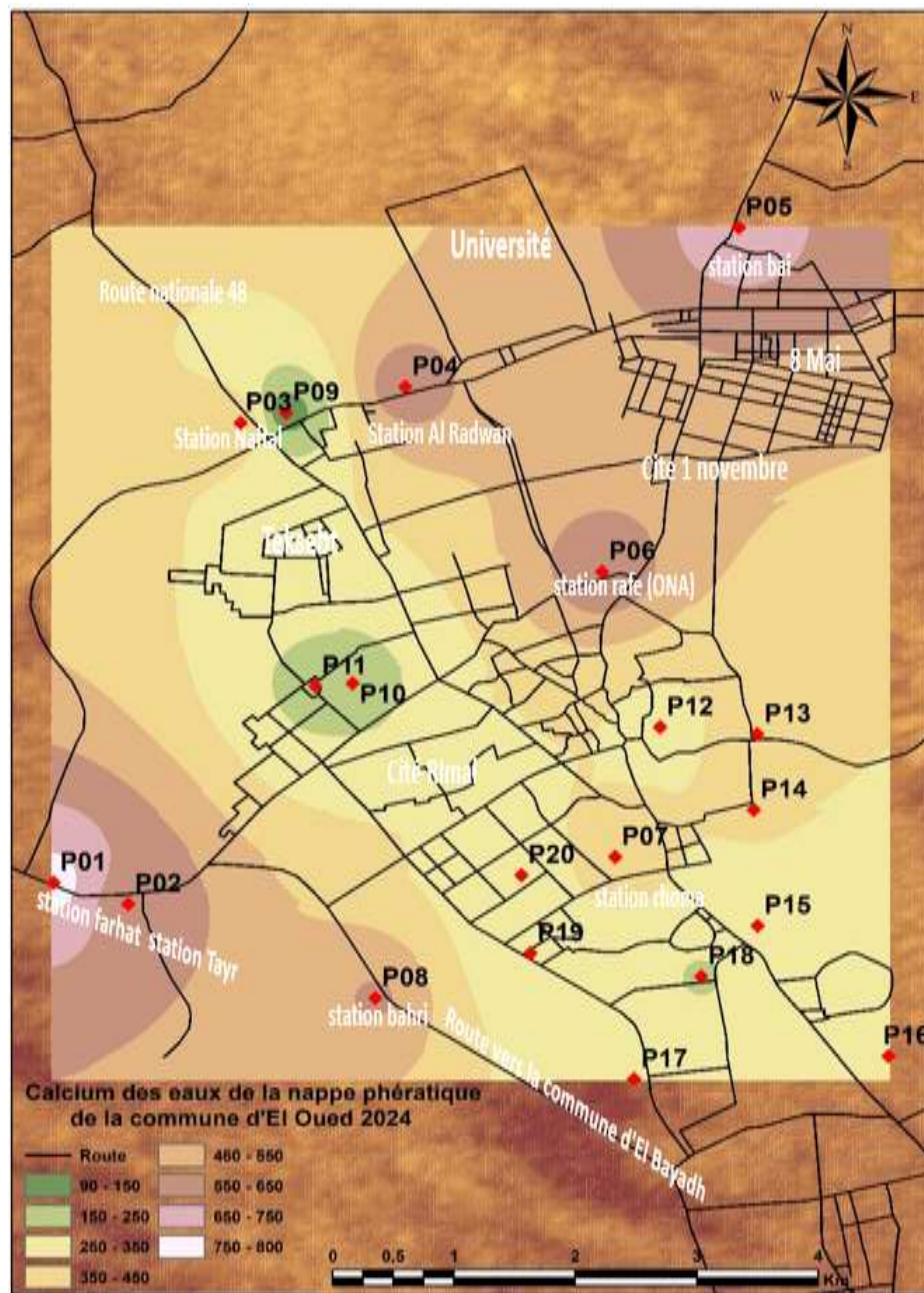


Figure 26 : Carte de Calcium (Ca^{+2}) des eaux souterraines de la région d'étude.

IV.2.4. Le Magnésium (Mg^{+2}) :

Les concentrations varient entre 40 et 460 mg/l. L'observation de la carte montre que les concentrations sont très importantes dans la plupart de l'aquifère et à l'extrémité Nord-Ouest de la plaine en particulier au niveau des points d'eau ST04 et ST06. L'origine du magnésium provient de la dissolution des terrains gypseux triasiques (MgSO_4), et par les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique ou

industriel. Les faibles concentrations se localisent dans une petite partie au Sud-est de la nappe au niveau des points d'eau P10 et P6, là où les eaux souterraines sont au début de leur cheminement, c'est-à-dire ne sont pas encore trop minéralisées.

En effet, la totalité des points d'eau de la région d'étude présentent des teneurs supérieures à la norme admissible de 40 mg/l, fixée par l'OMS (Fig.28).

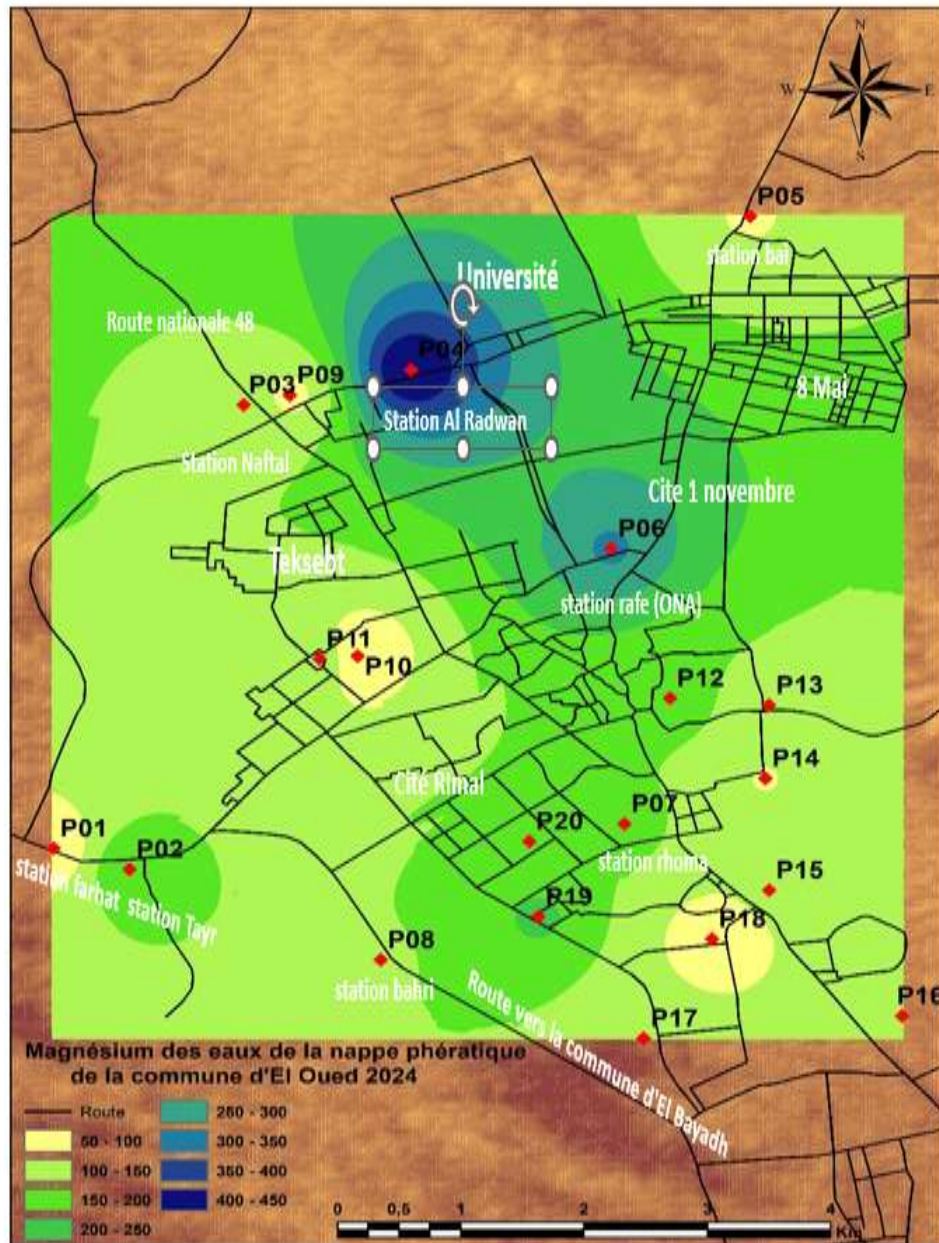


Figure 28 : Carte de Magnésium (Mg^{+2}) des eaux souterraines de la région d'étude.

IV.2.5. Nitrates (NO_3^-) :

La répartition des teneurs en nitrates dans la nappe de la zone d'étude est liée aux facteurs polluants signalés précédemment, et en particulier à l'activité domestique et à la nature lithologique de la couche superficielle.

La cartographie des concentrations (Fig.29) montre que la zone d'El-Oued, est beaucoup plus exposée à la pollution, car les ions des nitrates s'infiltrent rapidement et on y enregistre des

teneurs dépassant 300 mg/l. Au Nord de la région d'étude, les teneurs moyennes en nitrates dépassent les normes de l'OMS. Les valeurs élevées sont mesurées aux points d'eau de ST04 et ST06, ils proviennent essentiellement des eaux usées et des fosses perdues, dans les zones urbaines. Les faibles teneurs en nitrates sont enregistrées dans une partie d'Ouest et de l'Est de la zone d'étude au niveau de P1, P2, P3, P4, P5 et P6.

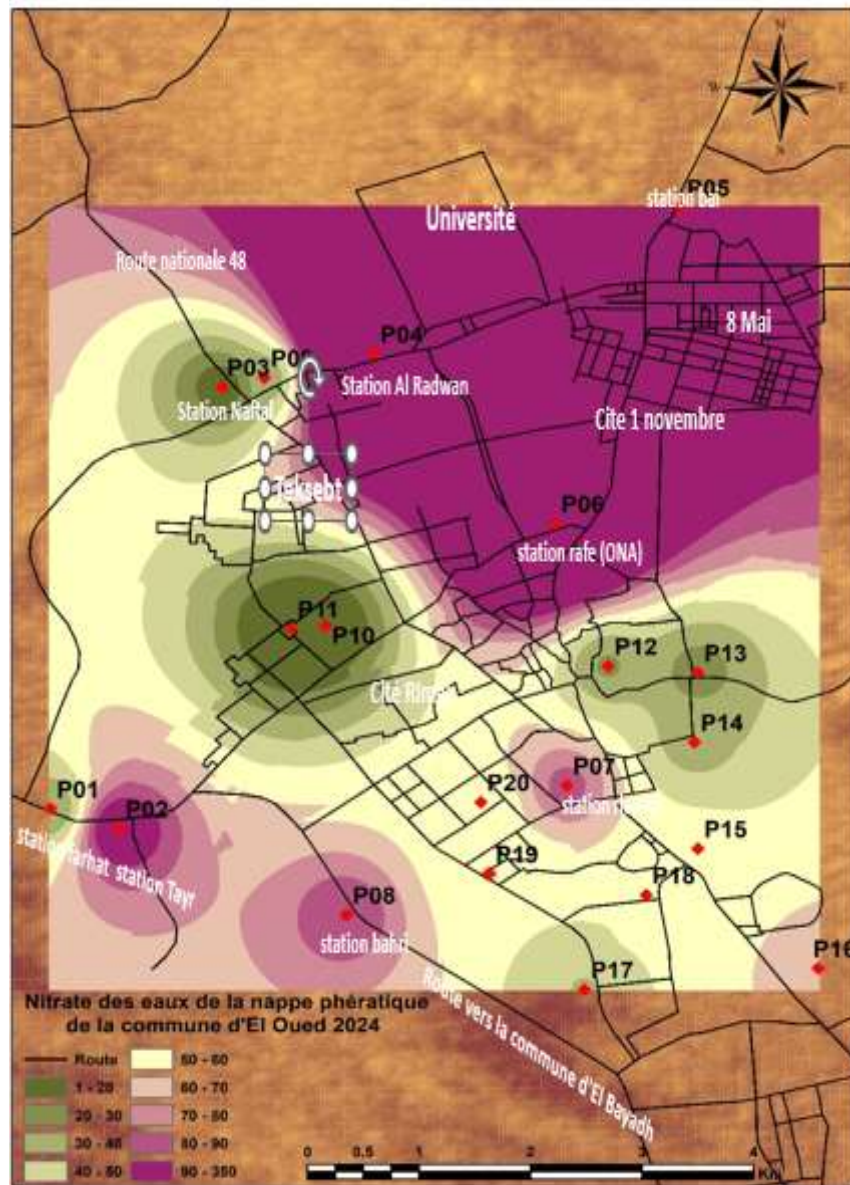


Figure 29 : Carte de Nitrates (NO_3^-) des eaux souterraines de la région d'étude.

IV.3. Paramètres de pollution:

IV.3.1. Ammonium NH_4^+ :

Biogéochimiques de l'azote. Sa présence dans les eaux souterraines peut provenir de diverses sources, notamment les activités agricoles, les effluents industriels, et les systèmes d'assainissement des eaux usées. Les pratiques agricoles intensives, en particulier l'utilisation excessive d'engrais azotés, contribuent de manière significative à la concentration d'ammonium

dans les aquifères. Dans les aquifères, l'ammonium peut être mobilisé par des processus de dénitrification, où les bactéries utilisent le nitrate comme accepteur d'électrons, le réduisant en azote gazeux tout en produisant de l'ammonium comme sous-produit. Cette réaction peut être favorisée par des conditions anaérobies souvent présentes dans les eaux souterraines.

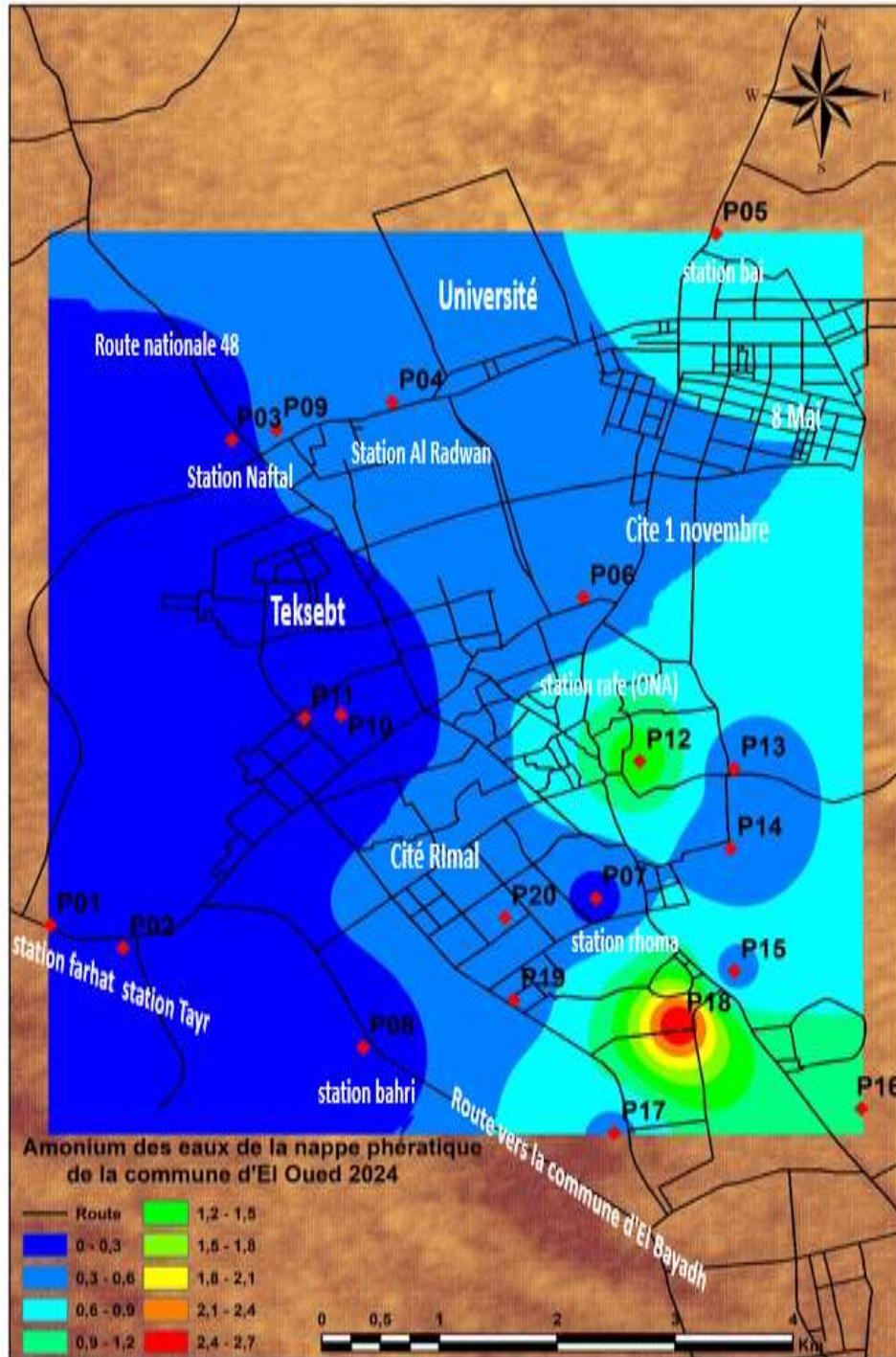


Figure 30: Carte d'Ammonium (NH_4^+) des eaux souterraines de la zone d'étude.

La présence élevée d'ammonium dans les eaux souterraines est préoccupante pour plusieurs raisons. De plus, l'ammonium peut représenter un risque pour la santé humaine lorsqu'il est présent dans l'eau potable.

Une concentration élevée d'ammonium dans l'eau peut entraîner des problèmes métaboliques chez les individus sensibles. Les réglementations environnementales stipulent généralement des concentrations maximales admissibles d'ammonium dans l'eau potable pour minimiser ces risques.

Au Sud-Est de la zone d'étude, les teneurs moyennes en ammonium dépassent les normes de l'OMS (0,5 mg/l). Les valeurs élevées sont mesurées aux points d'eau de P18 et P12, ils proviennent essentiellement des eaux usées infiltrée par les regards de réseau d'assainissement fissurée et des fosses perdues, où le valeur max enregistré au niveau de point P18 par 2,7 mg/l.

IV.3.2. Nitrite NO_2^- :

Les nitrites NO_2^- sont des composés azotés intermédiaires dans le cycle de l'azote, résultant principalement de la réduction des nitrates NO_3^- ou de l'oxydation de l'ammonium NH_4^+ .

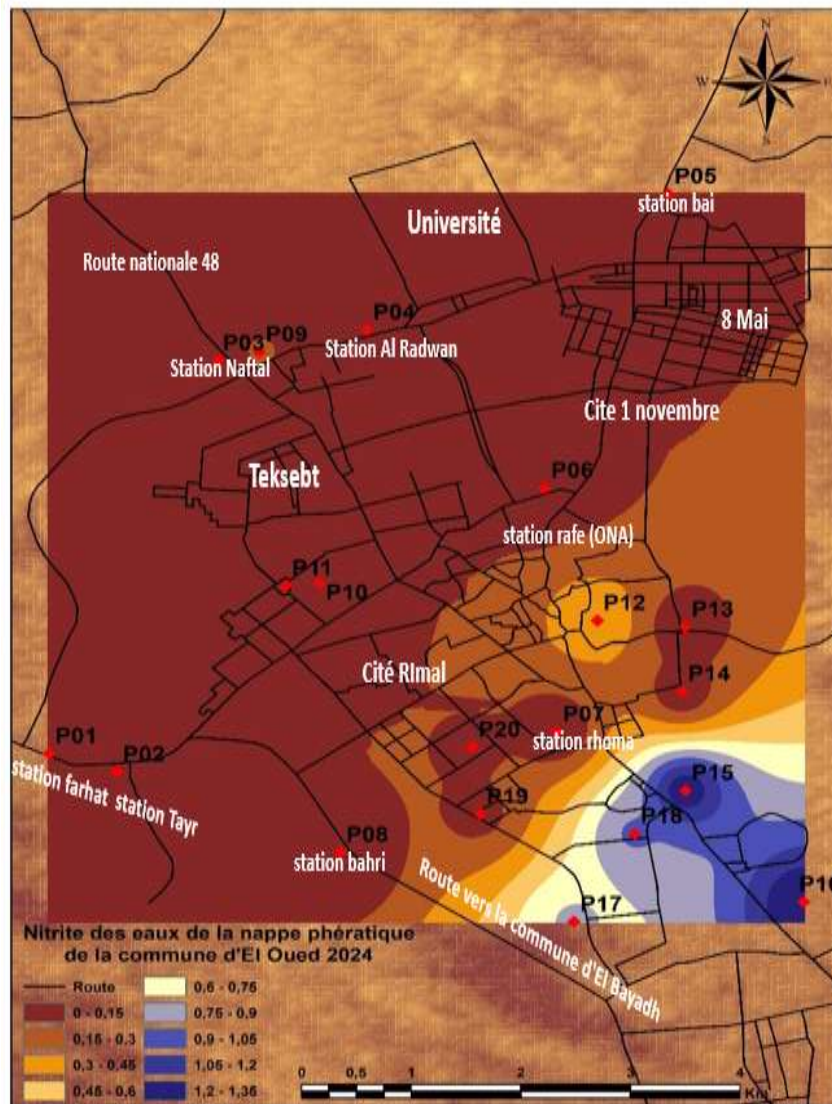


Figure 31 : Nitrite des eaux souterraines de zone d'étude.

Leur présence dans les eaux souterraines peut être attribuée à des sources anthropiques et naturelles, incluant les activités agricoles, les rejets industriels, et les systèmes d'assainissement déficients.

Dans l'environnement, les nitrites sont également préoccupants en raison de leur potentiel à contribuer à l'eutrophisation des plans d'eau, entraînant une prolifération d'algues et une réduction de l'oxygène dissous.

Les concentrations varient entre 0 et 1,34 mg/l. L'observation de la carte montre que les concentrations sont dans la norme dans la plupart de l'aquifère surtout les zones Sud-Ouest et Ouest avec les zones de Nord.

Mais dans les points P15, P16 et P18 dans les Sud-Est présenter les concentrations le plus élevé qui dépasse 1,3 mg/l, là où le niveau statique des eaux souterraines est très faible à cause les ghouts inondées, c'est-à-dire de transition rapide des éléments polluantes.

IV.3.3. Plomb Pb :

Le plomb dans les eaux souterraines provient principalement de sources anthropiques telles que l'exploitation minière, les industries métallurgiques, et les anciennes canalisations en plomb ou par les hydrocarbures.

Ce métal lourd est hautement toxique, même à faibles concentrations. L'exposition au plomb peut causer de graves problèmes de santé, notamment des troubles neurologiques, rénaux et cardiovasculaires. Les enfants sont particulièrement vulnérables aux effets neurotoxiques. La gestion de la contamination par le plomb nécessite une surveillance rigoureuse et des techniques de traitement, comme la filtration et la précipitation chimique, pour assurer la sécurité de l'eau potable.

Les concentrations de Plomb varient entre 8,68 mg/l et 211,82 mg/l c'est-à-dire la valeur la plus faible mesurée dans le quartier Teksebt est dépassé la norme (0,01 mg/L) par 800 fois, par contre la concentration la plus élevée enregistrée au niveau autour la station d'essence BAHRI au Sud-Ouest de la commune d'El Oued par plus 211 mg/l.

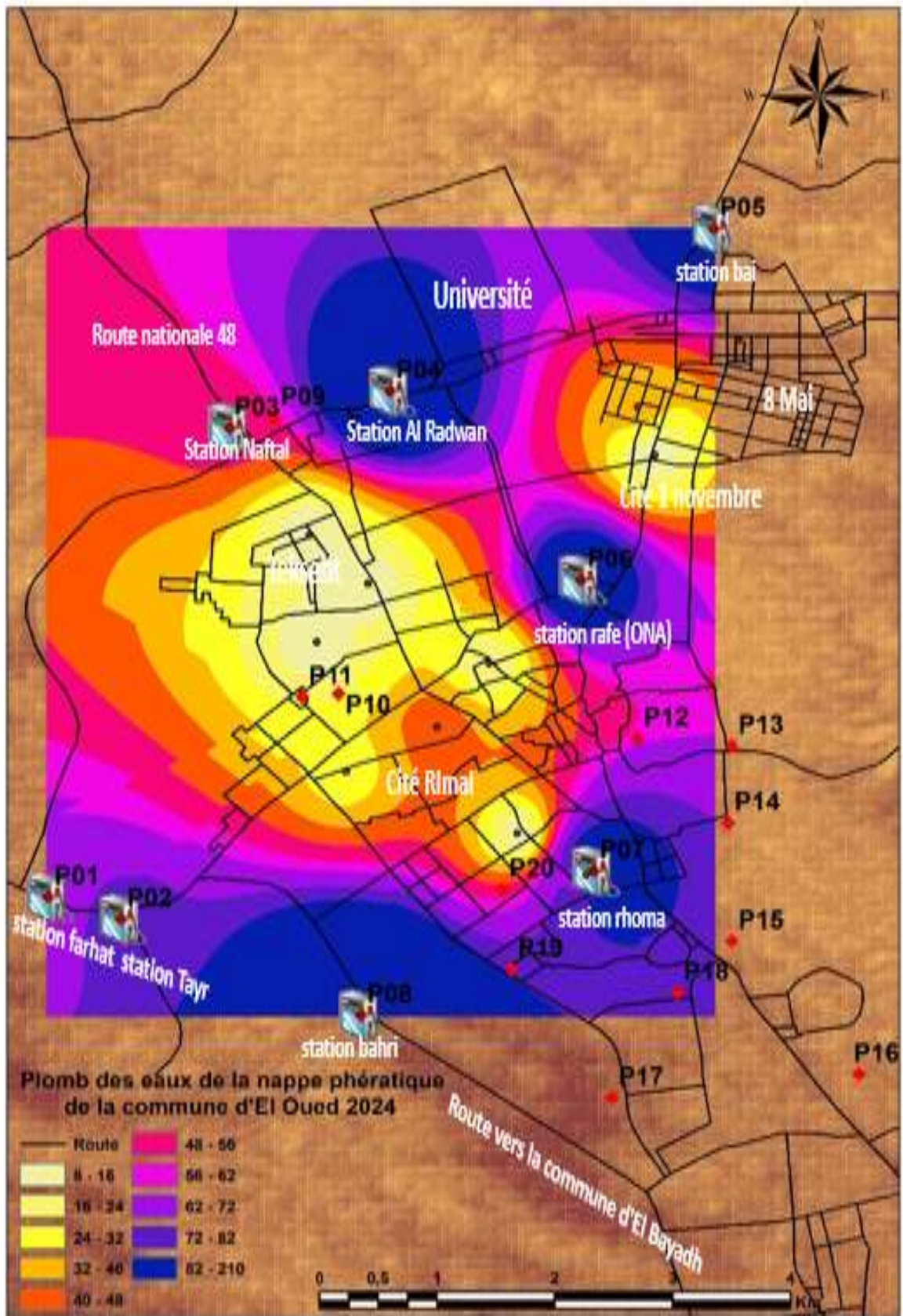


Figure 32 : distribution de Plomb dans les eaux de la nappe phréatique de zone d'étude.

V. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la méthode d'analyse moyennant le logiciel ArcGIS. Le ArcGIS constitue un outil puissant d'analyse spatiale, permettant d'apporter une aide précieuse à l'analyse des problèmes de pollution des eaux. L'utilisation des analyses statistiques à savoir l'Analyse en Composantes Principales, ce qui nous donne une idée sur la source de pollution par les fuites d'hydrocarbures au moyen d'une étude les corrélations existantes entre les différents types des paramètres. Les résultats obtenus nous indiquent que le taux de nitrates et nitrites (NO_2^- et NO_3^-) dans les eaux de l'aquifère libre est généralement supérieur à la norme recommandée par l'OMS au niveau de la zone d'étude. Les résultats de notre étude indiquent que la présence de métal lourd (plomb) dépasse les normes algériennes pour l'eau potable dans la région de la commune d'El-Oued, signalant ainsi une situation alarmante en ce qui concerne la qualité de l'eau et l'existence de fuites d'hydrocarbures dans la nappe phréatique .

Conclusion générale

La zone d'étude, faisant partie de la wilaya El-Oued et s'étendant sur environ 500 km², est intégrée au vaste Erg oriental, caractérisé par des dunes de sable dont l'altitude varie entre 64 m et 100 m. Cette région se compose principalement de massifs dunaires, d'ergs, de zones urbaines, de ghouts, de zones agricoles irriguées et de plans d'eau. Son climat saharien se traduit par des hivers chauds et un bilan hydrique indiquant une recharge négligeable par les précipitations.

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional. La pollution des eaux souterraines est devenue un problème majeur dans les pays en développement, notamment dans notre zone d'étude à El-Oued. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau dans la région de Souf et son exposition aux impacts des fuites d'hydrocarbures. Ainsi, une analyse approfondie de la composition physico-chimique, biochimique et métallique a été réalisée à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique à flamme. Les résultats ont révélé des concentrations élevées en plomb (Pb), le taux de nitrates et nitrites (indicateurs de pollution) dans la commune d'El-Oued.

Cette étude met en lumière le plomb comme principale source de pollution dans la commune d'El-Oued. Le plomb, l'un des métaux lourds les plus dangereux, n'est pas nécessaire aux processus vitaux mais présente une toxicité à long terme pour l'organisme. Dans cette région, la qualité de l'eau est clairement un défi majeur, nécessitant des normes strictes pour garantir sa potabilité conformément aux standards internationaux avant sa distribution, en particulier pour la consommation humaine.

Perspectives:

1. L'étude d'un grand nombre de puits qui se trouvent dans toute la région nécessaire.
2. L'Analyse des polluants organiques est évidemment nécessaire et complémentaire à la présente étude.
3. Renforcement de la surveillance : Il est essentiel d'améliorer les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau afin de détecter rapidement les sources de pollution et de prendre des mesures correctives.
4. Sensibilisation et éducation : Sensibiliser les populations locales, les industries et les agriculteurs sur les pratiques de gestion durable de l'eau et les conséquences de la pollution est crucial pour encourager des comportements responsables.
5. Réglementation stricte : Mettre en place des réglementations plus strictes concernant les rejets industriels, l'utilisation des engrais et des pesticides agricoles, ainsi que le traitement des eaux usées, peut contribuer à réduire la pollution de manière significative.

6. Utilisation de technologies vertes : Investir dans des technologies de traitement de l'eau respectueuses de l'environnement, telles que les systèmes de filtration naturelle ou les techniques d'épuration biologique, peut offrir des solutions durables pour réduire la pollution.

Références bibliographiques

1. (A.N.R.H): Agence nationale des ressources hydraulique , (2009): Les ressources en eaux de La Wilaya d'El-Oued. Rapports techniques. 27p.
2. (A.N.R.H): Agence nationale des ressources hydraulique , (2019): Les ressources en eaux de La Wilaya d'El-Oued. Rapports techniques. 32p.
3. (D.H.W) Direction d'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued (2010) ,Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued.
4. (DSA): Direction des Services Agricoles.(2005).
5. (DSA): Direction des Services Agricoles.(2014).
6. (DSA): Direction des Services Agricoles.(2016).
7. ANRH, 1999. Note relative sur les ressources en eau de la wilaya d'El-Oued. Direction régionale de Ouargla. Algérie.
8. Baba Sy M., 2005. Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, Thèse Doct, Université de Tunis El Manar, Tunisie. 271p.
9. Beggas Y., 1992 : Contribution à l'étude bioécologique des peuplements orthopterologiques dans la région d'El Oued – régime alimentaire d'Ochrilidiatibilis. Mémoire Ing. Agro., Insti. nati. Agro. El Harrach, 53p.
10. Belhaj A., (2001). Les épidémies d'origine hydrique dans le monde- Synthèse Technique-ENGRET centre de Montpellier et OIE de Limoges, pp 1-16.
11. Besbes, M. et Jarraya, H.F. 2007. Définition d'un réseau de surveillance piézométrique du système aquifère du Sahara septentrional. Sécheresse 2007 ; 18 (1) : 13-22
12. BETTA B; GHANIA F.(2020). Caractérisation des paramètres hydrologiques pour identifier évolution des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la commune d'El-Oued, Mémoire master ,Université Echahid Hamma Lakhdar El oued, 41.
13. Boschet A.F., (2002). Ressources en eau et sante en Europe- Journal Européen d'Hydrologie, 33, 1, pp.33-39.
14. Burford MA, Costanzo SD, Dennison WC, et al. 2003- A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia. Marine Pollution Bulletin ; Vol: 46,1456–1469.
15. Chaden M.H.,(2014). Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approche hydrogéochimique, Thèse doctorat ; Université de Lorraine, 268p.
16. CORNET A. (1964) : Introduction à l'Hydrogéologie Saharienne. Revue Géol. Phys. et Géol. Dynamique. Vol. VI. Fascicule. 1 . pp. 5 -72.
17. COTE M., (1998): Des oasis malades de trop d'eau. Sécheresse vol. 9, n° 2. pp 123-

Références bibliographiques

130.

19. De Burbure C, Buchet J-P, Leroyer A, et al. (2005)- Renal and neurologic effects of cadmium, lead, mercury, and arsenic in children: evidence of early effects and multiple interactions at environmental exposure levels. *Environmental health perspectives*;vol:114:584–590.

20. DPS : Direction de planification et statistique (2017).

21. DPSB : Direction de la programmation et suivi budgétaires (2023).

22. DREUX P., 1980. Précis d'écologie. Ed. Presse universitaire de France, Paris, 231 p.

23. Faurie C., Ferra C., et Medori P., 1980 : Ecologie ; Ed. Baillière, Paris, 168p.

24. Fetter, C.W. (2001). "Applied Hydrogeology," 4e édition, Prentice Hall.

25. Ghazali, A., et al. (2013). "Impact of Industrial and Urban Pollution on Water Quality in Souf Area (Algeria)." *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol: 4(2), 186-190.

26. GUENDOOUZ A., REGHIS Z., MOULLA A.S., 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport N1, 65p, Rapport N2, 30p.

27. Halitim.A,(2011)- L'aridoculture et le développement durable, *Algerian journal of arid environment* ISSN-2170-1318 ;vol. 1, n° 1: 3-9.

28. Hillisse Y, (2007)- Encyclopédie des plantes de la région d'Oued Souf Ed. El-Walide ; El-Oued ; 302p.

29. Kaid, Rassou.K. (2008). Étude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia. Thèse doctorat. Univ CADI AYYAD MARRAKECH- MAROC. 214P

30. Khechana S;(2007)- Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la ville d'oued souf(sud- Est algérien); These magister en Hydrogéologie; Université badji mokhtar Annaba;134p.

31. LATIFI S;(2018)- Etude de la vulnérabilité des nappes aquifères de la région de Guelma et évaluation du rôle des STEP dans la protection des eaux. Thèse doctorat; Université badji mokhtar-Annaba, Faculté des Sciences de la Terre, 133p.

32. Leynaud G. 1968- Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique B.T.I. Ministère de l'agriculture.Vol: 224; p:25.

33. MOULLA, A. S., et al (2005), « Hydrochemical and isotopic behaviour of a Saharan phreatic aquifer suffering severe natural and anthropic constraints (case of Oued-Souf region, Algeria) », *Hydrogeology Journal* (2006) 14: 955-968.

34. N'guessan YM, Wango TE, Adopo KL, et al (2016). Caractéristiques géochimiques des eaux de surface dans un environnement agricole: cas des bassins versants de la Gascogne

Références bibliographiques

(Région Midi Pyrénées, SW de la France). *International Journal of Innovation and Applied Studies*; vol:17, 394p.

35. Nadjah A., 1971 : Le Souf des oasis. Ed. maison livres, Alger, 174p.

36. Nehme N (2014). Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani, Liban: approche environnementale. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 359 p.

37. ONA, 2003. Office National de l'Assainissement. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation: Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique; ONA, Ouargla, 42p.

38. ONM : Office Nationale de Météorologie.(2023). El Oued Guemmar. Bulletins mensuels de relevés des paramètres climatologiques en willaya d'El-Oued de 2000 à 2015.

39. ONS (Office National des Statistiques);(2013)- Evolution des agglomérations 1998-2013, Collections statistiques.

40. OSS (Observatoire Sahara et Sahel). 2003. Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

41. OZENDA P., 1983. Flore du Sahara. Ed. Centre National des Recherches Scientifiques, Paris. 39 p.

42. Raïs MT, Xanthoulis D. (1999). Amélioration de la qualité microbiologique des effluents secondaires par stockage en bassins. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*;3: p149–157.

43. Ramade F., 2003 : Eléments d'écologie- écologie fondamentale ; Ed. Dunod, Paris, 689 p.

44. Remini B., 2005. L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides, exemple Algérien, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04.

45. Rodier J, Legube B, Merlet N et coll , (2009)- *L'analyse de l'eau*, 9e édition ; Ed. Dunod, Paris, 1526p.

46. SAIBI .H, 2003. Analyse qualitative des ressources en eau de la vallée du Souf et impact sur l'environnement, région aride à semi-aride d'El Oued, Mémoire Magister. Université Houari Boumediene, 160p.

47. Saker, A. (2000). "Water Quality Assessment and Management in Arid Regions: Case Study of Oued Righ Basin, Algeria." *Water Resources Management*, 14(6), 423-436.

48. Serraye A;(2014)- La problématique de gestion des excédents hydriques dans la ville d'El-Oued, Impacts environnementaux et recommandations, mémoire Magistère Ecologie et Environnement. Univ Kasdi Merbah. Ouargla..

49. Todd D.K. et Mays L.W. (2005). "Groundwater Hydrology," 3e édition, Wiley.

Références bibliographiques

50. Zidane M L et Soufi M; (2018)-Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued (SE Algérie); These magister en Hydrogéologie ,Universite Kasdi Merbah – Ouargla, 48p.