

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE ALIMENTAIRE

OPTION : QUALITE DES PRODUITS ET SECURITE

ALIMENTAIRE (QPSA)

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : KHELOUF Hanane

LOUKRIZ Naima

Intitulé

**Étude de la pollution de la nappe
phréatique de la région de M'Sila**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. CHERIAF Abdelkader

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Président

Dr. CHERIF Kamel

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Rapporteur

Dr. BOUAZIZ Samia

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Examineur

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicace

Despina



*Louange à Dieu, le Tout Puissant,
Qui nous a permis de mener à bien ce modeste
travail.*

*On dit « les mots s'envolent, seuls les écrits restent » c'est
pour cela que je vous écris ces petits mots.*

*Je dédie ce modeste travail à deux personnes les plus
chers à mon cœur :*

*A mes très chers parents qui ont sacrifié de leur
existante pour bâtir la mienne, qui par leur précieux
conseils et qui m'ont guidé vers la voix de la réussite.*

*Surtout ma précieuse mère, qui est considérée comme mon
plus, grand héros dans la vie, je lui dédie ce travail en guise de
remerciements pour tous*

Ses sacrifices pour moi

A mes chers frères,

Abdelhamid & Karima

Et toute personne qui m'a aidée à franchir

Un horizon dans ma vie.....

Hanane



Dédicace

Despina



Je dédie ce travail A Mon cher mari

Je dédie ce modeste travail à deux personnes les plus chers à mon cœur : A mes très chers parents qui ont sacrifié de leur existante pour bâtir la mienne, qui par leur précieux conseils et qui m'ont guidé vers la voix de la réussite.

*Surtout celle qui m'a toujours comblé d'amour et de tendresse, que Dieu te protège. Je suis extrêmement fier de toi
A mes chers frères et sœurs.*

À tous ceux qui ont contribué à mon apprentissage, merci.

À ceux qui ont cru en moi, même lorsque je doutais de moi-même. À tous ceux qui ont contribué à ma formation, ce travail est le fruit de vos efforts.



Naima

Remerciements



**Nous remercions avant tout notre Dieu ALLAH,
le tout puissant qui nous a donné la force, la patience et la volonté pour mener
à bien ce travail.**

**Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur
Cherif Kamel, qui nous a toujours accueilli à bras ouverts et à tout moment,
d'avoir nous assisté le long de la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici nos
sincères gratitudes et nos profondes reconnaissances pour tous les efforts qu'il
a déployé dans ce sujet, ainsi que de sa compréhension, de sa patience,
gentillesse, et pour ses conseils, ses encouragements et même ces précieuses
corrections.**

**Notre gratitude s'adresse aussi à Monsieur Cherief Abdelkader qui a accepté
de présider le jury de soutenance.**

**Nos vifs remerciements s'adressent également à Mme Bouaziz Samia qui a
accepté, pour avoir accepté de juger notre travail.**

**Nous adressons également nos sincères reconnaissances à tous les enseignants
du département de microbiologie et biochimie qui ont participé à notre
formation durant ce cursus.**

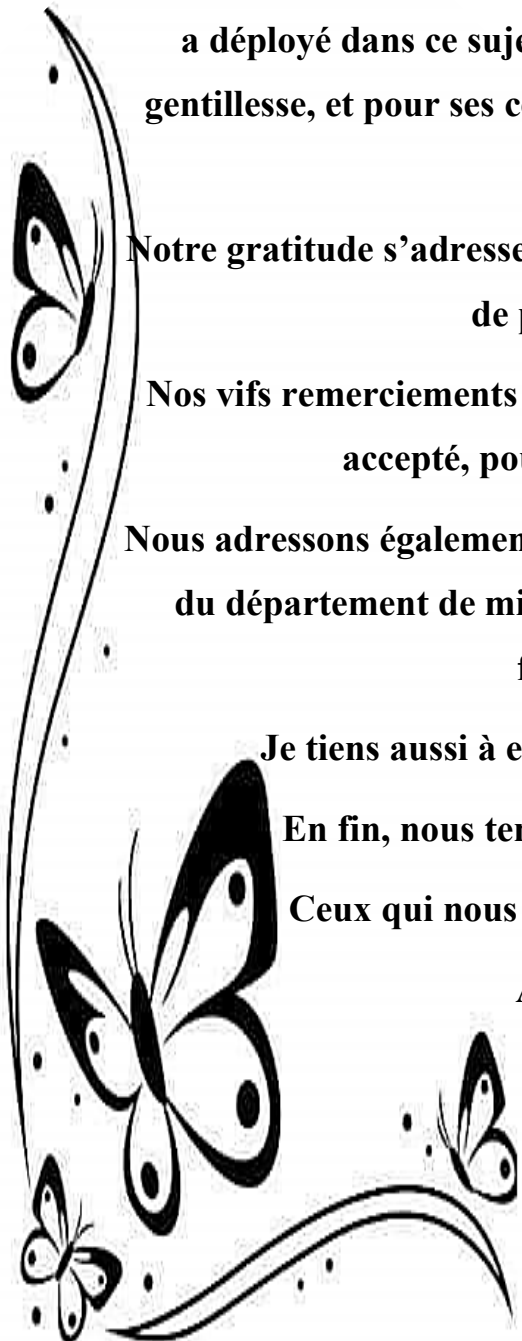
Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à mes collègues.

En fin, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous

Ceux qui nous ont soutenus ou contribuer de près ou de loin

À la réalisation de ce travail.

Hanane et Naima



Sommaire

Liste des abréviations	iv
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
Introduction	1
Chapitre I Pollution des nappes phréatiques	3
I.1 Généralité sur l'eau.....	3
I.1.1 Les origines naturelles de l'eau	3
I.2 Les origines des eaux souterraines.....	5
I.2.1 Eaux météoriques.....	5
I.2.2 Eaux connées	6
I.2.3 Eaux juvéniles.....	6
I.3 Classification des nappes	6
I.3.1 Nappes libres (ou nappes phréatiques)	6
I.3.2 Nappes captives (ou confinées)	7
I.3.3 Nappes perchées.....	7
I.4 Pollution d'eau.....	7
I.4.1 Causes de la contamination de l'eau	8
I.4.2 Pollution des nappes phréatiques :	8
I.4.3 Impacts/effets de la pollution.....	10
I.5 Sources et types de pollution des nappes phréatiques:	12
I.5.1 Pollution urbaine (domestique et routière):	13
I.5.2 Pollution industrielle:.....	13
I.5.3 Pollution d'origine agricole (engrais, pesticides):	14
I.6 Paramètres de qualité des eaux souterraines	14
I.6.1 Paramètres physiques.....	15
I.6.2 Paramètres chimiques	16

I.6.3 Paramètres biologiques:	22
I.7 Constituants des eaux souterraines	22
I.7.1 Ions majeurs	22
I.7.2 Ions mineurs.....	23
I.8 Les normes Physico-chimiques des eaux souterraines	23
I.9 . Gestion des eaux souterraines	25
I.9.1 . Législation sur les eaux souterraines	25
I.9.2 Surveillance des eaux souterraines	26
I.9.3 . Lois et réglementations concernant les périmètres de protection :	26
Chapitre II Présentation de la région d'étude	28
II.1 La région de M'sila.....	28
II.1.1 Caractéristiques géomorphologiques.....	28
II.2 Présentation de « Chott El-Hodna »	31
II.2.1 Description du Chott.....	31
II.2.2 Aspect géographique et administratif.....	31
II.2.3 Données géologiques et hydrogéologiques.	32
II.3 La région de Maadher.....	35
II.3.1 Aspect géographique et administratif.....	35
II.3.2 Données géologiques et hydrogéologiques.	36
Chapitre III Matériels et méthodes	38
III.1 Matériels.....	38
III.1.1 Zone d'études	38
III.1.2 Analyse de l'eau	38
III.2 Méthodes	39
III.2.1 Cartographie	39
III.2.2 Système d'information géographique	39
Chapitre IV Résultats et discussion	43

IV.1 Résultats.....	43
IV.1.1 Caractéristiques des forages de la région de M'sila.....	43
IV.1.2 Caractéristiques des forages de la région de Bou Saada.....	51

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

ملخص

شهدت منطقة المسيلة خلال السنوات الأخيرة عدة أضرار في المياه الجوفية بسبب التلوث الناجم عن التوسع الحضري والري وتأثيرات تغير المناخ. ولهذا السبب فإنه من الضروري مراقبة هذه الظاهرة باستمرار.

ركزت هذه الدراسة على أهم معايير تلوث المياه الجوفية في منطقة المسيلة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تشخيص نوعية المياه الجوفية في هذه المنطقة. تم إجراء تحليل الجودة الفيزيائية والكيميائية على 29 عينة مأخوذة من آبار المياه الجوفية المختلفة المستغلة في منطقة الدراسة.

وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من دراسة معايير التلوث وجود زيادة في تركيز النترات والفوسفات حسب المنطقة. يشير هذا إلى أن التلوث أثر على عدة مناطق، وفي بعض الأحيان بمستويات مرتفعة للغاية. ومن ثم، فإن التقييم المستمر لجودة المياه أمر ضروري لمراقبة ومعالجة مخاطر تدهور جودة المياه. والقضاء على المشاكل الصحية والبيئية الناتجة عنها.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الجودة الفيزيائية والكيميائية، معايير التلوث، النترات،

الكبريتات، منطقة المسيلة

Abstract

In recent years, the M'Sila region has suffered several groundwater damages due to pollution caused by urbanization, irrigation, and the effects of climate change. Therefore, it is necessary to continuously monitor this phenomenon.

This study focused on the most important groundwater pollution parameters in the M'sila region of, Algeria. The main objective of this study is to diagnose the quality of groundwater in the M'Sila region. The analysis of the physicochemical quality was carried out on 29 samples taken from boreholes of different aquifers exploited in the study area.

The results obtained from the study of pollution parameters highlighted that there was an excess in the concentration of nitrates and sulfates. This indicates that pollution has affected several areas, sometimes at very high levels. Therefore, ongoing water quality assessment is essential to monitor and address the risks of water quality deterioration, and to eliminate the resulting health and environmental problems.

Keywords : groundwater, physicochemical quality, pollution parameters, nitrates, sulfates, M'Sila region

Résumé

Ces dernières années, la région de M'Sila a subi plusieurs dommages au niveau des eaux souterraines en raison de la pollution due à l'urbanisation, à l'irrigation et aux effets du changement climatique. C'est pourquoi il est nécessaire de surveiller ce phénomène en permanence.

Cette étude s'est concentrée sur les plus importants de paramètres de pollution des eaux souterraines dans la wilaya de M'sila en Algérie. L'objectif principal de cette étude est de diagnostiquer la qualité des eaux souterraines dans deux zones de cette Wilaya à savoir la zone de Maader (Bou Saada) et la zone de Mezrir (M'sila). L'analyse de la qualité physico-chimique a porté sur 29 échantillons prélevés des forages de différentes nappes aquifères exploitées dans la zone d'étude.

Les résultats obtenus de l'étude de ces deux paramètres de pollution a mis en évidence qu'il y avait un excès dans la concentration des nitrates et des sulfates selon les régions.

Cela indique que la pollution a touché plusieurs zones, parfois à des niveaux très élevés. Par conséquent, une évaluation continue de la qualité de l'eau est essentielle pour surveiller les risques de détérioration de la qualité de l'eau et pour y faire face. Et éliminer les problèmes de santé et d'environnement qui en découlent.

Mots clés : eaux souterraines, qualité physico-chimique, paramètres de pollution, nitrates, sulfates, Hodna

Liste des abréviations

A.D.E: Algérienne Des Eaux.

A.E.P: Alimentation de l'Eau Potable.

A.S.W.M: Annuaire Statistique de la wilaya de M'sila.

Ca +2 : Calcium.

CE : Conductivité électrique.

Cl - : Chlorures.

D : debye unité de moment dipolaire.

Débit exp : Débit exploité

Débit mob : Débit mobilisable

F : Forage.

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

H/j : Heures de pompage par jour

HCO₃ - : Bicarbonates.

Hm³ : Hectomètre cube

K+ : Potassium.

L/s : litres par seconde

M³/j : mètres cubes par jour

Mg+2 : Magnésium.

MICLAT : Ministère de l'intérieur des collectivités locales et de l'aménagement du territoire.

MT3DMS : Modèle de Transport Multiespèces Modulaire en Trois Dimensions.

MTH : maladies à transmission hydrique.

Na+ : Sodium.

Nb : Nombre de jours de pompage

NO₃ -2 : Nitrate.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PH : Potentiel Hydrogène.

PNUD : Programme des Nations Unies pour le développement.

SO₄ -2 : Sulfates.

T : Température(C°).

Liste des figures

Figure 1. les différentes types des nappes	7
Figure 2. Pollution ponctuelle (point) et diffuse (non point)	12
Figure 3. Coupe schématique du sous-sol situant les transferts horizontaux dans la nappe et verticaux en zone non saturée. (Mandard, 2023)	20
Figure 4 Localisation de Chott El-Hodna par rapport aux communes de M'sila.....	32
Figure 5 Carte de réseau hydrographique de Bassin du Hodna	34
Figure 6 La position géographique de la zone d'étude	35
Figure 7 Carte topographique et de drainage de la région de Maadher	36
Figure 8. Carte de localisation des zones d'études et des forages AEP	38
Figure 9. Les composantes d'un SIG. Système d'information géographique	41
Figure 10. Représentation graphique des résultats d'analyse de Nitrate dans la région de M'sila.	44
Figure 11 Répartition spatiale des nitrates dans la région de Mezrir	45
Figure 12. Carte des concentrations en nitrates par krigeage dans la région de Mezrir.....	46
Figure 13. Représentation graphique des résultats d'analyse de Sulfates dans la région de M'sila.	47
Figure 14.. Répartition spatiale des sulfates dans la région de Mezrir.....	47
Figure 15.. Carte des concentrations en sulfates par krigeage dans la région de Mezrir.....	48
Figure 16. Les périmètres de protection par Buffer	49
Figure 17. Vue rapprochée sur les périmètres de protection autour de forages zone 1 Mezrir....	50
Figure 18. Vue rapprochée sur les périmètres de protection autour de forages zone 2 Mezrir....	51
Figure 19. Représentation des résultats d'analyse de Nitrate dans la région de Bou Saada.	53
Figure 20. Répartition spatiale des nitrates dans la région de Bousaada	54
Figure 21. Carte des concentrations en nitrates par krigeage dans la région de Bousaada.....	55
Figure 22. Vue rapprochée sur les périmètres de protection autour de forages zone 1.....	56
Figure 23. Vue rapprochée sur les périmètres de protection autour de forages zone 2.....	57
Figure 24. Représentation des résultats d'analyse de sulfates dans la région de Bou Saada.	58

Figure 25. Interpolation spatiale des concentrations de sulfates de la région de Bou Saada par krigeage	58
Figure 26. Carte des concentrations en sulfates par krigeage dans la région de Bousaada.....	59

Liste des tableaux

Tableau 1 Abondance relative des solides dissous dans l'eau potable	17
Tableau 2. Normes de potabilisation des eaux.....	24
Tableau 3. Les ressources souterraines dans la région de M'Sila.....	29
Tableau 4: Les ressources d'eau Dans la commune M'sila.....	30
Tableau 5 Caractéristiques des forages de la région de M'sila	43
Tableau 6.. Caractéristiques des forages de la région de Bousaada.....	52

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Introduction

"وجعلنا من الماء كل شيء حي" صدق الله العظيم

“Avant sa naissance, l'homme passe par une période aquatique : il passe 9 mois dans le ventre de sa mère baignant dans le liquide amniotique ! Durant ses premiers d'existence, l'embryon est composé à plus de 90% d'eau” (<http://fr.wikipedia.org>) L'eau est essentielle aux organismes vivants. Elle est donc indéniablement à l'origine de la vie, des êtres humains et de tous les êtres vivants. Elle est aussi considérée comme l'origine de la vie. Les eaux souterraines sont la source d'eau douce la plus précieuse de la planète. Près de la moitié de l'eau potable mondiale provient des eaux souterraines, et 43 % de l'eau utilisée pour l'irrigation agricole provient des eaux souterraines. Les ressources en eau, en particulier les eaux souterraines, sont essentielles au développement durable. La disponibilité de l'eau est un facteur clé du développement agricole, industriel et touristique, tandis que la connaissance de la qualité de cette eau est un indicateur important du développement.

En Algérie, l'eau continue de présenter un défi majeur, quantitatif et qualitatif pour les décennies à venir, Quantitatif : des moyens non conventionnels, comme la désalinisation de l'eau de mer ont été mis en œuvre pour satisfaire la demande, Qualitatif : la détérioration continue de la qualité de l'eau par la surexploitation et par la charge polluante

La majorité des wilayas sont confrontés à plusieurs défis majeurs comme : (Surexploitation des ressources en eau, Faibles précipitations et sécheresse persistante, pollution diffuse due à l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides, Absence de stratégie intégrée de gestion des ressources en eau).

L'eau souterraine constitue l'unique ressource d'approvisionnement en eau potable de la population de la wilaya de M'sila. La nappe du miopliocène est la plus sollicitée à cet égard. Cette ressource hydrique est sujette, en plus d'une surexploitation, à une pollution insidieuse provoquée par les intrants agricoles, de plus en plus employés par les agriculteurs pour améliorer leur production maraîchère.

L'objectif arrêté pour ce travail, est d'établir le niveau de la pollution nitratée et sulfatée des eaux souterraines de la nappe du miopliocène de la région de Msila, d'en identifier les causes et partant, de proposer des mesures pour solutionner le problème de la pollution.

Durant ce travail, qui a concerné deux zones d'étude l'une située au nord de la sebkha et l'autre au sud, en l'occurrence la région d'Maader. Cette étude nous a permis de caractériser les forages, de cartographier et d'analyser la qualité de ses eaux par l'étude de deux paramètres les Nitrates et les sulfates importants dans la qualité des eaux destinées à la consommation.

Le présent travail est subdivisé en trois parties :

- La première partie est composée de deux chapitres ;

Chapitre (01) : une recherche bibliographique sur le concept de l'eau souterraine, ses caractéristiques et ses normes de qualité.

Chapitre (02) : consacrée à la présentation de la zone d'étude.

- La deuxième partie est composée de deux chapitres ;

Chapitre (01) : dédié à la description du matériel et méthodes utilisés dans cette étude.

Chapitre (02) : réservé aux résultats et discussion.

A la fin, on termine l'étude par une conclusion.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE
БІБЛІОБІБЛІОГРАФІЧНІ

CHAPITRE I :
СНІВКІ І :

POLLUTION DES NAPPES
ПОГІЛІОН ДЕС ІВІБЕС

PHRÉATIQUES
БІВІЛІОНЕС

Chapitre I Pollution des nappes phréatiques

I.1 Généralité sur l'eau

La formule chimique de l'eau, H₂O, indique que cette molécule est constituée de deux atomes d'hydrogène (H) et d'un atome d'oxygène (O), unis par deux liaisons covalentes simples. Ces attributs lui confèrent une forme qui crée un angle de 104.5° dans l'espace. Les associations entre les molécules d'eau sont désignées sous le terme de liaisons hydrogène (il s'agit de liaisons physiques très faibles). À l'instar de toute molécule, celle de l'eau ne porte aucune charge électrique. La molécule d'eau possède un moment dipolaire important (1,85D), attribuable à l'électronégativité élevée de l'atome d'oxygène. Cette polarisation offre une explication pour le fait que l'eau est un bon conducteur électrique et présente d'autres caractéristiques notables (Blancher.G, 1972).

I.1.1 Les origines naturelles de l'eau

I.1.1.1 Les eaux de surface

Ces dernières années en Algérie, l'usage des eaux superficielles s'est intensifié pour répondre aux besoins de l'agriculture, de l'approvisionnement en eau potable et de l'industrie. Ces eaux de surface, cependant, sont exposées à divers polluants (naturels et industriels) et ont souvent une qualité inférieure. Par conséquent, les eaux de surface devraient être sujettes à des modifications physiques, chimiques et biologiques pour les rendre potables (Oliveira et *al*, 2019).

L'établissement du traitement nécessite une analyse pointue et spécifique pour éliminer les paramètres indésirables et toxiques qui affectent la qualité de l'eau. Cette source se distingue par des niveaux de pollutions microbiennes et chimiques au maximum. C'est pourquoi elles font l'objet d'une classification visant théoriquement à éliminer les plus polluées et à sélectionner les plus pures pour en faire des eaux destinées à la consommation. Ces eaux sont souvent exploitées dans les zones fortement industrialisées (Vierling, 2003).

Contrairement aux eaux souterraines, les eaux de surface sont celles qui se trouvent à la surface des continents. Elles proviennent soit de nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit d'eaux qui ruissellent (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Ces dernières se distinguent par une surface de contact entre l'eau et l'atmosphère constamment en mouvement et une vitesse de circulation notable. Elle ajuste sa température en fonction du climat et des saisons, et ces particules en suspension. Les variations dépendent du niveau de précipitations, des caractéristiques du sol et de la topographie environnante. La composition en minéraux varie en fonction du sol, des précipitations et des rejets. Selon Degrémont (2005), une eau de surface est

généralement abondante en oxygène et déficiente en dioxyde de carbone. Les eaux de surface englobent les eaux maritimes, fluviales, des étangs, des lacs, des barrages, des réservoirs et des glaciers. C'est une masse d'eau clairement définie, soit statique, soit en mouvement, soit sous forme solide ou liquide (Manceur et Djaballah, 2016). Cette eau polluée peut engendrer diverses maladies comme : le choléra, la typhoïde, les hépatites, la bilharziose et les intoxications chimiques.

I.1.1.2 Les eaux souterrains

Les eaux souterraines sont une ressource naturelle vitale. Si elles sont correctement protégées, elles peuvent fournir une eau de qualité pour la consommation humaine, l'agriculture et l'industrie (UNESCO, 2022). Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides, 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine. (Bosca 2002). De plus, elles sont essentielles pour la préservation des zones humides et le maintien du débit des rivières, agissant comme un réservoir pendant les périodes de sécheresse. Ces eaux souterraines nourrissent en effet plusieurs écosystèmes qui procurent une multitude de services aux communautés humaines (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Les eaux souterraines interagissent aussi avec d'autres types d'eaux, notamment les eaux douces continentales (cours d'eau, zones humides, lacs) et les eaux marines côtières (AEE, 2021). La signification de ces transferts peut fluctuer tout au long de l'année et dépendre également des conditions hydrologiques. Ces dernières garantissent fréquemment le flux fondamental des systèmes d'eaux superficielles continentales et, par conséquent, ont un impact sur leur qualité (UNESCO, 2022). Autrement dit, les impacts de l'action humaine sur la qualité de l'eau souterraine et les flux des nappes phréatiques peuvent avoir des conséquences sur la durabilité et la qualité écologique des écosystèmes aquatiques qui leur sont liés, ainsi que sur les écosystèmes terrestres qui en dépendent directement (FAO, 2011 ; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

À l'échelle mondiale, on note actuellement une montée en puissance des activités industrielles et agricoles accompagnée d'une croissance rapide de la population (UNESCO, 2022). Ces actions ont injecté dans les hydrosystèmes (nappes phréatiques, rivières, lacs, estuaires, lagunes, océans) des composés qui affectent négativement l'environnement et la santé des individus (Tchounwou et *al.*, 2012). Dans quelques écosystèmes, ces substances chimiques peuvent causer l'extinction de certaines espèces animales et/ou végétales, ce qui peut par la suite perturber la chaîne alimentaire et réduire la biodiversité (Gold, 2002 ; Reid et *al.*, 2005).

On peut mentionner les sels nutritifs, tels que l'azote et le phosphate, parmi ces éléments polluants. Ces derniers, à forte concentration, favorisent la prolifération des algues, privant ainsi

l'eau d'oxygène et occasionnant la mort des poissons et d'autres espèces marines (Smith et *al.*, 1999). Au-delà des nutriments, les polluants tels que les métaux lourds peuvent être extrêmement dangereux et parfois mortels (Tchounwou et *al.*, 2012).

Les eaux souterraines se déplacent lentement à travers le sous-sol, bien que les contaminants provenant des actions humaines puissent persister pendant de longues durées pouvant s'étendre sur plusieurs années, voire plusieurs décennies, ou même plus dans le cas de certains aquifères spécifiques (AEE, 2021 ; UNESCO, 2022). Les produits chimiques sont acheminés du continent vers le milieu marin, lieu final de leur accumulation. Avant de rejoindre l'océan, ils peuvent se déplacer ou s'accumuler dans des zones désignées comme « milieux frontaux », tels que les lagunes et les estuaires (FAO, 2011 ; Gold, 2002). L'évolution de la composition chimique des eaux souterraines dans un environnement qualifié de naturel est principalement attribuée à l'interaction entre ces eaux et la nature minérale du matériau aquifère à travers lequel elles s'écoulent. Par conséquent, ces eaux présenteront principalement une qualité satisfaisante et une concentration relativement basse en substances chimiques. Toutefois, les eaux souterraines sont perpétuellement vulnérables à des risques de contamination dont l'ampleur et la force dépendent de nombreux facteurs, qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine. (Renard 2015).

I.2 Les origines des eaux souterraines

Les ressources en eau naturelle accessibles et les réserves disponibles comprennent les eaux souterraines (nappes souterraines), les eaux terrestres (barrages, lacs, rivières), les eaux de surface ainsi que les eaux marines.

I.2.1 Eaux météoriques

La plupart des eaux souterraines ce sont « eaux météoriques » qui provenant directement de l'atmosphère telles que (la pluie, la neige, la grêle, le brouillard et la rosée). Ce sont les précipitations atmosphériques qui atteignent la surface terrestre, c'est-à-dire qu'elles sont issues de l'infiltration de ces dernières dans le sol, On les appelle aussi « eaux de recharge », car elles participent au renouvellement des réserves d'eau souterraine. Dans les grands aquifères, l'eau peut être issue de périodes climatiques distinctes et peut ainsi agir comme un indicateur de paléoclimats. (Renard 2015).

Les eaux qui ne s'évaporent pas et ne retournent pas à la mer par écoulement, pénètrent dans le sol et le sous-sol, où elles s'accumulent pour former les eaux souterraines. La pénétration et la conservation de l'eau dans le sol sont influencées par les propriétés et caractéristiques des terrains concernés, notamment leur structure qui peut favoriser la création de réservoirs d'eau appelés nappes aquifères. (Mahamat et Beskri, 2010)

I.2.2 Eaux connées

Les eaux que l'on découvre dans les profondeurs de la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) proviennent de réservoirs d'eaux météoriques ayant interagi avec les roches alentour, et il n'est pas rare qu'elles soient assez salées. Les eaux connées peuvent participer à l'hydrologie issue de formations géologiques qui ont été récemment enfouies, ou bien demeurer piégées dans des roches présentant une faible perméabilité et dont toute l'eau n'a pas encore été évacuée. Il arrive fréquemment que cette eau soit présente depuis la création de (Renard 2015).

I.2.3 Eaux juvéniles

Les eaux juvéniles, appelées aussi eaux magmatiques, sont des eaux souterraines qui ne faisaient pas auparavant partie du cycle hydrologique (elles ne proviennent ni des précipitations ni des eaux de surface). Elles proviennent des profondeurs de la Terre, Elle quitte généralement ce compartiment lors du dégazage des volcans terrestres, des processus magmatiques (la cristallisation du magma) ou volcaniques ou des éruptions des sources hydrothermales. Ces eaux « nouvelles » naissent de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans les gaz magmatiques qui s'élèvent vers la croûte terrestre. Elles sont considérées comme rares et non renouvelables, mais peuvent constituer la source de certaines eaux thermales ou minérales dans des zones géologiquement actives (Domenico, & Schwartz, 1998)

I.3 Classification des nappes

Les eaux souterraines, généralement protégées des sources de pollution, présentent une qualité physico-chimique et microbiologique supérieure à celle des eaux de surface. On distingue plusieurs types de nappes en fonction des roches-magasins et de la nature du réservoir. (Mebarki,1982). Les nappes peuvent être classées généralement en trois types, leur classification se base principalement sur le mode de confinement et la position géologique :

I.3.1 Nappes libres (ou nappes phréatiques)

C'est une nappe qui peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable (Bonnin, 1982)

Les nappes libres situées directement sous la surface du sol, Leur niveau varie en fonction des précipitations et aussi de l'évapotranspiration. (UNESCO ,2023). Les nappes phréatiques sont celles qui reposent sur la première couche imperméable proche du niveau du sol, sont toujours libres et souvent contaminées.

I.3.2 Nappes captives (ou confinées)

Est une couche perméable celles qui enfermées entre deux couches imperméables, appelée nappe captive parce que ne peut se développer vers le haut (Bonnin ,1982).

L'eau peut jaillir naturellement en surface lorsqu'on perce la couche supérieure, car elle est soumise à une pression plus élevée (FIG.1) (OMM, 2022).

I.3.3 Nappes perchées

Les nappes perchées est sensibles aux variations saisonnières est souvent temporaires, localisées au-dessus de la nappe principale sur une couche impermeable ou sur. Une lentille d'argile. (Foster et al ,2019)

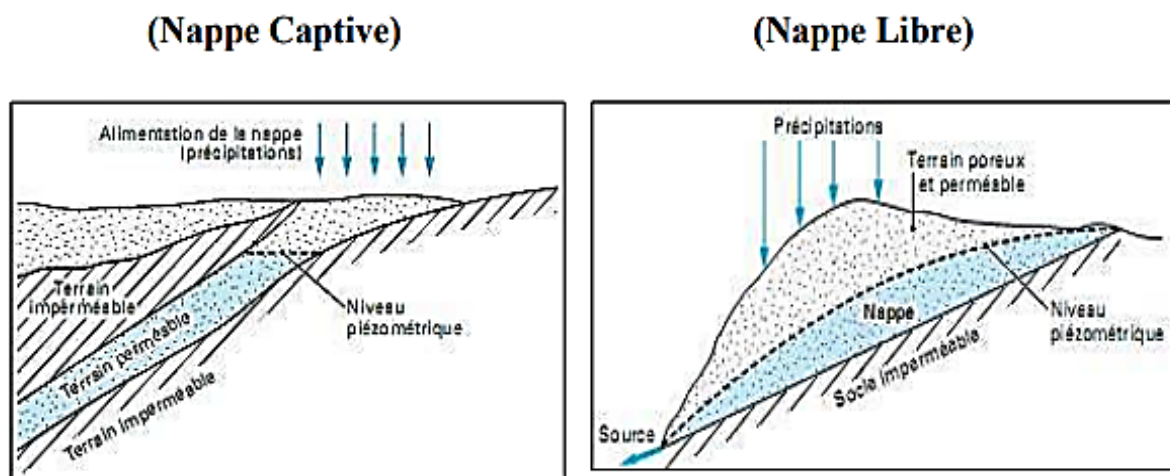


Figure 1. les différents types des nappes (Rodier, 1984)

I.4 Pollution d'eau

L'eau a toujours été associée aux activités humaines quotidiennes, car il s'agit d'un élément essentiel et indispensable. Avec l'augmentation rapide de la population, la croissance industrielle rapide, l'expansion de l'activité agricole et l'amélioration du niveau de vie, la demande mondiale en eau a augmenté, non seulement en termes de quantité, mais aussi en termes de qualité. Cependant, les ressources en eau deviennent à la fois rares et fragiles, notamment en raison des phénomènes croissants qui contribuent à la détérioration de leur qualité, entraînant la perturbation de l'ensemble de l'équilibre écologique. Parmi les défis environnementaux les plus importants dans ce contexte figure le phénomène de la pollution de l'eau, qui se classe parmi les problèmes environnementaux contemporains les plus graves, car l'eau est un milieu directement affecté par l'air et le sol, et est donc vulnérable à la dégradation par les polluants transportés par ces deux

milieux (Bouziani, 2000). Il y a pollution de l'eau lorsque l'équilibre naturel de l'eau est modifié de façon permanente par l'introduction de grandes quantités de substances toxiques ou indésirables, qu'elles soient d'origine naturelle ou qu'elles résultent d'activités humaines (Rodier et *al.*, 2005).

La pollution de l'eau peut provenir de diverses sources, notamment l'infiltration d'eaux usées dans les aquifères (comme les fosses d'aspiration ou les toilettes traditionnelles), les eaux de surface contaminées comme les rivières et les canyons, et même les réseaux de distribution d'eau vieillissants (Bouziani, 2000). D'autres activités humaines jouent également un rôle important dans cette pollution, qu'il s'agisse de la mauvaise gestion des déchets industriels et agricoles, de catastrophes naturelles telles que les incendies de forêt et les inondations, ou d'incidents accidentels tels que les déversements d'hydrocarbures par les navires ou le mauvais fonctionnement des fosses septiques.

I.4.1 Causes de la contamination de l'eau

La contamination permanente de l'eau est associée aux déversements industriels, aux eaux résiduaires urbaines, et à l'utilisation de pesticides et d'engrais dans le domaine agricole. D'après W. Wesley Eckenfelder, (1982), il existe quatre origines majeures de la pollution de l'eau :

- * Les eaux résiduaires domestiques
- * Les eaux résiduaires industrielles.
- * L'écoulement dans les régions agricoles.
- * Les eaux pluviales et de ruissellement en milieu urbain

I.4.2 Pollution des nappes phréatiques :

L'évolution de la composition chimique des eaux souterraines dans un environnement qualifié de naturel est principalement attribuée à l'interaction entre ces eaux et la nature minérale du matériau aquifère à travers lequel elles s'écoulent. Par conséquent, ces eaux présenteront principalement une qualité satisfaisante et une concentration relativement basse en substances chimiques. Toutefois, les eaux souterraines sont perpétuellement vulnérables à des risques de contamination dont l'ampleur et la force dépendent de nombreux facteurs, qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine (Bellaredj, 2013).

La pollution de l'eau peut provenir de diverses sources, notamment l'infiltration d'eaux usées dans les aquifères ou bien les nappes phréatiques (comme les fosses d'aspiration ou les toilettes traditionnelles), les eaux de surface contaminées comme les rivières et les canyons, et même les réseaux de distribution d'eau vieillissants (Bouziani, 2000). Les activités humaines telles que

l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation peuvent contaminer les eaux souterraines en y introduisant des substances comme les nitrates, les pesticides, les hydrocarbures ou les métaux lourds dans les nappes phréatiques, D'autres activités humaines jouent également un rôle important dans cette pollution, qu'il s'agisse de la mauvaise gestion des déchets industriels et agricoles, de catastrophes naturelles telles que les incendies de forêt et les inondations, ou d'incidents accidentels tels que les déversements d'hydrocarbures par les navires ou le mauvais fonctionnement des fosses septiques. (BRGM, 2021).

Les activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation peuvent contaminer les eaux souterraines en y introduisant des substances comme les nitrates, les pesticides, les hydrocarbures ou les métaux lourds dans les nappes phréatiques. (BRGM, 2021). La contamination des eaux souterraines fait référence à l'existence d'éléments chimiques, biologiques ou physiques dans les aquifères, à des niveaux qui mettent en péril leur qualité pour un usage humain ou environnemental. (OMS, 2022). La contamination des nappes phréatiques par des composés indésirables modifie la composition chimique des eaux souterraines, rendant leur utilisation dangereuse pour la consommation, l'irrigation ou les écosystèmes. (Rouaul, 2018)

Selon l'Union Européenne, une eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des polluants anthropiques dépassant les normes de qualité environnementale fixées par la directive cadre sur l'eau ; Les activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation peuvent contaminer les eaux souterraines en y introduisant des substances comme les nitrates, les pesticides, les hydrocarbures ou les métaux lourds dans les nappes phréatiques. (BRGM, 2021). La contamination des eaux souterraines fait référence à l'existence d'éléments chimiques, biologiques ou physiques dans les aquifères, à des niveaux qui mettent en péril leur qualité pour un usage humain ou environnemental. (OMS, 2022).

Les activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation peuvent contaminer les eaux souterraines en y introduisant des substances comme les nitrates, les pesticides, les hydrocarbures ou les métaux lourds dans les nappes phréatiques. (BRGM, 2021). La contamination des eaux souterraines fait référence à l'existence d'éléments chimiques, biologiques ou physiques dans les aquifères, à des niveaux qui mettent en péril leur qualité pour un usage humain ou environnemental. (OMS, 2022).

I.4.2.1 Les mécanismes de transport des polluants dans les eaux souterraines

Les mécanismes de transport des polluants dans les eaux souterraines comprennent :

A /Advection : Ce procédé est discuté dans l'étude de Kontos (Konikow et Patten ,1985) où le logiciel Modflow est employé pour simuler le champ d'écoulement et le transport advectif-dispersion des polluants. Cela démontre la migration des contaminants par le mouvement de l'eau.

B /Dispersion : Abordée dans la même recherche ainsi que dans celle d'Ibn Salam et al, où les valeurs de dispersivité longitudinale et transversale sont calculées grâce à la simulation du transport des polluants avec le modèle MT3DMS (Modèle de Transport Multiespèces Modulaire en Trois Dimensions.). Cela représente la diffusion au sein de l'aquifère (Canter et *al* ,1988).

C /Adsorption : Bien qu'elle ne soit pas spécifiquement mentionnée dans le document, l'adsorption est implicitement considérée dans les modèles de simulation concernant le destin et le déplacement des polluants (Talabi et Kayode, 2019).

I.4.3 Impacts/effets de la pollution

Les impacts/effets de la pollution sur la Terre comprennent la détérioration de l'environnement, l'impact sur la santé des organismes vivants, le réchauffement de la planète, l'épuisement des ressources naturelles., l'appauvrissement de la couche d'ozone et la réduction de l'efficacité ou la stérilité des terres agricoles et des champs de culture.

(Talabi et Kayode, 2019).

I.4.3.1 Risque pour la santé :

Les effets de la pollution des eaux souterraines sur la santé humaine peuvent être dévastateurs. Elle peut provoquer des maladies graves pouvant entraîner la mort dans certains cas. Ces maladies Nausées, vomissements, diarrhées, maux de tête, maladies respiratoires, irritation des yeux et l'irritation du nez. (Boulding, 1995). Les maladies chroniques pouvant être causées par la pollution des eaux souterraines comprennent le cancer, les lésions hépatiques, les lésions rénales, l'anémie, du système circulatoire, des maladies osseuses, de la chute des cheveux. En moyenne, 7 millions de personnes ont été malades aux Etats-Unis pour avoir bu de l'eau polluée (Boulding, 1995).

Le terme « MTH » désigne toute maladie dont la transmission est associée à l'eau, comme le choléra, la dysenterie, l'hépatite A et la typhoïde, susceptibles d'entraîner des décès. Les Maladies à Transmission Hydrique (MTH) représentent une menace significative pour la Santé Publique, avec une tendance à se répandre pendant les vagues de chaleur. Cela incite plusieurs ministères, collectivités locales et autres intervenants de la société civile à unir leurs forces pour protéger la santé du public. Les MTH engendrent des coûts financiers significatifs, étant donné que la prise en charge d'une personne touchée par la maladie revient à 180 000 Dinars par jour. (MTH, 2022)

« On peut dénombrer plusieurs facteurs générateurs de MTH, tels que :

- Les rejets des eaux usées et les rejets des eaux industrielles, déversés directement dans les sources d'eau (Barrages, Oueds, nappes, ...).
- L'infiltration des eaux usées dans le réseau AEP.
- Les branchements et piquages illicites.
- Etat de salubrité des baches à eau et citernes des particuliers...
- La vétusté des réseaux d'AEP et d'assainissement. » (MTH, 2022)

I.4.3.2 Perturbation ou déséquilibre de l'écosystème

La nature a conçu l'écosystème de manière à ce qu'il soit équilibré, un groupe d'organismes dépendant d'un autre. Dépendons-les uns des autres, tandis que la surpopulation d'un groupe est contrôlée par ses Prédateurs. Toute réduction ou augmentation de la population d'un groupe peut entraîner un déséquilibre dans l'écosystème. Peut avoir un effet d'entraînement sur l'ensemble de l'écosystème. Par exemple, les crocodiles se nourrissent de poissons. Si tous les poissons d'un environnement marin meurent à cause de la pollution, cela affectera les crocodiles, qui risquent d'être privés de nourriture. Ce qui peut les conduire à mourir de faim ou à migrer (Talabi et Kayode, 2019).

I.4.3.3 La pénurie

La pollution des eaux souterraines peut entraîner une pénurie d'eau. Un très grand pourcentage de la population mondiale dépend des eaux souterraines pour son usage quotidien. Lorsque la pollution se produit à grande échelle, l'ensemble des consommateurs d'une communauté sont contraints d'abandonner la consommation de l'eau affectée. Sont contraints d'abandonner la consommation de l'eau affectée. Il faut alors chercher d'autres sources d'approvisionnement en eau. C'est toujours un problème car il n'est généralement pas facile de trouver un D'approvisionnement en eau pour une population importante (Talabi et Kayode, 2019).

I.4.3.4 Principaux types des pollutions

a) Pollution ponctuelle et pollution persistante : L'émission inhabituelle de substances polluantes en raison d'un événement (erreur de manipulation en usine, accident routier...) peut conduire à une contamination de la nappe phréatique dont la durée est déterminée par sa capacité d'auto-épuration et sa vitesse de percolation. Les pollutions de longue durée sont plus sournoises et préjudiciables, elles peuvent être invisibles (pollution agricole due aux nitrates ; contamination par les hydrocarbures provenant des sols pollués).

b) Pollution localisée et pollution diffuse : Le contaminant libéré sur une petite surface n'aura un impact que sur une zone restreinte de la nappe, qui pourra se propager par diffusion. Seules les prises d'eau proches de la zone contaminée et en aval seront touchées. En fonction de la densité et de la solubilité du contaminant, la zone affectée pourrait être délimitée ou diffuse, soit à la surface, soit à l'intérieur de la nappe phréatique. Par contre, la dispersion de substances polluantes sur une vaste zone a un impact sur toute la nappe phréatique, ce qui est généralement chronique et entraîne une diminution totale du niveau des eaux souterraines indispensables à la production d'eau potable, sauf si des traitements appropriés sont mis en place (par exemple, dans le cas de pollutions agricoles dues aux pesticides). (FIG.2) (Margat & Vander, 2013)

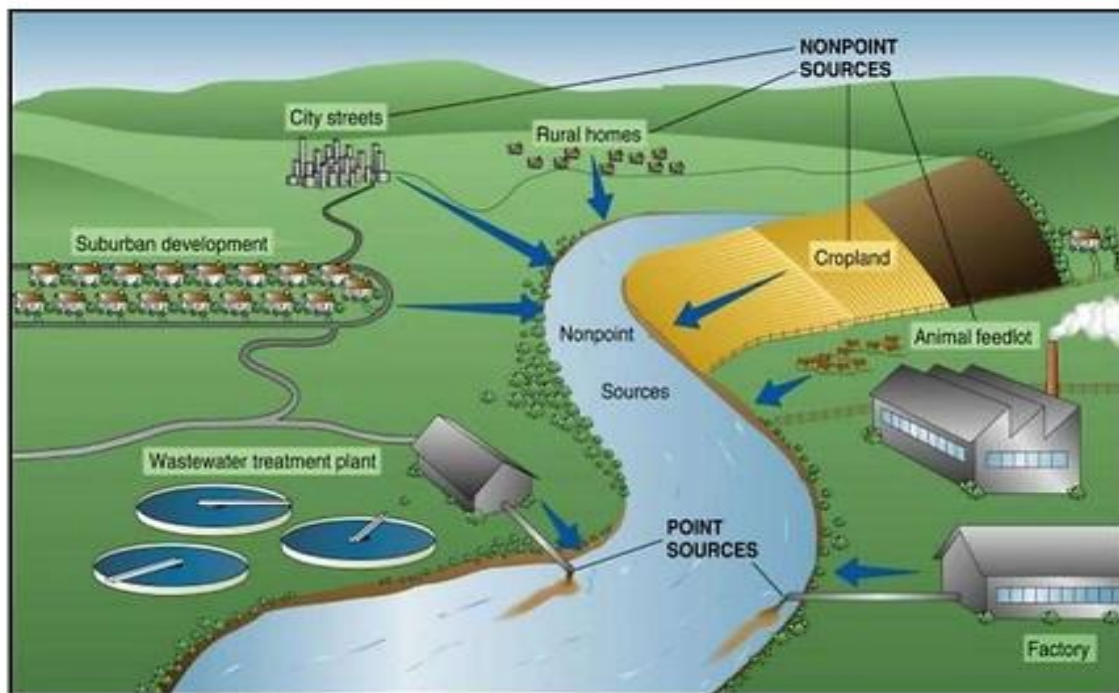


Figure 2. Pollution ponctuelle (point) et diffuse (non point). (REZEG R. 2020)

c) Pollution linéaire: Elle suit le parcours des routes, autoroutes, canaux, cours d'eau et voies ferrées. (Foster & Chilton., 2003).

d) Pollutions historiques: De nombreuses zones polluées l'ont été à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou sommaires: pollution par les terrils de mines, les décharges non contrôlées. (Foster & Chilton., 2003).

I.5 Sources et types de pollution des nappes phréatiques:

Les systèmes d'eaux souterraines sont extrêmement dynamiques, L'eau n'est pas figée dans les aquifères, elle se déplace. Une goutte peut parcourir une même distance en quelques jours dans les milieux les plus perméables (les aquifères karstiques), ou en plusieurs centaines d'années dans

les milieux les moins perméables (certains aquifères poreux, comme la craie). La partie de l'aquifère qui abrite la nappe est qualifiée de zone saturée, parce que tous les pores des roches sont remplis d'eau : c'est dans cet espace qu'intervient l'écoulement de la nappe. Le reste de l'aquifère est qualifié de zone non saturée : il reste des espaces vides dans la roche et l'eau n'est présente que sous forme d'humidité. (Mourey, & Vernoux, 2000).

I.5.1 Pollution urbaine (domestique et routière):

Elle est transportée du domicile vers la station de traitement des eaux usées via le réseau d'assainissement. Les eaux usées domestiques sont une combinaison d'eaux qui renferment des excréments humains. Ces dernières renferment des substances organiques biodégradables et des substances minérales, qu'elles soient en forme dissoute ou en suspension (Bengouga, 2010). On distingue les eaux usées domestiques en :

a) Eaux domestiques : il s'agit des eaux utilisées pour la cuisine, le lavage et les eaux provenant des toilettes. Elles sont chargées en matières grasses.

B) Eaux usées : il s'agit des eaux issues des installations sanitaires (toilettes). Elles contiennent des matières riches en azote et des germes fécaux (Bengouga, 2010)

Les dangers de contamination se manifestent également lors de la construction des voies routières et de leur utilisation (épandage de sel en hiver, hydrocarbures, métaux lourds relâchés par les automobiles, substances nocives libérées accidentellement...) Dans les zones urbaines, on peut observer, outre les polluants provenant des routes, L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) génère une importante quantité d'eau de ruissellement contenant divers polluants (hydrocarbures, excréments d'animaux...). Il est impératif que ces eaux de pluie contaminées ne soient en aucun cas déversées dans la nappe phréatique.

I.5.2 Pollution industrielle:

La diversité des polluants industriels est liée à la nature de l'activité : composés organiques courants, produits organiques artificiels, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...Les pollutions sont inhabituelles (événement dans un processus) mais demeurent trop fréquemment récurrentes (fuite de réservoirs, de conduites...). Les exploitations minières constituent un cas spécifique. L'extraction de granulats dans les plaines alluviales expose l'eau de la nappe à d'éventuels polluants. (Beauchamp, & Verne, 2006).

La pollution industrielle peut prendre plusieurs formes. Plusieurs règlements fédéraux existent par rapport aux quantités de polluants qui peuvent être émis par les industries. La pollution thermique est généralement causée par les industries, mais beaucoup de régions ont

imposées une législation concernant les centrales électriques et leur système de refroidissement de l'eau.

Provenant des industries, elle présente une diversité en fonction de l'usage de l'eau. Les eaux usées industrielles diffèrent d'une industrie à l'autre. Elles peuvent renfermer des :

- Substances organiques
- Substances azotées
- Substances phosphorées
- solvants
- métaux lourds
- hydrocarbures, ... (Gherara, 2019)

I.5.3 Pollution d'origine agricole (engrais, pesticides):

La pollution se propage sur de vastes zones et s'étend sur une longue période ; elle est chronique et affecte de larges étendues. Effectivement, les méthodes contemporaines de culture et d'élevage ont un impact significatif sur la composition et la qualité des eaux. L'emploi intensif d'engrais et de produits chimiques pour le traitement des végétaux ruine la vie aquatique et rend les eaux de surface et souterraines non consommables, tant pour les humains que pour les animaux. (Lettre d'eau, 1998). Elle est issue de l'agriculture et de l'élevage sur ces terres. Les eaux résiduaires issues de l'agriculture peuvent potentiellement causer une pollution diffuse. (Gherara, 2019)

Cette contamination se distingue par :

- L'utilisation de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...)
- Les eaux de lavage des contenants et équipements d'épandage
- L'usage de l'irrigation facilite le transfert.
- Des concentrations élevées en minéraux (azote, phosphore...) issus d'engrais et de déjections animales (élevage) (Metahri, 2012).

Pollution pluviale :

La pollution résulte du ruissellement des eaux de pluviales, particulièrement lors d'orages. Les eaux pluviales contribuent de manière significative à la pollution des rivières et même des eaux souterraines, car elles sont directement exposées à l'air et au sol contaminés, ce qui entraîne l'accumulation d'impuretés et d'éléments dissous qui sont emportés par l'eau et provoquent sa contamination. (Dehbi, 2015)

I.6 Paramètres de qualité des eaux souterraines

Cette section traite de diverses informations relatives à la définition et à l'exposition générale, parfois en détail, des attributs et de certaines propriétés physico-chimiques des eaux souterraines,

y compris les normes, l'origine des eaux et leur qualité. Ceci est un passage crucial pour la caractérisation des eaux souterraines dans notre région d'étude.

Les qualités physico-chimiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs, Parmi ces paramètres on distingue les suivants :

I.6.1 Paramètres physiques

La température, la couleur, la turbidité, l'odeur et le goût, aussi Conductivité électrique sont les propriétés physiques les plus importantes des eaux souterraines. (Collins, 1925)

I.6.1.1 Température

Il est essentiel de connaître la température de l'eau avec une grande exactitude. Effectivement, elle est cruciale pour la solubilité des gaz, la dissociation des sels et le calcul du pH, ce qui permet de comprendre l'origine de l'eau et ses possibles mélanges. De plus, cette action s'avère très bénéfique pour les études limnologiques. (Rodier, 2005). Une température plus haute favorise la prolifération et la croissance des micro-organismes, et peut intensifier le goût, l'odeur et la couleur. Par contre, une température en dessous de 10°C ralentit les réactions chimiques dans les divers procédés de traitement des eaux. (OMS, 2004).

Les eaux souterraines ne subissent des fluctuations appréciables de température qu'à faible profondeur, en dessous desquelles les températures restent relativement constantes, bien que le type de roche, l'altitude, les précipitations et le vent puissent produire des écarts locaux importants. (Collins, 1925)

I.6.1.2 Turbidité

L'apparition de particules d'argile et de limon provenant de l'aquifère est la cause principale de la turbidité des eaux souterraines. Pour le dire autrement, la turbidité quantifie la quantité de substances en suspension et colloïdale présentes dans les eaux souterraines. Il se peut que ce la soit attribué à un développement insuffisant du puits concerné ou à des ouvertures de tamis trop larges. La turbidité est aussi influencée par l'oxydation du fer ferreux dissous qui se transforme en hydroxydes ferriques insolubles. Le processus naturel de filtration qui se produit lorsque les eaux souterraines traversent des dépôts non consolidés élimine en grande mesure ces substances des eaux souterraines. (Hem, 1970)

I.6.1.3 . Couleur

La teinte des eaux souterraines peut être due à des substances organiques ou minérales transportées en dissolution. Par exemple, on peut observer des décolorations allant du brun clair au brun foncé dans les eaux souterraines qui ont été en contact avec de la tourbe ou d'autres sédiments organiques. Une décoloration brunâtre peut aussi se produire suite à l'exposition à l'air des eaux souterraines qui contiennent du fer ferreux dissous. Ceci entraîne la formation d'hydroxydes ferriques qui ne sont pas solubles. L'identification de la couleur des eaux souterraines se réalise en mettant en parallèle un échantillon d'eau d'un certain volume avec un autre, de volume identique, ayant un indice de couleur standard de 500 (Hem, 1970). L'eau est colorée en unités variant de 0 à 500.

I.6.1.4 . Goûts et Odeurs

Les saveurs et les arômes peuvent résulter de la présence de substances minérales, de composés organiques, de bactéries ou de gaz en solution. Parmi les bactéries qui peuvent engendrer des soucis de goût et d'odeur, on retrouve notamment *Crenothrix*, *Leptothrix* et *Gallionella* (bactéries ferreuses), ainsi que les bactéries réduisant le sulfate. (Walker, 1978). Ces problèmes sont surmontés en utilisant un désinfectant.

I.6.1.5 Conductivité électrique

La conductivité électrique est un indicateur qui reflète la concentration de sels présents dans l'eau. Elle repose sur la concentration totale et le type d'ions présents dans l'eau, fournissant une estimation approximative de la minéralisation des eaux. (Zidouni, 2020). La capacité d'une eau à conduire l'électricité, appelée conductivité électrique, est amplifiée par la concentration d'ions en solution et la température. Cela fait référence à la conductance d'une colonne d'eau située entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparées par un écartement d'un centimètre, exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Habituellement, on ramène les valeurs à 25° C. Une conductivité importante pourrait indiquer une contamination par le sel ou l'industrie. (Rodier, 2009).

I.6.2 Parameters chimiques

Les éléments chimiques présents dans les eaux souterraines proviennent des précipitations, des processus organiques qui se produisent dans le sol et de la dégradation des minéraux dans la roche à travers laquelle les eaux souterraines s'écoulent. Certains de ces constituants sont présents en quantités significatives, (Davis & DeWiest, 1966) tandis que d'autres sont d'une importance mineure ou sont présents sous forme de traces (Tableau 1).

Tableau 1 Abondance relative des solides dissous dans l'eau potable

(Davis & DeWiest, 1966)

Les éléments major (1.0 to 1000 mg/l)	Les éléments secondaires (0.01 to 10.0 mg/l)	Les éléments minors (0.0001 to 0.1 mg/l)	Les éléments trace (< 0.001 mg/l)
Sodium	Fer	Antimoine*	Béryllium
Calcium	Strontium	Aluminium	Bismuth
Magnesium	Potassium	Arsenic	Cérium*
Bicarbonates	Carbonate	Baryum	Césium
Sulfates	Nitrate	Bromure	Gallium
Chlorure	Fluorure	Cadmium*	Or
Silice	Bore	Chrome*	Indium
		Cobalt	Lanthane
		Cuivre	Niobium*
		Germanium*	Platinum
		Lodide	Radium
		Plomb	Ruthénium*
		Lithium	Scandium*
		Manganèse	Argent
		Molybdenum	Thallium*
		Nickel	Thorium*
		Phosphate	Étain
		Rubidium*	Tungstène*
		Sélénium	Ytterbium
		Titanium*	Yttrium*
		Uranium	Zirconium*

* Ces éléments occupent une position incertaine dans la list

I.6.2.1 . Cations majeurs

I.6.2.1.1 Sodium Na⁺

C'est l'un des éléments les plus abondants dans la nature, et il est constamment présent dans l'eau en proportions qui peuvent varier considérablement. En agriculture, le sodium a une grande importance en matière d'irrigation du fait de son influence sur la perméabilité des sols. (Belkhiri, 2011). De plus, le sodium peut avoir diverses sources : la décomposition de sels minéraux tels que les silicates de sodium et d'aluminium, l'intrusion d'eaux salées marines dans les nappes phréatiques, ou encore des origines industrielles... etc. (Belghiti et *al.*, 2013)

I.6.2.1.2 Magnésium Mg²⁺

C'est l'un des composants les plus courants dans le monde naturel. Le calcium est souvent associé à cela. Le contenu en magnésium des eaux souterraines varie sous l'influence des formations carbonatées, telles que les calcaires, d'un côté, et des formations salifères de l'autre, comme les argiles et marnes qui sont riches en Mg⁺⁺. (Dib, 2009, Amroune, 2008).

I.6.2.1.3 Calcium Ca²⁺

Le calcium, un métal alcalino-terreux très courant dans la nature, se trouve principalement sous forme de carbonates dans les roches calcaires. Il représente un élément clé de la dureté globale de l'eau, se manifestant principalement sous forme d'hydrogénocarbonates et, dans une moindre mesure, sous forme de sulfates, chlorure, etc. (Rodier, 2005). Le calcium est également couramment présent dans les roches sédimentaires, il provient principalement de la décomposition des roches carbonatées suite à l'exposition au dioxyde de carbone. Il est également possible d'obtenir du calcium à partir de formations gypsifères (CaSO₄·2H₂O), qui ont une solubilité élevée, Les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières. (Amroune, 2008).

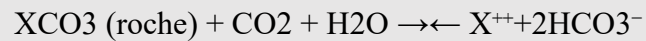
I.6.2.1.4 Potassium K⁺

Généralement, le potassium est l'élément présent en plus faible quantité dans les eaux, après le sodium, le calcium et le magnésium. On trouve rarement du sodium dans l'eau à des concentrations dépassant 20 mg/l, et il n'y a aucun inconvénient particulier à sa présence. (Amroune, 2008). On trouve sa présence de manière très courante dans la nature sous forme de sels. Il a un rôle crucial dans l'équilibre des électrolytes du corps et régule la quantité d'eau à l'intérieur des cellules. (Mercier,2000)

I.6.2.2 Anions majeurs :

I.6.2.2.1 Bicarbonates HCO₃⁻ –

L'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique donne lieu à la formation des bicarbonates, conformément à l'équation générale ci-dessous :



L'élément (X) peut être le (Mg⁺⁺), ou le (Ca⁺⁺)

L'origine de celles-ci est essentiellement attribuée à la dissolution des roches carbonatées, et la concentration en roches carbonatées ainsi qu'en bicarbonates dans l'eau dépend de plusieurs paramètres suivants. : (La température de l'eau, Le pH de l'eau, La tension de CO₂ dissout, La concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés) (Amroune et al, 2000).

I.6.2.2.2 Chlorures Cl⁻ -

Généralement les chlorures sont très répandus dans la nature sous forme :

- Sels du sodium (Na Cl)
- Sels de potassium (KCl)
- Sels de calcium (CaCl₂) (SEVESC ,2013)

L'ion chlorure n'est pas retenu par les structures géologiques, conserve une grande mobilité et ne s'associe pas aisément aux éléments chimiques. C'est un bon baromètre de la pollution. La variation des concentrations en chlorures dans les eaux est principalement associée aux caractéristiques des sols et roches parcourus. L'inconvénient majeur des chlorures est le goût déplaisant qu'ils impartissent à l'eau dès 250 mg/l, en particulier dans le cas du chlorure de sodium. (Rodier et al., 2005).

I.6.2.2.3 Sulfates SO₄²⁻-

Les sulfates proviennent essentiellement de l'eau de pluie et de la dissolution de roches sédimentaires évaporitiques, comme le gypse (CaSO₄, 2H₂O). Ils peuvent également être issus de la pyrite (FeS₂) ou plus exceptionnellement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite), ainsi que de l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre libérés dans l'atmosphère. (Ghazali et Zaid, 2013)

I.6.2.3 nitrates:

L'azote (N) est un nutriment crucial pour le développement des plantes. Élément majeur des protéines et de la chlorophylle, on l'incorpore dans les cultures sous la forme d'engrais minéraux synthétiques ou organiques (déjections animales, boues de traitement des eaux usées, etc.). Le

nitrate (NO_3) se forme de manière naturelle par l'association de l'azote (N) et de l'oxygène (O) présents dans le sol. Les plantes trouvent cette forme d'azote la plus accessible. (Mandard, 2023).

Les nitrates, qui proviennent surtout des fertilisants agricoles et des déchets ménagers, ont la potentialité de polluer les eaux souterraines et d'impacter la santé humaine, en particulier celle des nourrissons. La concentration maximale de nitrates autorisée dans l'eau est établie à 50 mg/l. (OMS, 2022), D'autre part, le nitrate se dissout particulièrement bien et est donc facilement transporté par l'eau. Formé grâce à une formation approfondie sur les phénomènes liés à la pluie dans les sols et au-delà (ce qui correspond à l'ensemble constitué par « la zone non saturée », qui comprend aussi bien les sols que les roches sous-jacentes), le nitrate peut atteindre jusqu'aux eaux souterraines, également appelées nappes. Les nitrates, issus de l'association de l'azote et de l'oxygène présents dans le sol, peuvent être naturellement présents dans les eaux souterraines. Toutefois, les niveaux attendus sont alors très bas. (Mandard, 2023).

La circulation de l'eau dans la roche dépend de la présence d'espaces vides, appelés pores (porosité) et de sa capacité à laisser circuler l'eau (perméabilité), le nitrate peut donc régulièrement réclamer une décennie pour atteindre la nappe, En plus du temps nécessaire pour rejoindre descendre la nappe (déplacement vertical), il faut également tenir compte du temps nécessaire à l'eau et au nitrate pour traverser la nappe jusqu'au captage ou la source qui sont utilisés pour produire de l'eau potable (déplacement horizontal). (Fig. 3) Cette durée est dictée par la distance à parcourir et les propriétés de la roche. (Mandard, 2023).

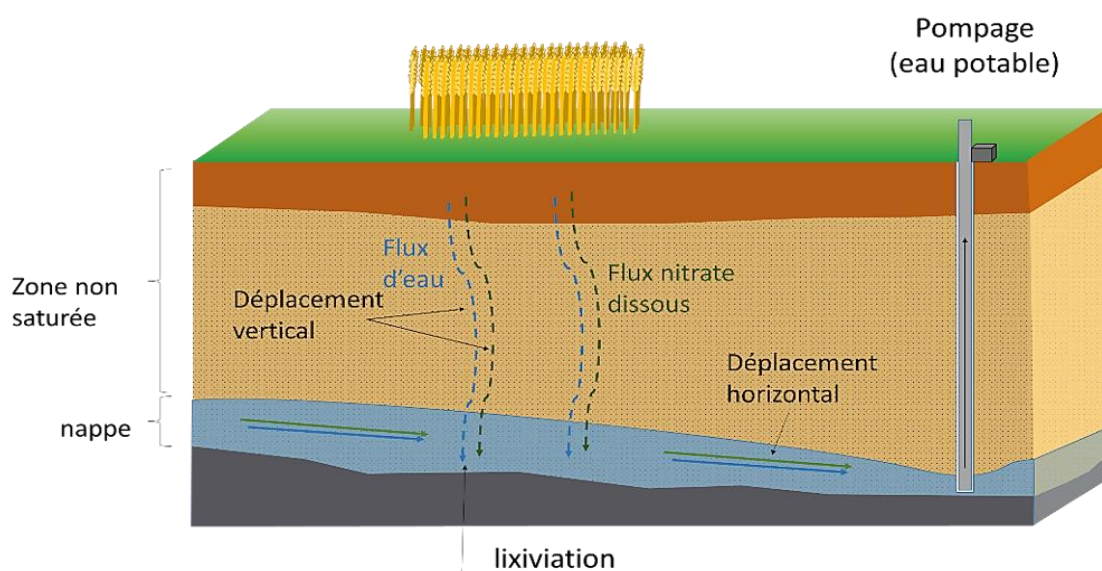


Figure 3. Coupe schématique du sous-sol situant les transferts horizontaux dans la nappe et verticaux en zone non saturée. (Mandard, 2023)

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites) peuvent potentiellement conduire à la formation de nitrites via un mécanisme d'oxydation biologique des nitrates. Cela peut se produire soit par une oxydation partielle de l'ammoniacque (NH_4^+), soit à travers la réduction des nitrates sous l'effet d'une activité bactérienne (processus de dénitrification). Il est également possible que ces formations azotées proviennent du secteur agricole. (Beaudry et Henry, 1984).

L'activité humaine (agriculture, industrie, effluents domestiques, etc.) constitue une pression importante en azote qui peut conduire à une augmentation de leur concentration dans les eaux souterraines. D'autre part, le nitrate est particulièrement soluble et donc facilement véhiculé par l'eau. Entraîné en profondeur par la pluie dans les sols et au-delà, le nitrate va jusqu'à atteindre les eaux souterraines. (Mandard, 2023)

I.6.2.4 métaux lourds

Les éléments ayant une densité égale ou supérieure à 5 g.cm^{-3} . Les polluants que sont les métaux lourds ne se décomposent pas dans l'environnement. Ils s'amassent au sein des êtres vivants et ont le potentiel de polluer toute une chaîne alimentaire. Des métaux lourds tels que le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le chrome (Cr) sont particulièrement nocifs, tandis que le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) sont un peu moins toxiques. L'aluminium (Al) et le fer (Fe) sont moins concernés (Hmidi et Hamza, 2017). Les métaux lourds proviennent des activités industrielles et minières. Ils s'accumulent dans l'organisme et sont dangereux pour la santé humaine. (OMS, 2022)

I.6.2.5 Potentiel hydrogène (pH.)

La définition du pH de l'eau repose sur sa concentration en ions H^+ présents dans la solution. Il dénote l'alcalinité ou l'acidité de l'environnement ; c'est aussi un facteur crucial pour déterminer si l'eau est corrosive ou encrassante. Le pH des eaux naturelles présente généralement une variation de 7,2 à 7,6. (Rodier, 2009). La cause naturelle des fluctuations significatives du pH est liée à la composition des sols que les eaux traversent. (Nouayti, 2015).

Le pH de l'eau souterraine se situe entre 7,01 et 8,23, avec une moyenne de $7,5 \pm 0,3$. Ces chiffres sont typiques d'un aquifère de faible profondeur dans les régions sèches. (Benabderrahmane, 1988). En général, l'eau souterraine présente un caractère légèrement alcalin, néanmoins, sa qualité est conforme à la norme algérienne relative à l'eau potable. (Amroune., 2008).

I.6.3 Paramètres biologiques:

L'eau peut abriter des micro-organismes nuisibles tels que les virus, les bactéries et les parasites. Ils sont nuisibles à la santé humaine, ce qui restreint les activités possibles avec l'eau (natation, culture de coquillages). Les conditions généralement anaérobies et la rareté des nutriments disponibles expliquent la faible présence de micro-organismes dans les eaux souterraines. La prolifération de ces organismes est favorisée par le transfert de matière organique dans la nappe. Les milieux fissurés offrent des conditions propices à la conservation et à la prolifération des germes: infiltration aisée de matière organique, conditions aérobies et absence de filtration (Lakhdari, 2008).

Les coliformes et streptocoques fécaux sont souvent liés à la présence de germes pathogènes: leur détection signale une contamination par les eaux usées, les effluents d'installations de traitement, ou les rejets provenant d'élevages industriels... et indique un risque potentiel de présence de germes pathogènes. Il s'agit des indicateurs de contamination fécale (coliformes, streptocoques), de certains agents pathogènes (salmonelles, staphylocoques, bactériophages fécaux, entérovirus) et de bactéries sulfite-réductrices dont la présence révèle une filtration défectueuse.

I.7 Constituants des eaux souterraines

Les eaux souterraines renferment des molécules d'eau entourées d'ions (majeurs, mineurs et traces), de gaz dissous (oxygène, dioxyde de carbone) et parfois de matière organique dissolue. (Renard 2015).

I.7.1 Ions majeurs

A/ Cation majeurs : calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+)

B/ Anion majeurs : chlorures (Cl^-), bicarbonates (HCO_3^-), sulfates (SO_4^{2-}).

Dans les eaux naturelles on trouve aussi de la silice (SiO_2), du fer (Fe^{2+}), éventuellement des nitrates (NO_3^-). On utilise les concentrations de ces ions dominants pour identifier la nature de l'eau, par exemple, une eau de type (Na- HCO_3) ou (Na-Cl). Ces types d'eaux ne sont pas définis de manière stricte, mais on s'en sert pour distinguer les eaux issues de différentes sources comme les aquifères, les précipitations ou l'eau océanique. (Renard, 2015).

Le lien entre la dureté de l'eau, sa réaction avec le savon, ainsi que la formation de tartre et d'accumulations dans les chaudières et les conduites d'eau chauffée et transportée est bien établi. Elle est due à la présence d'ions métalliques à deux charges, le calcium et le magnésium étant les

plus répandus dans les nappes phréatiques. Les eaux issues de nappes phréatiques de calcaire ou de dolomie qui renferment du gypse ou de l'anhydrite peuvent présenter une dureté allant de 200 à 300 mg/l, voire plus. La dureté totale de l'eau destinée à un usage domestique ne doit pas dépasser 80 mg/L.

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue :

- ❖ Une dureté carbonatée. Qui correspond à la teneur en carbonates de Ca et Mg.
- ❖ Une dureté non carbonatée. Produite par les autres sels. (Renard, 2015).

I.7.2 Ions mineurs

Bien que les ions majeurs soient courants dans la majorité des eaux souterraines, la concentration en ions mineurs peut varier dans les eaux d'aquifères. On observe les ions suivantes;

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - Nitrate (NO_3^-) | - Aluminium (Al^{3+}) |
| - Ammonium (NH_4^+) | - Bore (Bo_4^{3-}) |
| - Silice (SiO_2) | - Strontium (Sr^{2+}) |
| - Manganèse (Mn^{2+}) | - Bromure (Br^-) |
| - Bromure (Br^-) | - Fer (Fe^{2+}) |

Le fer se retrouve en quantité assez importante dans les roches, sous diverses formes telles que les silicates, les oxydes et hydroxydes, les carbonates et les sulfures. Le fer se dissout sous forme d'ions Fe^{2+} (ferreux), mais est insoluble sous la forme d'ions Fe^{3+} (ferrique). (Renard 2015).

I.8 Les normes Physico-chimiques des eaux souterraines

Poussées par leur pureté bactériologique, les eaux souterraines se présentent comme une solution supérieure aux eaux de surface en matière d'ingénierie sanitaire. (UNICEF, 1999) En vérité, la qualité inhérente de l'eau souterraine ne se limite pas aux considérations sanitaires et techniques relatives à l'eau potable. Il est essentiel de rappeler que l'eau des nappes phréatiques nourrit les rivières et que, par conséquent, certaines caractéristiques chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent influencer la faune aquatique. Par conséquent, les critères d'évaluation portent sur les aspects bactériologiques et physico-chimiques. (Collin, 2004).

Pour établir périodiquement des normes, des limites maximales à ne pas excéder pour diverses substances nuisibles et potentiellement présentes dans l'eau ont été définies. Le respect des normes de potabilité de l'eau ne signifie pas nécessairement qu'elle est totalement dépourvue de polluants, mais plutôt que leur concentration a été évaluée comme étant suffisamment faible pour ne pas

compromettre la santé du consommateur. (Alouane., 2012). En Algérie, des standards locaux sont définis pour la qualité de l'eau destinée à la consommation, en se basant sur le Journal Officiel de la République Algérienne. Cette publication décrit les divers critères physico-chimiques et bactériologiques concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (Tab 2) (Jora, 2011), les normes de potabilisation selon l'organisation mondial de la santé (OMS) et les normes algériennes dans le tableau en indiquant les limites permis.

Tableau 2. Normes de potabilisation des eaux

KHACHACHI N. MIRA A. 2022, Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région de Boussaâda (M'Sila, Algérie). Master Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

Paramètres physico-chimiques	Les normes Algériennes		Les normes de L'OMS	
	Limite souhaitable	Limite admissible	Limite souhaitable	Limite admissible
Température °C	25	25	25	25
PH	6.5	9	6.5	8.5
Conductivité électrique à 20°C (µS / cm)	/	2800	1500	1500
TDS (mg/l)	/	/	500	1500
TH (mg/l CaCO ₃)	/	200	100	500
Ca ⁺² (mg/l)	/	200	75	200
Mg ⁺² (mg/l)	/	150	50	150
Na ⁺ (mg/l)	/	200	200	200
K ⁺ (mg/l)	/	12	12	12
SO ₄ ⁻² (mg/l)	/	400	250	600
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	/	/	500	600
Cl ⁻ (mg/l)	/	500	250	600
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0	50	0	50

« Le traitement et le contrôle de la qualité de « l'eau à consommation humaine » est régi par six (06) décrets exécutifs fixant la périodicité, les méthodes et les produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau; les conditions de prélèvement et les analyses d'échantillons des eaux souterraines et superficielles; les objectifs de qualité des eaux et les conditions d'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine par citernes mobiles., Par

ailleurs, la liste des produits chimiques utilisables pour le traitement et la correction des eaux de consommation humaine est fixée par un arrêté ministériel » (ADE, 2022).

I.9 . Gestion des eaux souterraines

Au niveau national, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) est responsable du suivi, de la coordination et de la préparation de la législation concernant la gouvernance des eaux souterraines. L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) est responsable de l'exploration, de l'évaluation et de la protection des ressources en eaux souterraines. L'ANRH est également responsable de la surveillance des eaux souterraines (voir ci-dessous). L'Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE) et les Agences des Bassins Hydrographiques (ABH) sont responsables de la gestion globale des ressources en eau. L'ABH divise le pays en cinq unités hydrographiques naturelles: Oranie-Chott Chergui; Cheliff-Zahrez; Algérois-Hodna-Soumam; Constantinois-Seybouse-Mellègue; et Sahara. Ces unités sont au centre des consultations et des actions sur la gestion intégrée des ressources en eau.

L'Algérienne des Eaux (ADE) est responsable de l'exploitation des eaux souterraines pour l'eau potable. L'Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID) est responsable de l'exploitation des eaux souterraines pour l'irrigation. Au niveau régional, les organisations de gestion des eaux souterraines comprennent les comités de bassin des cinq divisions des Agences des Bassins Hydrographiques (ABH); les organes consultatifs créés pour consultation avec les représentants de l'État; et les autorités locales et les utilisateurs. Tous ces éléments interagissent pour discuter et formuler des opinions sur des questions liées à l'eau à l'échelle du bassin fluvial. Au niveau local, les organismes de gestion des eaux souterraines comprennent les directions des ressources en eau des wilayas (départements), qui sont responsables dans leurs juridictions de délivrer des permis de forage, de comptabiliser les débits d'eaux souterraines, et de surveiller et faciliter les activités. police de l'eau.

I.9.1 . Législation sur les eaux souterraines

La loi 05-12 du 4 août 2005 sur l'eau couvre la protection et la conservation des ressources en eaux souterraines en établissant:

- Les périmètres de protection quantitatifs, dans lesquels les nouveaux puits, les forages ou les modifications des installations existantes sont interdits, afin d'augmenter les taux prélevés
- Les périmètres de protection qualitative, dans lesquels toutes les activités industrielles peuvent être réglementées, interdites ou soumises à des mesures spéciales de contrôle, de restriction ou d'interdiction. Ces activités comprennent notamment:

- l'installation de conduites d'eau
- les réservoirs pour l'élimination des hydrocarbures - les stations-services de distribution de carburant
- toute construction industrielle - l'élimination des déchets de toute nature
- l'épandage de fumier
- l'élimination des produits et matériaux susceptibles d'affecter la qualité de l'eau.

Cette législation est mise en œuvre en relation avec les périmètres de protection identifiés.

I.9.2 Surveillance des eaux souterraines

L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et les Agences des Bassins Hydrographiques (ABH) sont responsables de la surveillance de la qualité et de la quantité d'eau souterraine au niveau national et de la collecte, le traitement et la mise à jour des informations sur les ressources en eau. L'ANRH maintient un réseau piézométrique national de surveillance des eaux souterraines. Ce réseau piézométrique est constitué de 500 points d'observation. Les campagnes et les analyses de mesures piézométriques se déroulent en deux campagnes annuelles (de hautes eaux et de basses eaux). Les données sont publiées dans des tableaux et des cartes et stockées dans différentes bases de données mesurées et observées: 110 000 fichiers de points d'eau (pour forages, puits et sources) sont inventoriés et archivés. L'ANRH gère également un réseau national de surveillance de la qualité des eaux souterraines avec 550 points de surveillance. Ceux-ci sont échantillonnés une fois chaque 3 mois pour l'analyse physico-chimique, y compris la conductivité et les éléments azotés, et deux fois par an pour les métaux lourds. Les échantillons d'eau sont envoyés pour des analyses physico-chimiques, bactériologiques et hydro-biologiques dans un laboratoire central ou six laboratoires régionaux, qui ont une capacité annuelle de 40,000 échantillons d'eau (et 5000 échantillons de sole). Les données analysées sont stockées dans une base de données nationale de la qualité de l'eau, "SIQUEAU", qui contient des informations provenant de tous les réseaux d'observation et de mesure de l'eau.

I.9.3 . Lois et réglementations concernant les périmètres de protection :

L'une des meilleures façons de protéger les captages d'eau (puits, forages, sources) contre la pollution de surface est la mise en place autour de ceux-ci de périmètres de protection définis pour un débit maximal de prélèvement et destinés à faire obstacle aux éléments polluants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité des eaux.

Les critères à prendre en compte pour la définition des périmètres de protection sont principalement les temps de transfert, la dilution, les limites d'écoulement et la protection, ou pouvoir épurateur, du recouvrement.

A l'intérieur des périmètres protection certaines activités peuvent être interdites ou réglementées.

Les réglementations concernant les captages d'alimentation dans différents pays pourvus d'une législation avancée dans ce sens : Allemagne, France, Suisse, etc., concordent pour diviser les périmètres de protection en 3 zones (Lallemand-Barres A., 1989) :

- **Un périmètre de protection immédiate ou zone 1 :**

Le périmètre de protection immédiate a pour fonction d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage. Les terrains doivent être acquis en toute propriété.

La zone doit être clôturée. Cette zone s'étend sur au moins 10 à 20 m du captage jusqu'à 100 m.

- **Un périmètre de protection rapprochée ou zone 2 :**

Il s'étend depuis la limite du 1^{er} périmètre jusqu'à une distance correspondante à un temps de transfert de 50 jours, temps minimum pour éliminer toute contamination par les virus.

Dans cette zone peuvent être interdits ou réglementés.

- le forage des puits, exploitation des carrières.
- le dépôt d'ordures ménagères, détritiques, produits radioactifs.
- l'installation de canalisations, réservoirs ou dépôts d'hydrocarbures.
- l'établissement de toute construction superficielle ou souterraine.
- l'épandage de fumiers, engrais organiques ou chimiques.

- **Un périmètre de protection éloignée ou zone 3 :**

Cette zone doit protéger de la pollution engendrée par les produits chimiques ou radioactifs. Elle s'étend de la limite externe de la zone 2 jusqu'à la limite du bassin versant. Il peut être réglementé dans cette zone, les activités, installation et dépôts de la zone 2.

CHAPITRE II :
CHAPITRE II :

PRÉSENTATION DE LA
PRÉSENTATION DE LA

RÉGION D'ÉTUDE
RÉGION D'ÉTUDE

Chapitre II Présentation de la région d'étude

Ce chapitre du travail présentera la zone où a été menée l'étude sur plusieurs plans (géographique, administratif, ...)

II.1 La région de M'sila

La Wilaya de M'sila, occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du nord. Dans son ensemble, elle fait partie de la région des Hauts Plateaux du Centre et s'étend sur une superficie de 18.175 km². (M I C L A T, 2025)

Elle est limitée :

- Au Nord Est par les wilayat de Bordj Bou-Arredj et Sétif ;
- Au Nord-Ouest par les wilayas de Médéa et Bouira ;
- A l'est par la wilaya de Batna ;
- A l'ouest par la wilaya de Djelfa ;
- Au Sud Est par la wilaya de Biskra.

II.1.1 Caractéristiques géomorphologiques

La région de M'sila comprend de superficie plate avec des réseaux hydrographiques et dayas et parfois des massifs bas. Les parcours sont dominants, avec environ 1 029 945 ha (50% de la Surface Totale) et souvent dégradés, représentés par des parcours steppiques et surtout des parcours sahariens. Et se présente comme une région enclavée entre les contres fortes des Atlas Tellien et Saharien Le relief est varié, alternant entre plaines, hauts plateaux et zones semi-arides. Cette diversité géographique influence fortement la distribution des ressources en eaux souterraines (Remini, 2006)

II.1.1.1 Hydrographie

La wilaya de M'sila se présente comme une région enclavée entre les contres fortes des Atlas Tellien et Saharien, et se caractérise par quatre zones naturelles., La zone steppique couvre la plus grande partie du territoire soit 59% se caractérise par un couvert végétal clairsemé, traduisant le degré de dégradation des parcours, Plusieurs nappes phréatiques se trouvent sous la région de M'Sila. On utilise principalement les nappes superficielles pour des fins agricoles, particulièrement dans les régions de plaine. Des aquifères plus en profondeur sont aussi présents dans les régions de piémont et de cuvettes. La qualité de l'eau fluctue en fonction des zones, avec des soucis de salinité notés dans quelques régions. L'aquifère des Hauts Plateaux est vital pour la fourniture d'eau. (Djemaci, 2006)

Les potentialités en eau de surface sont estimées à 320 Hm³ : Barrage Ced k'sob Capacité de 29.5 Hm³, Barrage soubella Capacité de 17.3 Hm³, et 21 oueds, 26 Sources naturelles. Les potentialités en eau souterraine sont limitées dans la Wilaya, et les nappes aquifères, actuellement connues, sont : La nappe phréatique, La nappe profonde du Hodna, La nappe profonde d'Ain Rich" (MICLAT, 2022).

Les aquifères actuels se trouvent autour du Chott et couvrent l'ensemble de la plaine jusqu'à une profondeur approximative de 5 cm. Les sols autour du chott présentent une forte salinité, ce qui a des conséquences sur les eaux de cette nappe et restreint son utilisation. Toutefois, en dépit de cela, la nappe fait l'objet d'une surexploitation avec l'ouverture de nombreux puits (Ben Magri. 2014). On distingue deux sortes de nappes sur le territoire de la wilaya :

- ✓ Nappe phréatique : peu exploitée car ces eaux très chargés et sumaire ;
- ✓ Nappe profonde : située au sud du chott, ces eaux sont moins salées et au Ain El Riche

Tableau 3. Les ressources souterraines dans la région de M'Sila. (MICLAT, 2022)

Ressources souterraines	Nombre	Capacité de stockage
Forages	401	209 370 (M3)
Réservoirs	308	190 304 (M3)
Châteaux d'eau	124	26 740 (M3)

Réseaux AEP :

- Taux de raccordement : 88%

- Dotation journalière : 160 L/J/hab (A. S. de la wilaya de M'sila.2014) (Tab 4).

Tableau 4: Les ressources d'eau Dans la commune M'sila
(Direction des Ressources en Eau de la wilaya de M'sila, 2014)

LOCALISATION			FORAGE DECLARES		FORAGES EN SERVICE					
Daira	Commue	Le lieu dit du forage	Nom du forage	Débit mob M3/j	Nom du forage	Débit mob M3/j	Débt exp L/s	Heures de pompae H/j	Débit exp M3/j	Jours De Pompage Nb
M'SILA	M'SILA	Khebeb	F310 BIS	1267,2	F310 BIS	950,4	11	24	950,4	29
			F05 Bis	1037	F 05 Bis	864	10	24	864	29
			F 257 Bis	1123	F 257 Bis	172,8	2	24	172,8	29
			F11 Bis	1468,8	F 11	1382,4	16	24	1382,4	29
			F 08 Bis	1123,2	F 08	1555,2	18	24	1555,2	29
			F 224	864	F 224	1209,6	14	24	1209,6	29
			F 06 Bis	1382	F 06	432	5	24	432	29
			F10	1037	F10	518,4	6	24	518,4	29
			F01	1468,8	F01	1382,4	16	24	1382,4	29
			F02	1123	F02	1728	20	24	1728	29
			F 233	1037	F 233	259,2	3	24	259,2	29
			F 256	1123	F 256	259,2	3	24	259,2	29
			Mezrir 4/14	1296	Mezrir 4/14	1123,2	13	24	1123,2	29
		Mezrir Est	F250 BIS	1296	F 250	864	10	24	864	29
			F249 Bis	1555	F 249 Bis	950,4	11	24	950	29
			F 284	1814	F284	1036,8	12	24	1036,8	29
			F 215	1901	F215	518,4	6	24	518,4	29
			F268 Bis	1555	F 268 Bis	1209,6	14	24	1209,6	29
			F 311	1728	F311	1209,6	14	24	1209,6	29
			Mezrir 2/14	1296	Mezrir 2/14	1468,8	17	24	1468,8	29
			Mezrir 3/14	1296	Mezrir 3/14	1728	20	24	1728	29
		Mezrir Ouest	F 252	1382	F 252	864	10	24	864	29
			F 283	864	F 283	950,4	11	24	950,4	29
			M. ouest	1555,2	M. ouest	1209,6	14	24	1209,6	29
			M. 1/15	1209,6	M. 1/15	2073,6	24	24	2073,6	29
		Lougmane	Dokkara	518	Dokkara	691,2	8	24	691,2	29
			L. 1	1296	lougmanel	1123,2	13	16	748,8	29
			F256/T02	604,8	F256/T02	259,2	3	24	259,2	29
			F. T03	1382,4	F. T03	691,2	8	24	691,2	29
			F. T04	604,8	F. T04	345,6	4	24	345,6	29
			F270 G.1	1036,8	F260	432	5	24	432	29
		Guerfala	F255 G.2	1123,2	F255 Bis	864	10	24	864	29
			G. 3	604,8	F. G. 3	345,6	4	24	345,6	29
		Boukhmissa	Forage B.	1123	F279/168	1728	20	24	1728	29
		Ghozal	Bayadhah	1469	Bayadhah	1296	15	24	1296	29
			F. Gh. Bis	1469	F236 Bis	1036,8	12	24	1036,8	29
		Achiakh	Achiakh	864	Achiakh	691,2	8	24	691,2	29
		Sidi amara	Sidi amara	604,8	Sidi amara	345,6	4	24	345,6	29

II.1.1.2 Climatologie

‘Le climat de la Wilaya est de type continental soumis en partie aux influences sahariennes. L'été y est sec et très chaud, alors que l'hiver y est très froid. Sur le plan pluviométrique, la zone la plus arrosée est située au nord ; elle reçoit plus de 480 mm par an (Djebel Echchouk - Chott de Ouenougha) ; quant au reste du territoire, la zone la plus sèche est située à l'extrême sud de la Wilaya et reçoit moins de 200 mm/an’ (MICALAT, 2022).

II.2 Présentation de « Chott El-Hodna »

El-Hodna représente la brassée dans un environnement montagneux. Le terme utilisé pour désigner les résidents d'une région dotée de caractéristiques spécifiques. Ce sont les plaines situées à l'est et au nord d'une grande Sebkha, qui sont fertilisées par les eaux des rivières provenant des systèmes du tell au nord et de l'Atlas saharien au sud. (Mimoune, 1995).

II.2.1 Description du Chott

Le Chott El-Hodna fait partie d'une série de chotts qui se sont développés là où convergent les eaux provenant de l'Atlas saharien au sud et l'Atlas tellien au Nord. Il constitue une partie du panorama phytogéographique du domaine steppique du Maghreb, qui se caractérise par un paysage végétal typique des hautes plaines steppiques. Ce bassin, positionné à l'extrémité orientale des hauts plateaux et orienté vers l'ouest-nord, ouest-est et sud-est, s'étire sur 220 km de longueur et 90 km de largeur. Il est situé entre deux chaînes montagneuses qui culminent à 1800-1900 m au nord et 600-900 m au sud. Hydrologiquement. (Messad & Moussai, 2015)

Le Chott El-Hodna, qui couvre une superficie de 1 100 km² dans son point le plus bas, est situé au centre de la cuvette du Hodna, ayant une étendue totale de 8 500 km². Cette dernière sert de référence pour le niveau de base des oueds du bassin. Le Chott, qui se présente comme une surface d'épandage lors des crues, possède une forme elliptique et est alimenté par de l'eau salée. Il s'étend sur 77 km de longueur et 19 km de largeur. Bien que variable, la superficie inondée ne dépasse jamais les 80 000 hectares. Au moins 22 rivières principales, sans compter les sources d'eau douce, alimentent son approvisionnement en eau. Il ne s'empie d'eau qu'en hiver, étant sec et salé durant l'été, des couches de sel recouvrent sa totalité. (Boumezbear, 2002).

II.2.2 Aspect géographique et administratif

Chott El-Hodna, situé dans le sud-est de l'Algérie, s'étend sur 362 000 hectares et est entouré par deux wilayas, M'sila et Batna. C'est une île de la mer Méditerranée, entourée de 150 kilomètres de chaînes de montagnes. Le centre du Chott El-Hodna est la vallée de Hodna, située à 40 km au sud de Boussaâda et à 80 km au sud de Biskra. Le Chott El-Hodna est entouré par les montagnes

des Bibans et de Hodna, l'Atlas saharien, le Djebel Metlili, Barika et Tsenia, les montagnes de Boussaâda, et les hautes plaines steppiques algéro-oranaises. (Messad & Moussai, 2015) et fait partie de dix communes de la wilaya de M'Sila et deux de la wilaya de Batna : (Fig.4)

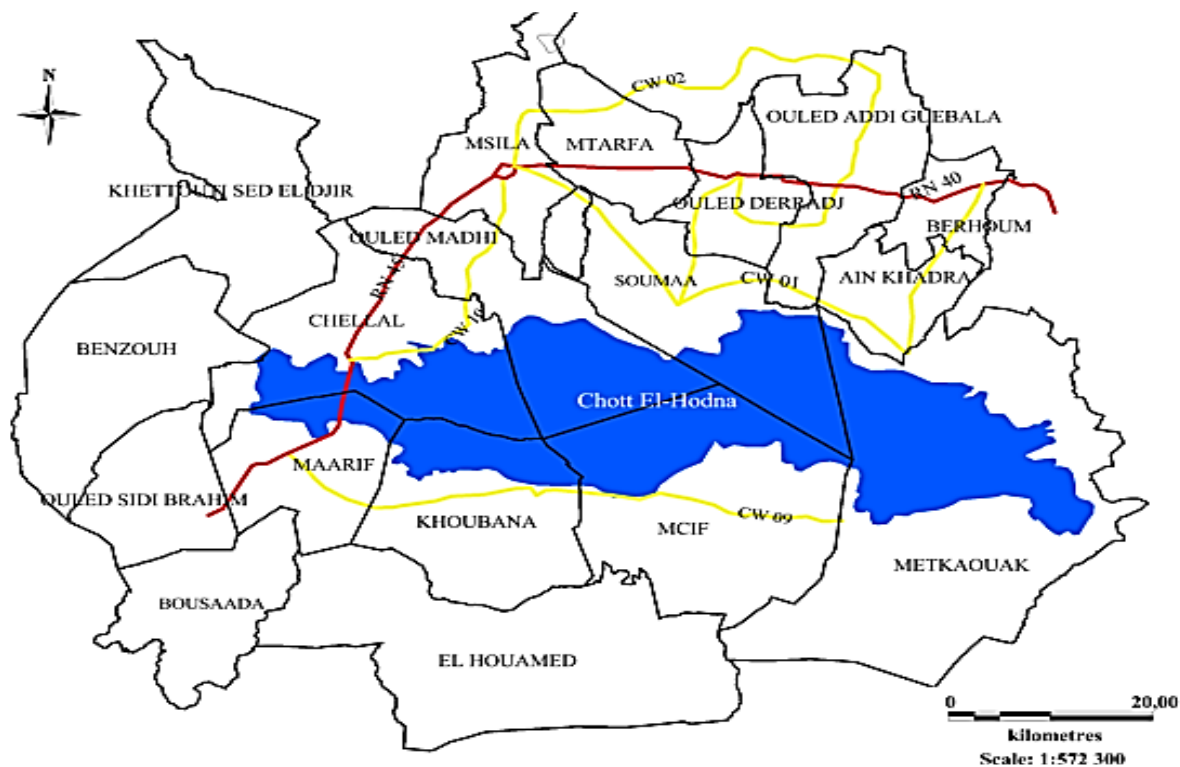


Figure 4 Localisation de Chott El-Hodna par rapport aux communes de M'sila
(Guergueb, 2016)

II.2.3 Données géologiques et hydrogéologiques.

Du point de vue géologique, le Hodna est situé dans l'ensemble structuro-sédimentaire de l'Atlas tellien (Gouvernement Général de l'Algérie, 1951-1952). L'Atlas tellien est une zone orogénique complexe constituée de nappes de charriage à vergence sud, c'est-à-dire de couches géologiques qui, lors de l'orogénèse, se sont décollées du socle et se sont déplacées sur de grandes distances vers le sud.

Les formations les plus vieilles (Trias et Jurassique) se trouvent dans les monts du Hodna dans le bassin. Ils sont composés d'une alternance de marnes argileuses et de formations calcaires (Emberger, 1964), Les pentes des djebels sont tapissées de formations datant du Crétacé et de l'Éocène, tandis que les pieds montants sont constitués de roches qui datent de l'ère du Miocène.

En ce qui la concerne, la plaine et sa zone humide incluse, sont recouvertes de sédiments alluviaux du Quaternaire ; on peut également observer des dunes récentes à proximité de la rive sud du Chott. (Aecom.2010).

II.2.3.1 Géomorphologie

Le Chott est une large dépression dont le fond atteint 391m, il sépare la région du Hodna proprement dite de la région saharienne. Il est constitué de deux zones concentriques, une zone périphérique ou « sebkha » (Boumezbeur, 2002). La zone nord du Chott occupe une partie de la plaine, et la zone sud se distingue par sa nature sableuse. La Zone centre : La partie centrale du chott correspond à une cuvette où se concentrent les eaux chargées en chlorures et sulfates L'unité structurale la plus dominante est la plaine, elle couvre les deux tiers du Hodna (ATTABI & ZINE, 2006).

II.2.3.2 Hydrologie :

Le régime hydrologique du Hodna est lié au régime pluviométrique caractérisé par de fortes irrégularités. La majorité des cours d'eaux n'ont pas de débits pérennes, à l'exception des Oueds Lougmane, El-Ham, K'Sob, Selmane, Barhoum et Soubella alimentés par des sources. A cela s'ajoute une multitude de petits cours d'eau (Chaàba) à sec pratiquement pendant toute l'année et qui coulent lors des chutes de pluies, Quatre oueds seulement sont pérennes, quoique leurs débits soit très faible (Boumezbeur, 2002). Oued El Ham à l'ouest, Oued K'sob au Nord, Oued Barika à l'Est et Oued M'cif au Sud. Tous les Oueds Pérennes ou nom, ont des crues secondaires et fortes. (Fig. 5) Les eaux se déversant dans le Chott sont estimées à 150 hm² par an pour une année moyennement pluvieuse (C.F.W.M., 2000)

Le Bassin versant d'El-Hodna, qui couvre une zone de drainage de 26 000 Km², se classe comme le cinquième Bassin en Algérie. L'altitude des sommets d'El-Hodna décroît de l'est vers l'ouest. Ils varient entre 1000 et 1900 m, alors que dans le sud, seuls quelques sommets de l'Atlas saharien atteignent les 1200 m. Ce bassin, situé entre deux massifs montagneux du nord et du sud, se dispose comme un bassin endoréique autour d'un large bol plat à 400 m d'altitude.



Figure 5 Carte de réseau hydrographique de Bassin du Hodna (Charif et al, 2022)

Ce lac salé, connu sous le nom de « Chott El-Hodna » (1150 Km²), est situé au cœur de cette région. Il collecte l'eau et les sédiments provenant de tous les oueds environnants. Le bassin versant d'El-Hodna est subdivisé en 23 sous-bassins, sans compter le 24ème qui comprend le centre du Chott El-Hodna. Toutefois, on peut rassembler ces sous-bassins en huit sous-bassins hydrographiques. (HASBAIA et *al.*, 2012)

La salinité des eaux souterraines pose un problème en zones arides et semi-arides, et détériore leur qualité. Le système aquifère mio-plio-quaternaire des hautes plaines est logé dans des formations argileuses et conglomératiques, et des calcaires lacustres. Il est essentiellement alimenté par les précipitations et par des failles conditionnant et favorisant l'écoulement des eaux souterraines. (Ghibli & Eocene, 2008).

II.3 La région de Maadher

Dans la zone aride de l'Algérie, le bassin du Hodna présente une grande dépression de 8 500 km² entourée de montagnes, au cœur de laquelle se situe le lac salé appelé « Chott Hodna ». Dans cette région, deux aquifères exploitables, l'un peu profond et l'autre profond, sont utilisés pour des fins domestiques et d'irrigation depuis 60 ans, ce qui a conduit à une surexploitation excessive de ces ressources, dans le bassin du Hodna, les principales sources d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation proviennent de l'aquifère du Maadher, alimenté par des forages pompés. Ces dernières années (Benabderrahmane 1988).

II.3.1 Aspect géographique et administratif

Le Maadher se trouve au cœur du bassin du Hodna, à une distance de 260 km au sud d'Alger. La plaine du Maadher se trouve à la latitude 13.397300 N et la longitude 4160 5.8100 E, avec une hauteur moyenne de 450 mètres par rapport au niveau de la mer. Sur le plan morphologique, Cette région se compose de dunes de sable et d'accumulations alluviales récentes, ainsi que de sommets rocheux isolés comme le mont Meharga et le mont Ker-dada (Fig. 6). Cette région subit une érosion éolienne constante à cause de sa texture sablonneuse et du manque d'une couverture végétale naturelle. Concernant la topographie, la zone d'étude couvre les monts Kerdada, Maalleg et Tsegna au sud, les monts Mabakhira, Gharhor au sud-ouest et le Chott Hodna au nord et au nord-est. (Aissaoui 1989).

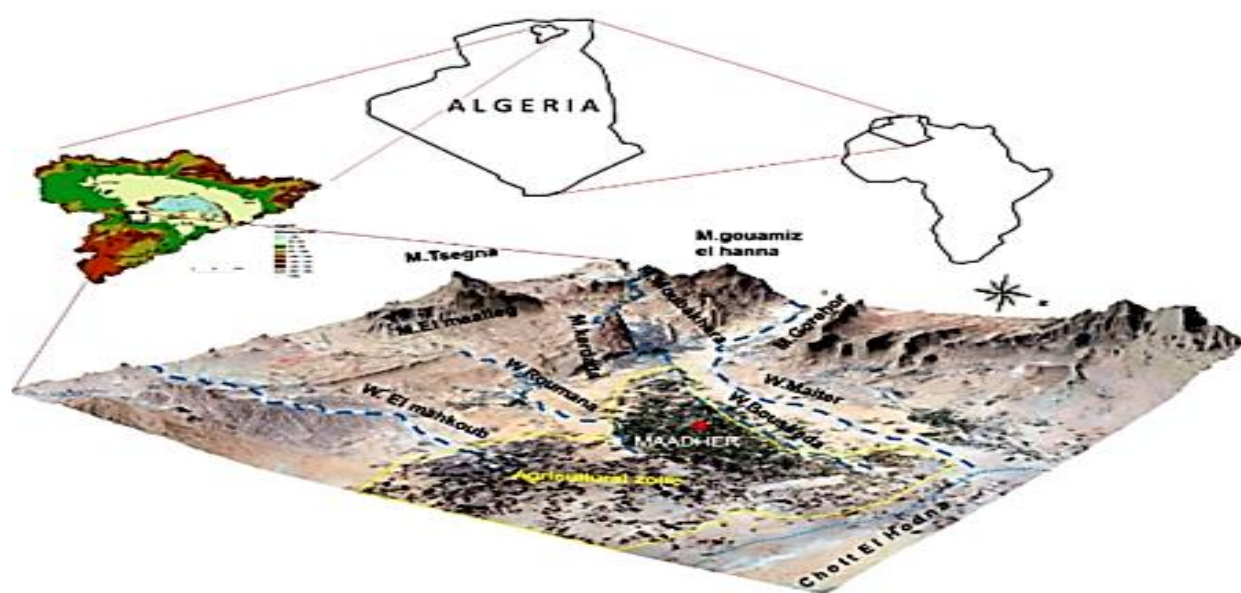


Figure 6 La position géographique de la zone d'étude

(Selmane et al, 2022)

II.3.2 Données géologiques et hydrogéologiques.

Concernant le climat, la région bénéficie d'un climat allant de l'aride au semi-aride, influencé par le sud du Sahara. Habituellement, le climat présente une saison fraîche et humide durant l'hiver et une période chaude et aride en été. Les précipitations sont peu abondantes et inégalement distribuées au cours de l'année, avec des fluctuations d'une année à l'autre. On estime que la moyenne annuelle des précipitations est de 225 mm, tandis que la température moyenne mensuelle est de 21,9 °C. Dans l'évaluation des ressources hydriques de la région du Maadher, trois oueds sont pris en compte : Bousaada, Roumana et Maïter. (Fig. 7) (Selmane et *al.*, 2022)

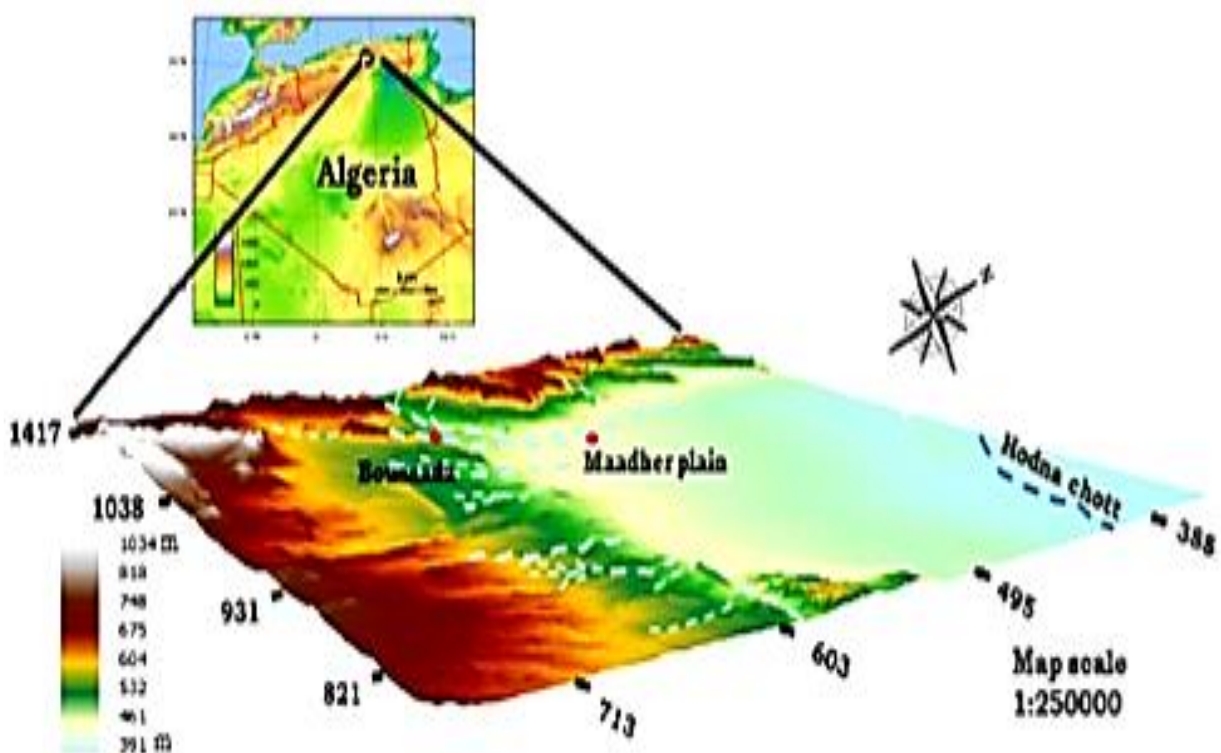


Figure 7 Carte topographique et de drainage de la région de Maadher

(Selmane et *al.*, 2022)

Les sols du chott et de la sebkha renferment des gypso-salines de nappe qui, par le processus d'évaporation dans la sebkha, se convertissent en salins. (C.F.M., 2002). La nappe phréatique se situant plus près de la surface à proximité de la sebkha, un endroit où la minéralisation des eaux s'accroît, la salinisation typiquement sulfato-chlorure se transforme en chlorurosulfatée et chlorurée. La distribution des sols est liée à des processus pédologiques importants tels que la fertilisation, l'holomorphie, la gypsoorphie, la calcimorphie et le phénomène de désertification (Guergueb, 2016).

La présence d'eaux souterraines dans la région de Maadher est fortement influencée par les éléments climatiques, géologiques et topographiques. Par ailleurs, la géologie et les structures géologiques (telles que les failles, fractures et contacts lithologiques) ont une influence significative sur le déplacement des eaux souterraines analysées. (ANRH 2006)

L'aquifère peu profond connaît une chute importante du niveau de l'eau, ce qui entraîne une concentration en sel nettement élevée. Par ailleurs, l'aquifère profond, qui présente une concentration en sel relativement basse, constitue la source principale d'eau dans la région. (Guiraud 1970).

Durant les dernières décennies, la région du Hodna a subi des variations climatiques significatives ; on a observé une diminution et une irrégularité des précipitations, accompagnées d'une hausse marquée des températures. Par ailleurs, la grande expansion de la population couplée à l'essor de ces activités agricoles a conduit à un pompage intensif des eaux souterraines. Le pompage d'une grande quantité d'eau a participé à la diminution du niveau de l'eau et très probablement à l'émergence d'un déséquilibre géochimique de l'aquifère dans la zone (ANRH 2007, Boudiaf et al. 2020).

La qualité des eaux souterraines de la région est largement influencée à la fois par les :

- processus naturels (lithologie),
- L'état des ressources en eau de recharge (oueds).
- Interaction avec d'autres types d'aquifères profonds
- Des facteurs anthropiques (activités agricoles, courses d'eaux usées avec les ressources en eau de l'oued)
- Par la surexploitation des aquifères (Pophare et al. 2014).

PARTIE PRATIQUE
PARKIE PRATIQUE

CHAPITRE III : MATÉRIELS
CHAPITRE III : MATÉRIELS

ET MÉTHODES
ET MÉTHODES

Chapitre III Matériels et méthodes

III.1 Matériels

III.1.1 Zone d'études

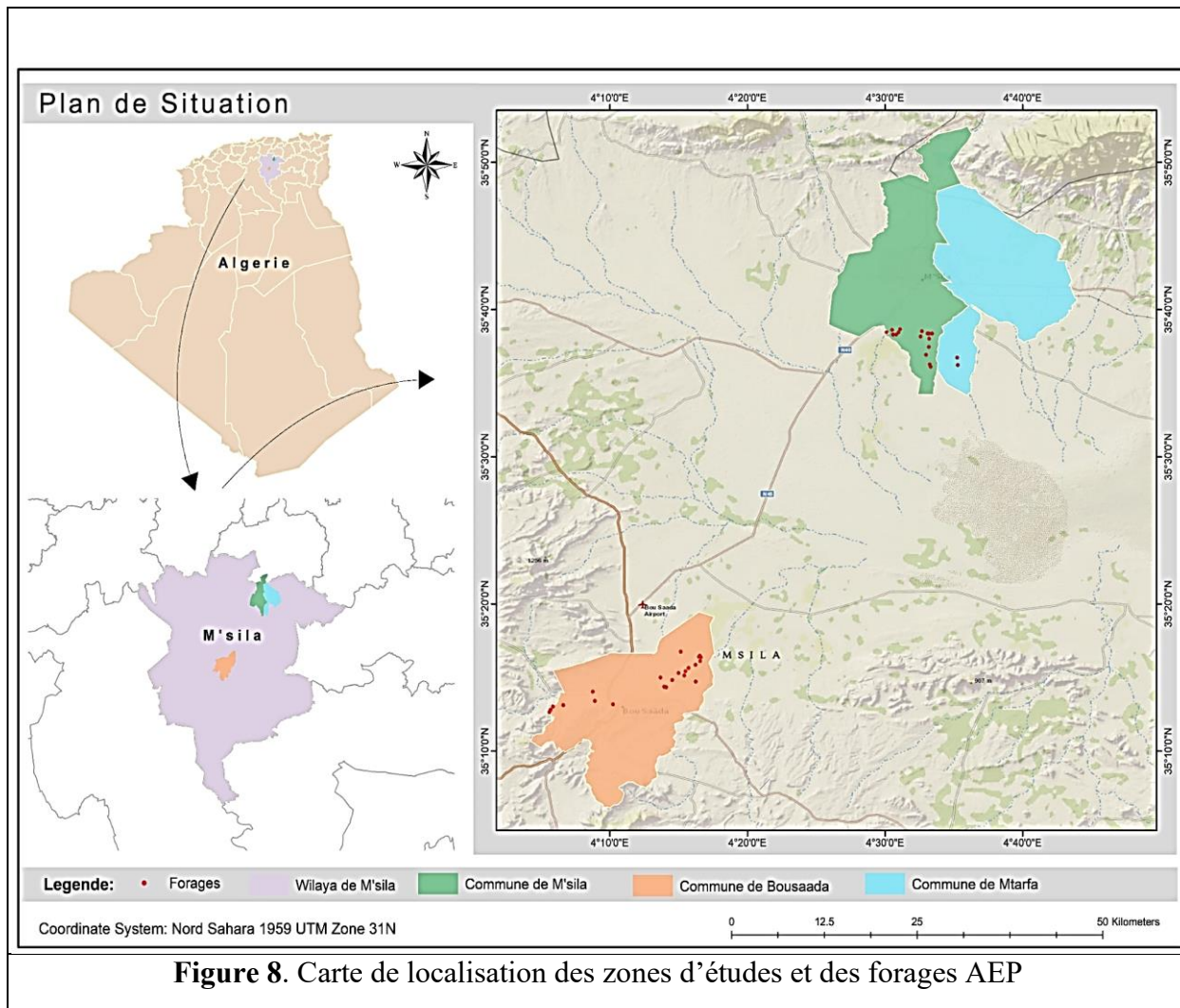


Figure 8. Carte de localisation des zones d'études et des forages AEP

Deux zones d'études ont été choisies, l'une au nord de la grande sebka de M'Sila, précisément dans la zone de captage AEP de Mezrir au sud de la ville de M'Sila, qui connaît actuellement une intense activité agricole, avec des fermes dédiées à l'élevage bovin et la production du fourrage, la luzerne, et l'autre au sud de la grande sebka de M'Sila, dans la région du Maader de Bou Saada, qui connaît elle aussi une activité agricole et un intense élevages bovins.

III.1.2 Analyse de l'eau

Les échantillons (N=29) (période 2024) d'eau souterraine sont recueillies à partir des puits de forages AEP des zones de captages de Mezrir et de Maader. Les paramètres de qualité analysés

sont les nitrates et les sulfates. Les techniques d'analyses (voir annexe) sont celles du manuel d'analyses de l'eau (Rodier) édition 2009.

Les données sur les forages nous ont été fournies par la direction hydraulique de la wilaya de M'sila et le laboratoire d'analyse de l'eau de l'Algérienne des eaux (ADE) de M'sila.

III.2 Méthodes

Nous avons utilisé Le système d'information géographique (SIG) aide à manipuler les données de l'ordinateur pour simuler des solutions de recharge et prendre les décisions les plus efficaces Le traitement des données collectées a été effectué sous diverses formes : Le transfert des données collectées de notre zone d'étude vers le logiciel Arc Gis ; Une base de données crée à travers ce logiciel pour regrouper les diverses Informations concernant l'hydrologie de la région de M'sila et Boussaâda ; Utilisation de logiciel Arc Gis pour des représentations cartographiques thématiques.

III.2.1 Cartographie

Les forages AEP ont été visualisés sur carte géo référencées pour pouvoir établir les périmètres de protection, immédiat, rapprochés et éloignés des dits forages. Cela permettra de corrélérer les résultats d'analyses physico-chimiques avec l'occupation du sol et la présence de sources de pollution.

Le logiciel ARC GIS a été utilisé pour élaborer les cartes et les analyses géo spatiales (kriging).

III.2.2 Système d'information géographique

Le SIG, ou système d'information géographique, est un outil puissant qui capture, analyse et présente des données spatiales et géographiques. Alor's que la cartographie numérique affiche les emplacements et les caractéristiques sur une carte, le SIG va encore plus loin en permettant d'afficher et d'analyser des couches d'informations en fonction de leur emplacement.

Cela permet une compréhension plus approfondie des modèles, des relations et des tendances dans une zone géographique.

III.2.2.1 Avantage d'utilisation des SIG

- **Avantage n° 1:** Un SIG permet d'abaisser les coûts de production des cartes et des plans. Dans de nombreuses mairies, les cartes et plans sont établis à la main, avec des délais et des coûts de correction, de mise à jour, de dessin, etc. Le SIG permet de les établir plus rapidement et à moindre frais;

- **Avantage n° 2:** Un SIG permet aussi d'établir des cartes et des plans que l'on ne pouvait pas réaliser à la main. Grâce à l'informatique, il est possible de réaliser des produits nouveaux qu'il était impossible de réaliser à la main;
- **Avantage n° 3:** Un SIG évite d'avoir à refaire plusieurs fois les mêmes levés. Il évite que des services différents procèdent à des levés topographiques sur la même zone et évite les pertes d'information avec le temps en accumulant l'information recueillie sur le terrain;
- **Avantage n° 4:** Lorsque le SIG est en place, installer une nouvelle application nécessite un investissement modeste et le retour sur investissement est rapide;
- **Avantage n° 5:** Un SIG facilite la réalisation d'étude pour tous les projets ayant une composante géographique. Il permet de multiplier les représentations visuelles et facilite ainsi la prise de décision tout en diminuant les risques d'erreurs;
- **Avantage n° 6:** Le SIG améliore le service rendu à l'utilisateur en permettant de lui fournir avec rapidité et fiabilité une information de qualité dont il a besoin. Par exemple, tous les renseignements délivrés par le service urbanisme seront, en principe, à jour et complets;
- **Avantage n° 7:** Le SIG permet des calculs utiles à la prise de décision. Cela va du calcul simple, la superposition cartographique, au calcul complexe d'analyse spatiale intégrant un grand nombre de paramètres (Guide SIG. 2010)

III.2.2.2 Les composants d'un SIG:

Un Système d'Information Géographique est constitué de cinq composants majeurs (COLLET, 1994).

1. Matériel: Le matériel SIG fait référence aux appareils physiques nécessaires pour exécuter un logiciel SIG et stocker de grandes quantités de données spatiales. Le traitement des données à l'aide des logiciels ne peut se faire sans un ordinateur. Pour cela, les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs.

2. Logiciels: Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour l'exécution des 05 fonctionnalités des SIG: (Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage, Accès).

Les principaux composants d'un logiciel SIG sont:

- * Outils de saisie et de manipulation des informations géographiques;
- * Système de Gestion de Base de Données;
- * Outils géographiques de requête, d'analyse et de visualisation;

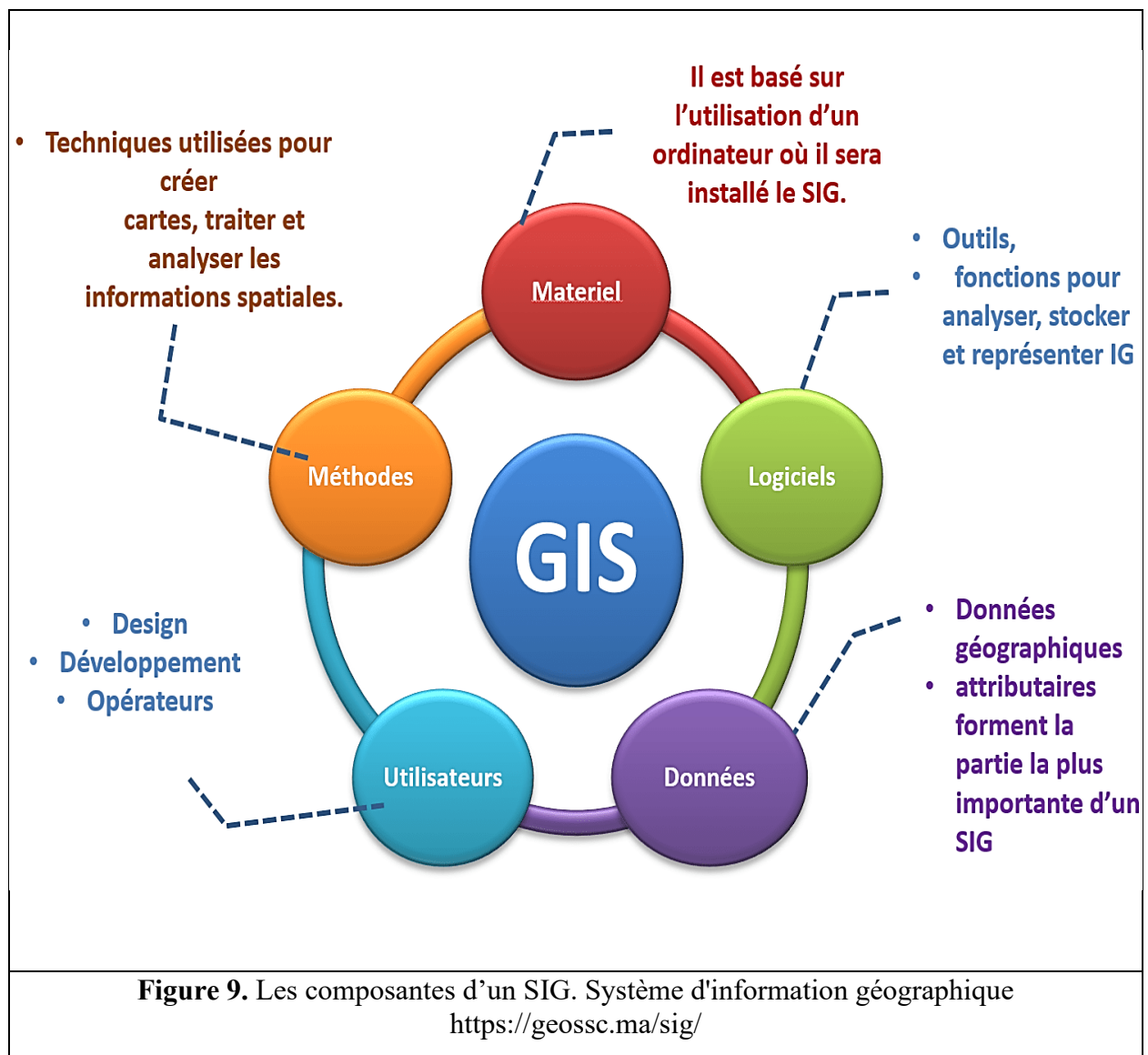
* Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

3. Données: Les données sont la composante la plus importante des SIG (données graphiques spatiales, données alphanumériques...). Les données géographiques peuvent être, soit importées à partir de fichier, soit saisies manuellement par l'opérateur.

4. Le savoir-faire: Tous les éléments décrits précédemment ne peuvent prendre visans une connaissance technique de ces derniers. Un SIG fait appel à de divers savoir-faire, donc à des divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes.

On retiendra notamment la nécessité d'avoir des compétences en analyse des données et des processus, en traitement statistique, en sémiologie cartographique et en traitement graphique.

5. Les utilisateurs: Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui l'ont créé et le maintiennent jusqu'aux utilisateurs ordinaires.



Les fonctionnalités du S.I.G Le système d'information est défini par Burrough (BURROUGH, 1986) en fonction des opérations que permet cet outil informatique: -La saisie (numération) des données; -Le stockage (base de données graphiques et attributaire);

CHAPITRE IV :

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Chapitre IV Résultats et discussion

IV.1 Résultats

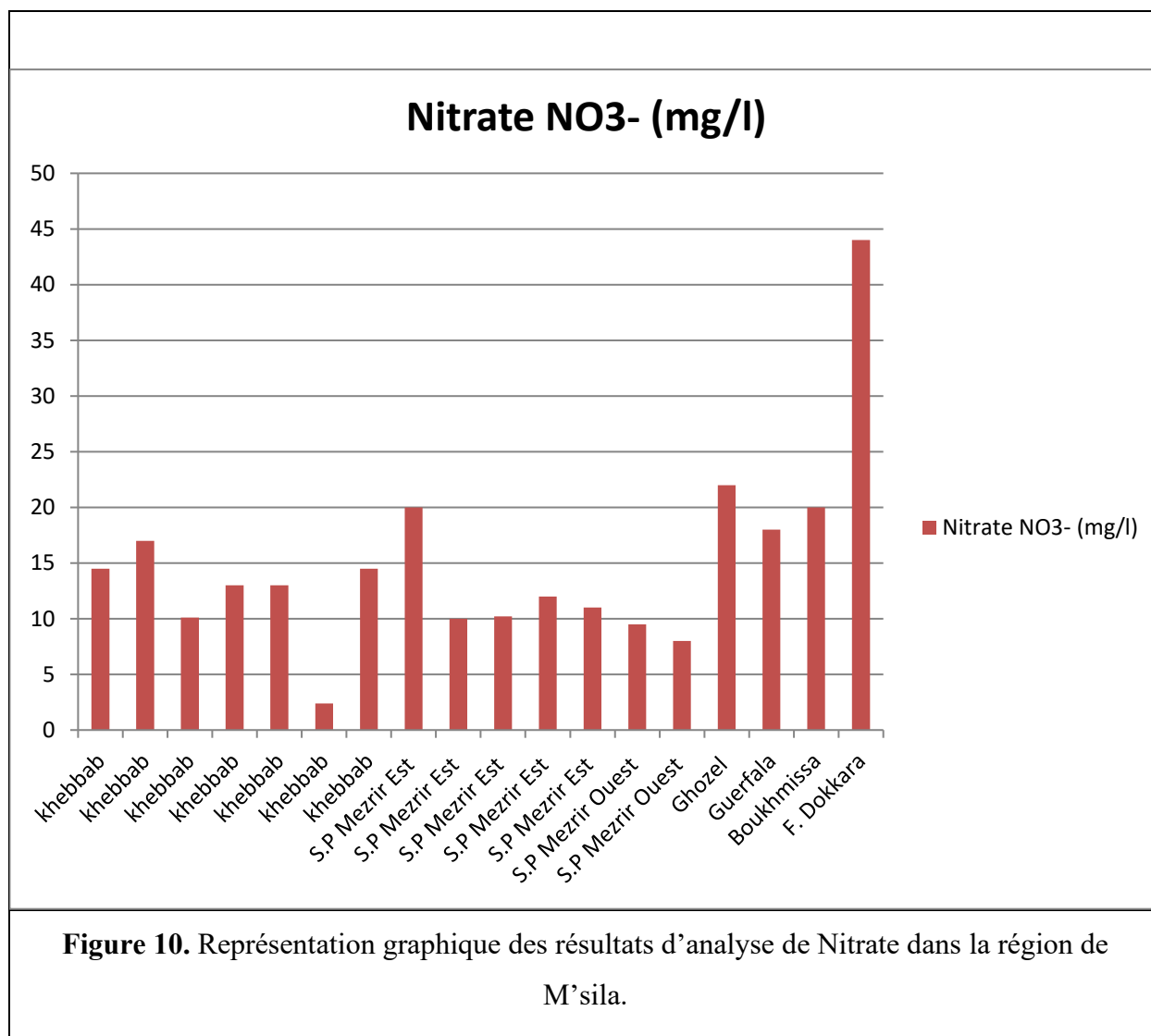
IV.1.1 Caractéristiques des forages de la région de M'sila

Le tableau suivant résume les mesures des sulfates et des nitrates effectués sur les forages AEP de la région de M'Sila (Mezrir & Khebbab) (Tableau 5)

Tableau 5. Caractéristiques des forages de la région de M'sila						
ID	Champ de captage	Forage	UTM		Nitrate NO ₃ - (mg/l)	Sulfates SO ₄ - (mg/l)
			X	Y		
1	Khebbab	F 233/168	644594,716	3942353,921	14,5	300
2	Khebbab	F 256/168	644410,244	3947191,526	17	300
3	Khebbab	F 257/168	645812,018	3947651,126	10,1	200
4	Khebbab	F 265/168 (F11)	644607,599	3946354,716	13	300
5	Khebbab	F 266/168 (F08)	646601,569	3944347,873	13	350
6	Khebbab	F 267/168(F05)	648910,747	3947041,039	2,4	300
7	Khebbab	F 05 Bis	648918,909	3947091,025	14,5	400
8	S.P Mezrir Est	F 249/168 Bis	639457,574	3946671,308	20	350
9	S.P Mezrir Est	F 250/168	639403,807	3945500,254	10	270
10	S.P Mezrir Est	F 215/168	639877,515	3945069,65	10,2	300
11	S.P Mezrir Est	F 284/168	639459,498	3947271,417	12	800
12	S.P Mezrir Est	F 250 Bis	639473,729	3951722,243	11	550
13	S.P Mezrir Ouest	F 252/168	607496,09	3913470,781	9,5	350
14	S.P Mezrir Ouest	F 283/168	636599,365	3944280,032	8	380
15	Ghozel	F 236/168	635306,523	3946584,594	22	1000
16	Guerfala	F 255/168	641613,427	3948364,734	18	900
17	Boukhmissa	F. Boukhmissa	637837,404	3946402,451	20	1000
18	F. Dokkara	F. Dokkara	699161,728	3948398,967	44	1200

IV.1.1.1 . Les nitrates

D'après les résultats d'analyses de la région de M'sila, les valeurs des nitrates ne dépassent pas les valeurs limites fixées par l'OMS (voir Tab. 5). La valeur la plus élevée est signalée pour le forage de Dokkara avec une valeur de 44 mg/l suivi par celui de Ghozal avec 22 mg/l (fig. 9). Alors que la valeur la plus basse 2.4 mg/l a été relevée dans le forage F 267/168 (F05)



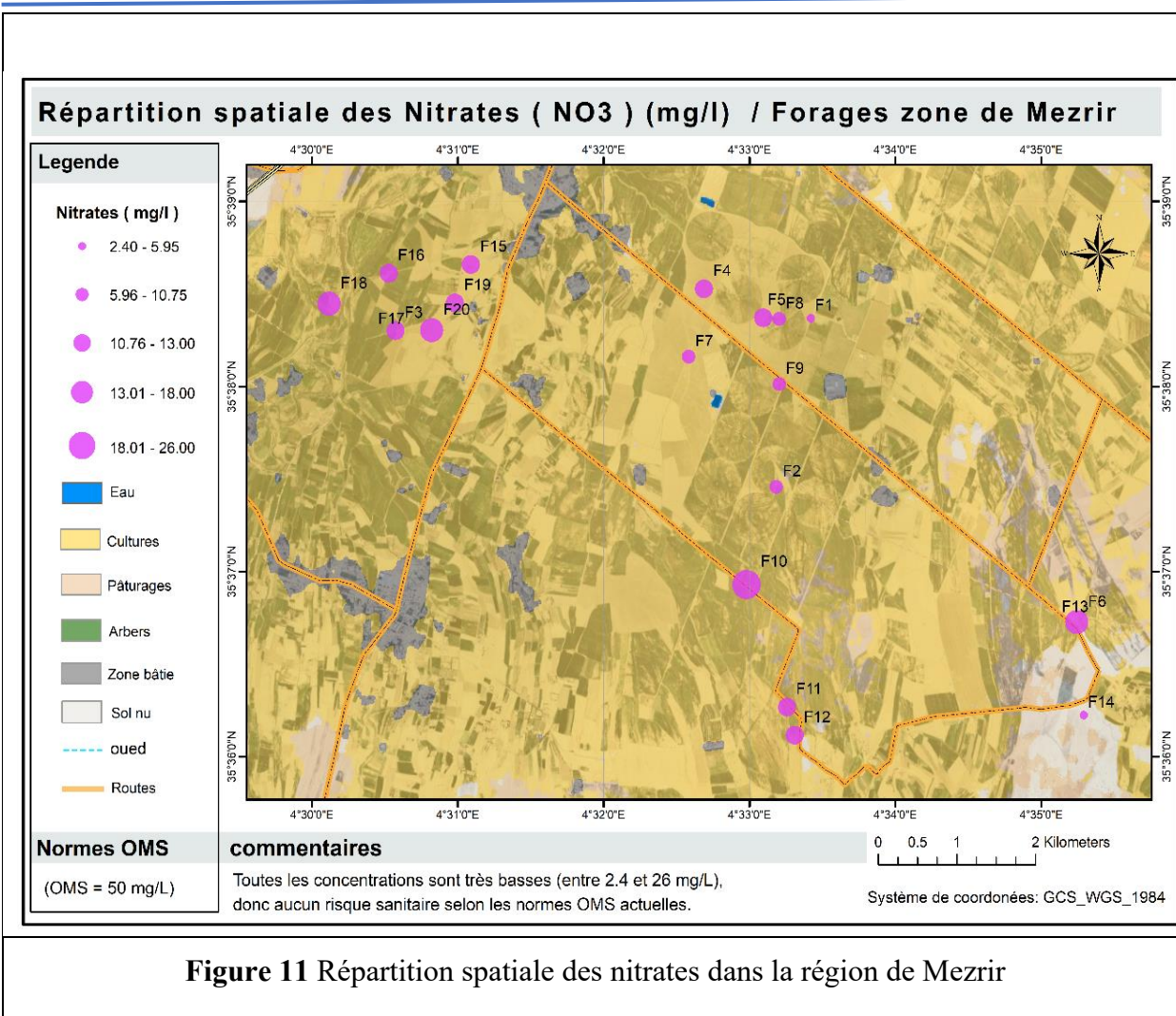
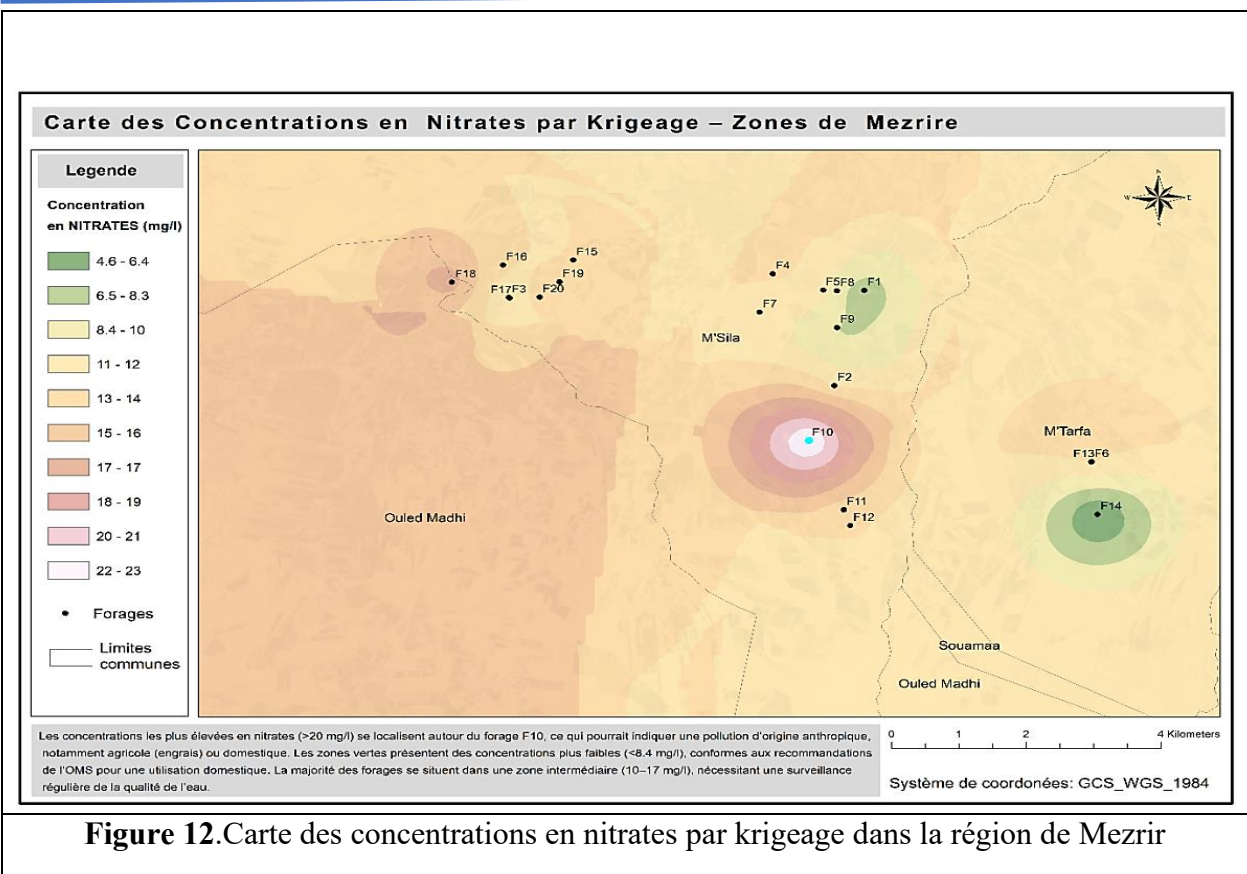


Figure 11 Répartition spatiale des nitrates dans la région de Mezrir

Dans la région de Mezrir toutes les concentrations des forages en nitrates sont très basse (entre 2.4 et 26 mg/L) n par conséquent aucun risque sanitaire existe selon les normes OMS actuelles. (Fig. 10).



Les concentrations les plus élevées en nitrates (> 20 mg/l) se localisent autour du forage F10, ce qui pourrait indiquer une pollution d'origine anthropique, notamment agricole (engrais), domestique ou élevage intensif de bovin et ovin. Les zones vertes présentent des concentrations plus faibles (<8.4 mg/l), conformes aux recommandations de l'OMS pour une utilisation domestique (Fig. 11). La majorité des forages se situent dans une zone intermédiaire (10-17 mg/l), nécessitant une surveillance régulière de la qualité de l'eau.

IV.1.1.2 Les sulfates

Tous les forages contiennent des valeurs en sulfates élevées, voire très élevés comparativement aux valeurs fixées par l'OMS qui est de 250 mg/ ; le forage de Dokkara en contient 1200mg/L, ce qui reflète l'importance de la géologie de l'aquifère, gypseux dans cette partie nord de la plaine du Hodna, les fortes valeurs en sulfates impactent sérieusement la qualité de l'eau et la rende impropre à la consommation. Les forages Boukhmissa, Guerfala, Ghozal et Mezrir est sont également riche en sulfates. (Fig. 12)

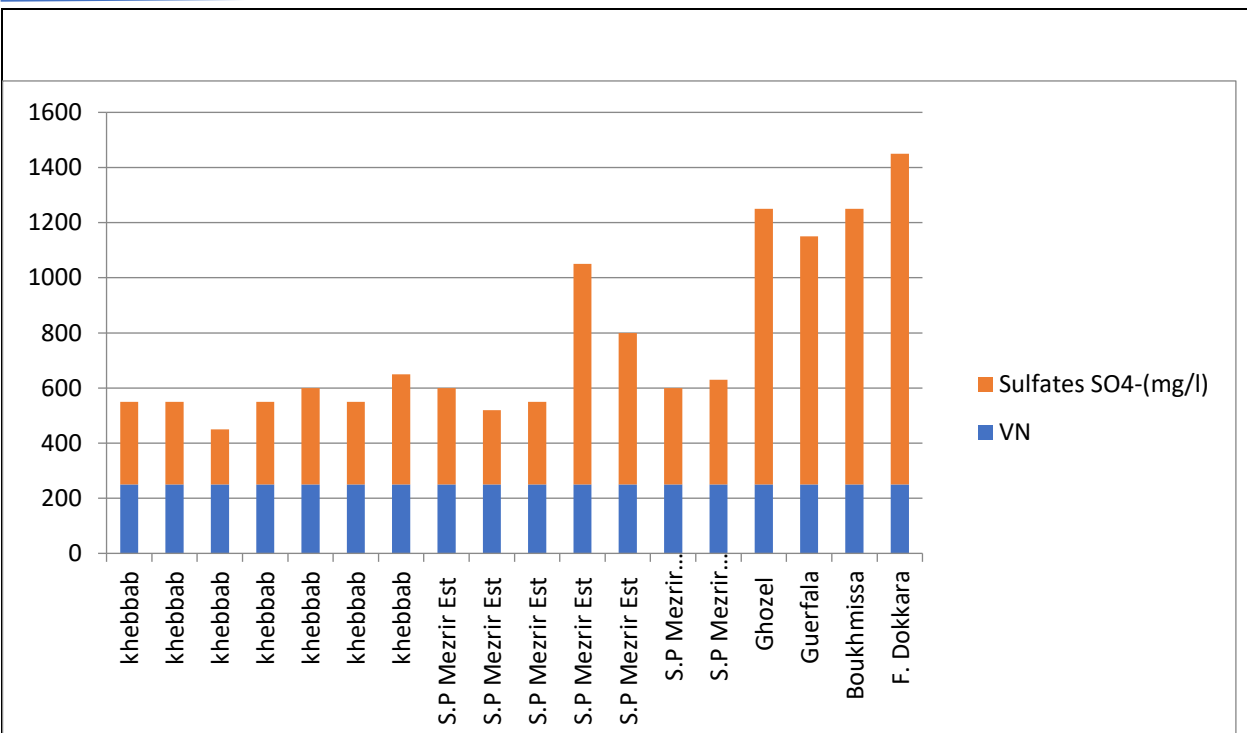


Figure 13. Représentation graphique des résultats d’analyse de Sulfates dans la région de M’sila.

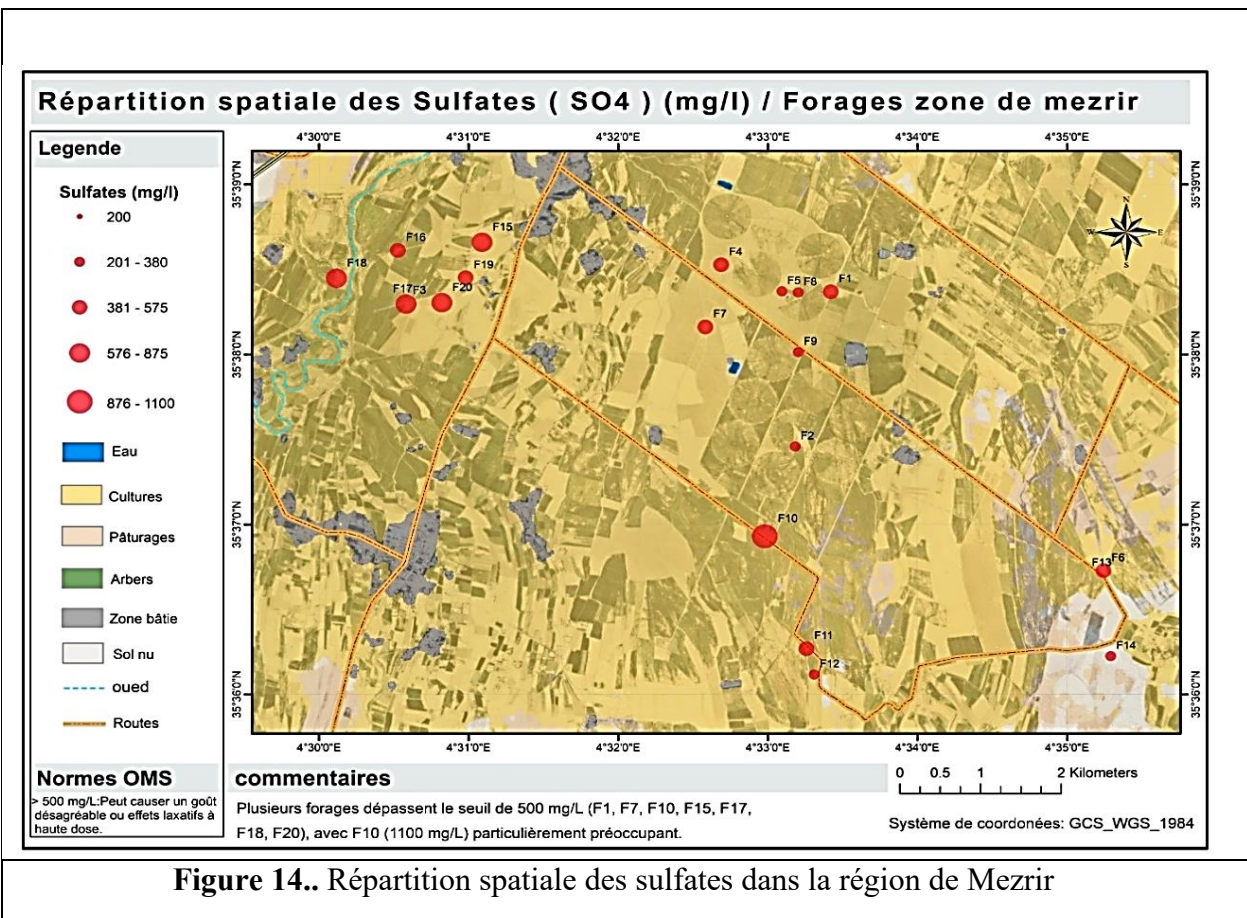


Figure 14.. Répartition spatiale des sulfates dans la région de Mezrir

Dans la région de Mezrir, plusieurs forages dépassent le seuil de 500 mg/l (F1, F7, F10, F15, F17, F18, F20) avec F10 (1100 mg/l) particulièrement préoccupant. 500 mg/l peut causer un goût désagréable ou effets laxatifs à haute dose. (Fig. 13)

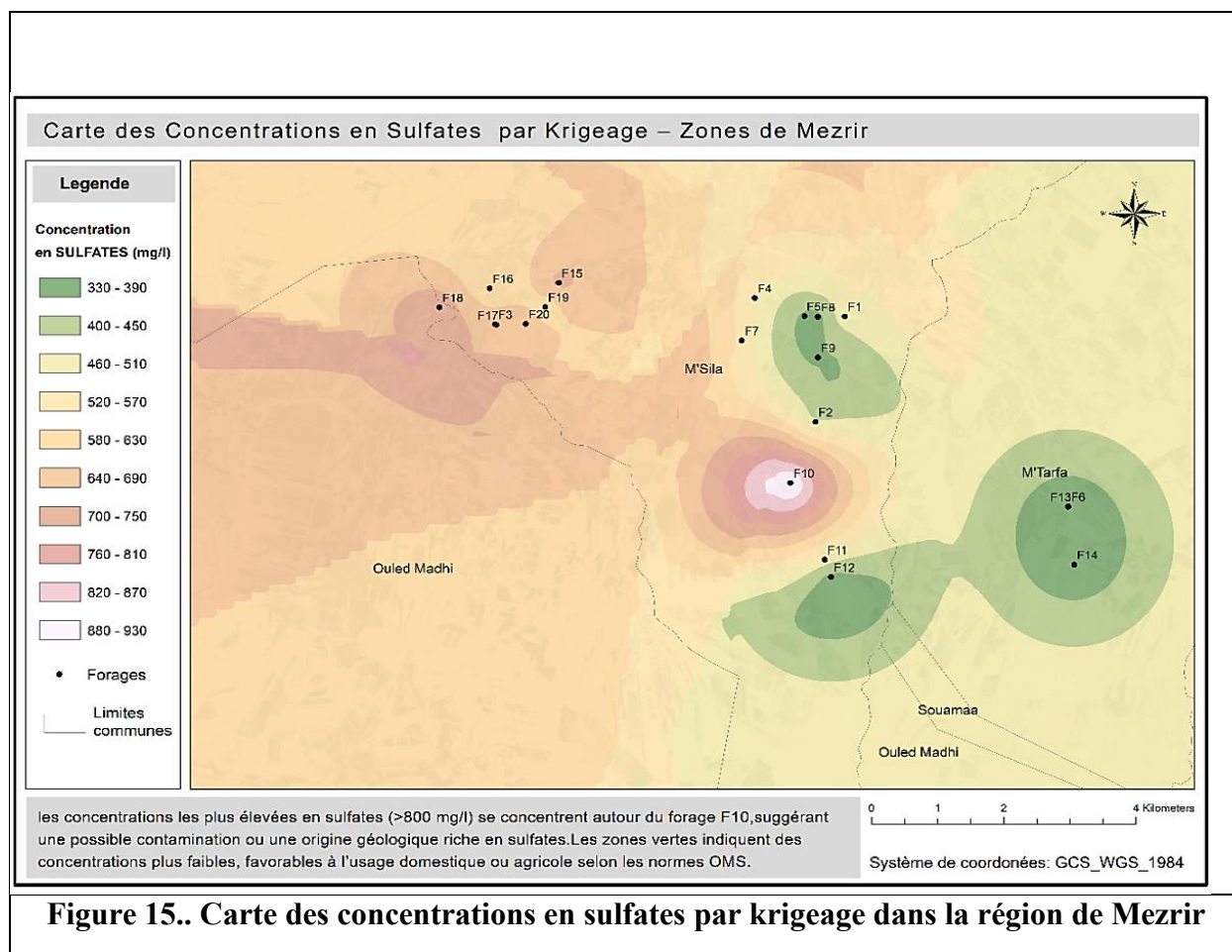


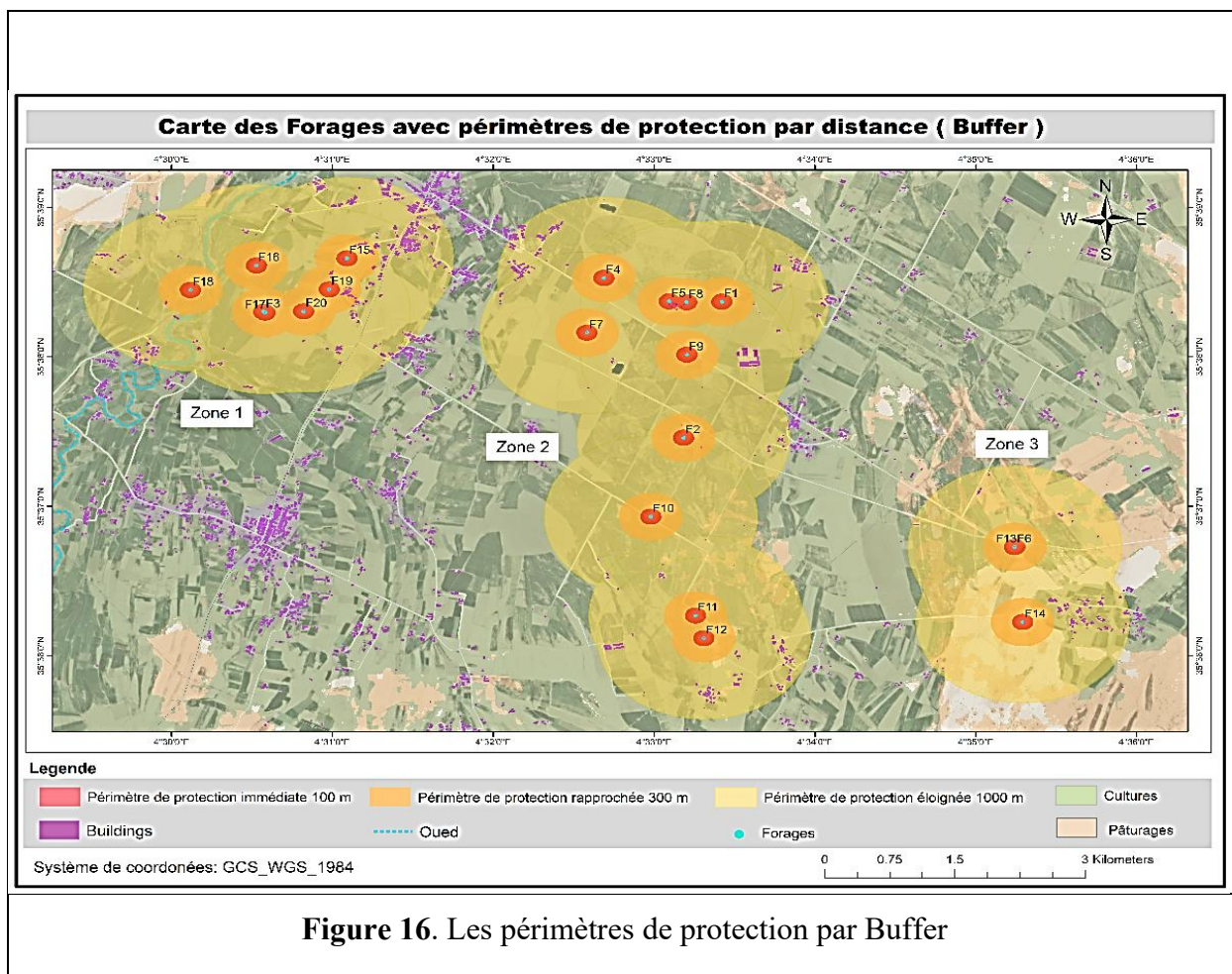
Figure 15.. Carte des concentrations en sulfates par krigeage dans la région de Mezrir

Les concentrations les plus élevées en sulfates (> 800 mg/l) se concentrent autour du forage F 10, suggérant une possible contamination ou une origine géologique riche en sulfate. (Fig. 14)

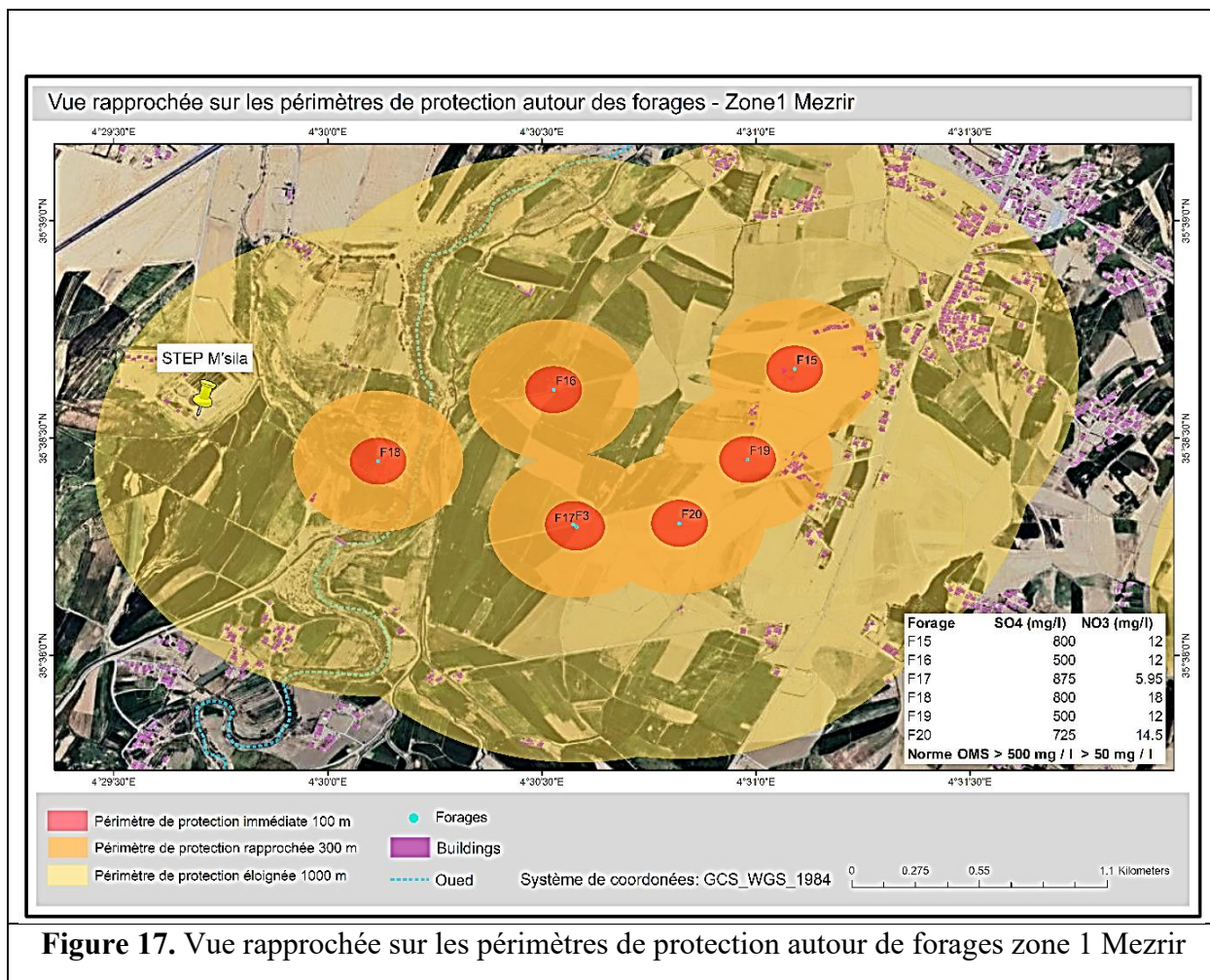
Les zones vertes indiquent des concentrations plus faibles, favorables à l'usage domestique ou agricole selon les normes OMS.

Les forages AEP de la région de M'sila sont agrégés en trois zones regroupant 7 forages pour la zone 1, 10 forages pour la zone mitoyenne et deux forages pour la troisième zone.

Selon la réglementation de l'eau, chaque forage dispose d'un périmètre qualitatif et quantitatif subdivisé en trois zones, immédiate, rapprochée et éloignée ; la réglementation établie clairement les activités et les installations permises et prohibées dans chaque zone de protection. (Fig. 15)



Les forages F3, F15, F16, F17, F18, F19, F20, se trouvent à proximité de la station d'épuration des eaux usées de la région de M'sila, (STEP), d'ailleurs celle-ci est incluse dans le périmètre de protection éloigné de ces forages, ce qui pourrait constituer une source de contamination de la nappe alimentant ces forages. Au surplus, deux oueds drainant la ville de M'sila et la zone industrielle de M'sila, traversent la zone de protection, ce qui pourrait également constituer une source de contamination. (Fig. 16)



Les forages F1, F4, F5, F7, F8 et F9 se trouvent dans un périmètre agricole dédié à la production fourragère et à l'élevage bovin, certains de ces forages sont très proches des hangars d'élevage et des dépôts de fumier, par ailleurs la production du fourrage et autres céréales nécessite l'apport en fumier et engrais minéraux et autres produits phytosanitaires. (Fig. 17)



Figure 18. Vue rapprochée sur les périmètres de protection autour de forages zone 2 Mezrir

IV.1.2 Caractéristiques des forages de la région de Bou Saada

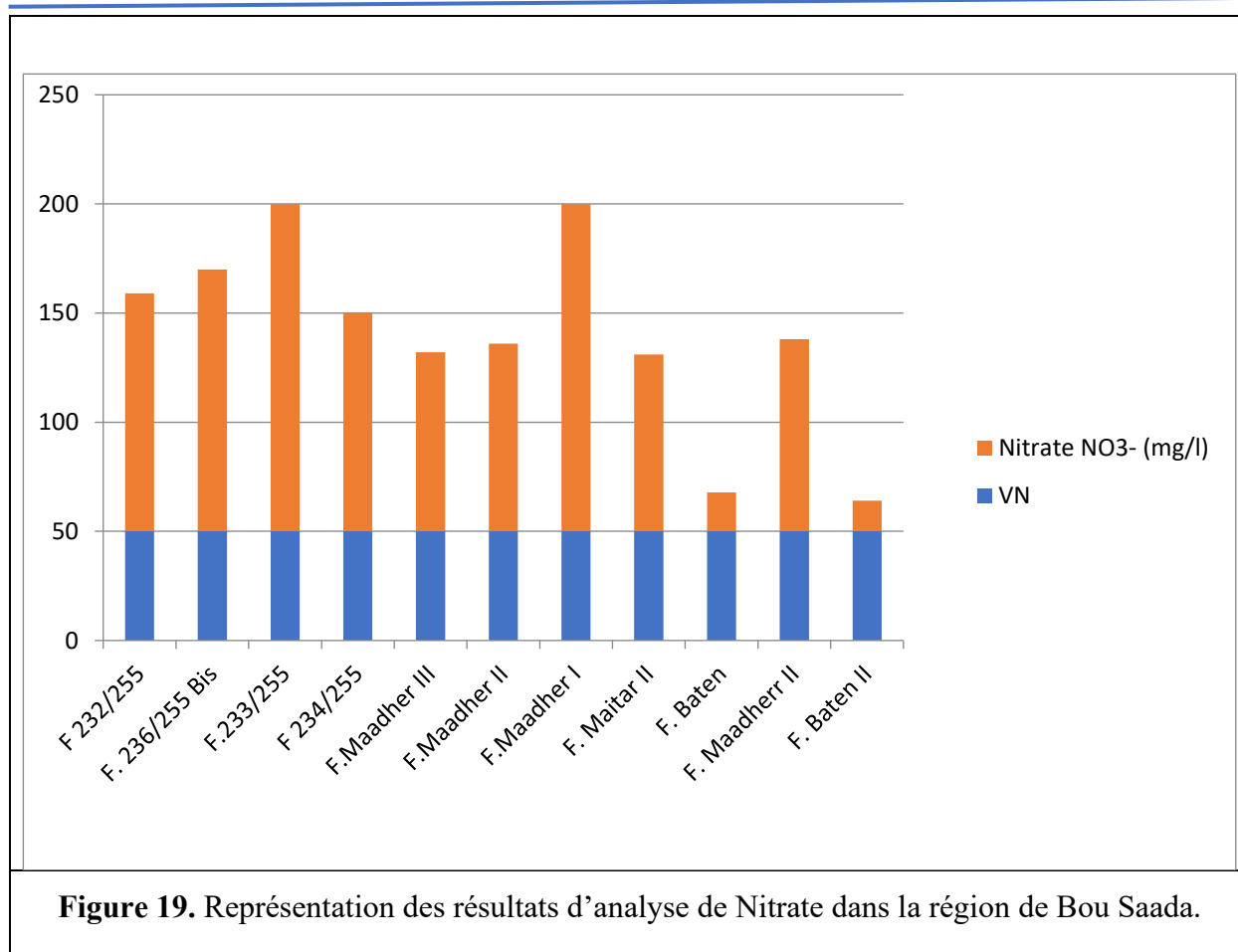
Le tableau suivant récapitule les résultats d’analyses (nitrates et sulfates) réalisés sur les forages de la région du Maader Bou Saada

Tableau 6. Caractéristiques des forages de la région de M'sila

ID	champ de captage	Forage	X	Y	Nitrate NO ₃ - (mg/l)	Sulfates SO ₄ - (mg/l)
1	Bou Saada	F 232/255	1109300	5694600	109	600
2	Bou Saada	F. 236/255 Bis	1089900	5687600	120	650
3	Bou Saada	F.233/255	1086800	5687000	150	800
4	Bou Saada	F 234/255	1089331	5690650	100	730
5	Forage Maadher III	F. Maadher III	1109365	5694630	82	600
6	Forage Maadher II:	F. Maadher II	1109365	5694630	86	500
7	Forage Maadher I:	F. Maadher I	1109186	5694630	150	800
8	Forage Maitar II	F. Maitar II	1095300	5686200	81	600
9	Forage Baten	F. Baten	1085250	5688350	17,9	390
10	Forage Maadher II Bis	F. Maadher II	1095350	5686185	88	600
11	Forage Baten II	F. Baten II	1085554	5688665	14	300

IV.1.2.1 Nitrates

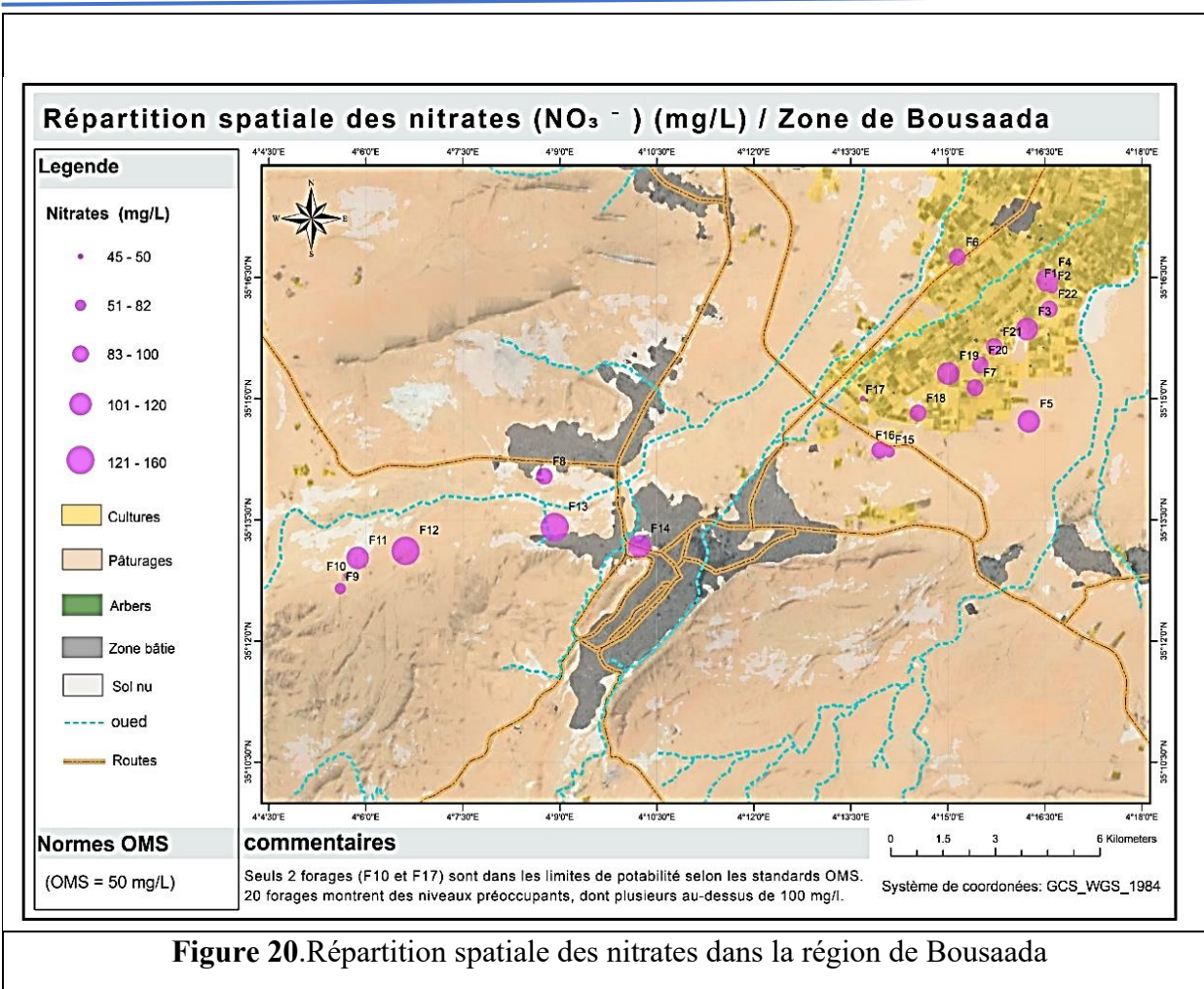
D'après les résultats d'analyses de la région de Bou Saada (Tab. 6), les valeurs des nitrates sont élevées dépassant les normes de l'OMS et 9 forages sur 11 dépassent de loin la valeur 50 mg/l, la valeur la plus élevée fut enregistrée au niveau du forage F.233/255 et celui du Maader (fig.18). Les autres forages présentent également des valeurs élevées de nitrates.



Tous les forages AEP de la région de Bou Saada, présentent des valeurs élevées en nitrates, aussi bien ceux localisés dans le périmètre agricole du Maader que ceux implantés en dehors du périmètre agricole, dans la région d'El Baten au nord ouest de Bou Saada et Maitar à l'ouest de Bou Saada

Il est à noter que tous les forages à fortes valeur en nitrates se situent dans le périmètre agricole du Maader, région de culture et d'élevage intensif. (Fig.19)

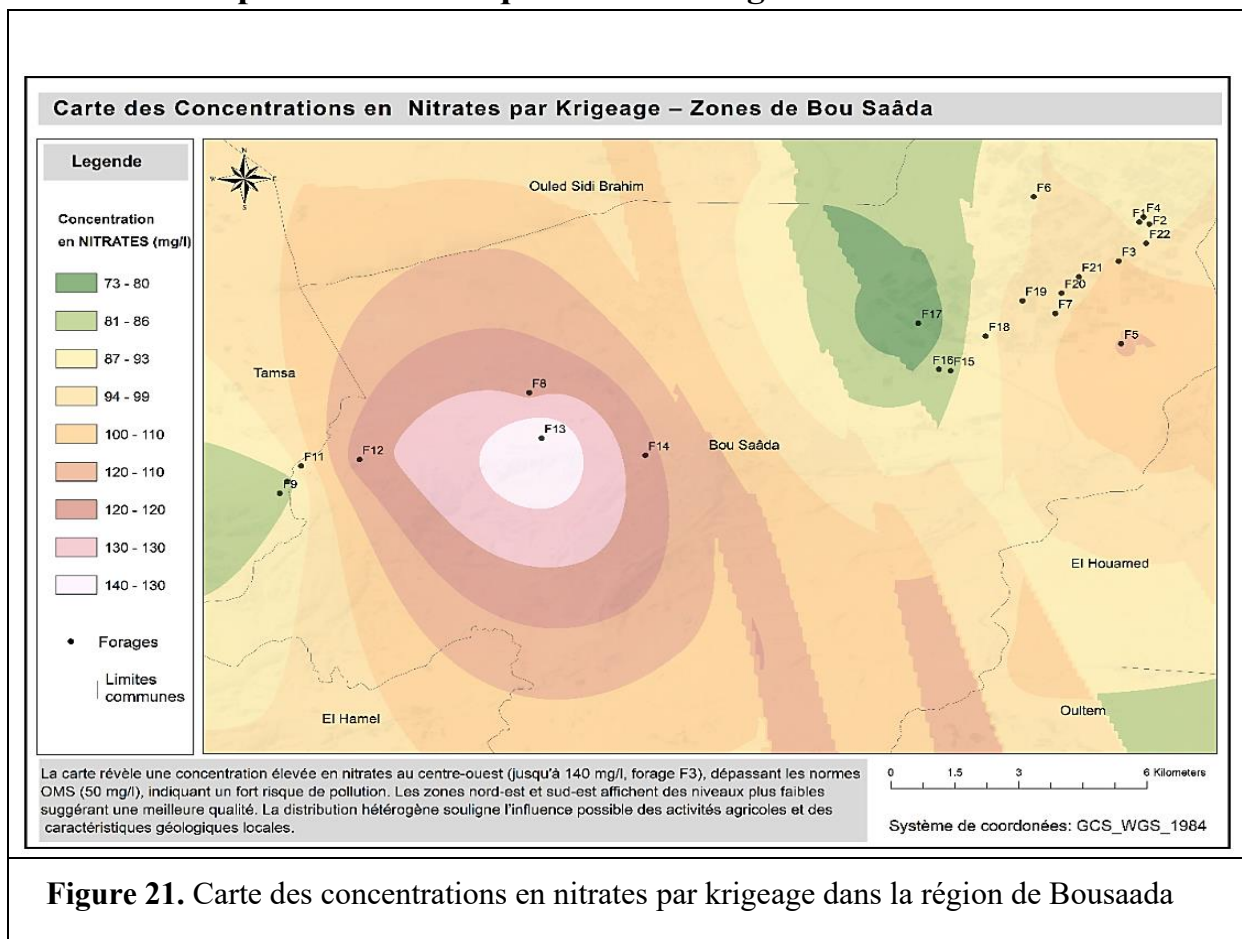
Seuls les forages (F10 et F17) sont dans les limites de potabilité selon les standards OMS, 20 forages montrent des niveaux préoccupants, dont plusieurs au-dessus de 100 mg/L.



Interpolation spatiale par krigeage des concentrations des nitrates de la région de Bou Saada

La carte révèle une concentration élevée en nitrates au centre –ouest (jusqu'à 140 mg/l, forage F3), dépassant les normes OMS (50 mg/l), indiquant un fort risque de pollution. Les zones nord-est et sud-est affichent des niveaux plus faibles suggérant une meilleure qualité. La distribution hétérogène souligne l'influence possible des activités agricoles et des caractéristiques géologiques locales. (Fig.20)

Périmètres de protection des aquifères de la région de Bou Saâda



Les forages F8, 13 et 14 se trouvent à proximité des zones urbaines susceptibles à des pollutions d'origine anthropique. (Fig.21)

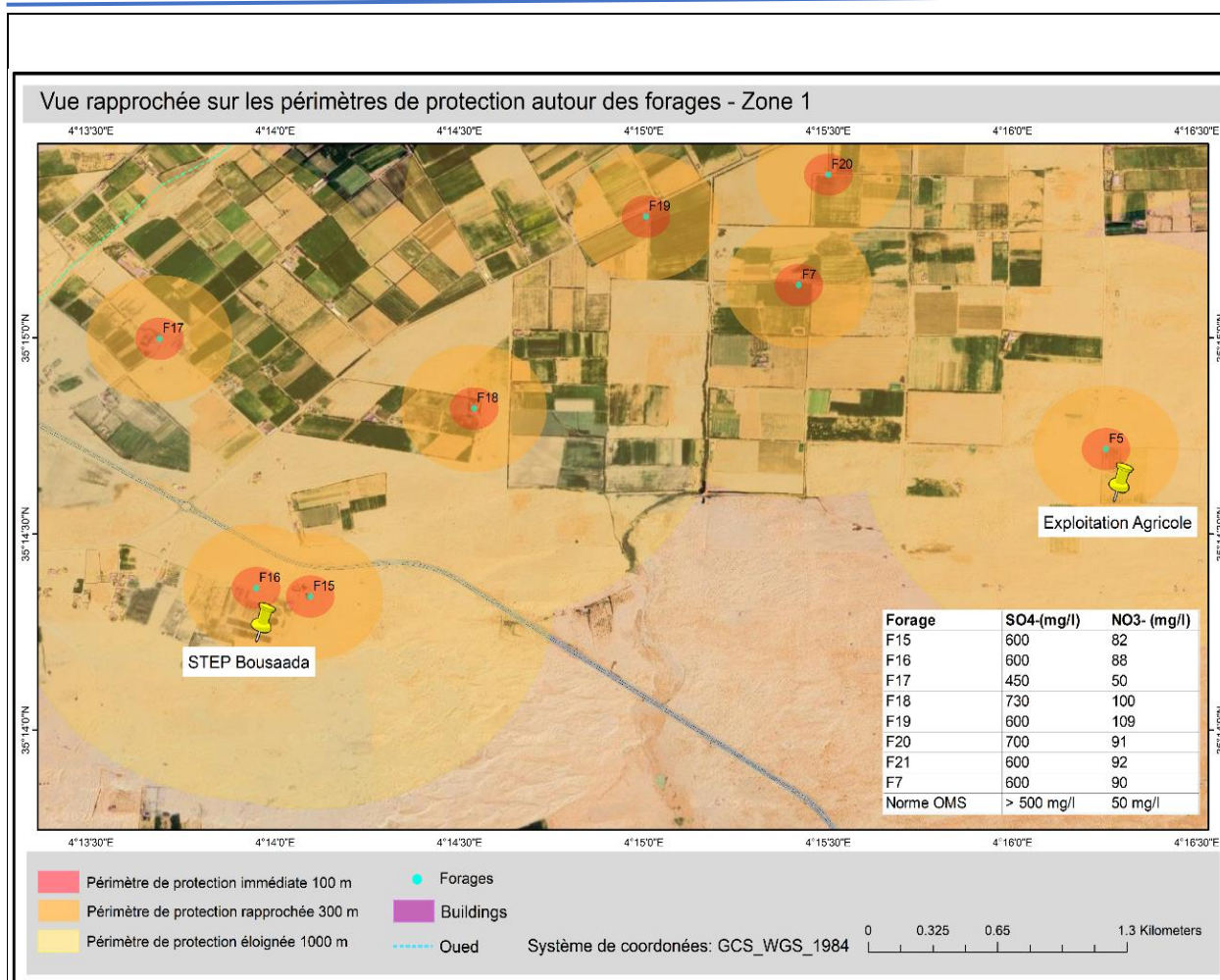
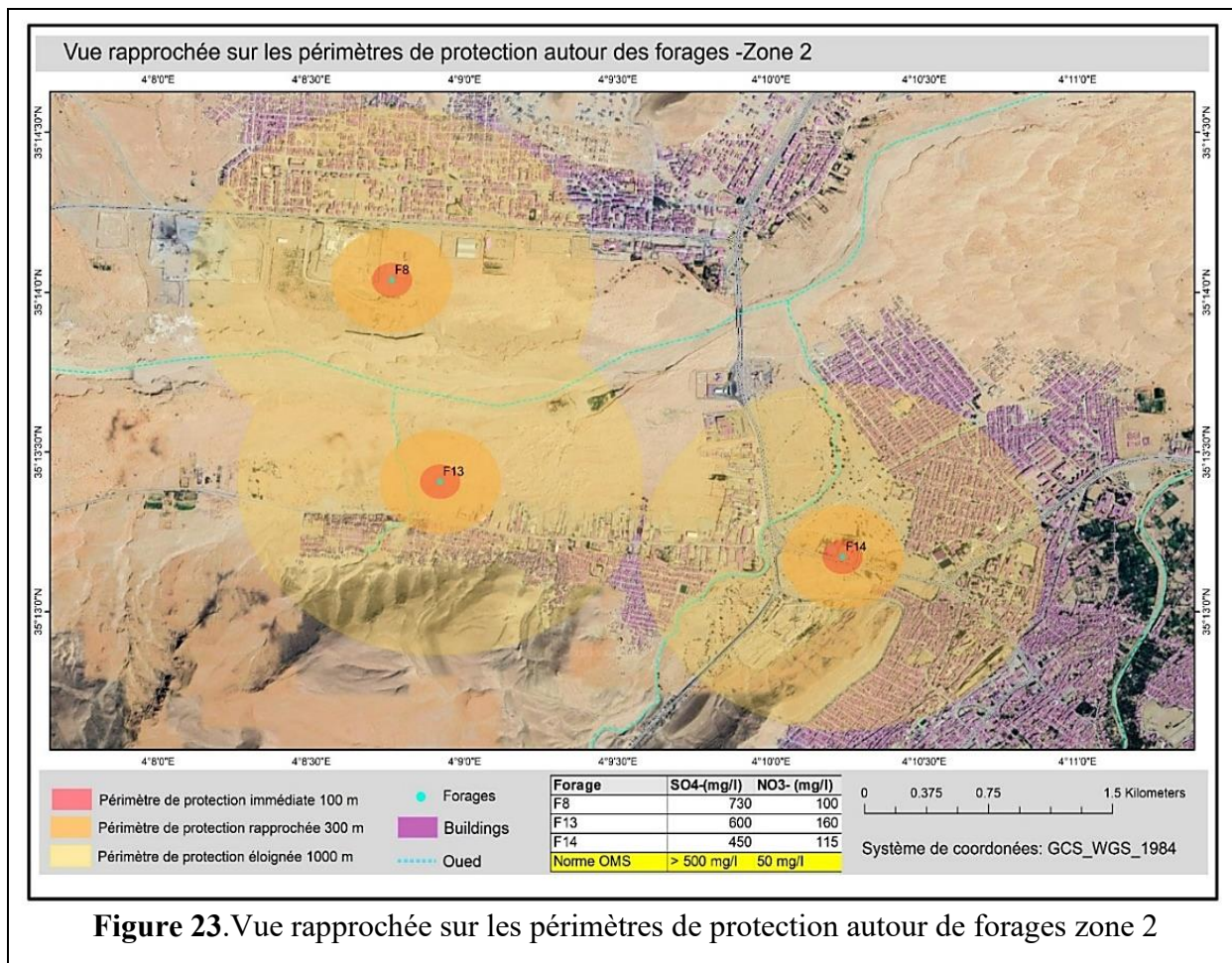


Figure 22. Vue rapprochée sur les périmètres de protection autour de forages zone 1

Les forages F15 et F16 sont très proches de la STEP de Bou Saada, ceci pourrait être une source de contamination majeur, aggravée une vulnérabilité géologique de la région (zone alluvionnaire)

Les autres forages F5, F7, F17, F18, F19 et F20 sont disséminés dans des périmètres agricoles où l'élevage et l'agriculture intensifs (Fig.22)



IV.1.2.2 Sulfates

En ce qui concerne les sulfates, tous les forages soit 11 contiennent des valeurs globalement au-dessus de la valeur normale qui est de 250 mg/l.

Seul le forage d'El Baten sort du lot avec une valeur de 300 mg/L, valeur proche celle de l'OMS avec 250 mg/L. (Fig.24)

Tous les forages de la région de Bou Saada contiennent des concentrations de sulfates supérieures à 250 mg/l, valeur guide de l'OMS, certains forages comme celui de Maader I en recèlent plus de 1000 mg/L

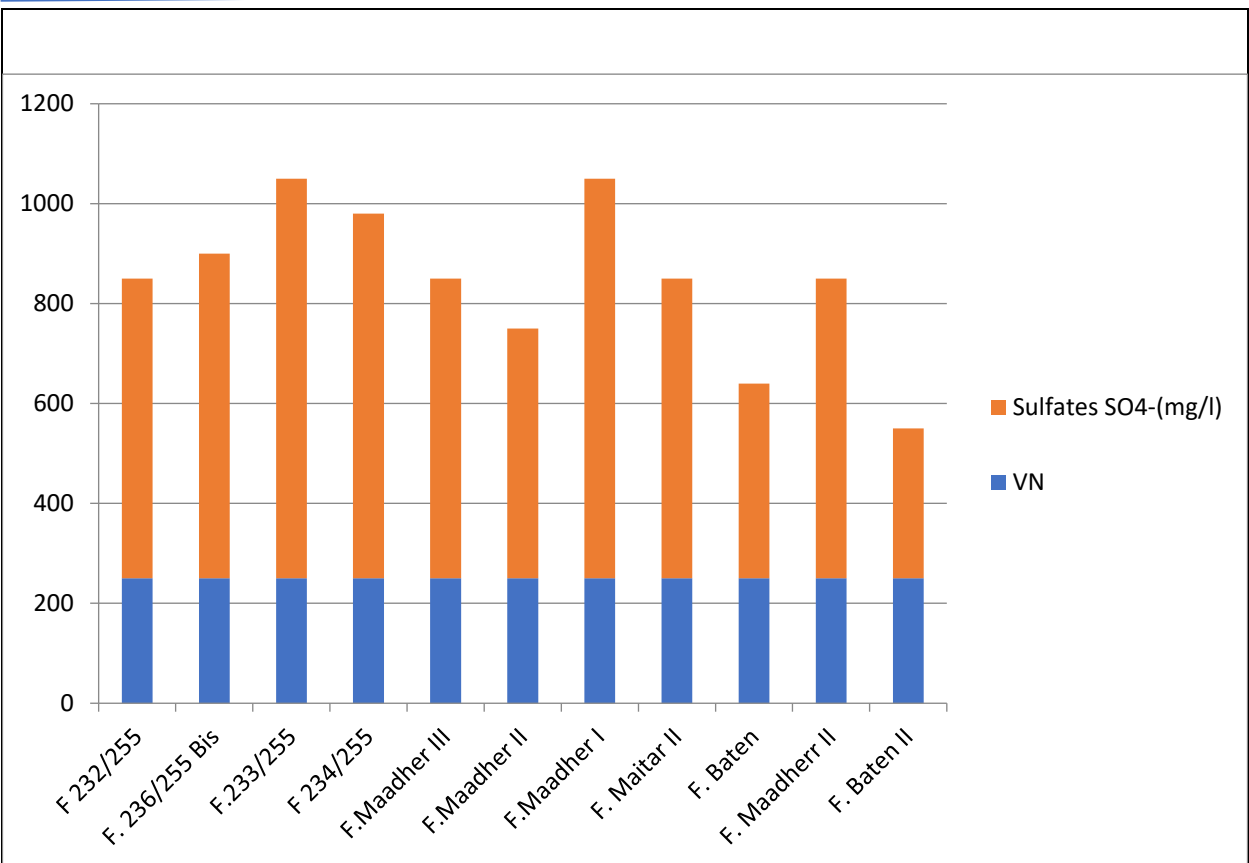


Figure 24. Représentation des résultats d’analyse de sulfates dans la région de Bou Saada.

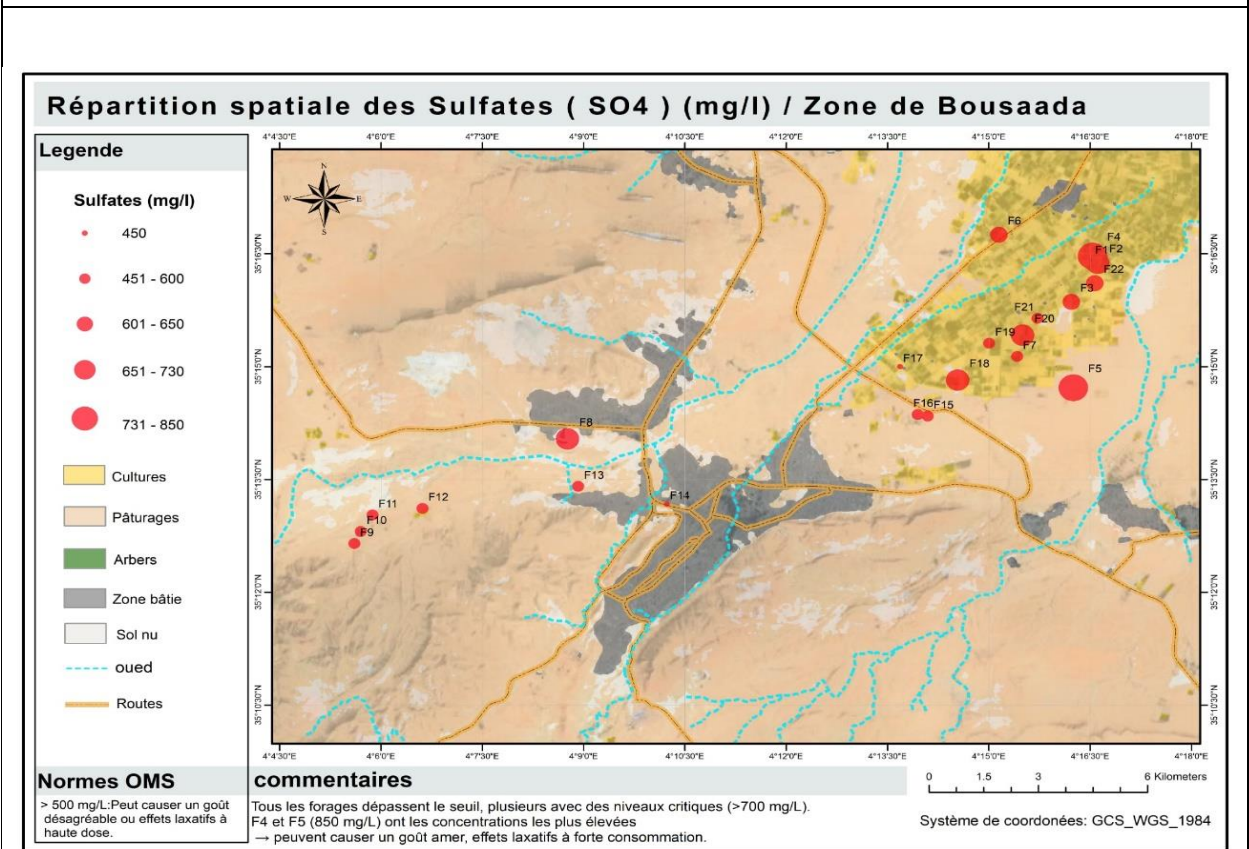


Figure 25. Interpolation spatiale des concentrations de sulfates de la région de Bou Saada par krigeage

Tous les forages dépassent le seuil fixé par l'OMS de 250 mg/L, plusieurs forages ont des concentrations de sulfates critiques (>700 mg/L), à noter qu'une concentration de 500 mg/L confère à l'eau un goût désagréable (amer) et des effets laxatifs. Les forages F4 et F5 (850 mg/L) ont les concentrations les plus élevées. (Fig.25)

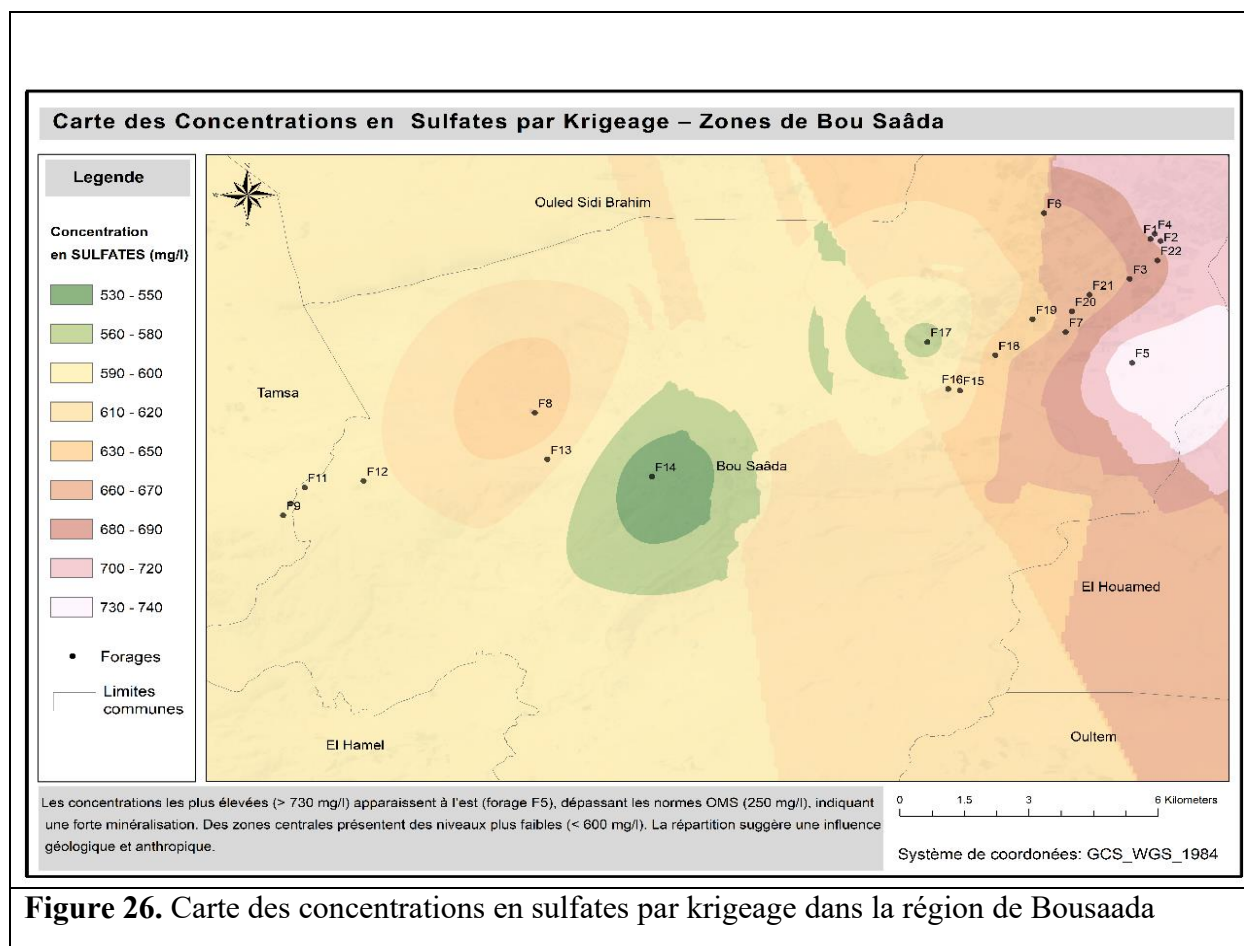


Figure 26. Carte des concentrations en sulfates par krigeage dans la région de Bousaada

Les concentrations les plus élevées (> 730 mg/L) apparaissent à l'Est de la ville de Bou Saada (forage F5), dépassant les normes OMS (250 mg/L), indiquant une forte minéralisation. Des zones centrales présentent des niveaux plus faibles (<600 mg/L). La répartition suggère une influence géologique et anthropique. (Fig.26)

IV.2 Analyse des causes principales de la pollution

Les concentrations élevées de sulfate dans les eaux souterraines proviennent de la dissolution des minéraux, des dépôts atmosphériques et d'autres sources géologiques. Le gypse contribue largement à la concentration élevée en sulfate dans nombreux aquifères. Les concentrations élevées de nitrates dans les eaux souterraines proviennent des facteurs anthropiques (activités agricoles, courses d'eaux usées avec les ressources en eau, ainsi que par la surexploitation des aquifères.

IV.3 Proposition de solutions et de recommandations

Il est nécessaire d'analyser et d'interpréter les paramètres de qualité de l'eau des données des échantillons d'eaux souterraines, et également de déterminer les types d'eau hydrochimiques, d'évaluer les critères de qualité de l'eau (potable) avec des processus hydro-géochimiques (dissolution de minéraux, réaction d'échange d'ions, pollution de l'eau). De plus, l'impact de la géologie et de l'utilisation des terres sur la qualité des eaux souterraines a été présenté dans la région de M'sila et Bousaada. La qualité des eaux souterraines de la région est largement influencée à la fois par les processus naturels (lithologie), l'état des ressources en eau de recharge (oueds, interaction avec d'autres types d'aquifères profonds) et par des facteurs anthropiques (activités agricoles, courses d'eaux usées avec les ressources en eau de l'oued), ainsi que par la surexploitation des aquifères.

Solutions techniques proposées

Utilisation de systèmes d'osmose inverse pour éliminer les nitrates et les sulfates.

- Filtres biologiques ou chimiques (bio-dénitrification, adsorption).
- Dessalement des zones contaminées
- Créer des zones tampons agricoles éloignées des puits d'eau.
- Interdire les rejets d'eaux usées près des zones de captage.
- Contrôler et réguler l'utilisation des engrais chimiques.
- Respecter des distances minimales entre puits et sources potentielles de pollution.
- Améliorer les réseaux d'assainissement en milieu rural.

Les périmètres de protection : Théoriquement, ils interdisent les activités polluantes près des :

Urbanisation anarchique.

Agriculture non régulée.

Pour une gestion durable, une approche intégrée est nécessaire :

• Technique :

Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation.

Dessalement des eaux saumâtres si accès à l'énergie solaire.

• Institutionnelle :

Renforcement des sanctions contre les pollueurs.

Sensibilisation des agriculteurs aux pratiques économes en eau (goutte-à-goutte).

- **Participative** : Impliquer les citoyens dans la surveillance des captages

Perspectives de recherche

Pour approfondir l'étude, il serait pertinent de :

Cartographier les zones critiques (qualité + quantité) via des outils SIG.

Analyser l'évolution temporelle.

CONCLUSION
CONCLUSION

Conclusion

En conclusion de notre étude, il apparaît que la wilaya de M'sila fait face à une double problématique liée à l'eau : une raréfaction de la ressource, due à une demande croissante pour l'alimentation en eau potable (AEP), expansion démographique, augmentant la demande en eau potable (AEP) et extension des surfaces irriguées, souvent dans un contexte de pratiques agricoles peu efficaces (irrigation gravitaire, cultures gourmandes en eau), ainsi qu'une dégradation inquiétante de sa qualité.

Les variations des paramètres qualitatifs s'expliquent par des facteurs intrinsèques, tels que la composition géologique des aquifères qui influence leur faciès chimique, rendant l'eau impropre à la consommation sans traitement. Dans les zones arides, l'évaporation concentre les sels dans les nappes phréatiques. Mais aussi par des facteurs extrinsèques, notamment la pollution environnementale, pollution agricole etc.

Bien que la législation en vigueur prévoit des périmètres de protection quantitative et qualitative, ceux-ci ne sont que rarement respectés sur le terrain.

RÉFÉRENCES
REFÉRENCES?

BIBLIOGRAPHIQUES
BIBLIOGRAPHIQUES?

Références bibliographiques

- A.S.W.M. (2014).** Annuaire Statistique de la wilaya de M'sila. 134p.
- AEE (2021).** L'état de l'environnement en Europe. Agence Européenne pour l'Environnement. <https://www.eea.europa.eu/fr>
- AGOUNE H, Safer A. (2007).** – Etude de l'état de l'environnement d'Oued K'sob de la région de Bourdj Bou Arreridj (Qualité de l'eau – flore et faune), Mémoire d'ingénieur, Univ de M'sila, 79p.
- Ahmed, F., El Houda, B. N., Mostafa, D., Tahar, S., Abdessamed, O. M., & Ali, H. (2022).** Spatio-temporal assessment of groundwater quality: a case study of M'sila province (Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(24), 1775.
- Aissaoui DM (1989)** Upper Jurassic paleogeography south of Chott El Hodna. Algeria J Afr Earth Sci 9(3/4):413–420. [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(89\)90025-0](https://doi.org/10.1016/0899-5362(89)90025-0)(inFrench)
- Alther GA (1979)** A simplified statistical sequenc
- Alouane, H., (2012).**, Evaluation icole; Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Mémoire de Magister, Gestion des déchets: Évaluation
- AMROUNE A et Mettai M, 2000.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de
- AMROUNE A, 2008.** Etude de l'apport hydrochimique dans la connaissance du fonctionnement de la nappe alluviale de la région nord du Hodna (Sud-Est algérien), Thèse doctorat, Université Mustapha Benboulaïd Batna 2.
- ANRH (2006)** Modeling of the Hodna aquifer. Mission I: data collection, analysis and synthesis. Technical report, Agence nationale des ressources hydrauliques, Algérie (in French)
- ANRH (2007)** Modelling of the Hodna aquifer, Mission III model exploitation. Sub-Mission III 2 predictive simulation and proposal for optimum management of water resources. Technical report Icosium forage and engineering services. Ministry of Water Resources, Algeria (in French)
- Beauchamp, J., & Verne, J. (2006).** Qualité et pollution des eaux souterraines. Université de Picardie Jules Verne.
- Belghiti ML, Chahlaoui A, Bengoumid D et Elmouqtainer R, 2013.** Etude de la quantité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio- Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larrhyss journal, n° 14, Juin 2013, pp.21-36.

- Belkhir L**, Boudoukha A et Mouni L, 2011. A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data. *International Journal of Environmental Research* 5(2): 537-544.
- Bellaredj**, 2013. Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'sila (Algérie, Nord-Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées et modélisation géochimique (Université d'Oran) Mémoire majister.
- Ben Magri**. (2013). Diagnostic du phénomène de désertification au Nord de wilaya de M'sila (commune de M'sila) et proposition d'action de lutte. Mémoire master de recherche. Gestion de l'Environnement. Msila. Université de M'sila,82p.
- Benabderrahmane A**, 1988. Numerical simulations of salt pollution of an aquifer system in a semiarid to arid -Sample aquifer systems of the plain of M'Sila- (Hodna, Algeria), PhD thesis, UFR Applied Geology. Franche Comte. France. <https://sudoc.fr>
- Bengouga, K**. Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides. 2010. Thèse de doctorat. Université Moha-Med Khider Biskra.
- Benmoussa A.**, Wafik A., Abdsamad N. & Khrmouch S. (2023). Nouvelle Approche d'Etude de la Vulnérabilité à la Pollution des Eaux Souterraines : Cas de la Nappe Mio-Plio Quaternaire du Bassin du Tadla (Maroc). *European Scientific Journal, ESJ*, 19 (40), 49.
- Blancher, G**. (1972). Abrégé de médecine préventive et d'hygiène. Paris : Masson.
- Bonnin, J**, Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Eyrolles. P : 23-24-, 1982.
- Boudiaf B**, Dabanli I, Boutaghane H, S, en Z (2020) Temperature and precipitation risk assessment under climate change effect in Northeast Algeria. *Earth Syst Environ* 4(1) :1–14. <https://doi.org/10.1007/s41748-019-00136-7>
- Boulding, J.R**. (1995) Practical Handbook of Soil, Vadose Zone and Groundwater Contamination; Assessment, Prevention and Remediation. Lewis Publishers, Boca Raton, FL Boussaâda. Mémoire d'ingénieur, université Constantine, 196p.
- Bouziani, M**. (2000). Pollution de l'eau : Problématique et enjeux. Publications universitaires.
- BRGM**, "Les eaux souterraines en France : état et pressions", 2021. Site : www.brgm.fr
- Burrough, P. A**. (1986). Principles of geographical. Information systems for land resource assessment. Clarendon Press, Oxford.
- C.F.W.M**. (2000). – Fiche descriptive sur les zones humides RAMSAR (Chott El-Hodna de M'Sila). Pp 05, 03, 13, 14, 15,16.

- Charif N. Mokhtari S. Lamara M**, 2022, SIG pour l'analyse hydrologique des eaux superficielles dans un bassin versant du Hodna. (Sous - bassin versant d'Oued Soubella-Algérie).
- Collin J.J.**, (2004). Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN.
- Collins, W. D.** (1925). Temperature of water available for industrial use in the United States: Chapter F in Contributions to the hydrology of the United States, 1923-1924 (No. 520-F, pp. 97-104). US Government Printing Office.
- Cude, C.G.**, 2001. Oregon water quality index: A tool for water quality assessment. Oregon Department of Environmental Quality, Salem, Oregon.
- D. Rouault**, Hydrogéologie appliquée, Éditions Dunod, 2018.
- Davis, S. N., & DeWiest, R. J. M.** (1966). Hydrogeology John Wiley Sons New York NY.
- Degrémont, G.**, Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ième} édition, Edit. Tec et doc, pp 3-38., 2005.
- Dehbi, F Z.** Etude comparative des performances d'un lit bactérien à Garnissage en pouzzolane de Beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique. 2015. Thèse de doctorat.
- Dib I.**, (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydrotechnique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p
- Djemaci, H.** (2006). Les ressources en eau en Algérie : contraintes et perspectives. Hydrogeology Journal, 14(1-2), 199-206.
- Domenico, P. A., & Schwartz, F. W.** (1998). Physical and Chemical Hydrogeology (2nd ed.). New York: Wiley. ISBN: 978-0-471-59762-7 528 p.
- El-Yamine, GUERGUEB.** (2016). Importance des zones humides des hauts plateaux centraux de l'Algérie pour l'avifaune aquatique : cas du Chott El-Hodna (wilaya de M'sila) (Doctoral dissertation).
- Emberger.J.** (1964). Notice explicative de la carte géologique – bou saada. Serv.Géol. De l'Algerie. Alger.
- FAO** (2011). L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture (SOLAW). Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Fiambach H.B.**, (1998). Change from chlorine residual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system, Water supply, Vol 6, N°3/4, Germany, PP: 145-152.

- Foster, S. S. D., & Chilton, P. J. (2003).** *Groundwater : The processes and global significance of aquifer degradation. Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 358(1440), 1957–1972.
- Foster, S., & MacDonald, A. (2019).** *The role of groundwater in achieving Sustainable Development Goals*. Hydrogeology Journal.
- France Nature Environnement. (2023).** La lettre EAU – N°88, Été 2023. France Nature Environnement. Consulté sur <https://www.fne.asso.fr>.
- Geller W, Friese K, Herzsprung P, Kringel R and Schultze M, 2000.** Limnology of sulphuric mining lakes. II Chemical properties: The main constituents and buffering systems. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27: 2475–2479.
- Ghazali, D, Zaid. A., (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI (région de MEKNES –MAROC), Larhyss Journal, N° 12, Janvier 2013, PP : 25-36
- Gherara, Nabila.** Étude des performances de la d'épuration des eaux usées de la région HAUD BERKAOUI. 2019. Thèse de doctorat.
- Ghibli, M. S., & Eocene, M. B. (2008).** ORIGINE DE LA SALINITE DES EAUX SOUTERRAINES DES HAUTES PLAINES SETIFIENNES (NORD EST ALGERIEN). *Sciences & Technology. A, exacts sciences*, 37-46.
- Gold, A. J. (2002).** Riparian buffer zones : Functions and recommended widths. University of Rhode Island Cooperative Extension.
- Guide SIG. (2010).** Portail Territoire-Région Rhône-Alpes - 8-9pp
- Guiraud R (1970)** Quaternary morphogenesis of the Hodna region (Northern Algeria). *Ann Geogr* 79(433):367–374 (in French)
- Hasbaia M, SEDDI A, BOURNANE A, HEDJAZI A & PAQUIER A. (2012).** – Study Of the Water and Sediment Yields of Hodna Basin in The Centre of Algeria, Examination of Their
- Hem, J. D. (1970).** Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (No. 1473). US Government Printing Office.
- Hmidi. N et Hamza. A,** Étude géochimique de la pollution organique et minérale des eaux souterraines du complexe Terminale (CT) de la cuvette d'Ouargla. P22. 2016/2017.
<http://fr.wikipedia.org>.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n40p49>

<https://interieur.gov.dz/Monographie/index.php?wil=28>

<https://www.lemonde.fr>

Igor Blindu, Op cit,20 p.

Impacts. ICSE6 Paris - August 27-31, 2012.

JEAN M, FRANCO P. (1995). - Documents phytosociologiques Vol .15. pp 394-401.

JORA; 2011, Journal Officiel de la République Algérienne (JORA)., (2011). Décret exécutif n° 11 - 125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger, Al.

Khachachi N. Mira. A. 2022, Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région de Boussaâda (M'Sila, Algérie). Master Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

Konikow, L. and Patten Jr., E. (1985) Groundwater Forecasting. In : Anderson, M.G. And Burt, T.P., Eds., Hydrological Forecasting, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.

Kouadri, S. (2022). Etude hydro-chimique et modélisation de la qualité des eaux souterraines (Cas de la Wilaya d'ILLIZI) (Doctoral dissertation, Université KASDI-MERBAH Ouargla).

Lakhdari, B. Etude de la pollution chimique des eaux souterraines (cas des Nitrates) de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla, mémoire Ing, université d'Ouargla, 2008.

Mahamat, B. et Beskri, A., 2010, Caractéristique physico-chimique des eaux souterraines dans la plaine de Khemis Miliana, Mémoire fin d'étude master. Centre université de Khemis Miliana.

Manceur, A., & Djaballah, Y. (2016). L'eau en Algérie : Enjeux et perspectives. Alger : Office des Publications Universitaires.

Mandard, S. (2023, 2 février). *Moins de nitrates dans l'eau, une vraie course de fond*. Le Monde.

Margat, J., & van der Gun, J. (2013). *Groundwater around the world : A geographic synopsis*. CRC Press.

Mebarki, A., (1982). Le bassin du kebir, ressources en eaux et aménagement en Algérie, thèse doctorat 3ème cycle, université de Nancy II, p303

Mercier, J., 2000. Le grand livre de l'eau. Edition: La reconnaissance du livre. Collecte art de vivre. 91p.

- Merzoug A.** (2008) – Comportement diurne du Canard chipeau *Anas strepera* et de la Foulque macroule *Fulica atra* hivernant à Garaet Hadj Tahar (Wilaya de Skikda). Mémoire de Magister, Université de Guelma. 100p.
- Messad A & Moussai B.** (2015). – Effect of water salinity on atterberg limits of El-Hodna. *Bu Il Eng Geol Environ*. DOI 10.1007/s10064-015-0733-x.
- Metahri, Mohammed Saïd.** Elimination simultanée de la pollution azotée et Phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville De Tizi Ouzou. 2012. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- MICLAT** (Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire). (2022). Rapport sur l'aménagement du territoire de la wilaya de M'Sila. Alger : MICLAT.
- Mimoune S.** (1995). – Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique d'Algérie (sud du chott El Hodna). Thèse de Doc. Univ. D'Aix Marseille I. 204p.
- Molinie, L.** Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées, *Agro Paris Tech, Montpellier Cedex 4*, 7p., 2009.
- Mourey, V., & Vernoux, J.** (2000). Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile-de-France. In *Annales des mines* (pp. 32-40).
- Nouayti N, Khattach D et Hilali M,** 2015. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux souterraines des nappes du Jurassiques du haut bassin de Ziz (haut Atlas central, Maroc), *Journal of Materials and Environmental Science* 6(4) (2015) 1068-1081.
- Oliveira, J. C. de, Maia, K. P., & Decastro, N. L.** (2019). Water treatment and environmental quality : An integrated approach. *Environmental Science Journal*, 12(3), 145–158.
- OMS**, (2004), *Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3rd Ed.*, World Health Organization, Geneva.
- OMS**, Organisation Mondiale de la Santé (2022), "Lignes directrices pour la qualité de l'eau potable", Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p.
- Organisation météorologique mondiale (OMM)** (2022). *State of Global Water Resources Report 2021*.
- Pennequin, D.** (2000). Transfert des contaminants dans le sous-sol saturé: principaux mecanismes en jeu et modélisation mathématique ou numérique adaptée. *La Houille Blanche*, 86(6), 67-73.

- PNUD**, (2009). Programme des Nations Unies pour le développement, Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie, 07 Mars, Rapport Algérie/ONU.
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., ... & Zurek, M. B.** (2005). Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press.
- Remini, B.** (2006). Problématique de la gestion des ressources en eau en Algérie. *Revue des Sciences de l'Eau*, 19(1), 45-52.
- Renard, P.** (2015). Hydraulics of groundwater flow in heterogeneous aquifers: Recent advances and current challenges. *Hydrogeology Journal*, 23(2), 215–228. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1184-3>
- Rezeg R. 2020**, Étude Hydrogéochimique de la Pollution Minérale des Eaux Souterraines du Complexe Terminale (CT) de la Région de Ouargla Sud-Est Algérien. Université Ouargla.
- Rodier J**, Legube B et Merlet N, 2009. L'analyse de l'eau. : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 9ème édition, Dunod, Paris, France.
- Rodier J.**, 2005., L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8ième édition : Dunod, Paris
- Rodier, J.** L'analyse de l'eau, Paris, 1984, pp 3-11.
- Saiyouri A** ; 2012- Méthode d'irrigation en milieu aride (projet d'eau 2012), pp 4-7 Sciences et des arts, paris, PP : 27-49.
- SEVESC**, 2013, Service de l'Eau (SEVESC). Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C.** (1999). Eutrophication : impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1–3), 179–196.
- Talabi, A. O., & Kayode, T. J.** (2019). Groundwater pollution and remediation. *Journal of Water Resource and Protection*, 11(1), 1–19. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.111001>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J.** (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133–164.
- UNESCO** (2022). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau : les eaux souterraines – Rendre visible l'invisible. Paris : UNESCO.

- UNESCO** (2023). *Groundwater : Making the Invisible Visible*. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau.
- UNICEF**, (1999). Manuel sur l'eau, N°2, PP : 42-43.
- Vierling, L.** (2003). Pollution des eaux de surface et gestion durable. Paris : Éditions Techniques.
- Walker, R.** (1978). Water supply, treatment and distribution. Prentice-Hall.

ANNEXES
ANNEXES

Annexes

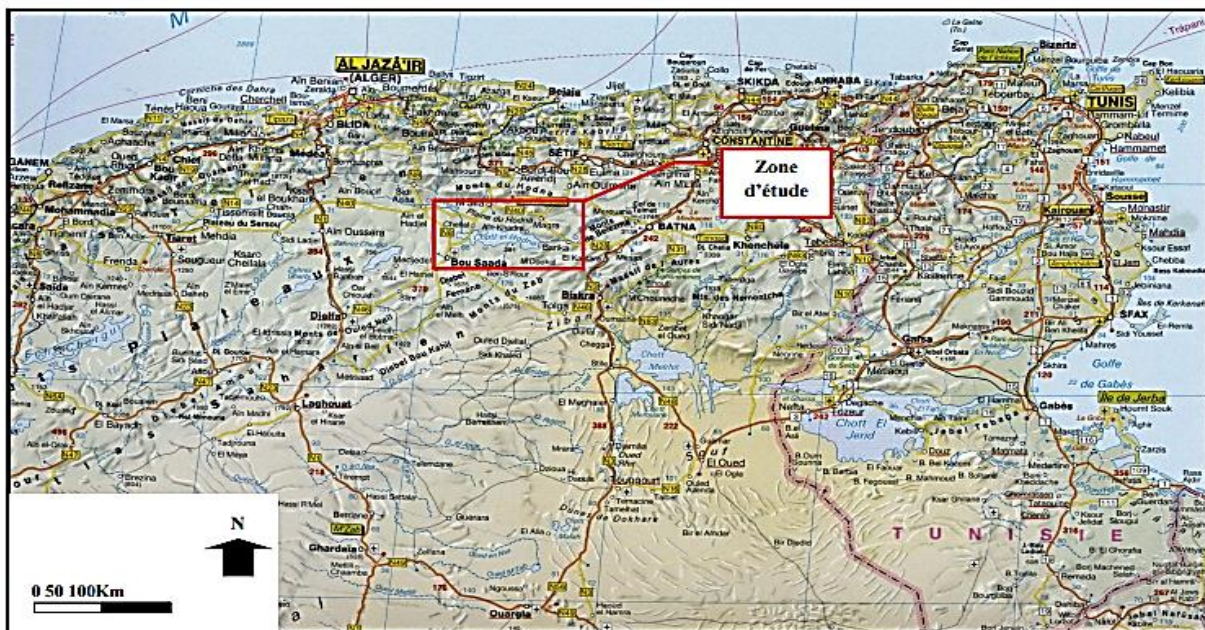


FIG . Principales zones humides d’Afrique du Nord et situation du Chott El-Hodna (Maigler, 1999).

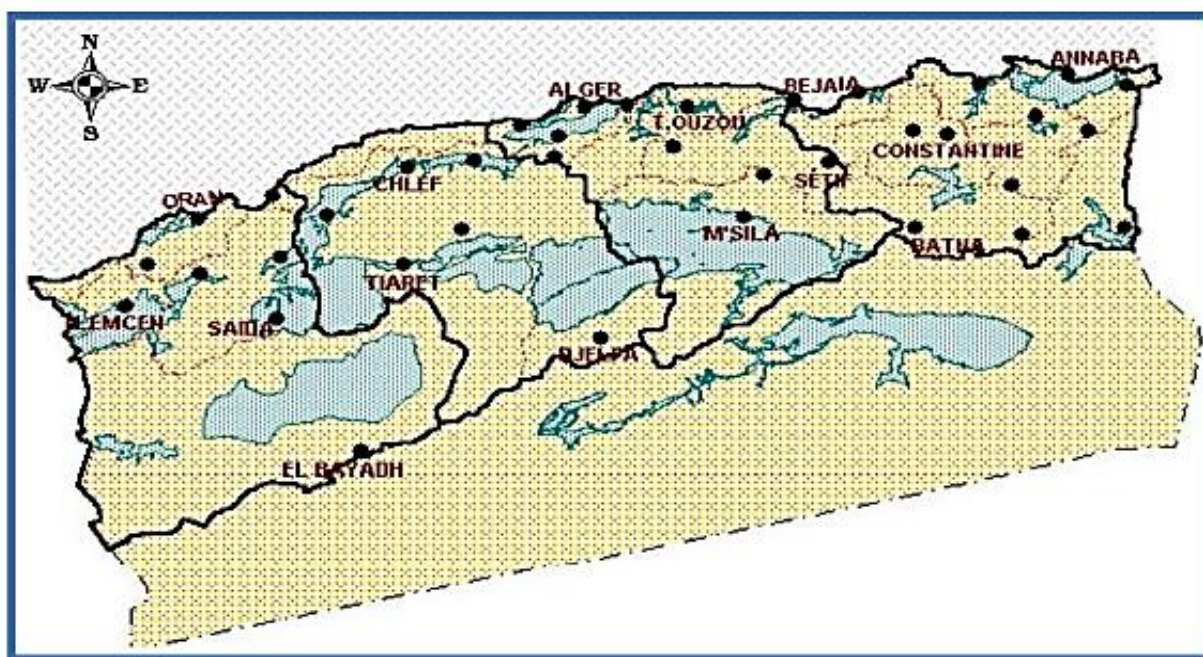


FIG. Ressources en eau souterraine dans l’Algérie du Nord



Photo. Oude Baniu « Al-Sabkha »

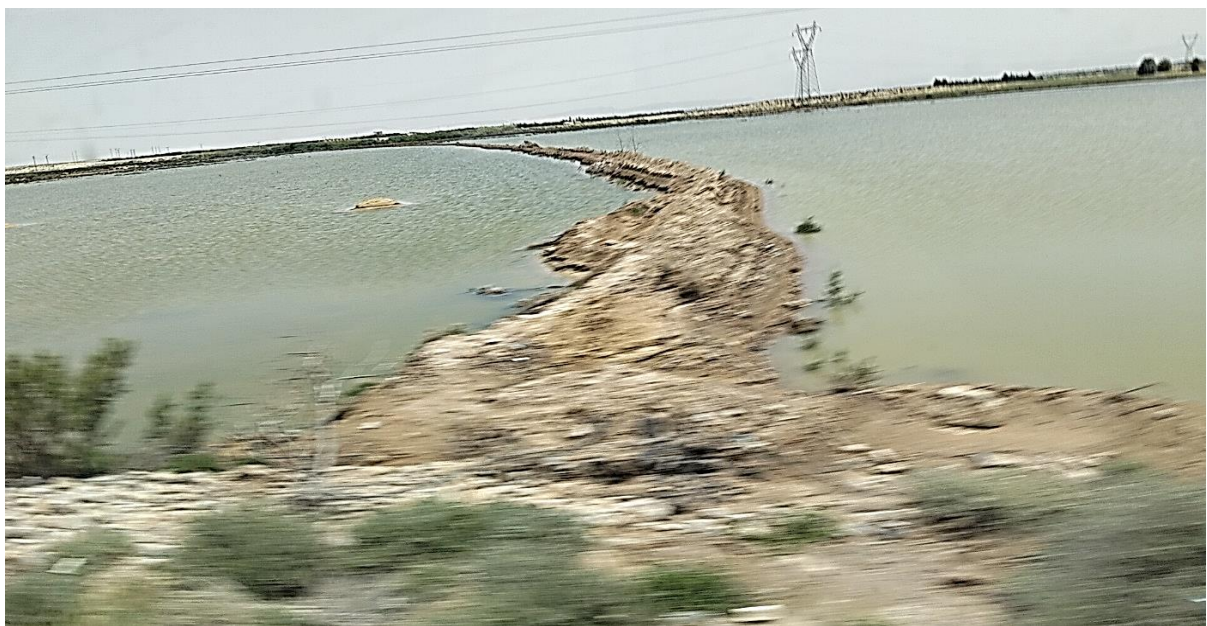


Photo. Oude Baniu « Al-Sabkha »

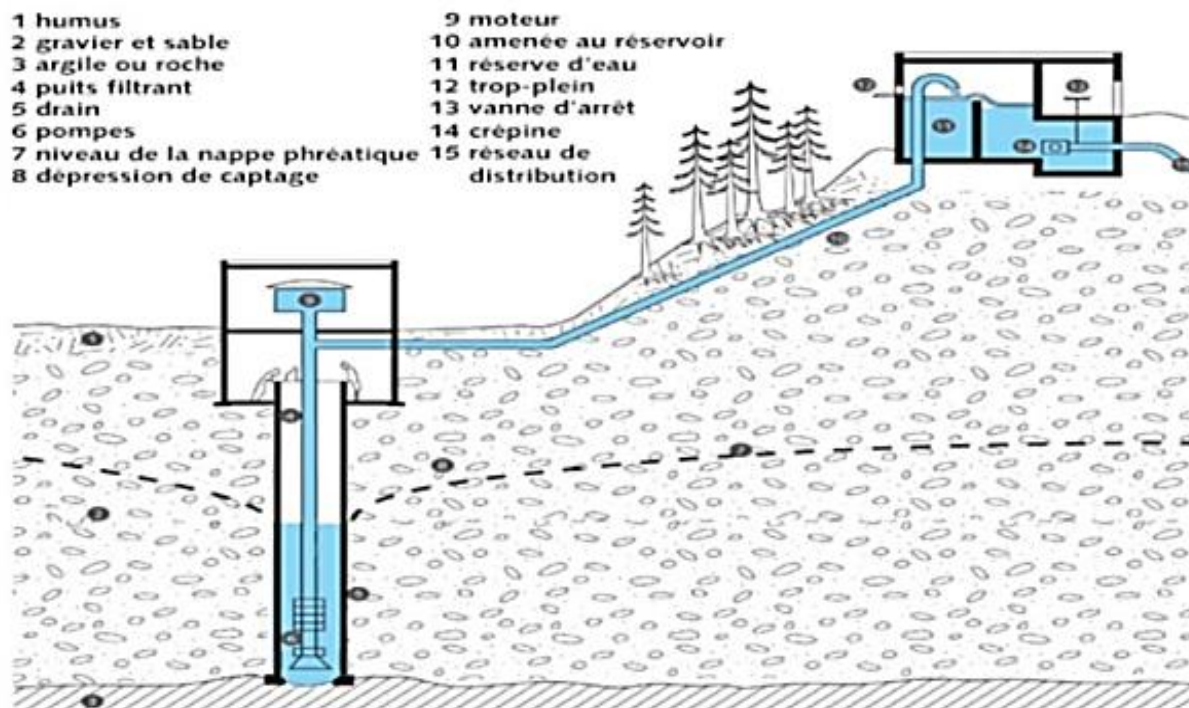


Schéma d'un système de captage et de distribution des eaux souterraines. (Igor ,.)

(1. Humus: couche organique de surface riche en matières végétales- 2. Gravier et sable: couches perméables facilitant l'infiltration de l'eau- 3. Argile ou roche: couche imperméable limitant l'infiltration- 4. Puits filtrant: structure permettant l'entrée de l'eau souterraine- 5. Drain: conduit recueillant l'eau infiltrée- 6. Pompes: dispositifs permettant de remonter l'eau- 7. Niveau de la nappe phréatique: niveau naturel de l'eau souterraine- 8. Dépression de captage: zone de baisse locale du niveau d'eau autour du puits- 9. Moteur: moteur entraînant la pompe- 10. Amenée au réservoir: tuyauterie reliant le puits au réservoir- 11. Réserve d'eau: réservoir de stockage de l'eau pompée- 12. Trop-plein: dispositif d'évacuation de l'excès d'eau- 13. Vanne d'arrêt: permet de contrôler l'écoulement de l'eau- 14. Crépine: filtre empêchant les particules de pénétrer dans le système- 15. Réseau de distribution: système de canalisations vers les utilisateurs finaux.)

ملخص

شهدت منطقة المسيلة خلال السنوات الأخيرة عدة أضرار في المياه الجوفية بسبب التلوث الناجم عن التوسع الحضري والري وتأثيرات تغير المناخ. ولهذا السبب فإنه من الضروري مراقبة هذه الظاهرة باستمرار.

ركزت هذه الدراسة على أهم معايير تلوث المياه الجوفية في منطقة المسيلة (المعذر/الحضنة) بالجزائر. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تشخيص نوعية المياه الجوفية في منطقة المسيلة. تم إجراء تحليل الجودة الفيزيائية والكيميائية على 29 عينة مأخوذة من آبار المياه الجوفية المختلفة المستغلة في منطقة الدراسة.

وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من دراسة معايير التلوث وجود زيادة في تركيز النترات والكبريتات، يشير هذا إلى أن التلوث أثر على عدة مناطق، وفي بعض الأحيان بمستويات مرتفعة للغاية. ومن ثم، فإن التقييم المستمر لجودة المياه أمر ضروري لمراقبة ومعالجة مخاطر تدهور جودة المياه. والقضاء على المشاكل الصحية والبيئية الناتجة عنها.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الجودة الفيزيائية والكيميائية، معايير التلوث، النترات، الكبريتات منطقة المسيلة

Abstract

In recent years, the M'Sila region has suffered several groundwater damages due to pollution caused by urbanization, irrigation, and the effects of climate change. Therefore, it is necessary to continuously monitor this phenomenon.

This study focused on the most important groundwater pollution parameters in the M'sila region (Maadher / Hodna), Algeria. The main objective of this study is to diagnose the quality of groundwater in the M'Sila region. The analysis of the physicochemical quality was carried out on 29 samples taken from boreholes of different aquifers exploited in the study area.

The results obtained from the study of pollution parameters highlighted that there was an excess in the concentration of nitrates and sulfates, This indicates that pollution has affected several areas, sometimes at very high levels. Therefore, ongoing water quality assessment is essential to monitor and address the risks of water quality deterioration, and to eliminate the resulting health and environmental problems.

Keywords : groundwater, physicochemical quality, pollution parameters, nitrates, sulfates, M'Sila region

Résumé

Ces dernières années, la région de M'Sila a subi plusieurs dommages au niveau des eaux souterraines en raison de la pollution due à l'urbanisation, à l'irrigation et aux effets du changement climatique. C'est pourquoi il est nécessaire de surveiller ce phénomène en permanence.

Cette étude s'est concentrée sur les plus importants de paramètres de pollution des eaux souterraines dans la région du M'sila (Maadher / Hodna), en Algérie L'objectif principal de cette étude est de diagnostiquer la qualité des eaux souterraines dans la région de M'Sila, L'analyse de la qualité physico-chimique a porté sur 29 échantillons prélevés de forages de différentes nappes aquifères exploitées dans la zone d'étude.

Les résultats obtenus d'étude des paramètres de pollution a mis en évidence qu'il y avait un excès dans la concentration des nitrates et sulfates, Cela indique que la pollution a touché plusieurs zones, parfois à des niveaux très élevés. Par conséquent, une évaluation continue de la qualité de l'eau est essentielle pour surveiller les risques de détérioration de la qualité de l'eau et pour y faire face. Et éliminer les problèmes de santé et d'environnement qui en découlent.

Mots clés: eaux souterraines, qualité physico-chimique, paramètres de pollution, nitrates, sulfates, région de M'Sila