



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Filière : Ecologie et Environnement

Option : Protection des Ecosystèmes

Thème

Étude de l'évolution des paramètres de pollution dans les eaux de la région de sebkhat El-mahmel W. Khenchela (2013 à 2023)

Présenté par : REZAIMIA Marwa, KOB Hadjer

Soutenu le 22/09 / 2024

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de :

Président	BOUZOU Mourad Lazher	(MCB)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Encadreur	SEDRATI Abdenour	(MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Examineur	Habibetni Sofiane	(MAA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Année 2023/2024

Remerciements

Je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer puis terminer ce modeste travail.

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Je me ferai un agréable devoir de remercier mon encadreur **Dr. Sedrati Nour (Maître de Conférences « A »)** pour avoir dirigé ce travail de recherche et m'avoir fait bénéficier de son expérience et de ses précieux conseils. Tout au long de ce mémoire, ses conseils pertinents avec écoute, amabilité et patience ont permis à mon travail d'aboutir et de voir le jour.

Je tiens également à remercier **Dr BOUZOU** d'avoir accepté de présider le jury de soutenance. Je suis particulièrement heureuse que monsieur **Habibetni Sofiane** Mme fasse l'honneur de faire partie du jury de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mes sentiments les plus distingués.

Je remercie tous ceux qui ont effectué des études dans la région de la Sebkha et c'était un honneur pour moi de faire mon étude sur la base de leurs résultats

Toutes les expressions de ma reconnaissance s'adressent aux enseignants du Département Écologie et Environnement

Dédicace

À mes parents,

Je vous dédie ce travail en premier lieu. Votre soutien inconditionnel, vos encouragements et vos sacrifices m'ont permis de parvenir à cette étape de ma vie. Merci pour tout l'amour et la confiance que vous m'avez accordés.

À mes amis,

Votre présence à mes côtés, vos conseils, votre soutien et vos moments de partage ont été une source de motivation inestimable. Je vous remercie du fond du cœur pour votre amitié sincère.

À mes enseignants,

Je vous dédie ce mémoire avec une profonde gratitude. Vous avez non seulement transmis des connaissances, mais vous avez aussi éveillé en moi la curiosité, la rigueur et l'envie d'apprendre. Votre accompagnement et votre patience ont été essentiels à la réussite de ce travail.

Marwa

Dédicace

C'est avec l'aide de dieu que j'ai pu arriver au terme de ce travail que je tiens à dédier le fruit de mes études.

*Merci Dieu le tout puissant qui m'a éclairé le chemin de la réussite et du savoir. Mes très chers et adorables parents que dieu les bénisse ma mère Hakima qui m'a beaucoup aidé durant toute ma vie à réaliser mon rêve par sa tendresse, confiance, ainsi que son amour. A mon père **LEMBAREK** pour ces sacrifices, son affection et ses conseils que dieu face qu'il vivent assez longtemps.*

-A mes adorables sœurs : nahed abla asil Yousra .

-A mon binôme : marwa

A mes copines a tout ceux qui mon partage les meilleurs moments. -a toute la promotion d'écologie et environnements

Hadjer

Résumé

Résumé

L'étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux de la région de Sebkhath El-mahmel entre 2013 et 2023 révèle des tendances contrastées. D'une part, la salinisation progressive des eaux superficielles et souterraines, due au lessivage des sels par le ruissellement agricole, menace la qualité de l'eau et la biodiversité. D'autre part, la mise en service de la station d'épuration en 2018 a permis de réduire considérablement la pollution par les nitrates, nitrites, ammonium et phosphates, améliorant la qualité de l'eau du lac.

Malgré ces progrès, des défis persistent. La salinisation progressive reste une menace, nécessitant des mesures de gestion de l'eau pour limiter l'apport de sels. La pollution diffuse provenant des zones agricoles reste également un problème, nécessitant la mise en place de pratiques agricoles durables.

Pour garantir la durabilité de la ressource en eau et préserver la biodiversité aquatique, il est crucial d'intensifier la surveillance, de sensibiliser la population, et de favoriser la collaboration entre les différents acteurs. La région de Sebkhath El-mahmel offre un cas d'étude pertinent pour comprendre les impacts des pressions anthropiques sur les ressources en eau et l'importance de la gestion durable pour préserver cet écosystème fragile.

Mots-clés : Salinisation, Pollution, Biodiversité, Sebkhath El-mahmel.

Abstract

Abstract

A study of the evolution of the physico-chemical parameters of the waters in the Sebkhata Elmahmel region between 2013 and 2023 reveals contrasting trends. On one hand, the progressive salinization of surface and groundwater, caused by the leaching of salts from agricultural runoff, threatens water quality and biodiversity. On the other hand, the commissioning of the wastewater treatment plant in 2018 has significantly reduced pollution by nitrates, nitrites, ammonium, and phosphates, improving the water quality of the lake.

Despite these advances, challenges remain. Progressive salinization continues to be a threat, requiring water management measures to limit salt input. Diffuse pollution from agricultural areas also remains a problem, requiring the implementation of sustainable agricultural practices.

To ensure the sustainability of water resources and preserve aquatic biodiversity, it is crucial to intensify monitoring, raise public awareness, and promote collaboration between stakeholders. The Sebkhata Elmahmel region offers a relevant case study to understand the impacts of anthropogenic pressures on water resources and the importance of sustainable management to preserve this fragile ecosystem.

Keywords: Salinization, Pollution, Biodiversity, Sebkhata El-Mahmel.

كشفت دراسة لتطور المعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه في منطقة سبخة المحمل بين عامي 2013 و 2023 عن اتجاهات متناقضة. من ناحية، فإن الملوحة المتزايدة للمياه السطحية والجوفية، الناجمة عن تسرب الأملاح من جريان المياه الزراعية، تهدد جودة المياه والتنوع البيولوجي. من ناحية أخرى، أدى تشغيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي في عام 2018 إلى تقليل التلوث بشكل كبير من النترات، النتريت، الأمونيوم، والفوسفات، مما أدى إلى تحسين جودة مياه البحيرة.

على الرغم من هذه التطورات، لا تزال هناك تحديات. لا تزال الملوحة المتزايدة تهديدًا، مما يتطلب تدابير إدارة المياه للحد من مدخلات الملح. كما أن التلوث المنتشر من المناطق الزراعية لا يزال مشكلة، مما يتطلب تنفيذ ممارسات زراعية مستدامة.

لضمان استدامة موارد المياه والحفاظ على التنوع البيولوجي المائي، من الضروري تكثيف المراقبة، ورفع مستوى الوعي العام، وتعزيز التعاون بين أصحاب المصلحة. توفر منطقة سبخة المحمل دراسة حالة ذات صلة لفهم تأثيرات الضغوط البشرية على موارد المياه وأهمية الإدارة المستدامة للحفاظ على هذا النظام البيئي الهش.

الكلمات المفتاحية: التملح، التلوث، التنوع البيولوجي، سبخة المحمل.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.Représentation des caractéristiques écologiques d'une zone humide à partir des composantes, processus et services écosystémiques qui la caractérisent	4
Figure 2.La diversité des zones humides.....	5
Figure 3. Les sites de ramsar dans le mond (Ramsar organisation)	6
Figure 4 : Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude : Source. (Direction de l'hydraulique de Khenchela).....	17
Figure 5. La situation géographique de chott Sbikha	17
Figure 6. Courbe de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2017).....	25
Figure 7.Courbe de variation des températures moyennes annuelles (1995-2017).....	25
Figure 8. Précipitation moyenne mensuelle de Khenchela (1998-2018)	26
Figure 9. Précipitation moyenne annuelle de Khenchela (1998-2018).....	27
Figure 10. Température des puis	29
Figure 11. Conductivité électrique des puis	30
Figure 12. Potential hydrogen des puis	31
Figure 13. Nitrate des puis.....	32
Figure 14. Nitrites des puis.....	33
Figure 15 . Le taux des sels dissous des puis	35
Figure 16 .Chlore des puis.....	36
Figure 17. Potassium des puis	38
Figure 18 .Sodium des puis	39
Figure 19. Magnésium des puis.....	41
Figure 20 .Calcium des puis	42
Figure 21. Ammonium des puis	44
Figure 22 . Phosphate des puis	45

Liste des figures

Figure 23. Sulfate des puis	46
Figure 24 . Bicarbonate des puis	47
Figure 26. Température des eaux de surfaces.....	48
Figure 27. Conductivité électrique des eaux de surfaces.....	49
Figure 28. Potential hydrogen des eaux de surfaces.....	50
Figure 29. Nitrate des eaux de surfaces	51
Figure 30. Nitrites des eaux de surfaces	52
Figure 31. Le taux des sels dissous des eaux de surfaces.....	53
Figure 32 . Chlore des eaux de surfaces	54
Figure 33 . Potassium des surfaces.....	55
Figure 34.Sodium des surfaces.....	56
Figure 35. Magnesium des surfaces	57
Figure 36. Calcium des surfaces.....	58
Figure 37. Ammonium des surfaces	59
Figure 38. Sulfate des surfaces	60
Figure 39. Bicarbonate des surfaces	61

Liste des figures

Liste des photographies

Liste des photographies

Photographie 1. Vue générale de la Sebket de Ouled M'Barak, El-Mahmel, wilaya de Khenchela	18
Photographie 2. Vue générale de la Sebket de Ouled M'Barak, El-Mahmel, wilaya de Khenchela	19
Photographie 3. Vue générale de la Sebket de Ouled M'Barak, El-Mahmel, wilaya de Khenchela	23

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des ilots de la Sebkha d'Ouled M'Barek.	19
Tableau 2. Le plan démographique	20
Tableau 3. Répartition des exploitations agricoles dans le secteur d'étude Sebkha.....	21
Tableau 4. Production végétale dans la commune d'El Mahmel	21
Tableau 5. Effectifs des animaux gros bétails dans la commune d'El Mahmel.....	22
Tableau 6. Produits d'élevage dans la commune d'El Mahmel	22
Tableau 7. Production de viande et abattage dans la commune d'El Mahmel.....	22
Tableau 8.les produits d'animaux de dans la commune d'El Mahmel.....	23
Tableau 9. Les données climatiques des températures moyennes mensuelles	24

Liste des abréviations

Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique

CIEAU : Centre D'information Sur L'eau

DBO₅ : Demande biologique d'oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande chimique d'oxygène

DNS : Department of Natural Science

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

MES : Matière en suspension

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PH : Potentiel d'hydrogène

T°: Température

Table des matières

Table des matières

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des photographies

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I : Approche Théorique

I. Généralité sur les zones humides 3

I. 1. Définition D'une zone humide 3

I.2. Caractéristiques des zones humides 3

I.3. Types des zones humides 4

I.3.1. Dans le monde..... 5

I.3.2. Dans Algérie 6

I.4.Faune des zones humides en Algérie..... 7

I.4.1. Convention de Ramsar 7

I.4.2. Histoire..... 7

I.4.3. Les organes de la convention..... 8

I.5. Système Ramsar de classification des types des zones humides..... 8

I.6.Les paramètres physique-chimique de l'eau 8

I.6.1. Les paramètres physiques de l'eau 8

A. Couleur 8

B. L'odeur 9

C. Turbidité 9

Table des matières

D. La conductivité électrique d'une eau (γ)	10
E. Température de l'eau	11
F. Le pH (le potentiel d'Hydrogène) de l'eau	11
G. Salinité de l'eau	11
H. Les matières en suspension (MES) de l'eau.....	12
I. Demande chimique en oxygène (DCO) :.....	12
J. Demande biochimique en oxygène (DBO).....	12
I.7. Paramètres de pollution azotée	12
I.7.1. L'azote ammoniacal NH ₄	12
I.7.2. Les nitrites (NO ₂ -).....	13
I.7.3. Le rejet dans le sol	13
I.7.4. Les rejets dans les eaux douces superficielles	13
I.7.5. Les paramètres de pollution phosphorée.....	13
I.7.5.1. Le Phosphore PO ₄	13

Chapitre II : Description du site d'étude

I. Description du site d'étude.....	16
I.1. Cadre Générale	16
I.1.1 Administratif.....	16
I.2. Géographie et hydrologie	18
I.3 Sur le plan démographique.....	20
I.3. Cadre Socio économie de la région.....	20
I.3.1. Les activités économiques qui existent dans la région et son impact sur environnement	20
I.3.1.1. Activité Agricoles	20
I.3.1.2. Production végétale.....	21
I.3.1.3. L'élevage	22
I.3.1.4. La chasse et braconnage.....	23

Table des matières

I.4. Hydro climatologie de la région.....	24
I.4.1. La température.....	24
I.4.2. Les précipitations	26

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Étude des eaux souterraines	29
I.1. Température.....	29
I.2. Conductivité électrique (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$)	30
I.3. Potential hydrogen (ph)	31
I.4. Nitrate (NO_3 mg/l)	32
I.5. Nitrites (NO_2 mg/l)	33
I.6. Le taux des sels dissous (TDS).....	35
I.7. Chlore (Cl^-)	36
I.8. Potassium (K^+).....	38
I.9. Sodium (Na^+)	39
I.10. Magnesium (Mg^{2+}).....	41
I.11. Calcium (Ca^{2+})	42
I.12. Ammonium (NH_4^+)	44
I.13. Phosphate (PO_4^-).....	45
I.14. Sulfate (SO_4^{2-}).....	46
I.15. Bicarbonate (HCO_3^-)	47
II.2. Résultats des eaux de surfaces	48
II.1. Température	48
II.2. Conductivité électrique (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$).....	49
II.3. Potential hydrogen (ph).....	50
II.4. Nitrate (NO_3 mg/l).....	51
II.5. Nitrites (NO_2 mg/l)	52
II.6. Le taux des sels dissous (TDS)	53

Table des matières

II.7. Chlore (Cl ⁻)	54
II.8. Potassium (K ⁺).....	55
II.9. Sodium (Na ⁺ mg/l)	56
II.10. Magnesium (Mg ²⁺)	57
II.11. Calcium (Ca ²⁺).....	58
II.12. Ammonium (NH ₄ ⁺).....	59
II.13. Sulfate (SO ₄ ²⁻)	60
I.14. Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	61
Conclusion	62
Références bibliographiques	65

Introduction

Introduction

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses sur notre planète, indispensable à la survie des êtres humains, des animaux, des plantes, ainsi qu'à la plupart des processus vitaux de la biosphère. Elle joue non seulement le rôle d'habitat et de support énergétique, mais elle est également essentielle à de nombreuses activités humaines, notamment la production agricole et industrielle. Cependant, l'eau peut être contaminée de manière naturelle ou par l'activité humaine, devenant ainsi inappropriée pour toute utilisation et représentant une menace sérieuse pour l'environnement. Dans notre zone d'étude, la pollution de l'eau constitue un problème environnemental majeur, en particulier en raison des rejets non traités déversés dans la Sebkha. Les eaux usées domestiques non épurées sont la principale source de pollution des eaux souterraines, entraînant une dégradation significative de leur qualité. Lorsque la concentration de certains éléments dépasse les normes admises, cela peut provoquer une pollution ayant des répercussions négatives sur les écosystèmes et les ressources en eau.

Les eaux souterraines possèdent une composition géochimique naturelle, influencée par la nature géologique des réservoirs dans lesquels elles circulent. Le degré de pollution est évalué en fonction de la différence entre la composition chimique naturelle de l'eau et celle acquise au cours de son parcours, souvent altérée par les activités humaines. Par exemple, une eau impropre à la consommation humaine peut encore être adaptée à l'irrigation ou à l'usage industriel. Dans les zones arides comme le Sahara, les populations consomment de l'eau avec une concentration en sel pouvant atteindre 3 g/L, ce qui serait inacceptable dans les zones plus humides où les habitants sont plus sensibles à la salinité.

Cette étude vise à étudier l'évolution du chimisme et de la pollution des eaux souterraines et superficielles dans la région de Sebkhât Elmahmel à travers les années et précisément dans la période 2013-2023. L'objectif principal de ce travail est de comprendre le devenir des eaux usées déversées depuis des années dans le lac salé ainsi que l'évolution de la qualité des eaux de la région vis-à-vis les paramètres physico-chimique de ces eaux pour finalement pouvoir mettre en point une stratégie qui préserve et maintien la durabilité de cette source vitale.

***Chapitre I : Approche
Théorique***

I. Généralité sur les zones humides

I. 1. Définition D'une zone humide

Les zones humides sont des milieux naturels caractérisés par une forte présence d'eau, que ce soit de manière permanente ou temporaire. Elles peuvent prendre différentes formes, telles que des marais, des tourbières, des mangroves, des estuaires, des lagunes, des lacs et des rivières à débit lent. Les zones humides sont d'une importance cruciale pour la biodiversité, car elles abritent une grande variété d'espèces végétales et animales. Elles sont également importantes pour les êtres humains, car elles fournissent de l'eau douce, régulent les crues et les inondations, et sont des zones de loisirs et de tourisme. Cependant, les zones humides sont souvent menacées par l'urbanisation, la pollution, la dégradation des terres et le changement climatique, ce qui entraîne une perte importante de biodiversité et de services écosystémiques. Il est donc crucial de préserver et de restaurer les zones humides pour assurer leur survie à long terme et les bénéfices qu'elles apportent à l'environnement et à l'humanité. **(Tiner, R. W. 1996)**

I.2. Caractéristiques des zones humides

Une nouvelle définition des « caractéristiques écologiques » des zones humides a été publiée en 2005. Depuis lors, selon l'Accord de Ramsar, ils sont compris comme « la combinaison de composants, de processus et d'avantages ou de services écosystémiques qui caractérisent la zone humide à un moment donné », comme le montre l'image.

Depuis que la définition de « utilisation rationnelle » a été révisée en 2005, les parties à l'accord sont désormais tenues de préserver les caractéristiques écologiques de toutes leurs zones humides, pas seulement celles qui sont répertoriées sur la liste mondiale des zones humide importantes **(The "Sites Ramsar")**. Ils sont également invités à indiquer si des changements dans les caractéristiques écologiques d'un site Ramsar ont déjà eu lieu, se produisent actuellement ou sont susceptibles de le faire **(Atlas.2004)**.

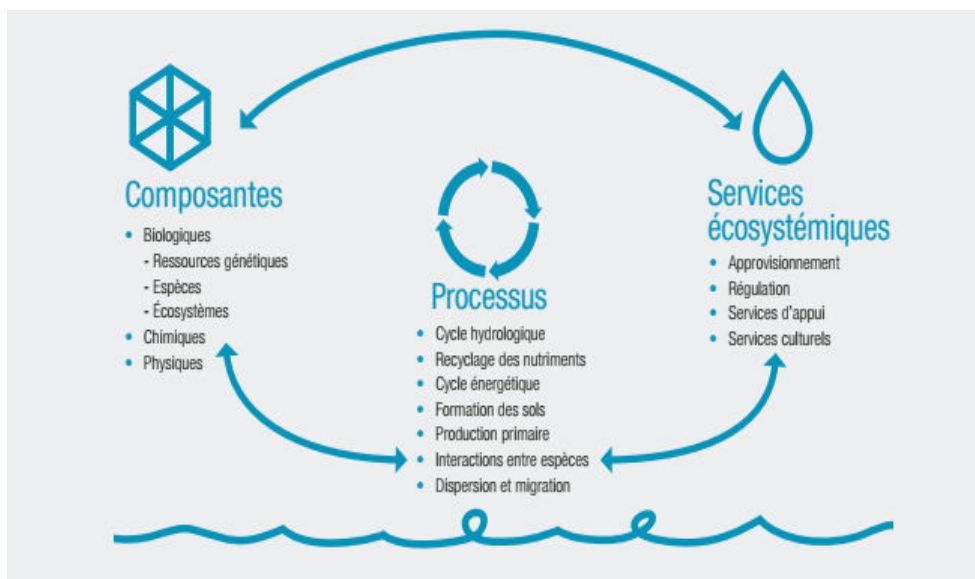


Figure 1. Représentation des caractéristiques écologiques d'une zone humide à partir des composantes, processus et services écosystémiques qui la caractérisent (Atlas, 2004)

I.3. Types des zones humides

Selon la convention Ramsar (2013), on peut classer les zones humides en cinq types principaux :

- *Zones humides marines*, ce sont des zones côtières comprenant les lagunes côtières, les berges rocheuses et les récifs coralliens.
- *Zones humides estuariennes* comprennent les deltas, les marais cotidaux et les marécages à mangroves.
- *Zones humides lacustres* sont représentées par les lacs.
- *Zones humides riveraines*, qui bordent les rivières et les cours d'eau.
- *Zones humides palustres*, c'est-à-dire marécageuses, représentées par les marécages et les tourbières.

Une autre classification des milieux humides est proposée par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA, rattaché le 1er janvier 2017 à l'Agence française pour la biodiversité – AFB). Les milieux humides sont classés en trois catégories selon leur origine, naturelle ou anthropique, et leur prédominance en eau douce ou en eau salée : Les zones humides continentales se distinguent par leur eau principalement douce et se trouvent à l'intérieur des terres. Les milieux d'altitude ou de plaine (pas ou peu influencés par les cours d'eau) et les milieux liés aux réseaux hydrographiques sont représentés par

ces derniers. Les marais, les mares naturelles, les tourbières, les prairies, les landes et les forêts humides seront à titre d'exemple.

Au bord de la côte se trouvent les milieux humides littoraux, avec une eau principalement salée ou saumâtre d'origine marine. Les régions estuariennes, les lagunes côtières, les étangs d'arrière-dunes, les vasières et les mangroves sont concernées.

Les environnements humides artificiels désignent les environnements créés par l'homme. Ils peuvent être affectés à la fois par l'eau douce et salée. Au fil du temps et en fonction de la gestion qui leur est donnée, ils peuvent parfois développer tout ou une partie des caractéristiques des milieux humides naturels. Selon **Barrailh (2017)**, il y a des marais mouillés et desséchés, des marais salants et des réserves d'eau.

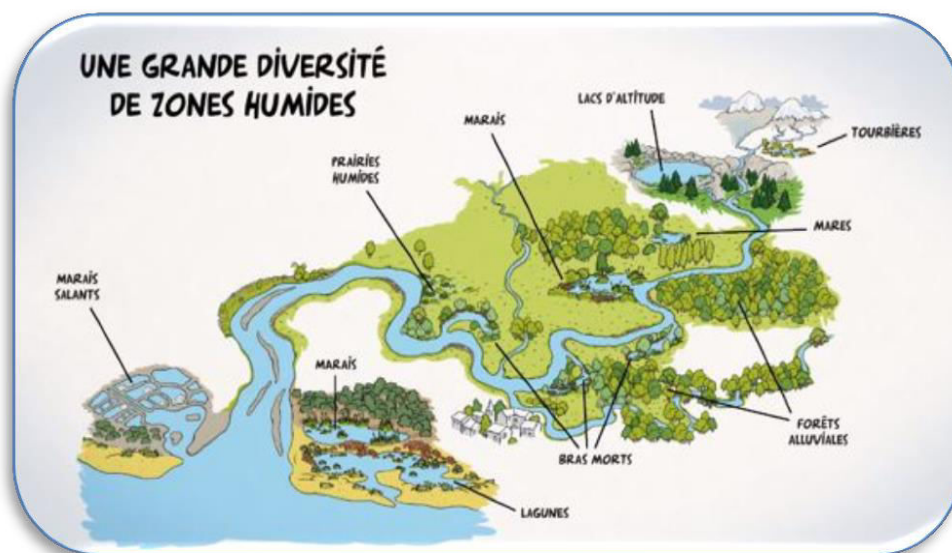


Figure 2. La diversité des zones humides (AERMEC, 2005)

I.4. Situation géographique et répartition

I.3.1. Dans le monde

La Convention de Ramsar sur les zones humides est un accord international qui vise à promouvoir la conservation et l'utilisation durable des zones humides dans le monde entier. Les zones humides désignées comme "sites Ramsar" sont reconnues comme étant d'une importance internationale pour la conservation de la biodiversité et de l'habitat des espèces animales et végétales. Actuellement, il y a plus de 2 400 sites Ramsar dans le

monde, couvrant une superficie totale de plus de 250 millions d'hectares. Ces sites sont répartis dans plus de 170 pays. **(Ramsar organisation)**



Figure 3. Les sites de ramsar dans le monde **(Ramsar organisation)**

I.3.2. Dans Algérie

L'Algérie présente une grande variété de paysages, d'habitats et d'écosystèmes, dont certains sont très variés. Selon les statistiques, l'Algérie compte de nombreuses zones humides, qui sont considérées comme des ressources les plus précieuses en termes de diversité biologique et de productivité naturelle. Selon les statistiques, l'Algérie occupe la première place parmi les pays africains en termes de nombre de sites **(DGF, 2016)**. Depuis 1983 jusqu'à 2011, 2056 zones humides naturelles et 319 zones humides artificielles ont été classées sur la liste Ramsar d'importance internationale **(RAMSAR., 2019)**

Les zones humides, véritables réservoirs biologiques, sont caractérisées par une végétation typique des milieux humides, principalement composée de plantes hygrophiles (c'est-à-dire qui aiment les sols riches en eau). Elles hébergent 786 espèces de plantes aquatiques **(DGF, 2004)**. La plus courante de ces espèces est le jonc, qui peut être considéré comme l'espèce emblématique des zones humides en raison de sa facilité d'identification et de sa forte présence dans ces milieux **(Vinet,2019)**.

I.4.Faune des zones humides en Algérie

I.4.1. Convention de Ramsar

D'après le site officiel de La Convention de Ramsar (**Ramsar.org**) est une convention internationale pour la protection des zones humides. Elle a été signée en 1971 dans la ville iranienne de Ramsar et est entrée en vigueur en 1975. Cette convention a été créée dans le but de protéger les zones humides et les espèces qui y habitent, ainsi que de promouvoir leur utilisation durable.

De même site (**Ramsar.org**) à était mentionné Les pays qui ont ratifié la Convention de Ramsar sont tenus d'identifier et de sauvegarder les « zones humides Ramsar », qui sont des zones humides d'importance mondiale De plus, les nations signataires sont tenues d'encourager l'utilisation rationnelle des zones humides, de surveiller leur santé et de travailler avec d'autres

I.4.2. Histoire

La Convention de Ramsar a été signée le 2 février 1971 dans la ville de Ramsar, en Iran. Elle a été créée en réponse à la préoccupation croissante concernant la perte et la dégradation des zones humides dans le monde entier, qui ont été reconnues comme des écosystèmes importants pour la biodiversité et le bien-être humain. (**Geneviève,1971**)

La convention tire son nom de la ville iranienne de Ramsar où elle a été signée. Le choix de la ville de Ramsar n'était pas fortuit, car cette ville est située sur les rives de la mer Caspienne, dans une région qui abrite plusieurs zones humides d'importance internationale. (**Geneviève.1971**)

La Convention de Ramsar est entrée en vigueur en 1975, après que cinq pays l'aient ratifiée. Depuis lors, de nombreux pays ont adhéré à la convention et se sont engagés à protéger et à gérer les zones humides de manière durable. En 2021, plus de 170 pays sont membres de la convention et ont désigné plus de 2 400 zones humides Ramsar dans le monde entier. (**Geneviève.1971**)

Au fil des ans, la convention a été modifiée et élargie pour refléter les avancées scientifiques et les défis environnementaux actuels. La Convention de Ramsar est désormais considérée comme l'un des accords internationaux les plus importants pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides. (**Geneviève.1971**)

I.4.3. Les organes de la convention

La Convention de Ramsar est mise en œuvre grâce à un partenariat permanent entre les Parties contractantes (169 en 2015), le Comité permanent et le Secrétariat de la Convention qui reçoivent les avis d'un organe d'experts subsidiaire, le Groupe d'évaluation scientifique et technique (GEST) et l'appui du programme de communication, éducation, sensibilisation et participation (CESP). Les représentants des Parties contractantes se réunissent tous les trois ans en Conférence des Parties contractantes, l'organe politique supérieur de la Convention, qui prend des décisions pour gérer les travaux de la Convention et améliorer les moyens pour les Parties de réaliser ses objectifs. (Triplet,2009).

I.5. Système Ramsar de classification des types des zones humides

Le cadre utilisé pour classer les différents types de zones humides est le Système de classification des types de zones humides de la Convention de Ramsar. Les différentes catégories de ce système incluent les zones humides marines/côtières, les zones humides intérieures, les zones humides artificielles, ainsi que d'autres types spécifiques de zones humides. Les eaux marines peu profondes, les récifs coralliens, les vasières, les marais intertidaux, les lagunes côtières, etc., sont des sous-catégories des zones humides marines/côtières. (Manuels Ramsar,2011)

Il y a différents types de zones humides intérieures : lacs, rivières, marais, tourbières, sources d'eau douce. Les zones humides artificielles comprennent également des catégories comme les étangs d'aquaculture, les terres irriguées, les sites d'exploitation du sel (Manuels Ramsar,2011)

I.6.Les paramètres physique-chimique de l'eau**I.6.1. Les paramètres physiques de l'eau**

Les qualités physiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Ce sont des critères de plus utilisés pour l'amélioration du confort du consommateur (Gancel G, 2006).

A. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm.

Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration.

Les couleuses réelles et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (**Tormos *et al.*, 2021**).

La coloration de l'eau est due à la présence de matières organiques colloïdales en solution ou en suspension. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité. Les eaux profondes sont rarement colorées, mais les eaux de surface ont souvent une turbidité élevée (**Vissin *et al.*, 2021**).

Les eaux chargées prennent souvent une coloration jaune verdâtre, avec présence d'acide humique qui s'élimine difficilement à la filtration (**Vissin *et al.*, 2021**).

B. L'odeur

En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. L'odeur de l'eau peuvent être modifié soit par la présence de matière organiques en décomposition, soit, par la présence de matières sécrétées par les organismes vivants dans l'eau, en particulier, les algues et les champignons (**N'Diaye & Salem,2013**)

Certains produits chimiques même à des doses infinitésimales développent de mauvaises odeurs. C'est le cas des phénols qui forment avec le chlore utilisé pour la désinfection de l'eau, des malodorants (**KENDOUCI,2018**)

C. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (**N'Diaye *et al.*, 2013**).

Elle ne mesure pas cette quantité, mais elle exprime la capacité des particules à retenir et diffracter la lumière. La turbidité s'exprime en Unité Formazin (FTU) ou en unité Néphélométrie (NTU) (**Ali, 2013**).

En France on mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Néphélométrie Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

- $NTU < 5 \Rightarrow$ eau claire
- $NTU < 30 \Rightarrow$ eau légèrement trouble
- $NTU > 50 \Rightarrow$ Eau trouble

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la Pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse) (Site web 9). d. Dureté

La dureté de l'eau ou l'hydrotimétrie est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium (**Hannouche et al., 2011**). Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium.

D. La conductivité électrique d'une eau (γ)

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

- $\gamma = 1/\rho = (L/R)$. (L/S) γ : conductivité (en $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ou S. m⁻¹).
- ρ : résistivité (en $\Omega. m$). R : résistance (en Ω).
- L : distance entre les deux électrodes (en m).
- S : surface de chaque électrode (en m²) (**Kouassi et al., 2013**).

La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique (TH) qui s'exprime en France en degrés français (symbole °f ou °fH) sur une échelle de 0 à 40. (1°f = 4mg/l de calcium ou 2,4mg/l de magnésium).

Une eau sera dite dure si son TH est > à 15 °f. Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartre les canalisations et un usage plus important de détergents pour le lavage.

Une eau sera dite douce si son TH est < à 15 °f. Une eau trop douce sera dite « agressive » parce que corrosive pour les conduites (**Lagnika et al., 2014**).

E. Température de l'eau

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux, elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux. La mesure de la température est effectuée sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètre. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (N'Diaye & Salem, 2013).

Les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres (Guide Mustapha B, 2000).

F. Le pH (le potentiel d'Hydrogène) de l'eau

Ce paramètre, qui se mesure sur le terrain avec des bandelettes test ou un appareil (pH- Mètre) (Lagnika *et al.*, 2014).le pH exprime si l'eau est à réaction acide ou alcaline.

Les pH inférieurs à 7 indiquent une tendance vers l'acidité. Les pH supérieurs à 7 indiquent une tendance vers l'alcalinité. Selon le (N'Diaye & Salem, 2013).l'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C(site web 1)

Le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,6 à 7,8 et selon (Marquet, 2011). Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Ghazali & Zaid,2013)

La conductivité électrique dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Kouassi *et al.*, 2013).qui peut entraîner selon le cas un goût salé variable selon la nature des sels présents

G. Salinité de l'eau

La salinité désigne la masse totale de substances solides dissoutes dans un kilogramme d'eau, ainsi selon Diallo *et al.*,(2015) la salinité est définie comme la masse exprimée en grammes des composés solides contenus dans un kilogramme d'eau (Diallo *et al.*,2015).

H. Les matières en suspension (MES) de l'eau

On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes,) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) est s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique. En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux (**Dramais et al., 2018**)

La quantité de MES varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (**Tfeila et al., 2016**)

La quantité de matières en suspension totale (MEST) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesage des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/l.

I. Demande chimique en oxygène (DCO) :

DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques y compris les matières biodégradables et non biodégradables par voie chimique (**Idrissi et al., 2015**).

J. Demande biochimique en oxygène (DBO)

C'est la consommation d'oxygène sous l'effet des processus réducteurs se produisant spontanément au sein de l'échantillon examiné et qui sont d'origine biologique elle est généralement mesurée au bout de cinq jours à une température d'incubation de 20°C le test est surtout intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux, Plus la qualité des rejets est mauvaise, plus la demande en oxygène est élevée. (**Bengherbia et al., 2014**).

I.7. Paramètres de pollution azotée**I.7.1. L'azote ammoniacal NH₄**

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH₄⁺) et non ionisées (NH₃) de cette forme d'azote.

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH₃) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se

transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH_4^+) (Youmbi *et al.*, 2013).

I.7.2. Les nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification (Khadidj, 2021).

I.7.3. Le rejet dans le sol

La contamination dans ce cas est la conséquence d'un double effet: diffusion dans la couche superficielle d'un sol assurant la percolation lente. Infiltration rapide dans les couches profondes par les gouffres (site web 2)

I.7.4. Les rejets dans les eaux douces superficielles

L'admission des eaux usées dans une rivière provoque une modification des caractéristiques Physico-chimiques et biologiques des cours d'eau sur une distance plus ou moins grande en particulier, une augmentation de la DBO, DCO et la turbidité.

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température. Il en résulte la mort par asphyxie (Makhouk *et al.*, 2011)

Les nitrates (NO_3^-) : Les nitrates ne sont pas toxiques; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates (Makhouk *et al.*, 2011).

I.7.5. Les paramètres de pollution phosphorée

I.7.5.1. Le Phosphore PO_4

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des orthophosphates. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée

analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique (Metahri, 2012).

***Chapitre II : Description
du site d'étude***

I. Description du site d'étude**I.1. Cadre Générale****I.1.1 Administratif**

Avant la réorganisation administrative de février 1985, El-Mahmel était sous la juridiction de la wilaya de Tébessa. Par la suite, en 1985, elle a été intégrée à la wilaya de Khenchela et fait désormais partie de la daïra d'Ouled Rechache. La localité se trouve dans la partie nord-orientale de la wilaya de Khenchela, entre...

- ✓ Au Nord ; les communes de Ain Touila et N'sigha,
- ✓ A l'Ouest : la commune de Babar,
- ✓ A l'Est et au Sud : les communes de Bedjéna et Stah Guentis-

Historiquement, la sebkha était essentiellement la propriété de colon français où il pratiquait deux activités essentielles : L'agriculture et l'élevage L'exploitation du sel durant les années de la révolution celui-ci était achemmé vers Tizi- Ouzou, Jijel et Bejaia pour la préparation et le tannage des cuirs (**Bouakkaz,2016**).

II. Situation Géographique et démographique de la région d'étude**II.1 Situation Générale de la zone humide sebkht el mahmel**

La région de Sebkha représente le seul bastion d'humidité dans la wilaya de Khenchela, nichée au cœur de la partie steppique sud de cette région. Cette topographie, associée à un climat aride, entrave significativement le drainage de la région. En revanche, le centre et le sud de la région relèvent d'un système de drainage endoréique, alimentant les sebkhas (**GOUAIDIA, 2008**).

Coordonnées géographiques :

- ✓ Longitude: 914 km (50, 49'), 924 km (50, 25')
- ✓ Latitude: 236 km (390, 25'), 244 km (390, 33')
- ✓ Altitude: 1070 m

Sur le plan régional, le secteur de Sebkha est situé dans la commune d'El Mahmel, dans le prolongement oriental et nord-oriental des monts des Aurès-Nemamcha, à la limite orientale de la wilaya de khenchela (**GOUAIDIA, 2008**).

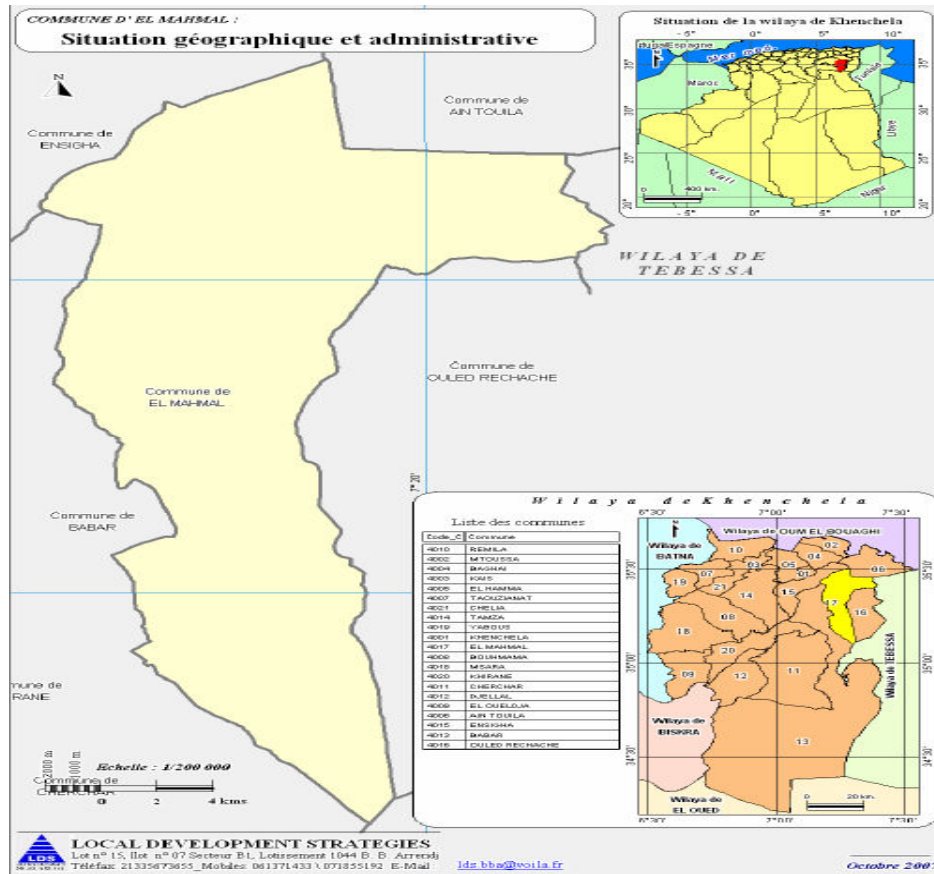


Figure 4 : Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude : Source. (Direction de l'hydraulique de Khenchela) (Bouakkaz,2016)

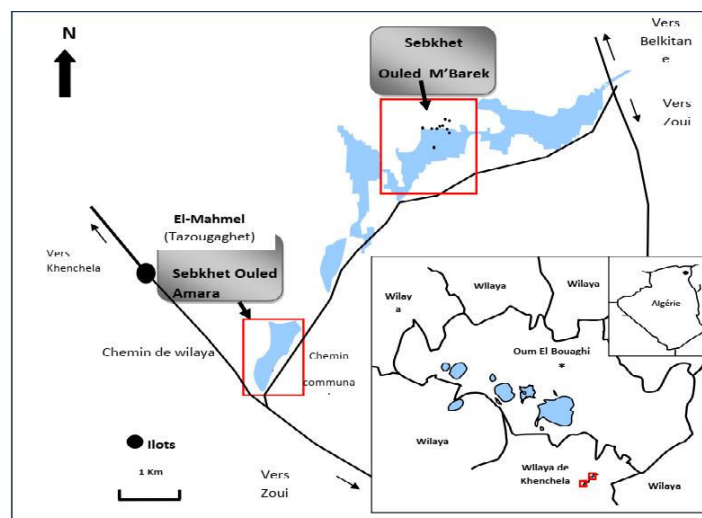


Figure 5. La situation géographique de chott Sbikha (saheb, 2013)

I.2. Géographie et hydrologie

Les hydrosystèmes d'Esbikha, également connus sous le nom d'El-Mahmel, représentent les zones humides les plus significatives et le seul écosystème aquatique naturel de la wilaya de Khenchela. Située dans la partie nord de la commune, au nord de la RN 32 reliant El-Mahmel à Zoui, la zone humide de Sebkheth El-Mahmel se compose d'un lac salé allongé, divisé en plusieurs séries d'unités. (Saheb, 2006).



Photographie 1. Vue générale de la Sebkheth de Ouled M'Barak, El-Mahmel, wilaya de Khenchela (**Photo Originale mars 2024**)

La Sebkheth El-Mahmel couvrant 1.290 hectares, elle se trouve entourée par djebel Chattaia (1455 m d'altitude) à l'Ouest, Djebel Tafrennt (1406 m) au nord, Djebel Tadinart (1408m) et Djebel Tadelist (1410 m) au sud, alors qu'à l'Est, elle s'ouvre sur la plaine de Dhalaal, alimenté continuellement par Oued Ounrhal et Oued Gueuntis qui déversent dans Oued Meskiana via Oued El-Melah (Nedjah, 2005 ; Bouchecker, 2005).



Photographie 2. Vue générale de la Sebkhete de Ouled M'Barak, El-Mahmel, wilaya de Khenchela (**Photo Originale**)

Ces deux Sebkhets d'une profondeur variante entre 0.6 et 1.2 m abritent une avifaune aquatique très diversifiée- La Sebkhete de Ouled M 'Barek renferme une série de petits îlots souvent utilisés par l'avifaune aquatique pour se reposer, se réfrigier et se reproduire et dont les caractéristiques sont mentionnées sur le tableau 1 (Saheb, 2003).

Tableau 1. Caractéristiques des îlots de la Sebkhete d'Ouled M'Barak.

Paramètres		Distance		Pourcentage	
Ilots	Surface (ha)	berge la plus	Niveau d'eau	de	Hauteur
		proche/Ilot	(cm)	recouvrement	de l'îlot
		en (m)		végétal	(m)
Ilot 1	0.63	203	60	70	2.8
Ilot 2	0.38	155	58	75	1.9
Ilot 3	0.09	1	15	60	0.013
Ilot 4	0.03	178	30	80	0.9
Ilot 5	0.04	178	30	80	0.9
Ilot 6	0.03	18	20	65	0.3
Ilot 7	0.29	328	30	35	0.3

I.3 Sur le plan démographique

Tableau 2. Le plan démographique

Age	Homme	Femme	Total
0-4ans	2014	1743	3756
5-9ans	1744	1686	3430
10-14ans	1963	1933	3895
15-19ans	2298	2065	4362
20-24ans	2186	2131	4317
25-29ans	1984	1936	3920
30-34ans	1628	1500	3128
35-39ans	1152	1161	2313
40-44ans	1032	1050	2082
45-49ans	867	986	1853
50-54ans	810	805	1615
55-59ans	647	623	1270
60-64ans	390	324	714
65-69ans	379	330	710
70-74ans	247	246	492
75-79ans	244	202	445
80-84ans	117	98	215
85ans	96	78	175
ND	5	7	12

I.3. Cadre Socio économie de la région

I.3.1. Les activités économiques qui existent dans la région et son impact sur environnement

I.3.1.1. Activité Agricoles

Il y a un total de 141 exploitations agricoles réparties dans le secteur d'étude, qui correspondent aux Mechtas d'Sebkha. Ces exploitations jouent un rôle crucial dans la création d'emplois, avec environ 458 personnes employées dans ce secteur. Parmi elles,

environ la moitié, soit 229 personnes, travaillent dans l'agriculture, ce qui représente environ 50% du total des employés. (DSASI, 2019)

Tableau 3. Répartition des exploitations agricoles dans le secteur d'étude Sebkha Source : (DSASI, 2019).

Mechtas	Nombre d'exploitation	Population occupée	Population agricole occupée	SAU
Ouled M'barek	38	132	53	450
Ouled Amara	45	103	72	800
Ouled Slim	40	86	38	600
Ouled Merah	18	137	66	400
Total	141	458	229	2250

I.3.1.2. Production végétale

Dans l'ensemble, les rendements des cultures végétales sont généralement bas, à l'exception du maraîchage, qui affiche des rendements relativement élevés avec une moyenne de production de 16,449 quintaux par hectare. La faiblesse des rendements est principalement attribuable à la rareté des précipitations et à l'insuffisance de l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation dans notre région. **Source : (DSASI, 2019).**

Tableau 4. Production végétale dans la commune d'El Mahmel (DSASI, 2019)

Communes	Production En Ox							
	Céréales	Légumes Sec	Fourrage	Culture Maraichage	Pomme	Figues	Olives	Palmiers
El mahmel	40280	0	44795	16449	750	840	480	0

Les activités agricoles et l'élevage dans cette région entraînent plusieurs conséquences négatives : tout d'abord, une expansion des cultures qui empiète sur les habitats naturels, entraînant une diminution des zones humides. Ensuite, l'utilisation de fertilisants et de pesticides provoque une pollution qui affecte particulièrement les herbiers aquatiques, essentiels pour les oiseaux. Enfin, le surpâturage contribue à la dégradation du couvert végétal naturel autour de Sebkhet El-Mahmel.(Bouzerkri,2015)

I.3.1.3. L'élevage

L'élevage dans la commune repose principalement sur l'élevage ovin, avec un total de 34 925 têtes en 2019. En deuxième position, on trouve l'élevage caprin, comprenant 4 835 têtes, entre chèvres et chevreaux, suivi de l'élevage bovin en troisième position, avec 1 092 têtes.(DSASI, 2019).

Tableau 5. Effectifs des animaux gros bétails dans la commune d'El Mahmel

	TOTALCHEPTEL
EFFECTIFBOVIN	1092.00
EFFECTIFOVIN	34925.00
EFFECTIFCAPRIN	4835.00

Source : (DSASI, 2019).

Tableau 6. Produits d'élevage dans la commune d'El Mahmel

	DE VACHE	DE CHEVRE	DE CHAMELLE	DE BREBIS	TOTAL
PRODUCTION DE LAIT	3330.53	328.42	-	753.64	4412.59
COLLECTE DE LAIT	634.73	-	-	-	634.73

Source : DSASI, 2019.

Tableau 7. Production de viande et abatage dans la commune d'El Mahmel

	VIANDE ROUGES (QX)					VIANDES BLANCHES (QX)				
	BOVINS	OVINES	CAPRIN E	CAMELI N	EQUINE S	TOTAL	POULE T	DINDE S	AUT RES	TOTAL
PRODUCTION DE VIANDE	1306.00	3270.00	268.00	-	-	4844.00	570.00	-	-	570.00
ABATAGE (CONTROLE ET NON CONTROLE)	94.00	1427.00	137.00	-	-	1658.00	-	-	-	-

Source :(DSASI, 2019).

Tableau 8. les produits d'animaux de dans la commune d'El Mahmel

	ŒUFS(en millier d'unité)	MIEL (kg)	LAINES (kg)	PEAUX ET CUIR (Qx)
TOTAL D'EXPLOITATION	1296.35	3800.00	62000.00	-

Source :(DSASI, 2019).

I.3.1.4. La chasse et braconnage

La chasse et le braconnage exercés par les habitants locaux ne semblent pas avoir un impact significatif sur les oiseaux aquatiques. Cependant, l'arrivée de chasseurs non-résidents dans la région comporte de nombreux désavantages, notamment une chasse non autorisée et un prélèvement excessif. Des actes de braconnage ont été observés dans les zones fréquentées par des espèces en voie de disparition. (Bouakkaz,2016).

Pollution par les rejets solides et liquides

Autrefois, les déchets non traités, les ordures ménagères et les eaux usées domestiques étaient déversés directement dans le périmètre des sebkhas. Ces eaux usées se concentraient alors dans le plan d'eau, contribuant à une surcharge de polluants chimiques et microbiologiques. Désormais, les agriculteurs ont interrompu la canalisation à 500 mètres pour utiliser ces eaux usées dans l'irrigation de leurs terres.(Bouakkaz,2016)



Photographie 3. Vue générale de la Sebkhet de Ouled M'Barak, El-Mahmel, wilaya de Khenchela **(Photo Originale)**

I.4. Hydro climatologie de la région

Pour étudier le climat de la zone d'étude, nous avons exploité des données recueillies au niveau de la station météorologique d'El Hamma gérée par l'office national de la météorologie et dont la période d'observation va de 1998 à 2018 pour la station d'El Hamma, qui a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées suivantes : (**Ramade 1984 ; Dajoz, 1985**).

Coordonnée	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'observation
D'El hamma	7°05'E	35°28'N	928.5 m	1998-2018

I.4.1. La température

La température est un élément crucial pour définir le climat, comme l'ont souligné. Elle exerce une influence majeure sur la distribution des êtres vivants, déterminant souvent leurs aires de répartition. Ce paramètre est largement considéré comme un facteur limitant dans cette répartition, comme l'a également mentionné (**Dajoz 1985**).

Tableau 9. Les données climatiques des températures moyennes mensuelles (1995-2017)
(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
T°	21,24	17,15	11,04	7,36	6,38	7,07	10,24	13,66	18,48	23,35	26,89	26,18

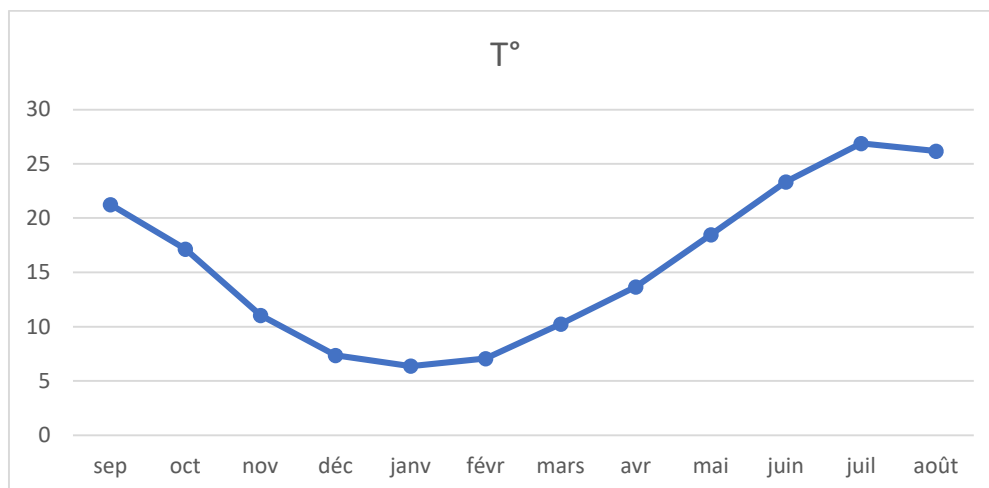


Figure 6. Courbe de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2017)(Station de météorologique d’El Hamma, 2018)

D'après les données de température, nous relevons que dans la zone d'étude, le mois le plus froid s'avère être janvier avec une moyenne de 6,380c. Ces valeurs indiquent l'existence des gelées dans la zone d'étude, enregistré pour une période de trois mois (Déc, Jan et Fév.). Tandis que le mois de juillet s'avère être le plus chaud avec une moyenne de 26,890C

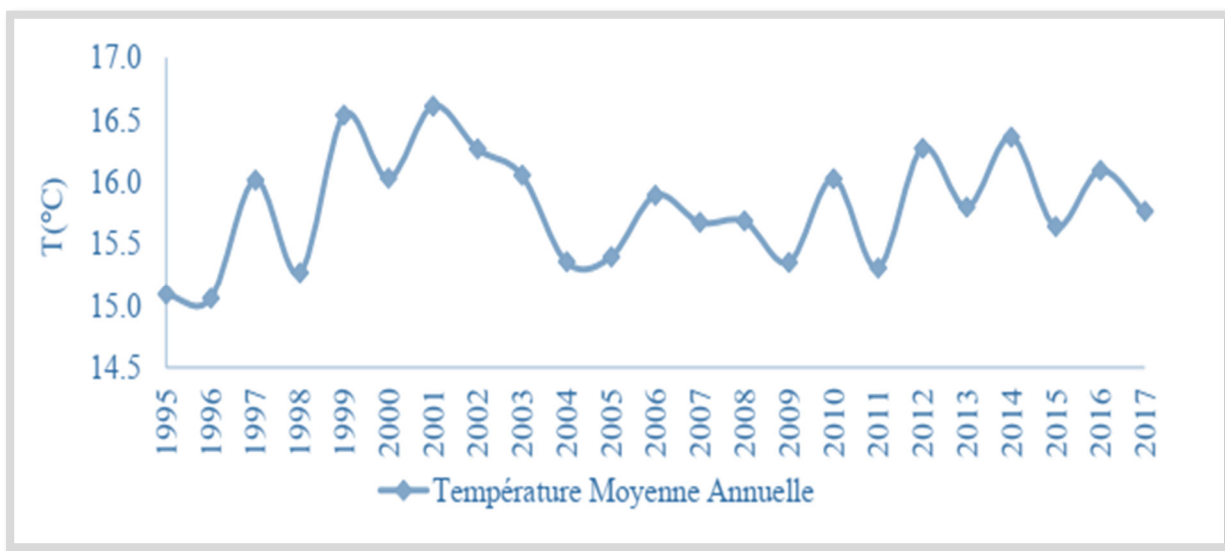


Figure 7. Courbe de variation des températures moyennes annuelles (1995-2017)(Station de météorologique d’El Hamma, 2018)

D'après ces résultats l'année qui est caractérisée par des températures élevée c'est-à-dire l'année la plus chaude 2016 avec 16,90°C l'année qui est caractérisée par des températures faible c'est-à-dire l'année la plus froide c'est 1995 avec 15,1 Oct.

I.4.2. Les précipitations

Pour la majeure partie du globe, les précipitations constituent la principale source d'eau. Elles se définissent par trois paramètres principaux : leur volume, leur intensité et leur fréquence, lesquels varient en fonction des lieux, des jours, des mois et des années. Les caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude sont obtenues à partir d'une série chronologique de 20 ans (de 1998 à 2018) .en adoptant le principe de l'année agricole débutant en septembre. (**Station de météorologique d'El Hamma, 2018**).

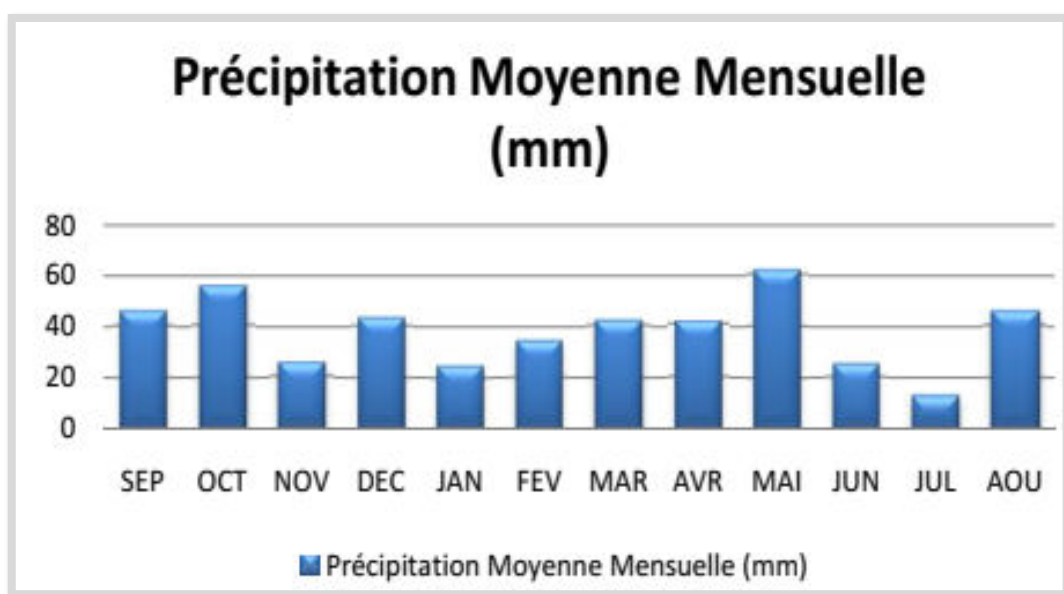


Figure 8. Précipitation moyenne mensuelle de Khenchela (1998-2018) (**Station de météorologique d'El Hamma, 2018**)

Le mois le plus pluvieux est mai avec une moyenne mensuelle de 61,86 mm, par contre le mois le plus sec est juillet avec une moyenne mensuelle de 12,42 mm

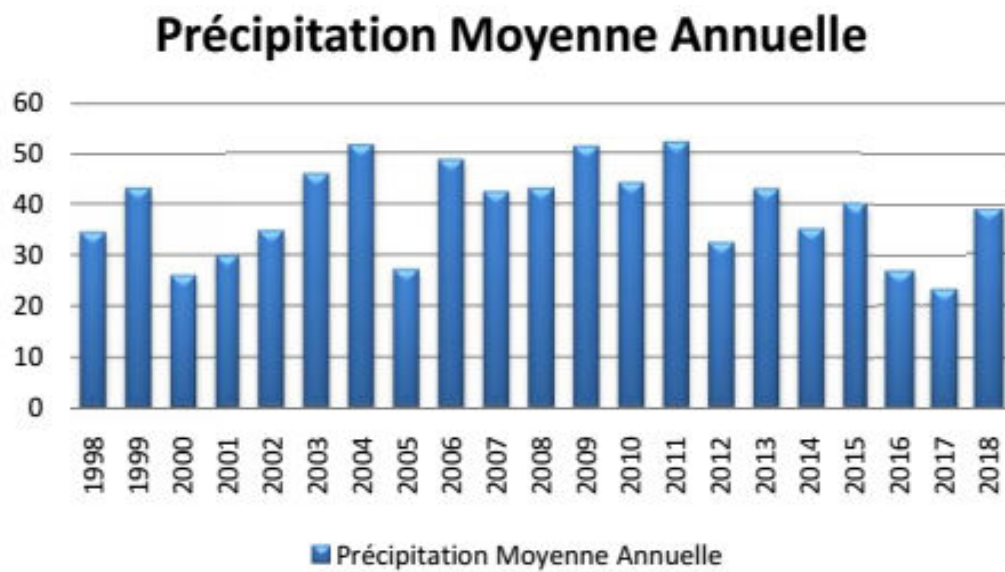


Figure 9. Précipitation moyenne annuelle de Khenchela (1998-2018) (Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

Chapitre III

Résultats et discussion

Dans ce travail, nous avons utilisé les résultats d'analyse des études ultérieures commençant par SEDRATI, 2013 et Tellil et al, 2023.

Les résultats sont transformés en diagramme pour permettre une discussion plus précise du développement des concentrations des paramètres étudiés au fil des années.

I. Étude des eaux souterraines

I.1. Température

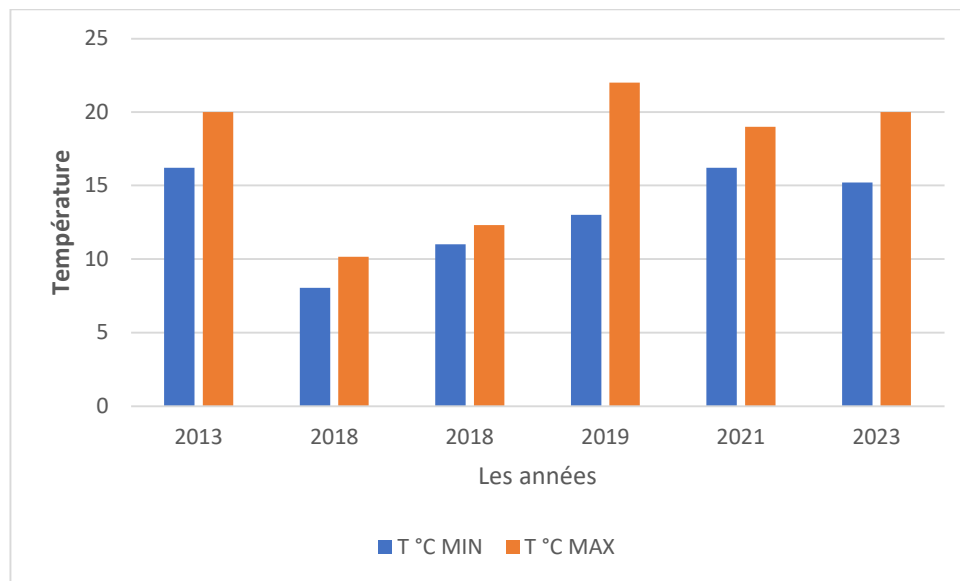


Figure 10. Température des puits

L'analyse des températures mesurées dans les puits entre 2013 et 2023 révèle des fluctuations notables. En 2013, les températures étaient relativement élevées, oscillant entre 16,2 °C et 20 °C. Cependant, en 2018, une baisse significative a été observée, avec des valeurs minimales et maximales s'établissant respectivement à 8,03 °C - 10,15 °C et 11 °C - 12,3 °C. Cela suggère un refroidissement marquant qui pourrait être dû à des conditions climatiques défavorables ou à des impacts environnementaux. En 2019, les températures ont rebondi, atteignant des valeurs allant de 13 °C à 22 °C, indiquant une variabilité qui pourrait refléter des changements saisonniers ou des phénomènes climatiques temporaires. Les mesures de 2021 montrent une stabilisation, avec des valeurs comprises entre 16,2 °C et 19 °C, se rapprochant des niveaux de 2013. En 2023, les températures se maintiennent dans une fourchette similaire à celle de 2021 (15,2 °C - 20 °C), suggérant une tendance vers une certaine régularité après les variations des années précédentes. La température de ces eaux auraient pu être influencée par la température extérieure de la période de prélèvement, qui

n'est pas mentionnée de la majorité de études, du coup on ne peut tirer aucune conclusion significative de ce paramètre.

I.2. Conductivité électrique (CE $\mu\text{s/cm}$)

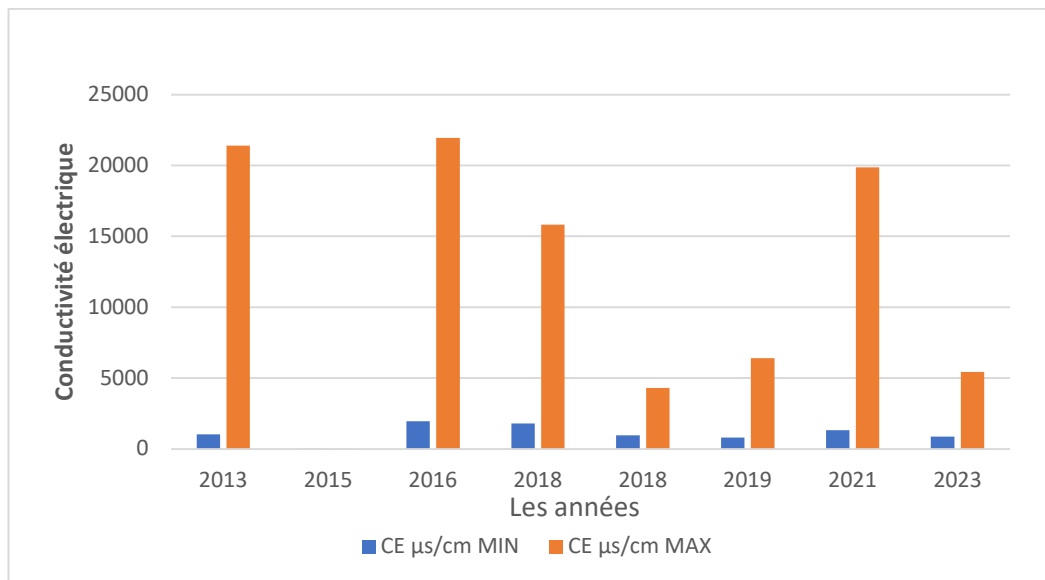


Figure 11. Conductivité électrique des puits

L'interprétation des données de conductivité électrique (CE) sur la période 2013-2023 révèle une variation notable des concentrations des sels dissous dans l'eau des puits, reflétée par les valeurs minimales et maximales. En 2013, la CE minimale était de 1025 $\mu\text{s/cm}$, avec un maximum élevé de 21400 $\mu\text{s/cm}$, indiquant une grande variabilité dans les niveaux de minéralisation de l'eau cette année-là. En 2015, les valeurs ont radicalement chuté, avec une conductivité extrêmement faible (2,49 $\mu\text{s/cm}$ au minimum et 13,28 $\mu\text{s/cm}$ au maximum), ce qui pourrait suggérer des changements importants dans les conditions environnementales ou une modification de la source d'eau.

En 2016, la CE a de nouveau augmenté, avec des valeurs proches de celles de 2013, avec un minimum de 1951 $\mu\text{s/cm}$ et un maximum de 21933 $\mu\text{s/cm}$, ce qui montre une reprise de la minéralisation élevée. Les années 2018 et 2019 présentent des fluctuations modérées, avec deux séries de données pour 2018, reflétant des valeurs minimales de 955 $\mu\text{s/cm}$ et maximales de 15820 $\mu\text{s/cm}$ pour l'une, et de 4291 $\mu\text{s/cm}$ pour l'autre, indiquant potentiellement des différences entre sites ou saisons.

Les années récentes, comme 2021 et 2023, **montrent des variations similaires**, avec des valeurs qui baissent légèrement en 2023 par rapport à 2021 (CE maximale de 5425 $\mu\text{s/cm}$

contre 19864 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en 2021). Globalement, ces fluctuations dans la conductivité pourraient être liées à des changements dans l'apport de sels dissous, influencés par des facteurs tels que la pluviométrie, l'activité humaine, ou la recharge des nappes phréatiques.

I.3. Potential hydrogen (ph)

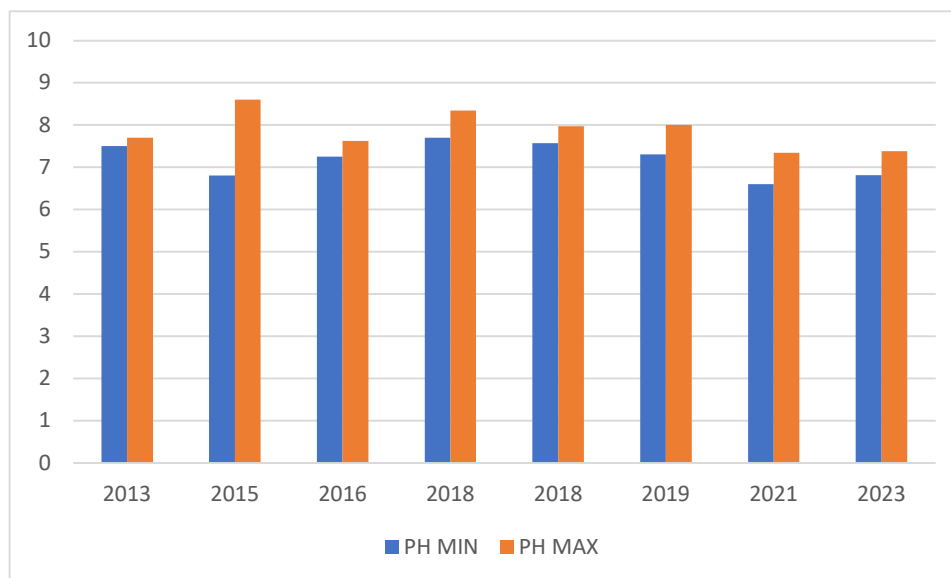


Figure 12. Potential hydrogen des puits

L'interprétation des données du **pH** pour les années 2013 à 2023 montre des variations notables dans l'acidité ou l'alcalinité de l'eau des puits. En 2013, le pH est légèrement alcalin, avec une plage étroite allant de 7,5 à 7,7. Cependant, en 2015, on observe une variation plus importante avec un minimum de 6,8 (légèrement acide) et un maximum de 8,6, indiquant une alcalinité plus marquée par rapport aux autres années. Cela pourrait suggérer une modification dans la composition chimique ou une influence extérieure, comme des apports de substances alcalines.

En 2016, le pH fluctue légèrement entre 7,251 et 7,617, se situant dans une plage neutre à légèrement alcaline, indiquant une stabilité relative par rapport aux années précédentes. Pour l'année 2018, les deux jeux de données montrent un pH stable, avec un premier intervalle de 7,7 à 8,34 et un second de 7,57 à 7,97, tous deux reflétant une tendance à l'alcalinité.

En 2019, les valeurs de pH varient entre 7,3 et 8, ce qui indique une légère diminution de l'acidité comparée à 2018, mais reste dans la fourchette alcaline. Cependant, en 2021, une baisse plus marquée est observée avec un pH minimum de 6,6 et un maximum de 7,34, ce qui signale un environnement légèrement plus acide, peut-être lié à une activité anthropique ou

des facteurs environnementaux tels que la pollution. En 2023, le pH remonte légèrement avec une plage de 6,81 à 7,38, mais reste relativement acide par rapport aux années précédentes.

Ces variations dans le pH peuvent avoir des conséquences écologiques importantes, notamment sur la solubilité des nutriments et des métaux lourds, ainsi que sur la santé des écosystèmes aquatiques. Une attention particulière doit être portée aux valeurs plus acides observées en 2021 et 2023, car elles peuvent indiquer une dégradation de la qualité de l'eau pouvant affecter la biodiversité locale.

I.4. Nitrate (NO₃ mg/l)

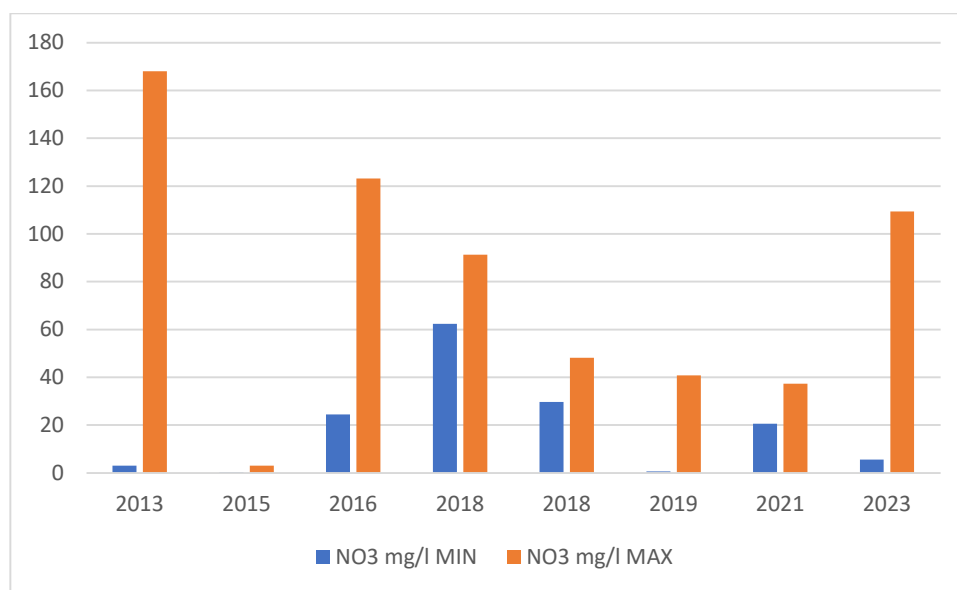


Figure 13. Nitrate des puits

L'analyse des concentrations en nitrate (NO₃) dans l'eau des puits entre 2013 et 2023 montre des variations significatives, ce qui peut refléter des changements dans les apports de substances azotées ou des impacts environnementaux, tels que l'agriculture ou les rejets industriels.

En 2013, les concentrations en nitrate varient de 3 mg/l (valeur minimale) à 168 mg/l (valeur maximale), ce qui indique une pollution azotée importante dans certains puits, potentiellement liée à une utilisation intensive de fertilisants ou à des sources de pollution ponctuelle. En 2015, une forte diminution est observée, avec des valeurs minimales de 0,4 mg/l et maximales de 3 mg/l, qu'on interprète par un manque de donnée ou erreur de mesure puisque de telles valeurs ne peuvent exister dans une région connue par son activité agricole et une utilisation irrationnelle des fertilisants azotés.

En 2016, les valeurs augmentent à nouveau, avec des niveaux minimums de 24,52 mg/l et des maximums atteignant 123,17 mg/l. Cette hausse pourrait être liée à des pratiques agricoles plus intensives ou à des changements dans l'utilisation des terres environnantes. L'année 2018 présente deux ensembles de données, le premier indiquant des niveaux de nitrate relativement élevés (62,32 à 91,24 mg/l), et le second plus modéré (29,63 à 48,21 mg/l). Ces variations pourraient refléter des différences dans les zones de prélèvement ou des saisons distinctes.

En 2019, les niveaux de nitrate sont beaucoup plus faibles, avec un minimum de 0,65 mg/l et un maximum de 40,75 mg/l, ce qui peut indiquer une amélioration de la qualité de l'eau, possiblement due à des politiques de gestion plus strictes ou à une dilution par des événements météorologiques. En 2021, une légère augmentation est observée (de 20,64 à 37,34 mg/l), tandis qu'en 2023, les concentrations varient de 5,62 mg/l à 109,3 mg/l, montrant un retour des niveaux plus élevés dans certains puits.

Ces fluctuations des concentrations en nitrate sont importantes pour la protection des écosystèmes. Des niveaux élevés de nitrates peuvent entraîner l'eutrophisation des eaux, réduisant la qualité de l'eau et affectant la biodiversité aquatique. Les valeurs observées en 2013, 2016, et 2023, notamment, dépassent les seuils recommandés pour la protection de l'environnement, et pourraient signaler une pollution azotée préoccupante pour la santé des écosystèmes locaux.

I.5. Nitrites (NO₂ mg/l)

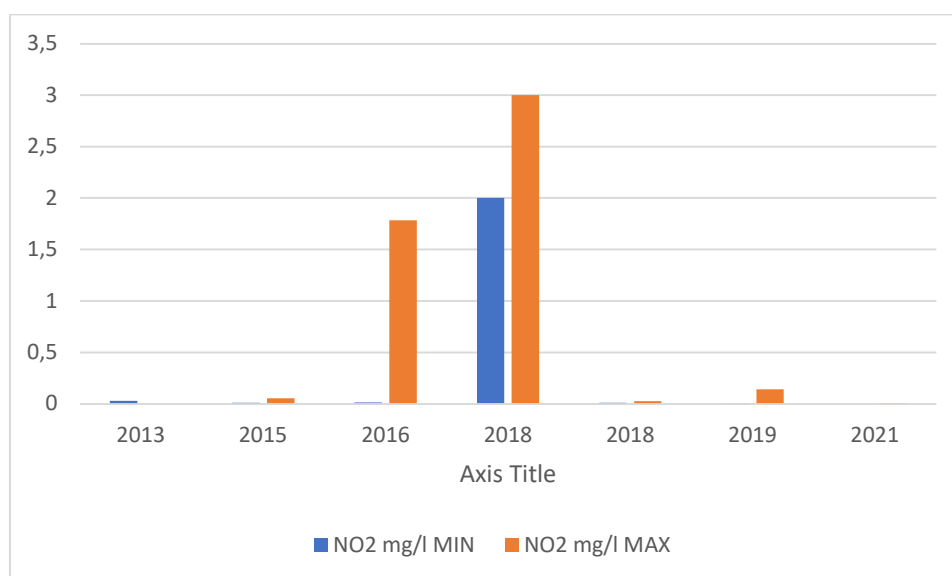


Figure 14. Nitrites des puits

L'analyse des concentrations en nitrites (NO₂) dans l'eau des puits de 2013 à 2021 montre une variation marquée, ce qui peut révéler des fluctuations dans les sources de pollution ou les processus biologiques dans l'environnement aquatique.

En 2013, la concentration minimale en nitrites est de 0,03 mg/l, ce qui indique une présence modérée de nitrites dans l'eau, probablement issue de la dégradation partielle de l'azote ou de la pollution organique. En 2015, une légère baisse est observée, avec une valeur minimale de 0,01 mg/l et un maximum de 0,053 mg/l, suggérant un environnement relativement stable avec peu de pollution par les nitrites.

En 2016, les niveaux de nitrites augmentent de manière significative, avec une concentration minimale de 0,0145 mg/l et une maximale atteignant 1,7842 mg/l, ce qui pourrait indiquer une dégradation accélérée de la matière organique ou des effluents provenant de sources anthropiques, comme l'agriculture ou l'industrie. Cette augmentation est préoccupante, car les nitrites sont des indicateurs de pollution récente et peuvent être toxiques pour les écosystèmes aquatiques.

L'année 2018 montre deux séries de données. La première série affiche des valeurs élevées avec un minimum de 2 mg/l et un maximum de 3 mg/l, ce qui signale une pollution par les nitrites très importante, potentiellement liée à un apport de contaminants organiques. La deuxième série est plus modérée, avec des niveaux plus bas allant de 0,01 mg/l à 0,026 mg/l, ce qui pourrait refléter des conditions locales ou saisonnières distinctes.

En 2019, la concentration en nitrites est faible, avec un minimum de 0,004 mg/l et un maximum de 0,14 mg/l, suggérant une amélioration dans la qualité de l'eau. Cette tendance positive se poursuit en 2021, avec des concentrations en nitrites quasi inexistantes (de 0 mg/l à 0,006 mg/l), ce qui reflète une eau relativement exempte de pollution par ces composés.

D'un point de vue écologique, les nitrites sont des polluants dangereux pour la faune aquatique, car ils perturbent le transport de l'oxygène chez les poissons et d'autres organismes. Les niveaux élevés de nitrites observés en 2016 et 2018 sont particulièrement alarmants pour la protection des écosystèmes et suggèrent des épisodes de pollution ponctuels ou continus qui pourraient affecter négativement la biodiversité locale. Des actions correctives pourraient être nécessaires pour contrôler ces sources de pollution et préserver la santé des écosystèmes aquatiques.

I.6. Le taux des sels dissous (TDS)

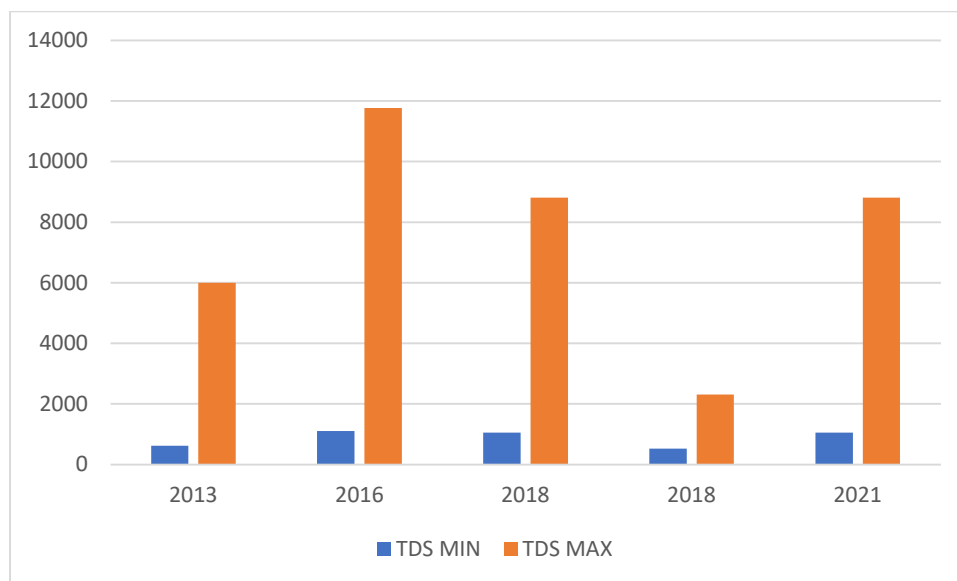


Figure 15 . Le taux des sels dissous des puits

L'analyse des données relatives au taux des sels dissous (TDS) dans les puits entre 2013 et 2021 révèle des variations importantes, qui peuvent refléter des changements dans la composition chimique de l'eau, influencés par des facteurs environnementaux et anthropiques.

En 2013, les valeurs de TDS varient entre 617 mg/l (minimum) et 6000 mg/l (maximum). Ces valeurs indiquent une concentration modérée à élevée de sels dissous dans l'eau, suggérant une influence importante de la minéralisation, potentiellement due à des infiltrations d'eau souterraine chargée de sels ou à des apports anthropiques comme l'utilisation d'engrais ou d'eaux usées non traitées.

En 2016, une augmentation marquée est observée, avec un minimum de 1098 mg/l et un maximum de 11769 mg/l, ce qui suggère une élévation significative de la concentration en sels dissous dans les puits. Cette augmentation pourrait être liée à des phénomènes naturels comme l'évaporation accrue, ou à des pratiques humaines ayant augmenté la salinité des eaux.

En 2018, deux ensembles de données sont disponibles. Le premier montre des valeurs similaires à celles de 2016, avec un minimum de 1051 mg/l et un maximum de 8814 mg/l, tandis que le second indique une baisse notable avec un minimum de 519 mg/l et un maximum de 2313 mg/l. Cette disparité pourrait refléter des différences entre les zones de prélèvement ou des changements saisonniers, où certaines zones ont connu une dilution des

sels dissous, peut-être en raison de précipitations accrues ou de changements dans les activités agricoles.

En 2021, les valeurs de TDS sont similaires à celles observées dans le premier ensemble de 2018, avec une plage de 1051 mg/l à 8814 mg/l, indiquant une continuité dans les niveaux de minéralisation élevés dans certains puits.

D'un point de vue écologique, les concentrations élevées de TDS peuvent avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau et les écosystèmes aquatiques. Des taux de TDS élevés peuvent entraîner des problèmes pour la flore et la faune, en altérant la capacité des organismes aquatiques à réguler leur équilibre osmotique. Les valeurs observées en 2016, 2018, et 2021, en particulier les niveaux maximaux supérieurs à 8000 mg/l, sont préoccupantes et pourraient affecter la biodiversité locale, nécessitant une surveillance accrue pour protéger ces écosystèmes d'une dégradation supplémentaire.

I.7.Chlore (Cl-)

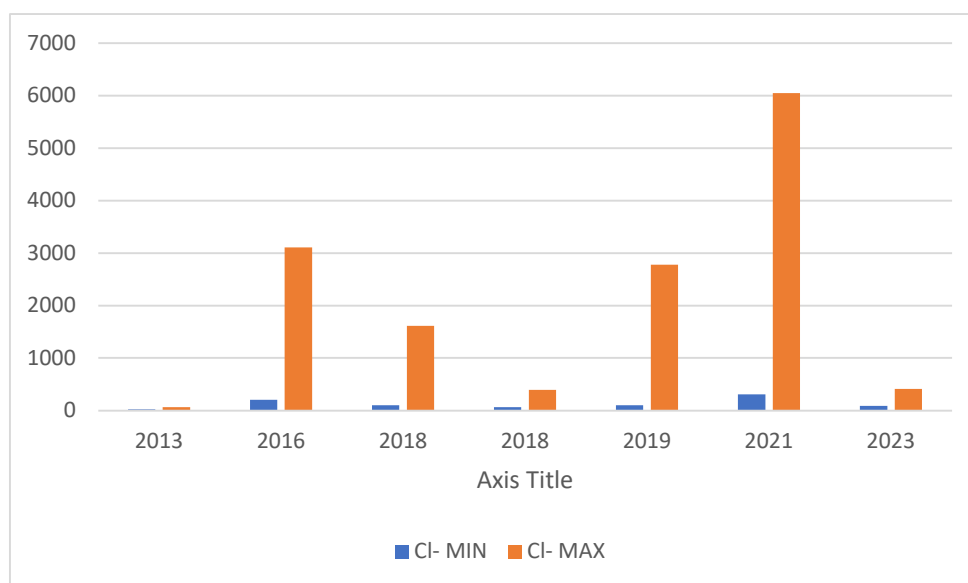


Figure 16 .Chlore des puits

L'analyse des concentrations en chlore (Cl-) dans les eaux des puits entre 2013 et 2023 révèle des fluctuations importantes, qui reflètent potentiellement des changements dans la salinité de l'eau, influencés par des facteurs environnementaux ou anthropiques.

En 2013, les concentrations en chlore sont relativement faibles, avec des valeurs allant de 19,52 mg/l (minimum) à 62,48 mg/l (maximum), ce qui suggère une faible intrusion saline ou une source de pollution limitée. Cependant, en 2016, une forte augmentation est observée,

avec des concentrations allant de 203,33 mg/l à 3108,2 mg/l, ce qui pourrait indiquer une intrusion saline importante, potentiellement liée à l'activité humaine ou à des phénomènes naturels comme la salinisation des nappes phréatiques.

L'année 2018 présente deux ensembles de données. Le premier montre des concentrations allant de 97,56 mg/l à 1612,2 mg/l, tandis que le second affiche une plage plus basse, de 62,33 mg/l à 391,11 mg/l. Cette différence entre les deux jeux de données pourrait refléter des variations entre les zones géographiques ou les périodes de prélèvement, montrant une hétérogénéité dans la contamination par le chlore.

En 2019, les niveaux de chlore augmentent à nouveau, avec un minimum de 102 mg/l et un maximum de 2775 mg/l, ce qui indique un retour des concentrations élevées de sels chlorés dans l'eau, potentiellement dû à des activités agricoles, industrielles ou à des infiltrations d'eau salée.

En 2021, les concentrations en chlore atteignent des niveaux extrêmement élevés, avec une plage allant de 306,88 mg/l à 6050 mg/l, ce qui pourrait indiquer une dégradation importante de la qualité de l'eau en raison de la salinisation ou d'une pollution anthropique intense.

En 2023, les valeurs baissent de manière significative, avec des concentrations variant de 88,25 mg/l à 408,3 mg/l, ce qui suggère une amélioration de la qualité de l'eau par rapport aux années précédentes, bien que ces niveaux restent élevés par rapport aux données de 2013.

D'un point de vue écologique, des concentrations élevées en chlore peuvent avoir des effets dévastateurs sur les écosystèmes aquatiques. Une salinité excessive peut affecter la biodiversité, en particulier pour les espèces sensibles à l'osmolarité de l'eau. Les valeurs observées en 2016, 2019 et 2021 sont préoccupantes pour la protection des écosystèmes, car elles signalent une contamination par le chlore qui pourrait compromettre la qualité de l'eau potable et la santé des habitats aquatiques. Ces observations mettent en lumière l'importance de surveiller la contamination par le chlore et de prendre des mesures pour limiter les sources de pollution.

I.8. Potassium (K⁺)

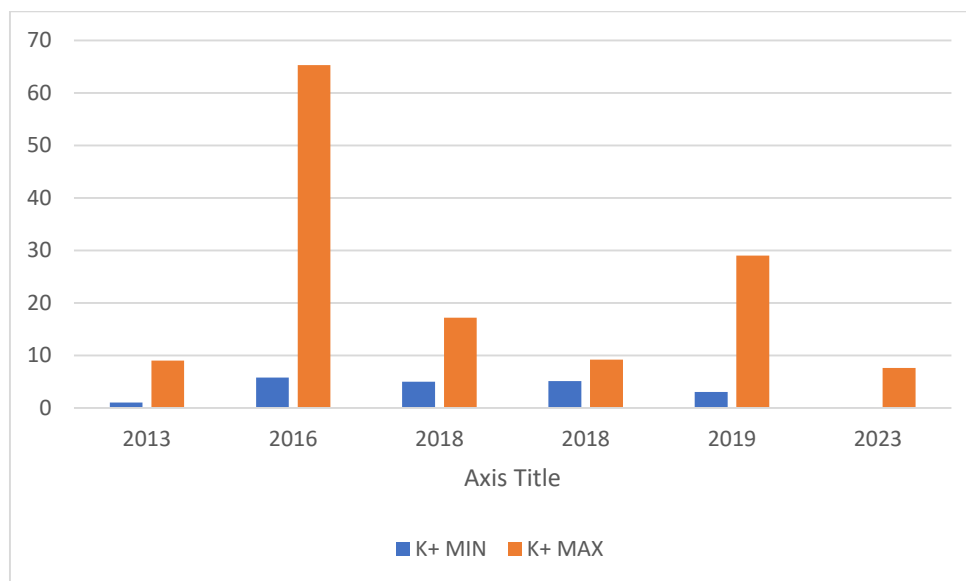


Figure 17. Potassium des puits

L'analyse des concentrations en potassium (K⁺) dans les eaux des puits de 2013 à 2023 montre des variations significatives, qui peuvent refléter l'impact des sources naturelles et anthropiques sur la qualité de l'eau. Le potassium est un élément essentiel pour la croissance des plantes, mais des niveaux élevés peuvent indiquer une pollution provenant de l'agriculture ou d'autres sources.

En 2013, les concentrations en potassium varient entre 1 mg/l et 9 mg/l, ce qui indique une présence modérée de potassium, compatible avec des conditions naturelles stables. Cependant, en 2016, une augmentation significative est observée avec un minimum de 5,8 mg/l et un maximum de 65,3 mg/l, ce qui peut suggérer une contamination, probablement liée à l'utilisation d'engrais ou d'autres apports anthropiques, notamment agricoles.

En 2018, deux ensembles de données montrent une certaine hétérogénéité. Le premier ensemble présente des concentrations allant de 5 mg/l à 17,2 mg/l, et le second une plage plus étroite de 5,1 mg/l à 9,2 mg/l. Cette différence pourrait être due à des variations locales, saisonnières ou des différences dans les méthodes de prélèvement, mais elle reste dans des niveaux modérés par rapport à 2016.

En 2019, les concentrations de potassium augmentent à nouveau, avec des valeurs comprises entre 3 mg/l et 29 mg/l, indiquant une possible influence continue des activités

humaines, telles que l'épandage d'engrais, ou des sources naturelles comme l'érosion des minéraux contenant du potassium.

En 2021, les données manquent, ce qui empêche une évaluation pour cette année. En 2023, une baisse notable des concentrations est observée, avec un minimum de 0,03 mg/l et un maximum de 7,62 mg/l, ce qui pourrait suggérer une amélioration de la qualité de l'eau ou une réduction des sources de pollution au potassium.

Du point de vue de la protection des écosystèmes, les concentrations de potassium doivent être surveillées car des niveaux trop élevés peuvent provoquer une eutrophisation, favorisant la croissance excessive d'algues et perturbant les écosystèmes aquatiques. Les niveaux observés en 2016 et 2019 sont particulièrement préoccupants, tandis que la baisse en 2023 pourrait indiquer une tendance positive. Une gestion rigoureuse des sources de potassium, en particulier les engrais agricoles, est essentielle pour préserver la qualité de l'eau et protéger les écosystèmes locaux.

I.9. Sodium (Na⁺)

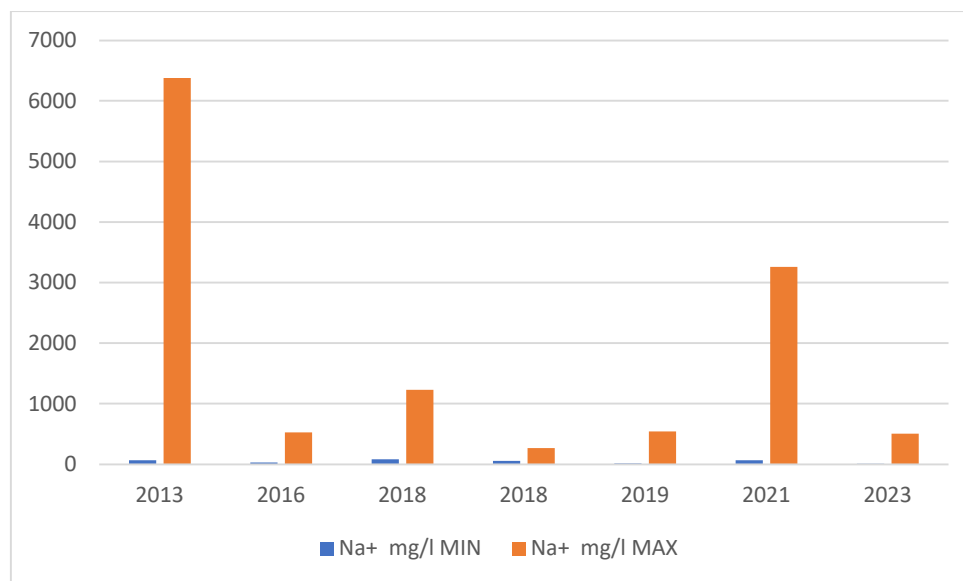


Figure 18 .Sodium des puits

L'analyse des concentrations en sodium (Na⁺) dans les puits entre 2013 et 2023 montre des variations importantes qui peuvent refléter des changements dans la composition chimique de l'eau, influencés par des facteurs naturels et anthropiques tels que l'infiltration d'eau saline, l'activité agricole ou industrielle, ou encore la géologie locale.

En 2013, les concentrations en sodium varient considérablement, avec des valeurs allant de 69 mg/l à 6375 mg/l, ce qui indique une forte présence de sodium, potentiellement liée à des intrusions d'eau salée ou à une contamination par des sources anthropiques, comme l'irrigation avec des eaux salines ou des rejets industriels.

En 2016, les concentrations de sodium sont nettement plus faibles, avec des valeurs comprises entre 31,5 mg/l et 527,8 mg/l, ce qui pourrait refléter une amélioration des conditions environnementales ou une réduction des apports en sodium dans l'eau, mais les valeurs maximales restent élevées, indiquant une persistance de la contamination dans certains puits.

L'année 2018 présente deux séries de données distinctes. La première montre une concentration en sodium allant de 81,5 mg/l à 1231,4 mg/l, indiquant une contamination modérée à élevée, tandis que la deuxième série affiche des valeurs plus faibles, allant de 54,4 mg/l à 270,2 mg/l, suggérant des différences locales dans les conditions environnementales ou les activités humaines.

En 2019, les concentrations minimales sont les plus faibles observées sur la période, avec un minimum de 13 mg/l et un maximum de 540,2 mg/l, indiquant une amélioration relative de la qualité de l'eau dans certains puits. Cependant, cette baisse n'est pas uniformément observée, car en 2021, les concentrations de sodium augmentent à nouveau de manière significative, avec des valeurs allant de 64,8 mg/l à 3260 mg/l, ce qui peut être attribué à une augmentation de la salinité due à des phénomènes naturels ou à des activités anthropiques.

En 2023, une légère diminution est constatée, avec des concentrations comprises entre 11,08 mg/l et 507,2 mg/l, suggérant une amélioration par rapport à 2021, bien que des niveaux de sodium élevés persistent.

Du point de vue de la protection des écosystèmes, des concentrations élevées en sodium peuvent affecter les écosystèmes aquatiques en augmentant la salinité de l'eau, ce qui peut nuire à la biodiversité, notamment aux espèces sensibles aux variations de salinité. Les valeurs élevées observées en 2013, 2018, et 2021 sont préoccupantes, car elles peuvent indiquer une contamination continue, potentiellement nuisible pour les écosystèmes aquatiques et pour la qualité de l'eau potable. Une surveillance accrue et des mesures de

gestion visant à limiter les sources de sodium seraient cruciales pour protéger ces écosystèmes.

I.10. Magnésium (Mg²⁺)

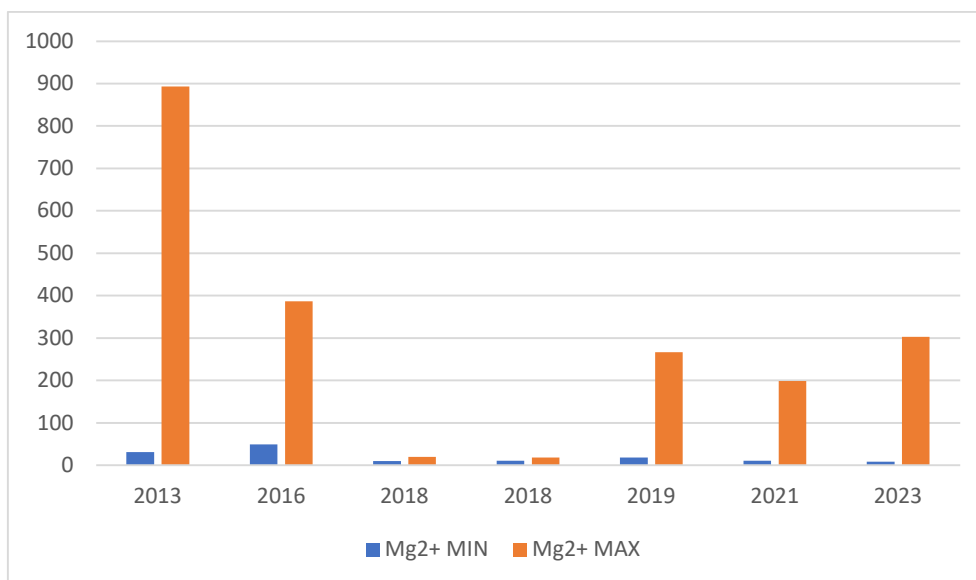


Figure 19. Magnésium des puits

L'analyse des concentrations en magnésium (Mg²⁺) dans les eaux des puits de 2013 à 2023 montre des variations significatives, qui peuvent refléter des changements dans la composition minérale de l'eau, influencés par des facteurs environnementaux tels que l'érosion des roches, l'infiltration d'eau souterraine, ou des activités anthropiques.

En 2013, les concentrations en magnésium varient entre 30,6 mg/l (minimum) et 893 mg/l (maximum). Cette large plage indique des variations importantes dans les niveaux de minéralisation, avec des puits présentant des concentrations très élevées en magnésium, ce qui peut être attribué à une source naturelle comme la dissolution de roches contenant du magnésium.

En 2016, les concentrations sont plus faibles, allant de 49,11 mg/l à 386,21 mg/l. Bien que ces valeurs soient encore relativement élevées, elles indiquent une réduction par rapport à 2013. Cette diminution pourrait être le résultat de changements dans l'approvisionnement en eau ou dans les conditions environnementales locales.

L'année 2018 présente deux ensembles de données distincts. Le premier ensemble affiche des concentrations très faibles, avec un minimum de 9,53 mg/l et un maximum de 19,28 mg/l, tandis que le second présente des concentrations similaires, allant de 10,19 mg/l à

18,03 mg/l. Ces faibles concentrations en 2018 peuvent suggérer une dilution de l'eau ou une réduction des apports minéraux dans certaines zones.

En 2019, une augmentation des concentrations de magnésium est observée, avec des valeurs allant de 18 mg/l à 266,3 mg/l, ce qui pourrait indiquer une nouvelle intrusion de magnésium provenant de sources géologiques ou anthropiques.

En 2021, les concentrations restent modérées, variant de 10,69 mg/l à 198,29 mg/l, montrant une certaine stabilité par rapport aux années précédentes, bien que toujours inférieures aux niveaux élevés observés en 2013.

Enfin, en 2023, une légère augmentation des concentrations minimales et maximales est notée, avec des valeurs allant de 8,18 mg/l à 303,1 mg/l. Cela pourrait être le résultat de conditions environnementales variables ou de la géologie locale influençant l'apport de magnésium dans certains puits.

Le magnésium est un élément essentiel pour la croissance des plantes et la santé des organismes. Cependant, des concentrations trop élevées peuvent altérer l'équilibre chimique des écosystèmes et affecter la biodiversité. Les valeurs élevées observées en 2013 et 2019 nécessitent une attention particulière, car elles peuvent signaler une minéralisation excessive, susceptible d'affecter la qualité de l'eau et les écosystèmes locaux.

I.11. Calcium (Ca²⁺)

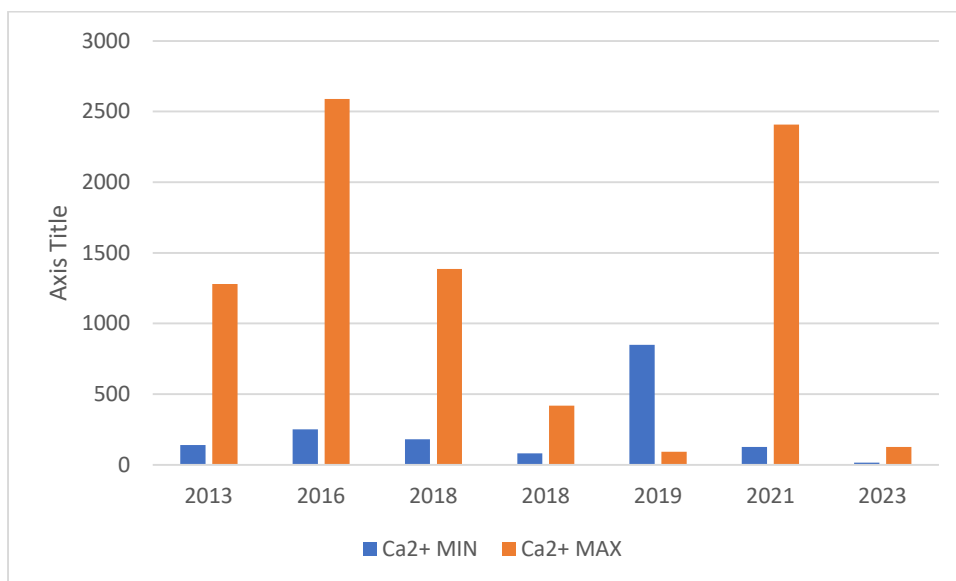


Figure 20 .Calcium des puis

Les données relatives au calcium (Ca^{2+}) montrent une variabilité importante dans les concentrations minimales et maximales au cours des années étudiées. En 2013, les concentrations de calcium varient de 140 à 1280 mg/L, tandis qu'en 2015, aucune donnée n'est disponible. Les années suivantes montrent des variations notables. En 2016, les concentrations maximales atteignent un niveau élevé de 2589,08 mg/L, avec des valeurs minimales de 251,34 mg/L. En 2018, deux jeux de données montrent des plages de valeurs assez larges, allant de 80,79 à 1385,92 mg/L dans un cas, et de 180,44 à 1385,92 mg/L dans l'autre.

En 2019, les valeurs maximales semblent anormalement faibles (93 mg/L) comparées aux autres années, tandis que les concentrations minimales sont assez élevées (850 mg/L), ce qui pourrait indiquer une anomalie ou un problème de mesure. En 2021, les valeurs maximales sont assez élevées (2408,01 mg/L) avec des valeurs minimales de 126,65 mg/L, indiquant une large gamme de concentrations. Enfin, en 2023, les concentrations de calcium sont considérablement réduites avec des valeurs maximales de 127,38 mg/L et minimales de 14,78 mg/L. Les données montrent une large variabilité dans les concentrations de calcium au fil des années. Les périodes de valeurs maximales élevées pourraient être associées à des changements dans les conditions environnementales ou des interventions spécifiques sur le terrain, tandis que les années avec des valeurs minimales plus basses pourraient refléter des changements dans la gestion des puits ou des conditions géologiques modifiées. Une investigation plus approfondie pourrait être nécessaire pour comprendre ces fluctuations et leurs impacts potentiels sur les écosystèmes.

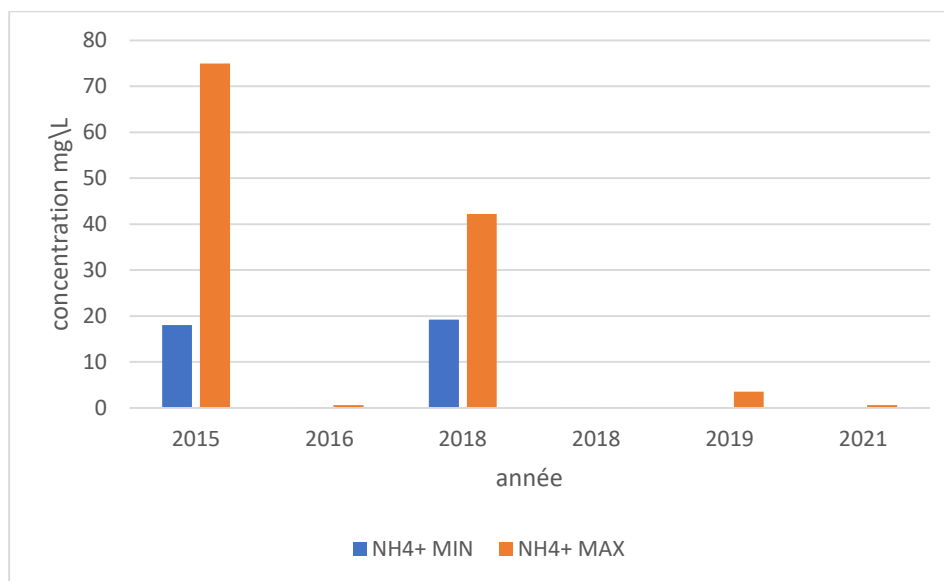
I.12. Ammonium (NH₄⁺)

Figure 21. Ammonium des puits

Les concentrations d'ammonium (NH₄⁺) montrent une grande variabilité au cours des années examinées. En 2015, les valeurs vont de 18 à 75 mg/L, ce qui représente des concentrations relativement élevées comparées aux années suivantes. En 2016, les concentrations sont nettement plus faibles, avec des valeurs minimales de 0,044 mg/L et maximales de 0,569 mg/L, ce qui indique une réduction significative des niveaux d'ammonium par rapport à 2015.

Les années 2018 présentent deux jeux de données distincts, suggérant des périodes de mesure différentes ou des variations dans les conditions des puits. L'un des jeux montre des valeurs comprises entre 19,18 et 42,18 mg/L, ce qui est toujours supérieur aux niveaux observés en 2016, tandis que l'autre montre des valeurs beaucoup plus basses, allant de 0,08 à 0,11 mg/L. Cela pourrait refléter une variabilité dans les conditions environnementales ou des méthodes de mesure différentes.

En 2019, les valeurs d'ammonium montrent une concentration minimale de 0,083 mg/L et une maximale de 3,5 mg/L, indiquant une augmentation par rapport à 2016 et une réduction par rapport à 2015. En 2021, les concentrations sont encore plus basses, avec des valeurs allant de 0 à 0,59 mg/L. Malheureusement, les données pour 2023 ne sont pas disponibles.

En résumé, les concentrations d'ammonium montrent une fluctuation importante au fil des années, avec des périodes de concentrations élevées suivies par des périodes de concentrations beaucoup plus faibles. Ces variations pourraient être dues à des facteurs tels que les changements dans les sources de pollution, les variations saisonnières, ou les méthodes de traitement de l'eau. L'inauguration de la station d'épuration en 2018 montre une diminution considérable, qui est un bon signe du bon fonctionnement de la station.

I.13. Phosphate (PO4-)

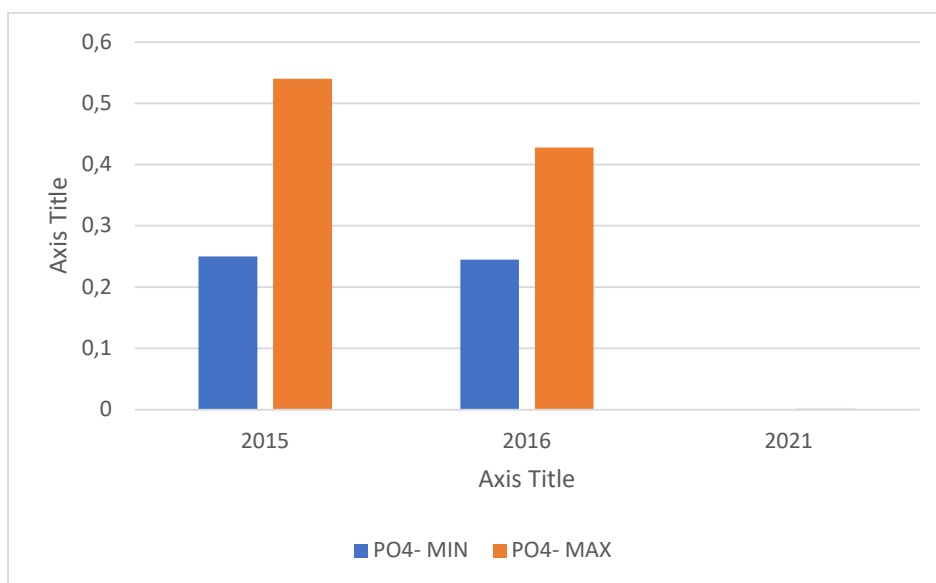


Figure 22 . Phosphate des puis

Les données disponibles montrent une tendance notable à la baisse des concentrations de phosphate (PO4-) au fil des années. En 2015, les concentrations varient entre 0,25 et 0,54 mg/L, ce qui constitue une base de comparaison pour les années suivantes. En 2016, les valeurs observées sont légèrement inférieures, allant de 0,245 à 0,428 mg/L, suggérant une légère réduction des concentrations de phosphate.

Pour les années 2018 et 2019, les données spécifiques ne sont pas disponibles, ce qui limite la possibilité d'observer les variations pendant cette période. Toutefois, en 2021, les concentrations de phosphate sont extrêmement faibles, allant de 0 à 0,001 mg/L, ce qui représente une diminution significative par rapport aux années précédentes.

Cette tendance à la baisse des concentrations de phosphate pourrait être due à plusieurs facteurs, tels que des améliorations dans la gestion des sources de pollution par la mise en fonction de la station d'épuration des eaux usées, des changements dans les pratiques

agricoles ou industrielles, ou des interventions spécifiques pour réduire les niveaux de phosphate dans l'eau. La réduction significative observée en 2021 pourrait également indiquer une efficacité accrue des mesures de traitement ou des réglementations environnementales plus strictes.

I.14. Sulfate (SO₄-2)

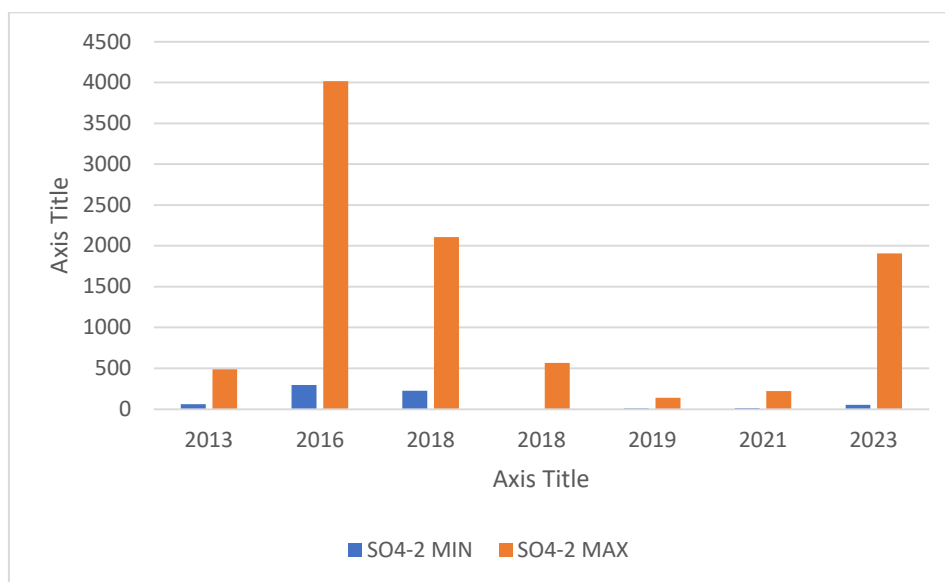


Figure 23. Sulfate des puits

Les concentrations de sulfate (SO₄-2) montrent des variations importantes au cours des années étudiées. En 2013, les concentrations de sulfate varient de 61,5 à 486,4 mg/L, indiquant une plage relativement large mais modérée. En 2016, une augmentation significative est observée avec des concentrations allant de 295,55 à 4014,14 mg/L, ce qui représente des niveaux très élevés par rapport à 2013. Cette augmentation peut être liée à des facteurs tels que des activités industrielles accrues ou des changements dans les sources de pollution.

En 2018, les valeurs des concentrations de sulfate montrent deux jeux de données distincts : l'un allant de 75,33 à 566,36 mg/L, et l'autre de 223,09 à 2105,55 mg/L. Cette large gamme de valeurs peut refléter une variabilité dans les conditions environnementales ou des différences dans les pratiques de gestion des puits. En 2019, les concentrations diminuent considérablement, allant de 9,18 à 136,54 mg/L, suggérant une amélioration ou une réduction des sources de sulfate.

En 2021, les concentrations des sulfates se situent entre 13,304 et 219,604 mg/L, montrant une diminution par rapport aux valeurs les plus élevées observées en 2016 mais restant supérieures à celles de 2019. En 2023, les concentrations augmentent à nouveau avec des valeurs allant de 51,14 à 1907,51 mg/L, indiquant une reprise significative des niveaux de sulfate. Les concentrations de sulfate montrent une grande variabilité au fil des années, avec des pics élevés en 2016 et des réductions substantielles en 2019 avant une nouvelle augmentation en 2023. Ces fluctuations pourraient être dues à des changements dans les activités industrielles, les pratiques de gestion de l'eau, ou les conditions géologiques.

I.15. Bicarbonate (HCO₃⁻)

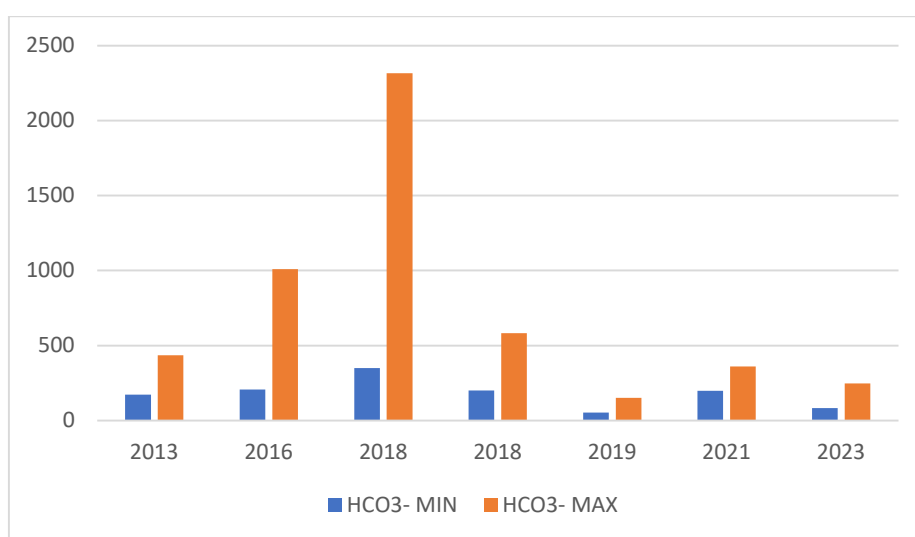


Figure 24 . Bicarbonate des puits

Les concentrations de bicarbonate (HCO₃⁻-HCO₃⁻) montrent une variabilité significative au cours des années observées. En 2013, les concentrations de bicarbonate varient de 173,24 à 434,32 mg/L, établissant une base de référence modérée. En 2016, il y a une augmentation notable avec des valeurs allant de 206,32 à 1009,22 mg/L, ce qui indique une plage de concentrations beaucoup plus large, possiblement en raison de changements dans les sources ou les conditions de gestion des eaux.

En 2018, les données montrent des variations encore plus étendues : un jeu de données va de 200,2 à 583,22 mg/L, tandis qu'un autre va de 350,02 à 2314,55 mg/L. Cette large gamme suggère des fluctuations importantes, qui pourraient refléter des variations saisonnières, des changements dans les conditions hydrologiques, ou des interventions spécifiques sur les puits.

En 2019, les concentrations diminuent considérablement, avec des valeurs allant de 54 à 151,3 mg/L, ce qui est beaucoup plus bas que les valeurs observées les années précédentes. Cela pourrait indiquer une réduction dans les sources de bicarbonate ou un changement dans les processus de traitement de l'eau.

En 2021, les concentrations se stabilisent quelque peu avec des valeurs entre 198,86 et 359,9 mg/L, montrant une certaine reprise par rapport aux niveaux de 2019 mais restant inférieures aux valeurs maximales de 2018. En 2023, les concentrations se situent entre 82,37 et 247,12 mg/L, indiquant une légère diminution par rapport à 2021 et une stabilité relative par rapport aux niveaux plus bas observés en 2019. les concentrations de bicarbonate présentent une grande variabilité avec des pics élevés en 2018 et une tendance générale à la baisse depuis cette période. Ces variations peuvent être influencées par des facteurs tels que les changements dans les sources de bicarbonate, les pratiques de gestion des puits, ou les conditions climatiques. Une analyse plus approfondie pourrait aider à identifier les causes spécifiques de ces fluctuations et à évaluer leur impact potentiel sur les écosystèmes aquatiques.

II.2. Résultats des eaux de surfaces

II.1. Température

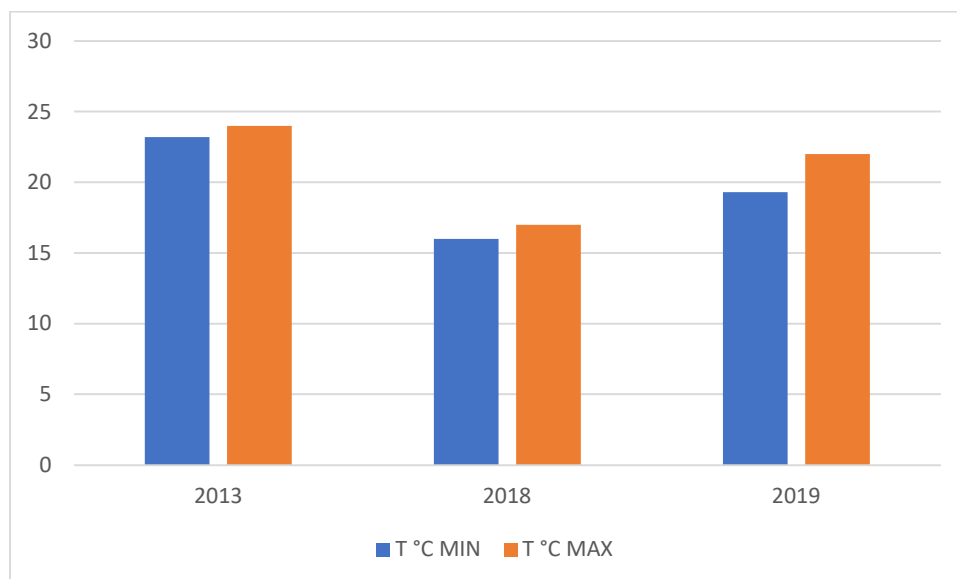


Figure 25. Température des eaux de surfaces

Les données de température montrent une certaine variabilité au cours des années observées. En 2013, les températures varient entre 23,2 et 24°C, indiquant une plage

relativement étroite et des températures plutôt élevées pour les puits pendant cette période. En comparaison, les données de 2018 montrent des températures beaucoup plus basses, allant de 16 à 17°C. Cette diminution significative des températures pourrait être le résultat de changements climatiques saisonniers, de variations dans la gestion des puits, ou d'autres facteurs environnementaux.

En 2019, les températures augmentent légèrement par rapport à 2018, avec des valeurs allant de 19,3 à 22°C. Bien que ces températures soient encore inférieures à celles observées en 2013, elles montrent une tendance à la hausse par rapport à 2018. Les données montrent une baisse notable des températures entre 2013 et 2018, suivie d'une légère remontée en 2019. Ces variations pourraient être influencées par des changements saisonniers, des conditions climatiques, ou des ajustements dans la gestion des puits. Une analyse plus approfondie pourrait aider à comprendre les causes spécifiques de ces fluctuations et leur impact potentiel sur les écosystèmes aquatiques.

II.2. Conductivité électrique (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$)

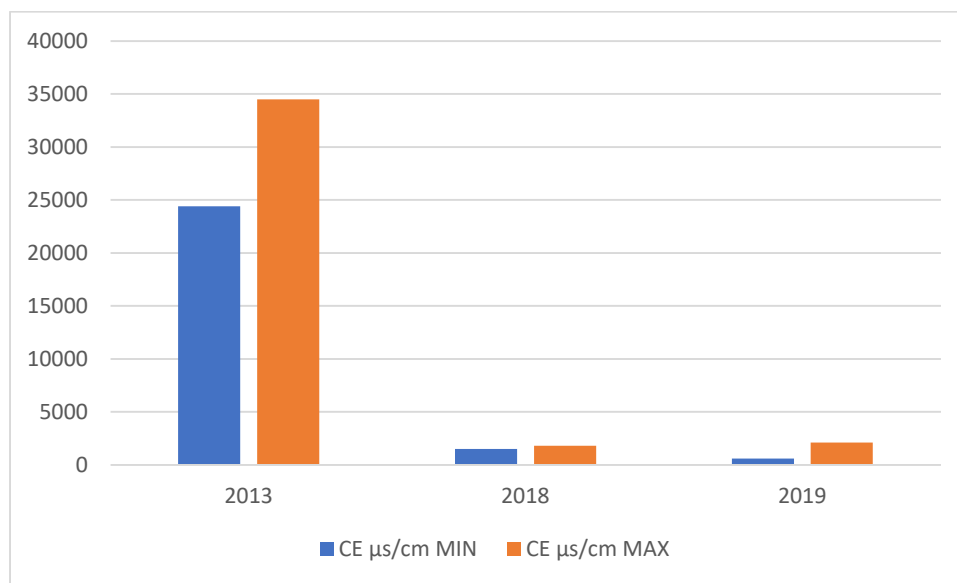


Figure 26. Conductivité électrique des eaux de surfaces

Les valeurs de conductivité électrique (CE) montrent une variabilité importante au cours des années observées. En 2013, les données indiquent des concentrations de CE très élevées, allant de 24 400 à 24 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui pourrait suggérer une forte concentration en sels dissous ou une pollution significative dans les puits pendant cette période.

En 2018, les valeurs de CE sont considérablement réduites, variant de 1 500 à 17 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette diminution substantielle par rapport à 2013 indique une baisse significative de la concentration des ions dissous dans l'eau, ce qui pourrait être dû à des améliorations dans la gestion des puits, à une réduction des sources de pollution, ou à des changements dans les conditions hydrologiques.

En 2019, les valeurs de CE se situent entre 600 et 22 $\mu\text{S}/\text{cm}$, montrant une légère augmentation par rapport à 2018, mais restant nettement inférieures aux niveaux observés en 2013. Cette tendance pourrait indiquer une stabilisation des niveaux de conductivité après une réduction initiale importante. Les données montrent une tendance générale à la baisse des concentrations de conductivité électrique de 2013 à 2019, avec une amélioration significative observée en 2018. Les variations peuvent être attribuées à des améliorations dans la gestion des puits, des changements environnementaux ou des variations naturelles dans la composition de l'eau. Une analyse plus approfondie pourrait aider à identifier les causes spécifiques de ces fluctuations et à évaluer leur impact potentiel sur les écosystèmes aquatiques.

II.3. Potential hydrogen (ph)

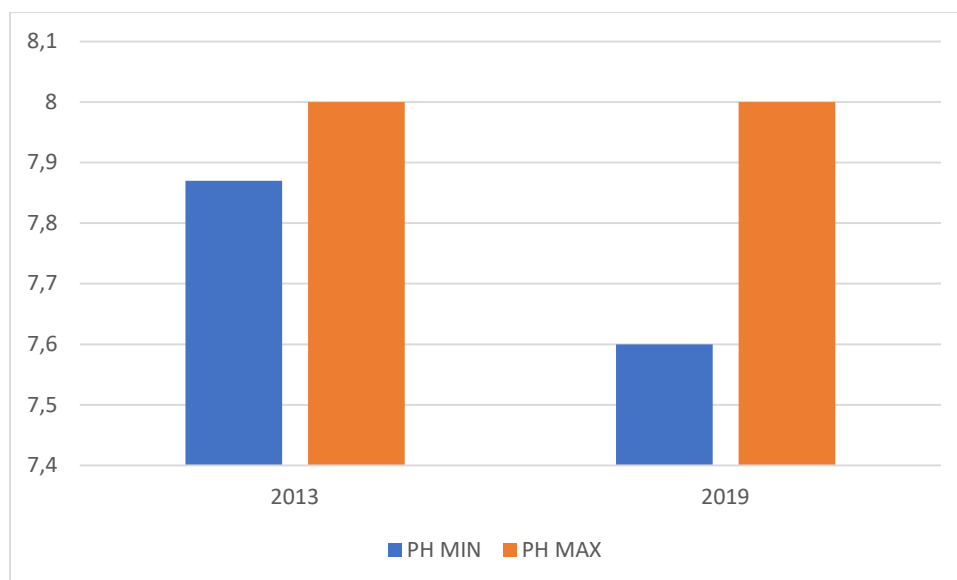


Figure 27. Potential hydrogen des eaux de surfaces

Les valeurs du potentiel hydrogène (pH) dans les puits montrent une certaine stabilité au fil des années observées. En 2013, les valeurs de pH varient de 7,87 à 8,0. Ces valeurs indiquent que l'eau des puits est légèrement basique, ce qui est généralement considéré comme un pH normal pour les eaux souterraines.

En 2019, les valeurs de pH sont légèrement plus basses, allant de 7,6 à 8,0. Bien que la valeur maximale du pH reste constante par rapport à 2013, la valeur minimale a diminué légèrement, suggérant une tendance vers un pH plus bas. Cette légère baisse pourrait être le résultat de changements dans les conditions environnementales, les sources de pollution, ou les processus naturels affectant le pH de l'eau. Une stabilité générale du pH avec une légère tendance à la baisse en 2019 par rapport à 2013. Les variations observées sont minimales, ce qui indique que le pH de l'eau des puits reste relativement stable au fil des années, bien que des fluctuations légères puissent être influencées par des facteurs environnementaux ou des changements dans les sources de contamination. Une surveillance continue pourrait être nécessaire pour détecter toute tendance significative dans le pH et évaluer ses implications pour les écosystèmes aquatiques.

II.4. Nitrate (NO₃ mg/l)

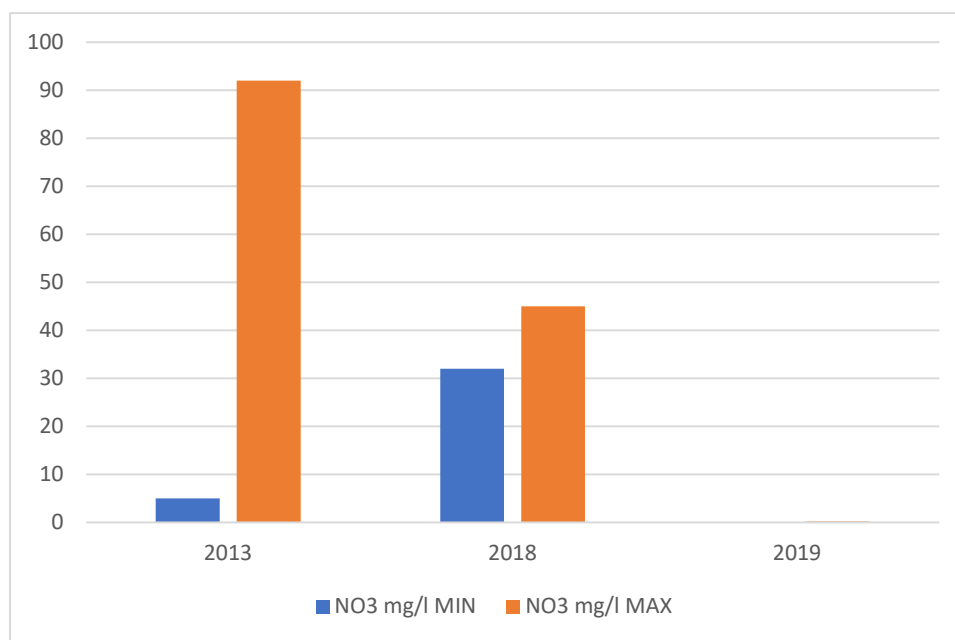


Figure 28. Nitrate des eaux de surfaces

Les concentrations de nitrate (NO₃-NO₃⁻) montrent des fluctuations notables au cours des années observées. En 2013, les niveaux de nitrate varient de 5 à 92 mg/L, avec des valeurs relativement élevées. Ces concentrations suggèrent une présence significative de nitrates dans les puits, potentiellement en raison de sources de pollution telles que les fertilisants agricoles ou les effluents industriels.

En 2018, les concentrations sont considérablement réduites, allant de 32 à 45 mg/L. Bien que les niveaux aient diminué par rapport à 2013, ils restent élevés par rapport aux

normes de qualité de l'eau potable, ce qui pourrait indiquer une persistance des sources de pollution ou une réduction partielle des concentrations.

En 2019, les concentrations de nitrate chutent à des niveaux très bas, allant de 0 à 0,17 mg/L. Cette diminution marquée par rapport à 2018 indique une amélioration significative de la qualité de l'eau, possiblement due à des mesures de gestion efficaces, à une réduction des sources de pollution, ou à des interventions de traitement de l'eau. Une surveillance continue est essentielle pour maintenir ces améliorations et garantir que les niveaux de nitrate restent dans les limites acceptables pour la protection des écosystèmes aquatiques et la santé humaine.

II.5. Nitrites (NO₂ mg/l)

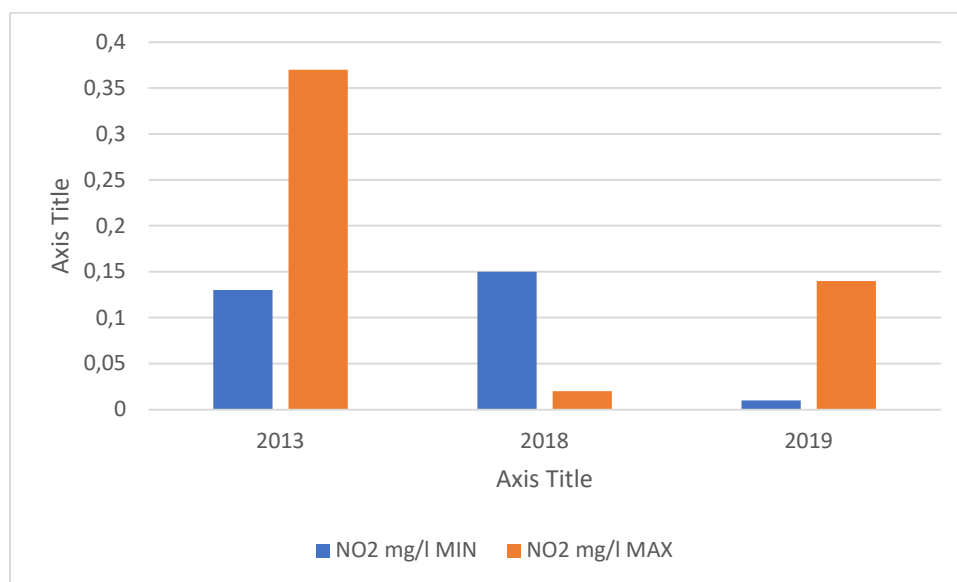


Figure 29. Nitrites des eaux de surfaces

Les concentrations de nitrites (NO₂-NO₂⁻-NO₂⁻) montrent des variations intéressantes au cours des années observées. En 2013, les concentrations vont de 0,13 à 0,37 mg/L, indiquant des niveaux relativement modérés de nitrites dans les puits. Ces valeurs peuvent refléter la présence de sources de pollution ou de processus biologiques contribuant aux nitrites.

En 2018, les concentrations de nitrites montrent une plage étroite mais légèrement plus faible, variant de 0,15 à 0,02 mg/L. Cette baisse significative du niveau maximal par rapport à 2013 pourrait indiquer une amélioration de la qualité de l'eau ou une réduction des sources de

pollution. La plage des concentrations suggère que les niveaux de nitrites ont diminué, ce qui est généralement positif pour la qualité de l'eau.

En 2019, les concentrations sont encore plus basses, allant de 0,01 à 0,14 mg/L. Les valeurs maximales observées en 2019 sont inférieures à celles de 2013 et montrent une tendance continue à la baisse. Cette réduction des niveaux de nitrites pourrait refléter des améliorations supplémentaires dans la gestion des sources de pollution ou des changements dans les conditions environnementales qui favorisent une diminution des nitrites.

En résumé, les données montrent une tendance générale à la baisse des concentrations de nitrites au fil des ans, avec des niveaux maximaux diminuant de manière significative de 2013 à 2019. Cette tendance est favorable et suggère des améliorations dans la qualité de l'eau, potentiellement en réponse à des mesures de gestion ou à une réduction des sources de pollution. Une surveillance continue est essentielle pour confirmer ces améliorations et garantir que les niveaux de nitrites restent dans des limites acceptables pour la protection des écosystèmes aquatiques.

II.6. Le taux des sels dissous (TDS)

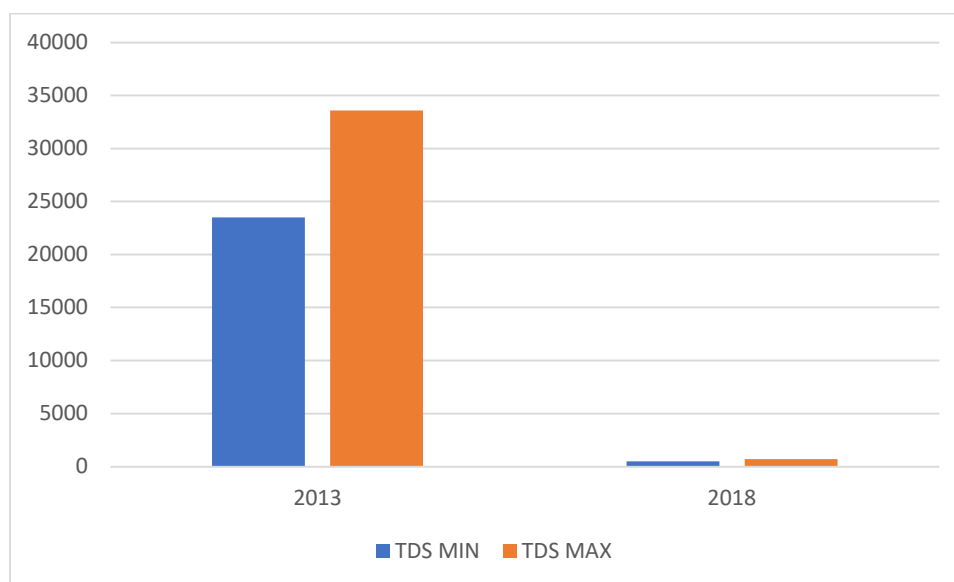


Figure 30. Le taux des sels dissous des eaux de surfaces

Les données sur le taux de sels dissous (TDS) montrent des variations significatives entre les années observées. En 2013, les concentrations de TDS sont très élevées, variant de 23 500 à 33 600 mg/L. Ces niveaux élevés peuvent indiquer une forte salinité dans les puits,

potentiellement due à des sources de pollution ou à des conditions environnementales particulières telles que l'intrusion d'eau salée ou une accumulation excessive de minéraux.

En 2018, les concentrations de TDS diminuent considérablement, allant de 500 à 700 mg/L. Cette réduction drastique par rapport à 2013 indique une amélioration notable de la qualité de l'eau. Les niveaux de TDS observés en 2018 sont beaucoup plus bas et suggèrent soit une diminution des sources de contamination, soit des changements dans les conditions hydrologiques ayant entraîné une réduction des sels dissous.

Les données pour 2019 ne sont pas disponibles, ce qui limite la capacité à évaluer les tendances plus récentes ou les variations ultérieures du TDS. Toutefois, le changement significatif observé entre 2013 et 2018 est en soi révélateur d'une amélioration substantielle de la qualité de l'eau. Une baisse significative du taux de sels dissous entre 2013 et 2018, indiquant une amélioration notable dans la qualité de l'eau des puits. Cette diminution pourrait résulter d'une gestion améliorée des sources de pollution ou de changements environnementaux favorables. Une analyse continue est nécessaire pour suivre les tendances plus récentes et assurer la pérennité des améliorations de la qualité de l'eau.

II.7. Chlore (Cl⁻)



Figure 31 . Chlore des eaux de surfaces

Les concentrations de chlore (Cl⁻) montrent des variations notables au cours des années observées. En 2013, les concentrations sont relativement élevées, variant de 1100,5 à 1200 mg/L. Ces niveaux élevés de chlore peuvent indiquer une contamination

importante ou une influence d'éléments industriels, agricoles, ou de sources de pollution spécifiques.

En 2018, les concentrations de chlore montrent une baisse significative, allant de 50 à 160 mg/L. Cette diminution par rapport à 2013 suggère une amélioration notable de la qualité de l'eau, possiblement due à une réduction des sources de contamination ou à des efforts de gestion de l'eau efficaces.

En 2019, les concentrations augmentent à nouveau, avec des valeurs variant de 423,6 à 1 667 mg/L. Ce retour à des niveaux plus élevés par rapport à 2018 indique une fluctuation potentielle dans les sources de chlore ou des variations environnementales qui ont entraîné une nouvelle augmentation des concentrations.

En résumé, les données montrent une tendance générale à la baisse des concentrations de chlore de 2013 à 2018, suivie d'une recrudescence en 2019. La diminution des concentrations entre 2013 et 2018 suggère une amélioration dans la gestion des sources de contamination ou des changements environnementaux positifs. Cependant, l'augmentation observée en 2019 indique que des problèmes pourraient persister ou de nouvelles sources de chlore pourraient affecter la qualité de l'eau. Une surveillance continue et une gestion appropriée sont essentielles pour maintenir la qualité de l'eau et minimiser les impacts environnementaux.

II.8. Potassium (K⁺)

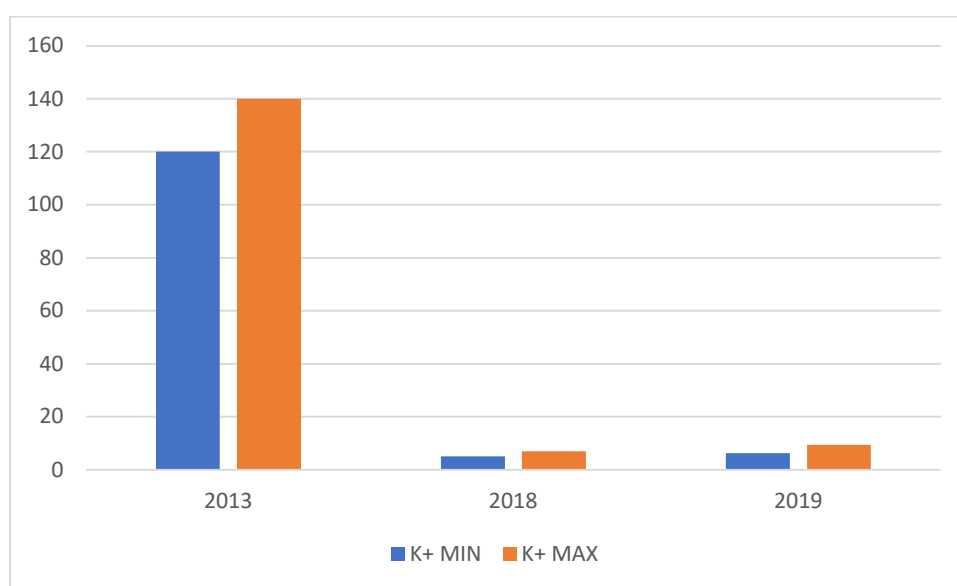


Figure 32 . Potassium des surfaces

L'analyse des données concernant le potassium (K^+) dans l'eau des puits révèle des variations significatives entre les années 2013, 2018, et 2019. En 2013, les concentrations de K^+ étaient remarquablement élevées, avec des valeurs allant de 120 à 140 mg/L. Cependant, en 2018, on observe une chute drastique de ces concentrations, avec des valeurs minimales et maximales respectivement à 5 et 7 mg/L. Cette baisse indique probablement une réduction des sources de potassium dans l'écosystème ou une modification des pratiques humaines (comme l'utilisation d'engrais ou de rejets industriels). En 2019, les concentrations augmentent légèrement par rapport à 2018, avec des valeurs comprises entre 6,2 et 9,4 mg/L, suggérant une possible fluctuation naturelle ou des changements dans l'apport de potassium. Cette comparaison met en évidence des variations potentiellement influencées par des facteurs anthropiques ou environnementaux, nécessitant une analyse plus approfondie pour comprendre les causes de ces changements.

II.9. Sodium (Na^+ mg/l)

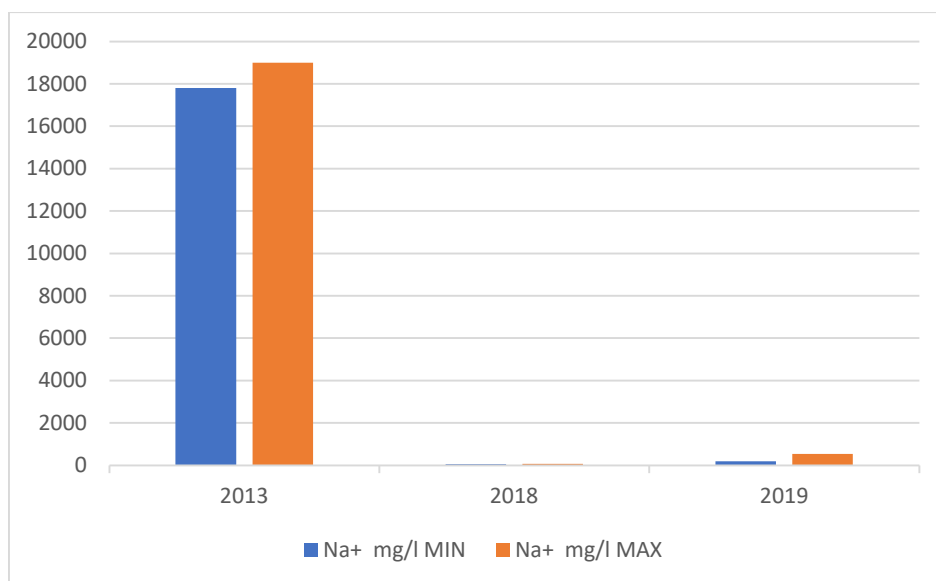


Figure 33.Sodium des surfaces

L'analyse des données sur les concentrations en sodium (Na^+) des puits entre 2013, 2018, et 2019 montre des variations importantes. En 2013, les niveaux de sodium étaient extrêmement élevés, avec des valeurs allant de 17 800 à 19 000 mg/L, ce qui pourrait indiquer une forte influence de sources salines, telles que l'intrusion d'eau de mer, une contamination anthropique (par exemple, des rejets industriels), ou encore des conditions géologiques spécifiques favorisant la présence de sodium. Cependant, en 2018, on observe une diminution drastique de ces concentrations, avec des valeurs allant de 60 à 80 mg/L. Cette baisse suggère

une amélioration significative de la qualité de l'eau, probablement due à des mesures de protection des écosystèmes, une modification des activités humaines, ou des facteurs naturels tels que des changements dans le régime des eaux souterraines. En 2019, les concentrations de sodium augmentent à nouveau, se situant entre 188,5 et 540,2 mg/L. Cette fluctuation pourrait être due à des facteurs environnementaux, des changements climatiques, ou des activités humaines variables. Ces variations marquées mettent en évidence la nécessité d'une surveillance continue et d'une meilleure compréhension des interactions entre les écosystèmes et les activités humaines pour assurer la protection de la ressource en eau.

II.10. Magnesium (Mg^{2+})

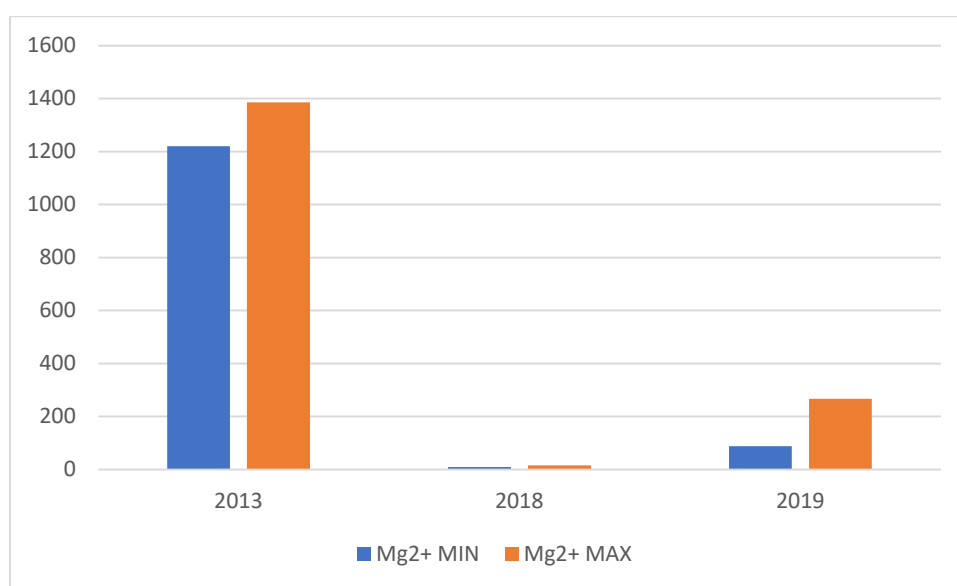


Figure 34. Magnesium des surfaces

L'analyse des concentrations de magnésium (Mg^{2+}) dans l'eau des puits montre des variations considérables entre les années 2013, 2018 et 2019. En 2013, les niveaux de magnésium étaient très élevés, avec des concentrations allant de 1 220 à 1 386 mg/L. Ces valeurs suggèrent une forte présence de magnésium dans l'environnement, possiblement liée à des phénomènes géologiques (comme la dissolution de minéraux riches en magnésium) ou à des activités humaines telles que l'utilisation de fertilisants ou des rejets industriels. En 2018, une baisse significative des concentrations est observée, avec des valeurs allant de 10 à 15 mg/L, ce qui pourrait refléter une amélioration de la gestion des écosystèmes, des changements dans les pratiques agricoles, ou encore une modification des sources de contamination. Cependant, en 2019, une augmentation est constatée, les concentrations de magnésium variant entre 87,5 et 266,3 mg/L. Cette hausse peut être le résultat de fluctuations

naturelles des eaux souterraines, d'événements climatiques, ou de changements dans les activités humaines aux alentours. Cette évolution irrégulière des niveaux de magnésium souligne l'importance de surveiller les paramètres chimiques des puits pour évaluer l'impact des pressions environnementales et anthropiques sur la qualité de l'eau, et pour adapter les mesures de protection des écosystèmes.

II.11. Calcium (Ca^{2+})

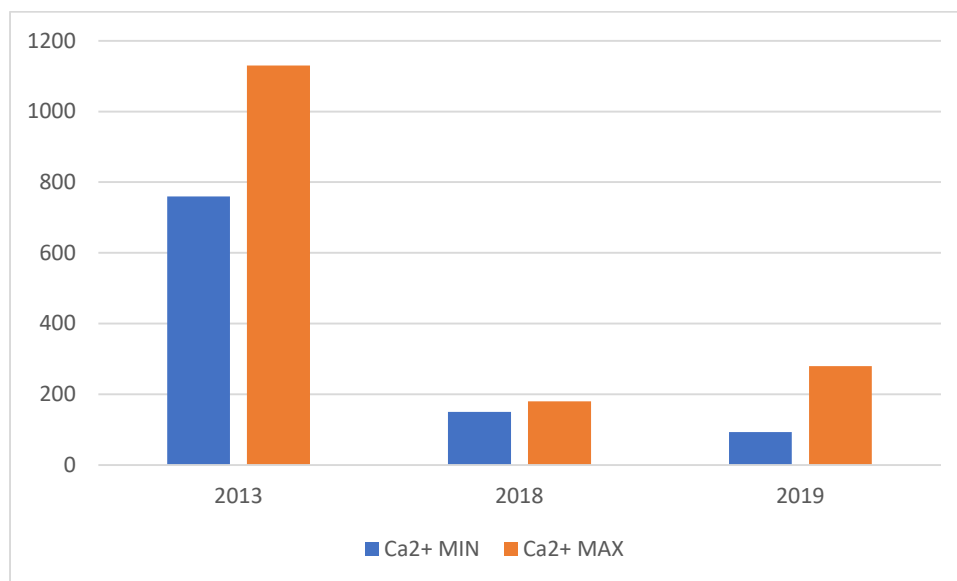


Figure 35. Calcium des surfaces

L'analyse des concentrations de calcium (Ca^{2+}) dans l'eau des puits révèle des variations notables entre les années 2013, 2018 et 2019. En 2013, les niveaux de calcium étaient élevés, avec des concentrations allant de 760 à 1 130 mg/L, ce qui peut être attribué à des facteurs géologiques (comme la dissolution de roches calcaires) ou à des activités humaines telles que l'utilisation d'engrais calciques. En 2018, on observe une diminution significative, avec des valeurs comprises entre 150 et 180 mg/L, indiquant peut-être une réduction des sources de calcium dans l'écosystème, une meilleure gestion de la qualité de l'eau, ou une modification des pratiques agricoles et industrielles. En 2019, les concentrations de calcium varient davantage, entre 93 et 279 mg/L, montrant une certaine instabilité. Cette fluctuation pourrait être due à des changements dans les conditions environnementales, à des épisodes de précipitations qui affectent le ruissellement, ou à des activités humaines variables dans la région. Ces variations suggèrent que la qualité de l'eau des puits est influencée par des interactions complexes entre les facteurs naturels et anthropiques. La surveillance continue

des paramètres chimiques est donc essentielle pour la protection des écosystèmes et la gestion durable des ressources en eau.

II.12. Ammonium (NH₄⁺)

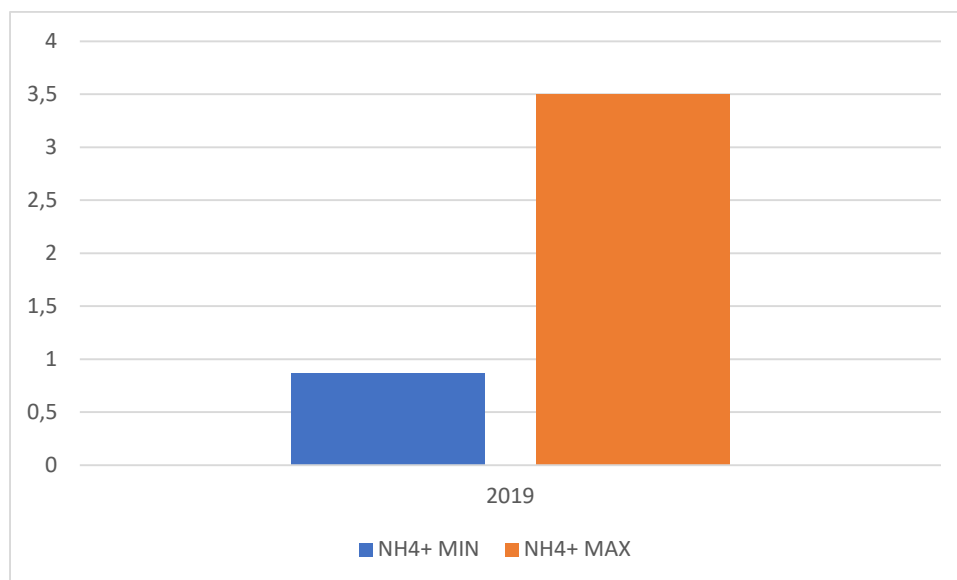


Figure 36. Ammonium des surfaces

Les données concernant les concentrations en ammonium (NH₄⁺) dans l'eau des puits sont limitées, car seules les valeurs de 2019 sont disponibles. En 2019, les concentrations d'ammonium varient entre 0,87 et 3,5 mg/L. L'ammonium dans l'eau est souvent un indicateur de pollution organique, qui peut provenir de sources telles que les rejets domestiques, agricoles (comme les engrais), ou industrielles. Cependant, la présence d'ammonium en 2019 suggère une potentielle source de pollution ou un changement dans l'écosystème aquatique. Pour une analyse plus approfondie, il serait nécessaire de collecter des données supplémentaires sur les autres années et de considérer les facteurs anthropiques et environnementaux qui pourraient influencer la présence d'ammonium dans l'eau des puits. Une surveillance régulière est essentielle pour détecter les tendances et prendre des mesures de protection des écosystèmes aquatiques.

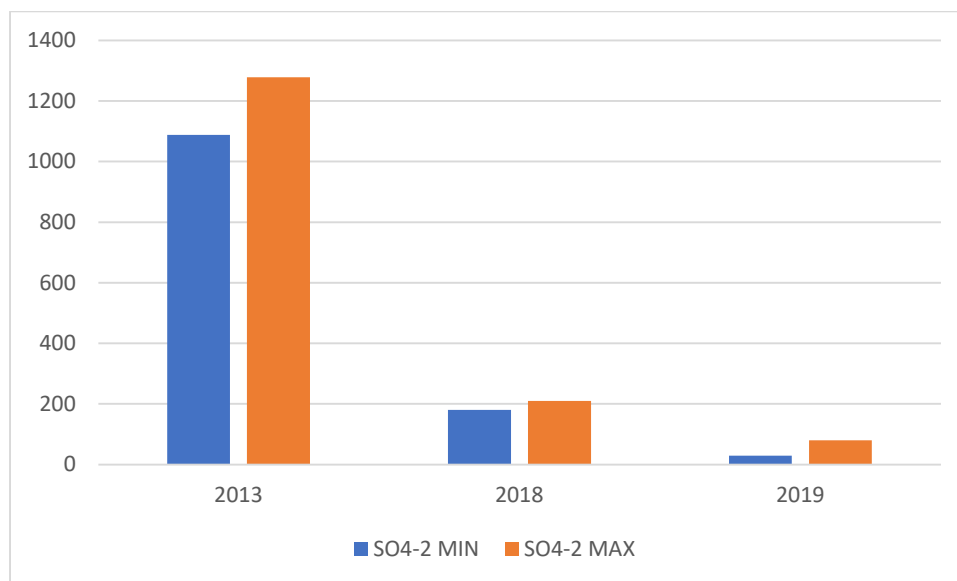
II.13. Sulfate (SO₄-2)

Figure 37. Sulfate des surfaces

L'analyse des concentrations en sulfates (SO₄²⁻) dans l'eau des puits révèle une baisse significative entre les années 2013, 2018 et 2019. En 2013, les niveaux de sulfate étaient très élevés, avec des valeurs comprises entre 1 088 et 1 278 mg/L. Ces concentrations élevées peuvent résulter de l'influence géologique (comme la dissolution de minéraux sulfatés), de l'activité industrielle, ou de l'utilisation de certains engrais agricoles.

En 2018, les concentrations chutent de manière notable, avec des valeurs comprises entre 180 et 210 mg/L. Cette réduction suggère une amélioration de la qualité de l'eau, peut-être grâce à une meilleure gestion des activités humaines, une réduction des sources de pollution, ou des changements dans les pratiques agricoles ou industrielles de la région.

En 2019, les niveaux de sulfate continuent de baisser, atteignant une fourchette de 29,07 à 79,305 mg/L. Cette diminution progressive peut indiquer une amélioration continue des conditions environnementales, peut-être due à des efforts de protection des écosystèmes, des pratiques agricoles plus durables, ou une moindre exploitation des ressources naturelles.

Ces variations marquées dans les concentrations en sulfates mettent en évidence un changement positif dans l'écosystème étudié, mais suggèrent aussi la nécessité d'une surveillance continue pour comprendre les mécanismes de ces changements et garantir la préservation à long terme de la qualité de l'eau.

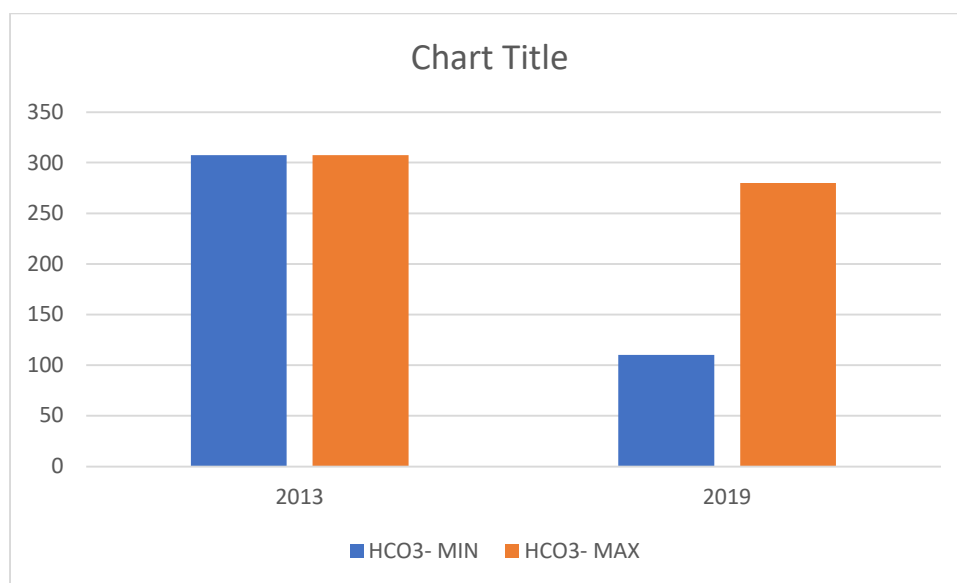
I.14. Bicarbonate (HCO_3^-)

Figure 38. Bicarbonate des surfaces

L'analyse des concentrations en bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau des puits révèle des variations significatives entre les années 2013 et 2019. En 2013, les valeurs étaient relativement stables, avec une concentration de 307,44 mg/L. Cette valeur élevée suggère une forte alcalinité de l'eau, potentiellement due à la dissolution des roches carbonatées dans la région, une caractéristique courante dans les zones avec des sols calcaires ou des activités agricoles intensives qui affectent la composition chimique des eaux souterraines.

En 2019, les concentrations de bicarbonates varient de 110 à 280 mg/L. La baisse des concentrations minimales par rapport à 2013 indique une réduction de l'alcalinité de l'eau, ce qui pourrait résulter de changements dans les activités humaines, une meilleure gestion des terres environnantes, ou des modifications des processus naturels comme l'infiltration des eaux de pluie. Cependant, l'augmentation de la valeur maximale en 2019 (280 mg/L) montre une certaine variabilité dans les niveaux de bicarbonates, probablement liée à des fluctuations des apports en matière organique, à des changements saisonniers, ou à des variations dans la composition géologique des zones de captage des puits.

Ces résultats suggèrent une évolution de la composition chimique de l'eau des puits, mettant en évidence l'importance de surveiller les bicarbonates pour comprendre les interactions entre les activités humaines, les processus géologiques, et la qualité des écosystèmes aquatiques.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles et souterraines de la région de Sebkhath Elmahmel sur la période 2013-2023 a permis de mettre en lumière des tendances contrastées, révélatrices des pressions anthropiques et des efforts de gestion mis en place dans la région.

L'analyse des données recueillies a mis en évidence une augmentation significative des concentrations en éléments majeurs chimiques, tels que le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium et le chlorure, dans les eaux superficielles et souterraines de la région. Cette augmentation est principalement attribuée au lessivage des sels par le ruissellement des eaux de pluie provenant des zones agricoles environnantes, avant leur arrivée dans le lac salé et ensuite leur percolation vers la nappe souterraine.

Ce phénomène de salinisation progressive est particulièrement marqué dans les eaux superficielles, notamment celles du lac Sebkhath Elmahmel, qui agissent comme un véritable piège à sel. La conductivité électrique et la salinité ont ainsi connu une augmentation notable, reflétant la concentration accrue de ces éléments majeurs.

Cette salinisation progressive a des conséquences directes sur la qualité de l'eau et la biodiversité de la zone. L'augmentation de la salinité rend l'eau impropre à la consommation humaine et à l'irrigation, limitant ainsi les possibilités d'utilisation de cette ressource précieuse.

L'étude a également révélé une diminution significative des concentrations en éléments de pollution tels que les nitrates, les nitrites, l'ammonium et les phosphates, après la mise en service de la station d'épuration des eaux usées en 2018.

Avant cette date, les eaux usées de la ville de Khenchela étaient déversées sans traitement dans le lac Sebkhath Elmahmel, contribuant à une pollution importante de l'écosystème aquatique. La mise en service de la station d'épuration a permis de réduire considérablement le flux de ces polluants dans le lac, entraînant une amélioration notable de la qualité de l'eau.

Cette amélioration est particulièrement notable pour les nitrates et les nitrites, dont les concentrations ont diminué de manière significative, contribuant à la réduction des risques d'eutrophisation du lac. Cependant, il est important de noter que la concentration

Conclusion

en ammonium et en phosphates reste encore élevée, nécessitant la mise en place de mesures complémentaires pour améliorer davantage la qualité de l'eau.

Malgré les progrès observés suite à la mise en service de la station d'épuration, des défis persistent pour garantir la qualité de l'eau dans la région de Sebkhath Elmahmel.

La salinisation progressive reste une préoccupation majeure, nécessitant une attention particulière pour prévenir son impact négatif sur la ressource en eau et l'écosystème aquatique.

La pollution diffuse provenant des zones agricoles reste également un défi important. La mise en place de pratiques agricoles durables, telles que la réduction de l'utilisation d'engrais et de pesticides, est indispensable pour limiter les rejets de polluants dans les eaux superficielles.

L'intensification de la surveillance et du suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau est cruciale pour identifier rapidement les sources de pollution et mettre en place des mesures correctives.

La sensibilisation de la population locale aux enjeux de la gestion de l'eau et aux impacts de la pollution est également essentielle pour promouvoir des comportements responsables et favoriser la participation citoyenne.

La collaboration entre les différents acteurs (autorités, agriculteurs, population) est indispensable pour garantir un développement durable de la région de Sebkhath Elmahmel et préserver la qualité de l'eau pour les générations futures.

L'étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles et souterraines de la région de Sebkhath Elmahmel a mis en évidence des tendances contrastées, reflétant à la fois les pressions anthropiques et les efforts de gestion mis en place. La salinisation progressive reste une préoccupation majeure, tandis que la mise en service de la station d'épuration a permis une amélioration significative de la qualité de l'eau. Des efforts continus sont nécessaires pour garantir la durabilité de la ressource en eau et préserver la biodiversité aquatique de la région.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse (AERCCEM). (2005). *Agir pour les zones humides en RMC: Fonctionnement des zones humides*. Première synthèse des indicateurs pertinents. Guide technique SDAGE n°5.

Ali, H. A. N. N. O. U. C. H. E. (2013). *Unités de mesure: Analyse du transport solide en réseau d'assainissement unitaire par temps de pluie: Exploitation de données acquises par les observatoires français en hydrologie urbaine* (p. 44).

Atlas. (2004). *Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale* (pp. 7–9). Algérie.

Barrailh, C., Joris, B., Claire, C., Esposito, D., Claire, L., Catherine, F., Magali, P., & Antoine, S. (2017). *Recommandations pour la prise en compte des milieux humides dans une approche intégrée de prévention des inondations* (188 p.). France.

Bengherbia, A., Hamaidi, F., Zahraoui, R., Hamaidi, M. S., & Megateli, S. (2014). Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese Science Journal*, 15(2), 39–51.

Bouakkaz, A. (2016). *Ecologie du peuplement avien de la sebkha De Ouled Amara (El-Mahmel, wilaya de Khenchela)* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar – Annaba).

Ramsar. (n.d.). *Convention sur les zones humides et sa mission*. Retrieved April 11, 2024, from <https://www.ramsar.org/fr/a-propos/la-convention-sur-les-zones-humides-et-sa-mission>

D.G.F. (2004). *Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale*. Alger: D.G.F.

Dajoz, R. (1982). *Précis d'écologie* (5th ed.). Paris: Dunod.

Dajoz, R. (1982). *Accurate Ecology* (503 p.). Gauthier Villars.

DGF. (2016). *Stratégie nationale de gestion écosystémique des zones humides d'Algérie*. Chemin Doudou Mokhtar, Ben Aknoun, Algérie (73 p.).

Références bibliographiques

Diallo, M. D., Ndiaye, O., Saleh, M. M., Tine, A., Diop, A., & Guisse, A. (2015). Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal). *African Crop Science Journal*, 23(2), 101–111.

Dramais, G., Camenen, B., & Le Coz, J. (2018). Comparaison de méthodes pour la mesure des matières en suspension dans les cours d'eau, en présence de sable. *La Houille Blanche*, 104(5-6), 96–105.

Gancel, G. (2006). *Modélisation d'un problème inverse pour la qualité de l'eau dans les réseaux d'eau potable* (Doctoral dissertation, Doctorat Mathématiques Appliquées, Université de Bordeaux 1).

Ramsar. (n.d.). *Gestion des aires protégées en Afrique, formation en ligne ouverte à tous. Module 7, Séquence 6*. Retrieved April 1, 2024, from http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_f.pdf

Ghazali, D., & Zaid, A. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknès-Maroc). *LARHYSS Journal*, 12, P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782.

Gouaidia, L. (2008). *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride: Cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien* (Doctoral dissertation, Université d'Annaba), 81–92.

Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., & Joannis, C. (2011). Relation entre la turbidité et les matières en suspension en réseau d'assainissement unitaire. *Techniques Sciences Méthodes*, 2010(10), 42–51.

Ministère de l'Environnement du Québec. (2004). *Échelle du pH*. Retrieved from https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/lacs_acides/2004/echelle-ph.htm#:~:text=Le%20pH%20s'exprime%20selon,agit%20d'une%20eau%20alcaline

FAO. (n.d.). *L'irrigation: Théorie et techniques*. Retrieved from <https://www.fao.org/4/X2570F/X2570F02.htm>

Idrissi, Y. A., Alemad, A., Aboubaker, S., Daifi, H., Elkharrim, K., & Belghyti, D. (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(3), 556.

Références bibliographiques

Kendouci, M. A. (2018). *Étude de risque de pollution des eaux souterraines de la ville de Béchar et valorisation du sable en vue de son utilisation en traitement des eaux usées* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran).

Khadidja, K. M. (2021). *L'évolution des paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux usées de la ville de Biskra (Oued Z'mour)*.

Kouassi, A. M., Mamadou, A., Ahoussi, K. E., & Biemi, J. (2013). Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques: cas de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 21, 138–166.

Lagnika, M., Ibikounle, M., Montcho, J. C., Wotto, V. D., & Sakiti, N. G. (2014). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 79, 6887–6895.

Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS Journal*, 9, P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782.

Ramsar. (n.d.). *Manuel 17 de la convention de Ramsar: Inscription de sites Ramsar*. Retrieved April 1, 2024, from <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk4-17fr.pdf>

Metahri, M. S. (2012). *Élimination 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* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

N'Diaye, A. D., & Salem, K. M. M. (2013). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. *LARHYSS Journal*, 12, P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782.

N'Diaye, A. D., Thiam, O. U. S. M. A. N. E., & Namr, K. I. (2013). Turbidité et matières en suspension dans l'eau: Application à l'évaluation des métaux contenus dans l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. *LARHYSS Journal*, 14, P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782.

Ramsar. (2013). *Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971)* (6th ed.). Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.

Références bibliographiques

Saheb, M. (2003). *Cartographie de la végétation des sebkhas de Guellif et de Boucif (Oum-El-Bouaghi) et écologie de l'avifaune aquatique* (Thèse de Magister, C.U. Oum El-Bouaghi).

Saheb, M. (2009). *Écologie de la reproduction de l'échasse blanche (Himantopus himantopus) et de l'avocette élégante (Recurvirostra avosetta) dans les hautes plaines de l'Est algérien* (Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba).

Saheb, M., Nedjah, R., Bouchkereur, A., Houhamdi, M., & Samraoui, B. (2004). *Ecologie de l'Avocette élégante (Recurvirostra avosetta) et de l'Echasse blanche (Himantopus himantopus) dans les sebkhas les zones humides des hautes plaines de l'Est algérien*. 11ième Congrès Panafricain d'Ornithologie PAOC 11, Ile de Djerba (Tunisie), 20-25/11/2004.

Tfeila, M. M., MOSA KO, S. S., Aboulhassan, M. A., Taleb, A., & Bouezmarni, M. (2016). *Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal: Cas du captage du Beni Nadji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott*. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(1), 148–160.

Tiner, R. W. (1996). *Technical aspects of wetlands: Wetland definitions and classifications in the United States*. *US Geological Survey Water-Supply Paper, Report W 2425*.

Tormos, T., Reynaud, N., Danis, P. A., Harmel, T., Morin, G., Martinez, J. M., & Baudoin, J. M. (2021). *Quand la surveillance des plans d'eau prendra de la hauteur*. *Sciences Eaux & Territoires*, 37, 114–123.

Triplet, P. (2009). *Manuel de gestion des aires protégées d'Afrique francophone* (p. 20).

Vinet, P. (2019). *Guide d'identification des plantes de zones humides* (p. 43).

Vissin, E. W., Aimade, H. S., Dougnon, L. D., Sohounou, M., Atiye, E. Y., & Atchade, G. A. (2016). *Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'ouest)*. *Journal of Applied Biosciences*, 106, 10300–10308.

Youmbi, J. G. T., Feumba, R., Njitat, V. T., de Marsily, G., & Ekodeck, G. E. (2013). *Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun*. *Comptes Rendus Biologies*, 336(5-6), 310–316.