REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda
Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Aménagement Hydro-Agricole

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Sciences Agronomiques

Thème

L'impact Des Engrais Chimiques Sur La Qualité Des Eaux Souterraines et de Surface

Présenté par:

- **Bouachari Sameh**
- **Bouaine Takoua**
- **Bougdah Cheima**
- **Chouit Djihane**

Membres de Jury:

Pr.: Heddam Salim	(Pr)	**Président**	Université du 20 Août 1955- Skikda
Dr.: Khelfaoui Hakim	(MCA)	**Examinateur**	Université du 20 Août 1955 - Skikda
Dr.: Chekroud Hassina	(MCA)	**Promotrice**	Université du 20 Août 1955 - Skikda

Année universitaire: 2025-2026

REMERCIMENT

Louange à Dieu, par la grâce duquel s'accomplissent les bonnes œuvres, et qui nous a guidés et aidés à mener à bien ce travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements, notre reconnaissance et notre gratitude à notre professeure et directrice de thèse, Mme Chekroud Hassina, pour les précieux conseils, les remarques constructives et le suivi constant qu'elle m'a prodigués tout au long de la rédaction de cette thèse. Ses conseils ont eu une influence considérable sur la réalisation et l'enrichissement de ce travail. Que Dieu la récompense du meilleur des récompenses et inscrive ses bienfaits dans le compte de ses bonnes actions.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury, pour avoir bien voulu accepter de discuter et d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour les remarques et conseils précieux qu'ils ne manqueront pas de nous fournir.

Nous adressons également nos sincères remerciements et notre reconnaissance à la direction l'environnement pour sa coopération et pour avoir fourni les données nécessaires qui ont contribué à la réalisation de cette étude, ainsi que pour la coopération de son personnel et pour l'aide et les facilités nécessaires qu'il a apportées, ce qui a eu un impact positif sur la réalisation de ce travail.

Nous ne manquerons pas d'adresser nos sincères remerciements et notre gratitude à tous les enseignants de la spécialité de l'aménagement des eaux agricoles, qui nous ont accompagnés tout au long de nos années d'études par leurs connaissances, leurs conseils et leurs précieuses recommandations, et qui ont contribué à la construction de notre savoir.

Que Dieu leur accorde la meilleure récompense.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

Grâce à Dieu et à Sa générosité, avec Son aide et Sa bénédiction, ce parcours marqué par l'effort et le travail acharné a trouvé son aboutissement. Louange à Dieu qui m'a permis d'atteindre ce stade, et louange à Dieu pour la grâce du savoir et de la réussite.

Je dédie le fruit de mes efforts et l'obtention de mon diplôme :

À moi-même, qui ai travaillé dur, fait preuve de patience et d'acharnement, et surmonté les difficultés avec détermination et ténacité jusqu'à atteindre cette étape, et qui ai fait de cette réussite un cadeau à mes parents en reconnaissance de leurs efforts et de leur soutien.

À mon pilier dans cette vie, mon premier maître et mon modèle dont je suis fière. À celui qui s'est sacrifié, a peiné et a donné tout ce qu'il avait pour nous, pour notre réussite et notre bonheur. À celui dont le soutien et les encouragements ont été ma force à chaque pas que j'ai franchi. Quels que soient les mots que j'écrirai, je ne lui rendrai jamais justice, et il restera le plus grand homme à mes yeux et une fierté que je porterai toute ma vie. « Mon cher papa »

À la source de tendresse et de réconfort, mon refuge sûr dans les moments de joie et de fatigue. À celle dont les prières m'ont accompagnée à chaque pas, et dont la patience et les sacrifices sont à l'origine de chaque succès que j'ai remporté. À celle pour qui les mots ne suffisent pas à décrire sa bienveillance et la place qu'elle occupe dans mon cœur, car sa présence rend la vie plus douce et son amour allège les épreuves. Que Dieu la protège et qu'Il fasse d'elle une bénédiction éternelle. « Ma chère maman »

À mes frères :

Mes véritables soutiens et ma force dans la vie, à ce grand cœur qui ne nous a jamais privé de son amour et de sa générosité. À celui qui a été notre soutien et notre refuge à chaque pas, sacrifiant son propre confort pour nous et pour notre bonheur, et qui restera l'exemple du frère tendre et généreux dont je suis fier et que j'aime du plus profond de mon cœur. « Mon frère Saif »

Mon petit frère affectueux, dont je prends soin et pour qui je crains tout, que j'aime beaucoup, et à qui je souhaite un avenir plein de succès et de bonheur. « Mon frère Sami »

À mes sœurs,

À ma sœur aînée, qui occupe une place particulière dans mon cœur, qui a toujours été à mes côtés et m'a soutenue dans de nombreuses situations, je l'aime beaucoup et je suis fière de sa présence dans ma vie. » Ma sœur Asma

Et à ma compagne qui m'est chère, qui a toujours été à mes côtés dans les moments de joie et de fatigue, et qui m'a soutenue par son amour et son attention à chaque étape. « Ma sœur Amira »

À celle qui a tant changé ma vie, cette petite qui ne grandit jamais à mes yeux, dont la présence remplit mon cœur de joie et embellit mes journées. « Ma nièce Maria-Elen »

À celle qui occupe une place particulière dans mon cœur, qui me soutient toujours en tout et qui aime me voir réussir et exceller, je lui voue tout mon amour et mon respect, et je lui souhaite bonheur et santé pour toujours. « Ma tante Dalal »

À ma compagne de route et ma partenaire en tout, l'épaule sur laquelle je peux toujours compter, qui a toujours été à mes côtés en toutes circonstances, je la chéris énormément et je lui souhaite de toujours connaître le succès et le bonheur. « Rima »

À ma compagne de toujours et de toutes les situations, qui s'est tenue à mes côtés dans les moments de joie comme dans les moments de fatigue, et qui ne m'a jamais refusé son soutien et son aide. Je l'aime et je lui souhaite tout le bonheur et le succès possibles dans sa vie. « Taqwa »

À mes amies, en reconnaissance des efforts qui nous ont réunies, des moments où nous avons partagé le travail et la collaboration, et de tous les instants de soutien et d'encouragement qui ont rendu ce parcours plus beau et plus facile. « Jihan et Chaima »

À mes chers professeurs, tout au long de mon parcours scolaire, et à tous ceux qui se sont tenus à mes côtés et m'ont apporté soutien et conseils, ne serait-ce qu'un simple mot, je leur adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude, car grâce à eux, le chemin a été plus facile et l'objectif atteignable.

SAMEH

بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace



Louange à Allah, par la grâce de qui les bonnes œuvres s'accomplissent, et dont la réussite et les bienfaits ont été la base de chaque étape de cet accomplissement…

Avec une grande fierté et une profonde gratitude, je dédie le fruit de ce travail, qui n'aurait pu atteindre ce niveau sans la grâce d'Allah en premier lieu, puis la volonté, la persévérance et le soutien sincère des êtres les plus chers.

À moi-même d'abord…
À celle qui a affronté les défis en silence, qui a longtemps patienté, et qui a surmonté les obstacles avec une foi solide et une volonté inébranlable, jusqu'à atteindre l'honneur d'arriver à cet instant.

À mon cher père, Mourad…
À celui qui a été mon pilier inébranlable et mon bouclier à chaque étape…
À celui qui m'a donné de la force lorsque j'étais faible, et de l'espoir lorsque j'étais fatiguée, sans rien attendre en retour…
Ta présence dans ma vie est une immense bénédiction, et ton soutien a été, après Allah, la raison de mon arrivée à ce stade…
Ce que j'ai accompli aujourd'hui porte en lui ton effort, ta patience et ton amour sincère…
Je te suis profondément reconnaissante, et je suis fière d'être ta fille, car c'est pour moi le plus grand des honneurs.

À ma chère mère, Nejoud…
Au cœur qui m'a toujours accueillie, et aux prières qui m'ont accompagnée à chaque pas…
À celle qui a été mon refuge et ma force dans les moments les plus difficiles…
Ton amour a été ma plus grande motivation, et ta tendresse le refuge vers lequel je reviens chaque fois que la fatigue m'accable…
Cette réussite est le fruit de tes prières et de ta patience, et le reflet de ton amour infini…
Je t'offre un amour incommensurable et une gratitude que les mots ne sauraient exprimer.

À mes frères et sœurs : Haitham, Mayssa et Jouri…
À ceux qui ont été bien plus que des frères et sœurs, un véritable soutien lorsque tout vacille…
Vous avez partagé mes joies et mes peines, mes réussites et mes défis, sans jamais vous lasser…
Vous avez été ma force dans mes moments de faiblesse, et un soutien constant malgré toutes les circonstances…
Votre amour sincère est une bénédiction pour laquelle je rends grâce à Allah à chaque instant… toute ma gratitude et mon affection vous sont dédiées.

À mes chères amies : Aya, Amira, Houda, Rahma, Taqwa, Samah, Chaïma, Rima et Sajda…
À celles dont l'amitié n'a pas été de simples mots, mais une véritable fraternité empreinte de la chaleur familiale…
Vous avez partagé avec moi les détails de ce parcours, et vous avez été le meilleur soutien et la plus belle compagnie… je vous adresse tout mon amour et ma reconnaissance.

À mon encadrante, Madame Chkroud…
Dont les précieuses orientations et le soutien ont eu un impact profond dans l'aboutissement de ce travail.

À tous mes honorables enseignants…
Qui ont éclairé mon chemin par le savoir et la connaissance, et ont été la raison de mon arrivée à ce niveau.

Et à toute personne ayant laissé une belle empreinte dans ma vie, de près ou de loin…
Je dédie ce modeste travail, en espérant qu'il soit un pas réussi dans mon parcours, et je demande à Allah de couronner mes efforts de succès et de réussite.

DJIHANE



بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

(وآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

إلى من بفضلهما بلغت هذا المقام، وبرضاهما استقامت لي الدروب

(والدي العزيز)

إلى من اتكأت على صلابته حين مالت بي السبل، فاستقام دربي إلى الرجل الذي علمني كيف يصنع المجد من العدم، وأن القمم لا تطاولها إلا النفوس الأبية التي لا تعرف الانحناء لغير باريها، أهدي إليك هذا الحصاد، فما أنا إلا أثر من كفاحك، وقصة نجاح أنت بطله.

(أمي الحبيبة)

إلى من لولا رضاها لما اهتديت سبيلاً، ولولا كفاحها لما بلغت مقاماً. إلى دستور الحب وقبلة الحنان، إلى التي كانت صلواتها تسبق خطاي، ودعواتها تفتح لي مغاليق الأبواب. أهدي إليك هذا الجهد المتواضع، اعترافاً بأنني ما كنت لأكون، لولا أنك كنت بجانبي.

الى ضلعي الثابت وأمان أيامي، الى من شددت عضدي بهم فكانوا لي ينابيع أرتوي منها، الى خيرة أيامي وصفوتها الى قرة عيني، أخواني وأخواتي الغاليين

لكل من كان عونا وسندا في هذا الطريق ..... لأصحاب الشدائد والأزمات..... رفقاء الدرب وأمان القلب، الى من كانوا لي وطنا حين تفرقت الطرق، ونورا حين خفت الأمل .... دمتم لي سندا لا عمر له

إلى أختي الغالية التي رحلت باكرًا عن هذه الدنيا

رحلتِ قبل أن تكتمل ملامح الحلم بيننا، وبقي غيابكِ وجعًا هادئًا يسكن القلب ولا يزول. رحمكِ الله وجعل مثواكِ الجنة، ونوّر قبركِ، وستبقين في القلب ما حييت.

إلى أولاد إخوتي، قُرّة العين وبسمة البيت،

إلى من يملؤون الحياة فرحًا وبراءةً وأملًا،

أهدي هذا العمل متمنيًة لكم دوام التوفيق والنجاح، وأن يجعل الله مستقبلكم مشرقًا ومليئًا بالإنجازات.

صديقاتي الغاليات: سماح، جهان، وتقوى،

رفيقات المشوار وأجمل ما جمعتني بهنّ هذه المرحلة من حياتي،

أهدي لكنّ هذا العمل بكل حب وامتنان،

متمنية لكنّ دوام التوفيق والنجاح في كل خطواتكن.

في الأخير.....إلى نفسي الطموحة لمن حاربت الطريق ومضت فيه بإصرار لمن راهنت على حلمها، وربحت لمن واجهت التحديات بصمت وأجابت بالإنجاز أهديك هذا التخرج لأنك تستحقين

CHEIMA



بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

إلى الله أولًا وآخرًا ....
.الحمد لله الذي أنار لي الطريق حين أحاطت بي عتمة الشك، والذي رأى تعبي ولم يخذلني، والذي سمع دعوات قلبي قبل أن أنطق بها

إلى أمي وأبي....
.إلى القلبين اللذين حملا أحلامي قبل أن أحملها أنا، وإلى اليدين اللتين مهدتا لي الطريق بكل حب وحنان
.شكرًا لكما على كل تضحية قدمتماها من أجلي، وعلى كل دعوة صادقة رفعتماها إلى الله لأجلي
.هذا النجاح هو ثمرة تعبكما قبل أن يكون ثمرة جهدي، وهو هدية متواضعة أقدمها لكما بكل حب وفخر وامتنان

إلى جدتي الراحلة، الباقية في قلبي وذكرياتي ....
.إلى من كانت تتمنى أن تراني في هذا المقام، إلى من رافقتني بدعواتها ومحبتها منذ طفولتي
.كنت أتمنى أن تكوني هنا اليوم لأرى الفخر في عينيك، لكن إرادة الله كانت أسبق من أمنياتي
.رحمك الله رحمة واسعة وأسكنك فسيح جناته

ثم إلى نفسي ....
.إلى تلك الروح الصبورة التي لم تُفلت رداء الأمل رغم عناء الطريق
.أُهدي هذا النجاح لنفسي، التي راهنتُ عليها فكانت الرهانَ الرابح، وآمنتُ بها فكانت السندَ والملاذ

إلى إخوتي الأعزاء: رحمة، أيمن، منال، وحمزة..
.شكرًا لكم على محبتكم ودعمكم، وعلى كل اللحظات الجميلة والصعبة التي تقاسمناها معًا، وعلى وجودكم الدائم في مختلف مراحل حياتي

إلى صديقاتي ورفيقات الدرب، سماح وريمة ...
.من كنتما الكتف الثابت في أوقات التعب قبل الفرح، وفي لحظات الشك قبل النجاح
.شكرًا لأنكما كنتما خير سند وخير رفقة. شكرًا لكل ذكرى جميلة جمعتنا، يا خيرَ صحبةٍ وهبتني إياها الحياة، ويا أجمل رفقةٍ خففت عني مشقة الطريق

إلى زميلاتي في إعداد هذه المذكرة: شيماء، جيهان، وسماح ...
.شكرًا على التعاون والجهد المشترك، وعلى كل ما جمعنا من عمل وذكريات خلال هذه التجربة. متمنيةً لكنَّ مزيدًا من النجاح والتوفيق في مشواركن القادم

إلى الرفيق الصادق الذي بقي خلف صفحات هذا الإنجاز دون أن يظهر اسمه فيها ...
.شكرًا لأنك كنت السند الثابت حين كانت الأيام أثقل على قلبي
.شكرًا لصبرك الذي احتوى تعبي، ولإيمانك بي حين شككت بنفسي

إلى كل من آمن بي، ودعمني بكلمة طيبة أو دعوة صادقة، أو ترك في دربي أثرًا جميلًا ....
.لكم مني كل الشكر والامتنان

وإلى من زرعوا الشوك في دربي، وراهنوا على فشلي، وظنوا أنني لن أصل إلى هذا اليوم
ها أنا اليوم أقف على عتبة حلمٍ طال انتظاره

.فهذا الإنجاز ليس مجرد شهادة، بل حكاية صبر كُتبت بدموع التعب قبل لحظات الفرح
هو ثمرة أيامٍ ظننت فيها أن الطريق أثقل من أن يُكمَل، ورحلة طويلة بين السقوط والنهوض، وبين الخوف والإصرار، حتى أصبح الحلم الذي سكن قلبي لسنوات حقيقة أعيشها اليوم

تقوى

Résumé

Les activités agricoles modernes, et en particulier l'utilisation excessive d'engrais chimiques pour accroître la production agricole, comptent parmi les principales sources de pollution de l'eau.

L'impact des engrais chimiques sur la qualité des eaux souterraines et de surface a été évalué à travers l'étude de certains indicateurs physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau. L'étude s'est appuyée sur le prélèvement et l'analyse d'échantillons d'eau provenant de quatre points, sur une période s'étendant de Janvier à Avril.

Une série d'analyses a été réalisée, portant notamment sur : la turbidité, le pH, la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), les nitrates, les nitrites, les phosphates et les coliformes fécaux.

Les analyses ont révélé des résultats contrastés entre les différents points d'étude. Les eaux de surface ont enregistré des valeurs élevées pour un ensemble d'indicateurs mesurés. En revanche, les résultats concernant les eaux souterraines ont montré une meilleure qualité et un niveau de pollution plus faible.

MOTS CLÉS : Pollution des eaux ; pollution agricole ; les engrais chimiques ; nappe phréatique ; eau de surface ;

Abstract

Modern agricultural activities, particularly the excessive use of chemical fertilizers to increase agricultural production, are among the main sources of water pollution.

The impact of chemical fertilizers on the quality of groundwater and surface water was assessed through the study of certain physical, chemical, and microbiological water indicators. The study was based on the collection and analysis of water samples from four sites, over a period extending from January to April.

A series of analyses was carried out, focusing in particular on: turbidity, pH, biochemical oxygen demand over five days (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), nitrates, nitrites, phosphates, and fecal coliforms.

The analyses revealed contrasting results among the different study sites. Surface waters recorded high values for a range of measured indicators. In contrast, the results concerning groundwater showed better quality and a lower level of pollution.

Keywords: Water pollution; agricultural pollution; chemical fertilizers; groundwater; surface water.

الملخص

تعد الأنشطة الزراعية الحديثة، وخاصة الاستعمال المفرط للأسمدة الكيميائية لزيادة الإنتاج الزراعي، من بين أهم مصادر تلوث المياه، حيث يترتب عنها العديد من الآثار البيئية السلبية مثل تلوث المياه، والتكاثر المفرط للطحالب، وتدهور التربة، إضافة إلى مخاطرها على الصحة البشرية وفقدان التنوع البيولوجي.

تم تقييم تأثير الأسمدة الكيميائية على جودة المياه الجوفية والسطحية من خلال دراسة بعض المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والمكروبيولوجية للمياه، حيث اعتمدت الدراسة على جمع وتحليل عينات مياه من أربع نقاط.

وأجريت مجموعة من التحاليل شملت: العكارة، الأس الهيدروجيني، الطلب البيوكيميائي للأكسجين لمدة .خمسة أيام، الطلب الكيميائي للأكسجين، النترات، النتريت، الفوسفات، والقولونيات البرازية

وأظهرت التحاليل نتائج متباينة بين مختلف نقاط الدراسة، حيث سجلت المياه السطحية قيماً مرتفعة لمجموعة من المؤشرات المقاسة. في حين أظهرت نتائج المياه الجوفية نوعية أفضل ومستوى تلوث أقل.

وتؤكد هذه النتائج أن الأنشطة الزراعية، وخاصة الاستعمال المكثف للأسمدة الكيميائية، لها تأثيرات سلبية على جودة الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: تلوث المياه، التلوث الزراعي، الأسمدة الكيميائية، المياه الجوفية، المياه السطحية

LISTE DE FIGURES :

Chapitre I : Les ressources en eau et leurs pollutions

Figure I.1 : Cycle de l'eau 4
Figure I.2 : Photo illustrant la rivière 6
Figure I.3 : Photo illustrant un oued 6
Figure I.4 : Photo illustrant un barrage 7
Figure I.5 : Photo illustrant une mer 8
Figure I.6 : Photo illustrant un océan 9
Figure I.7 : Photo illustrant un lac sale fermé 9
Figure I.8 : Schéma en coupe libre et captive 12
Figure I. 9 : Coupe schématique d'un aquifère montrant un puits traditionnel 14
Figure I.10 : Coupe technique et composants d'un forage d'eau 15
Figure I.11 : Différents types de forage 16

Chapitre II : Généralité sur la pollution agricole

Figure II.1 : Image représentation la pollution agricole 23
Figure II.2 : Schéma de différents types d'engrais chimiques 24
Figure II.3 : Engrais chimiques NPK 24
Figure II.4 : Cycle de l'azote 26
Figure II.5 : Schéma illustrant le phénomène d'eutrophisation 26
Figure II.6 : Application des insecticides sur les cultures 27
Figure II.7 : Arrachage des mauvaises herbes 28
Figure II.8 : Image montrant des infections fongiques 29
Figure II.9 : Déchets d'élevage 29
Figure II.10 : Recyclage de la matière organique du sol 30
Figure II.11 : Illustration du ruissellement de surface 31
Figure II.12 : Schéma illustrant l'impact des précipitations sur le ruissellement 33
Figure II.13 : Infiltration d'eau dans le sol 34
Figure II.14 : Coupe du sol illustrant la zone non saturée et la zone saturée 35
Figure II.15 : Comparaison entre une perméabilité importante et une faible perméabilité 36
Figure II.16 : Illustration d'un sol sableux 37
Figure II.17 : Illustration d'un sol argileux 38
Figure II.18 : Effet de la température sur le ruissellement de surface et l'infiltration 39

Chapitre III : Matériel et méthode

Figure III.1 : Situation de la zone d'étude 45
Figure III.2 : Inventaires des forages avec direction des coupes hydrogéologique 46
Figure III.3 : Turbidimètre de laboratoire de haute précision 47
Figure III.4 : Principe de la mesure néphélométrie de la turbidité 47
Figure III.5 : pH-mètre 48
Figure III.6 : Thermo réacteur pour la digestion DCO 49
Figure III.7 : Système de mesure la DBO_5 50
Figure III.8 : Test colorimétrique des nitrates dans l'eau 51
Figure III.9 : Spectrophotomètre 52
Figure III.10 : Schéma des étapes de dénombrement bactérien par la technique de filtration sur membrane 53
Figure III.11 : Recherche et dénombrement des Coliformes fécaux par la méthode NPP 53

Chapitre IV : Résultat et discussion

Figure IV.1 : Évolution de la turbidité 59
Figure IV.2 : Évolution du pH 59
Figure IV.3 : Évolution de la DBO_5 60
Figure IV.4 : Évolution de la DCO 61
Figure IV.5 : Évolution des nitrates 61
Figure IV.6 : Évolution des nitrites 62
Figure IV.7 : Évolution des phosphates 63
Figure IV.8 : Évolution des coliformes 63

LISTE DE TABELEAUX :

Tableau I.1 : Tableau comparatif : nappe libre et nappe captive 12
Tableau I .2 : Types de pollution et leurs impacts sur le milieu naturel 17
Tableau I.3 : Normes de qualité d'eau algérienne et OMS. 19
Tableau II.1 : Comparaison entre ruissellement de surface et infiltration du sol 36
Tableau II.2 : Part de volumes de particules dans différents types de sol 38
Tableau IV.1 : Tableau global des résultats 57

LISTE DES ABREVIATIONS

Abreviation	Signification
H_2O	Eau
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
MES	Matière En Suspension
Cu	Cuivre
Pb	Plomb
Zn	Zinc
Cd	Cadmium
Hg	Mercure
pH	Potentiel Hydrogène
NO_3-	Nitrate
NO_2-	Nitrite
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
PO_4^{3}-	Phosphate

Sommaire

REMERCIMENT I
DÉDICACE II
RESUMÉ VI
LISTE DES FIGURES IX
LISTES DES TABLEAUX XI
LISTE DES ABRÉVIATIONS XII
INTRODUCTION GÉNÉRALE 1
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 3

Chapitre I : Les ressources en EAU et leurs pollutions

Introduction 4
1-1. Cycle de l'eau 4
1-2. Différents types de l'eau 5
1-2-1. Eaux de surface 5
1-2-2. Eaux souterraines 10
1-2-3. Ouvrages des eaux souterraines 13
1-3. Pollution de l'eau 16
1-3-1. Définition de la pollution de l'eau 16
1-3-2. Types de pollution et impact sur le milieu naturel 16
1-3-3. Paramètres indiquant une pollution due à l'activité agricole 18
1-4. Normes de qualité de l'eau 19
Conclusion 20
Références Bibliographiques 21

Chapitre II : Généralité sur la pollution Agricole

Introduction 23
II-1. Définition de la pollution agricole 23
II-2. Types des polluants agricoles 23
II-2-1. Engrais chimiques 23
II-2-2. Pesticides 27
II-2-3. Pollution organique 29
II-3. Mécanisme de transfert des polluants vers les eaux 30
II-3-1. Ruissellement 30

II-3-2. Infiltration 33
II-3-3. Facteurs influençant le transfert des polluants vers les eaux 37
Conclusion 41
Références Bibliographiques 42

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Introduction 45
III-1. Présentation de la zone d'étude 45
III-1-1. Situation de la zone d'étude 45
III-1-2. Etude hydrogéologique 45
III-2. Points de prélèvement et caractéristiques 46
III-3. Analyses des paramètres physico-chimiques et microbiologiques 47
III-3-1. Paramètres physiques 47
III-3-2. Paramètres chimiques 48
III-3-3. Paramètres microbiologiques 52
Conclusion 54
Références Bibliographiques 55

Chapitre IV : Résultats et discussions

Introduction 57
IV-1. Résultats obtenus 57
IV-2. Analyse des résultats 58
IV-2.1 Analyse de la Turbidité 58
IV-2.2 Analyse du pH 59
IV-2.3 Analyse de la DBO_5 60
IV-2.4 Analyse de la DCO 60
IV-2.5 Analyse des Nitrates 61
IV-2.6 Analyse des Nitrites 62
IV-2.7 Analyse des Phosphates 62
IV-2.8 Analyse des Coliformes 63
Conclusion 64
Conclusion générale 65

INTRODUCTION

GÉNÉRALE :

Introduction Générale

L'eau est une ressource naturelle essentielle à la vie et au maintien des écosystèmes. Il s'agit d'un composé chimique composé de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H_2O) et existe dans la nature sous trois états : liquide, solide et gazeux. L'eau couvre environ 71 % de la surface de la Terre **[1]**.

L'importance de l'eau réside dans le fait qu'elle ne reste pas constante, mais se déplace constamment au sein d'un système naturel appelé cycle de l'eau. Dans ce système fermé, l'eau se déplace des océans vers l'atmosphère, de l'atmosphère vers les continents, puis retourne vers les océans. Ce cycle commence par l'évaporation de l'eau due à l'énergie solaire, puis la vapeur d'eau se déplace dans l'atmosphère, où elle se condense, formant des nuages qui entraînent de la pluie ou de la neige. Lorsque ces précipitations atteignent la surface de la terre, l'eau emprunte plusieurs chemins : une partie est absorbée par la végétation ou retourne directement dans l'atmosphère par évaporation, tandis qu'une autre partie s'accumule sous forme de neige et de glace. Une quantité d'eau s'infiltre également par les pores du sol pour alimenter les couches souterraines, tandis qu'une partie se transforme en ruissellement de surface qui alimente les rivières et les lacs. Ainsi, le cycle de l'eau assure le renouvellement des ressources en eau et la continuité de la vie sur la planète Terre **[2]**.

Malgré la grande importance de l'eau et le rôle vital qu'elle joue dans le maintien de la vie et le maintien de l'équilibre environnemental, cette ressource est exposée à de nombreuses sources de pollution résultant de diverses activités humaines, ce qui affecte négativement sa qualité. Parmi les différentes activités humaines affectant la qualité de l'eau, les activités agricoles occupent une place importante en raison de leur dépendance croissante à l'égard de nombreux intrants agricoles, notamment les engrais chimiques **[3]**.

Les engrais chimiques font partie des matériaux les plus utilisés dans l'agriculture moderne, car ils fournissent aux plantes des nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium, nécessaires à leur croissance et à leur développement. Cependant, une utilisation excessive de ces engrais peut conduire à l'accumulation de quantités de nutriments dans l'environnement, surtout lorsque les plantes ne parviennent pas à les absorber complètement. Des pesticides agricoles de divers types sont également utilisés pour protéger les cultures contre les insectes, les mauvaises herbes et les maladies fongiques, mais leurs résidus peuvent rester dans l'environnement pendant des périodes variables, ce qui peut affecter l'équilibre naturel des écosystèmes. De plus, les déchets organiques issus des activités agricoles et de l'élevage représentent une autre source de pollution, car ils contiennent des quantités

importantes de matière organique et de nutriments. L'accumulation de ces substances dans l'environnement peut entraîner des modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et de l'eau, ce qui affecte négativement la qualité des ressources naturelles et la santé des organismes vivants **[4]**.

Ainsi, ces polluants issus des activités agricoles non seulement restent à leur place d'origine, mais peuvent être transférés par plusieurs mécanismes vers différents milieux environnementaux, notamment les ressources en eau.

Ces mécanismes consistent en deux processus : l'infiltration et le ruissellement. L'infiltration résulte de la pénétration dans le sol des eaux de pluie chargées de polluants provenant d'engrais et de pesticides dissous dans l'eau, qui s'écoule vers les profondeurs, constituant ainsi la principale source de pollution des eaux souterraines.

Quant au ruissellement, il transporte les polluants présents dans les eaux de surface, en particulier lors de fortes pluies, lorsque le sol est saturé et qu'un écoulement se forme, entraînant les polluants vers les vallées et les rivières. Ce processus est particulièrement efficace sur les pentes et dépend de la quantité de précipitations.

Ces mécanismes ont un impact direct sur la qualité de l'eau en termes de composition physique, chimique et biologique, et toute augmentation de ses indicateurs constitue un danger pour la santé humaine et l'environnement **[5].**

Enfin, ce travail est structuré en deux parties principales : une partie théorique, composée de deux chapitres consacrés aux notions générales relatives aux ressources en eau et leurs pollutions notamment la pollution agricole, et une partie expérimentale comprenant deux chapitres, dont le premier décrit les matériels et les protocoles expérimentaux utilisés, tandis que le second est consacré à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus.

REFERNCES BIBLIOGRAPHYQUES

[1]: Janardhanan, R. (2021). Water management: a key to sustainable development. In Handbook of Research on Future Opportunities for Technology Management Education (pp. 387-400). IGI Global Scientific Publishing.

[2] : Anctil, F., Rousselle, J., & Lauzon, N. (2012). Hydrologie : cheminements de l'eau. Presses inter Polytechnique

[3] : Boussard, J. M., Daviron, B., Gérard, F., & Voituriez, T. (2006). Sécurité alimentaire et développement agricole en Afrique subsaharienne. Dossier pour l'accroissement des soutiens publics. Document de cadrage. Document de travail no. 01/f.

[4] : Ait Hamou, D., & Ait Gherbi, M. (2020). Impact de la fertilisation chimique et transition vers l'agriculture biologique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri). Martinelli, I. (1999).

[5] : Legret, M., Le Marc, C., & Demare, D. (1997). Pollution des eaux de ruissellement de chaussées autoroutières : L'autoroute A11 près de Nantes. BLPC-Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, (211), pp-101.

CHAPITRE I :

LES RESSOURCES EN EAU ET LEURS POLLUTIONS

CHAPITRE I : LES RESSOURCE EN EAU ET LEURS POLLUTIONS

Introduction

L'eaux est une ressource indispensable à la vie, Elle couvre plus de 71% de la surface de la terre et joue un rôle essentiel dans notre environnement, notre santé et nos activités quotidiennes.Parmi les différentes formes d'eau présentes sur notre planètes les eaux de surface et les eaux souterraine.

I.1 Cycle de l'eau

Les ressources en eau destinées à la consommation humaine proviennent de l'eau de pluie, des eaux de surface et des eaux souterraines. L'ensemble de ces ressources fait partie d'une dynamique unique représentée par le cycle de l'eau.

Le cycle de l'eau est une série de transformations qui se produisent dans la circulation de l'eau de l'atmosphère vers la surface et dans les régions souterraines, puis de nouveau de la surface vers l'atmosphère. Lorsque les précipitations tombent à la surface du sol, une partie de l'eau ruisselle vers les lacs et les cours d'eau et une partie s'infiltre dans le sol et percole verticalement dans la zone de saturation (nappe phréatique). Ce processus s'appelle l'alimentation ou recharge, et les endroits où il se produit s'appellent zones d'alimentation ou zone de recharge.

Cette séquence peut s'étendre sur des dizaines de kilomètres. C'est tout au long de ce parcours à travers les différentes formations géologiques, appelées aquifères, qu'elle peut être exploitée par des ouvrages de captage pour satisfaire les besoins en eau des utilisateurs **[1].**

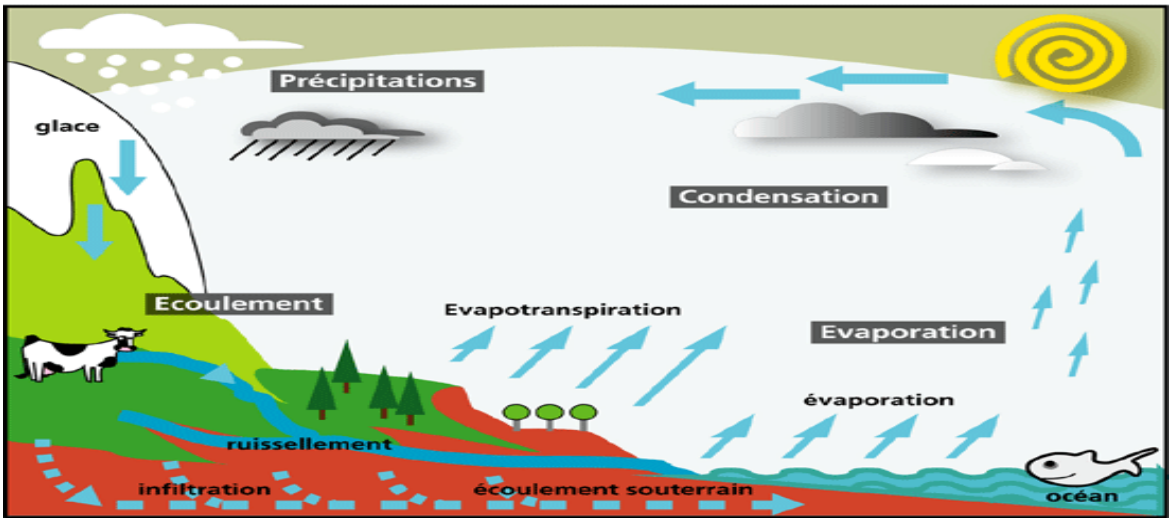


Figure I.1 : *Cycle de l'eau* ***[2]***

I.2 Différents types de l'eau

L'eau est l'élément essentiel sur notre planète, car elle entretient la vie sur terre. Pour L'homme, l'eau destinée à la consommation constitue un élément fondamental pour les processus industriels comme l'agroalimentaire.

L'approvisionnement en eau pour la population peut se faire à partir de deux sources aux caractéristiques bien différentes : les eaux souterraines (les puits, les sources) difficiles d'exploiter car elles ne sont pas accessibles.

Les eaux superficielles (lacs, rivière, barrage), se trouvent exposées à l'environnement et pour ceci elles sont susceptibles de pollution

I.2.1 Eaux de surface

Les eaux de surface sont les masses d'eau qui se trouvent à la surface de la Terre, en contact direct avec l'atmosphère. Elles comprennent les cours d'eau (rivières, fleuves), les plans d'eau stagnants (lacs, étangs), les mers et les océans. Elles peuvent être douces, salées ou saumâtres. Ces eaux superficielles jouent le plus grand rôle dans la formation de l'hydrosphère sur Terre **[3].**

I.2.1.1 Types d'eaux de surface

- **Eau douce**

L'eau douce est une eau H_2O non salée naturelle sous forme liquide ou de glace, ou une eau dessalée. L'eau douce naturelle est apte au captage pour l'irrigation ou l'approvisionnement en eau potable **[4].**

-Rivières

Une rivière est un cours d'eau naturel qui coule à travers le sol et qui se dirige généralement vers un lac, une mer ou un océan.

Les rivières sont formées par l'accumulation d'eau provenant de différentes sources comme la fonte des neiges, les pluies ou les nappes phréatiques, Elles peuvent être longues, courtes, larges ou étroites, mais elles ont toujours un début (source) et une fin (embouchure) **[5].**



Figure I.2**: Photo illustrant la rivière **[6]

-Oueds :

Un oued est un lit de rivière asséché spécialement conçu pour la conduction et l'absorption des eaux de pluie. Le concept est basé sur les pratiques traditionnelles de gestion de l'eau, où l'excès d'eau de pluie est détourné vers des zones spécialement désignées. Au lieu de simplement drainer l'eau, un oued lui permet de s'infiltrer dans le sol et de reconstituer les nappes phréatiques **[7].**



Figure I.3:** Photo illustrant un oued **[8]

-Barrage :

Un barrage est une barrière qui emprisonne ou retient l'eau d'un cours d'eau, y compris les ruisseaux souterrains. Admis comme un ouvrage d'art, il est fabriqué en béton et pierres, généralement construit dans une gorge du cours d'eau. Les animaux tels que les castors

fabriquent des barrages en bois. Des évènements géologiques peuvent créer des barrages naturels **[9].**

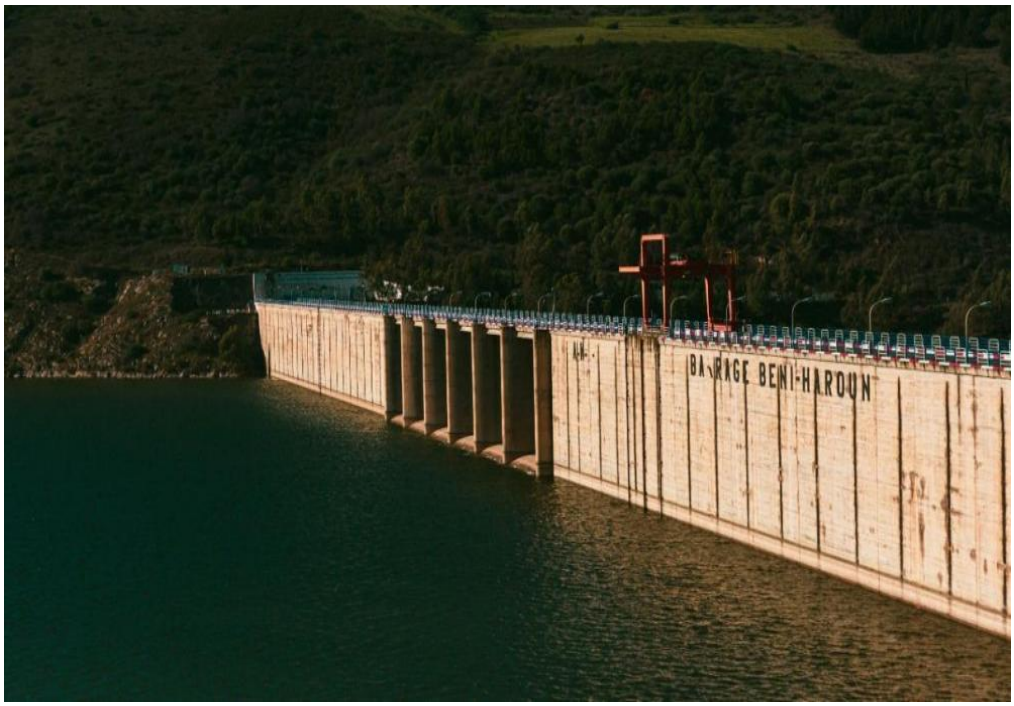


Figure I.4 : *Photo illustrant un barrage* ***[10]***

- **Eau salée**

L'eau de mer est une eau salée d'une mer ou d'un océan avec une salinité d'environ 35 ‰. Cela signifie que pour chaque Litre d'eau de mer, on trouve 35 grammes de sels dissous (surtout du chlorure de sodium NaCl). L'eau de mer occupe plus de 70 % de la surface de la Terre. L'eau de mer a une densité de surface moyenne est de 1,025 g/ml, étant plus dense que l'eau douce et l'eau pure. La densité augmente jusque 1,035 g/ml (ou kg/L) à quelques mètres de profondeur **[11].**

-la mer :

La mer est une très grande masse d'eau salée, plus petite qu'un océan, mais plus grande qu'un lac salé. Les mers ont une influence directe sur le climat de la Terre. Elles jouent un rôle important dans le cycle de l'eau, du carbone et de l'azote. La Mer, au sens global, qualifie parfois l'océan mondial **[12].**



Figure I.5 : *Photo illustrant un mer* ***[13]***

-Types de mers :

Selon leur environnement et leur lien avec un océan, on distingue trois types de mers :

•mers continentales (semi-fermées) :

Elles communiquent avec les océans par un détroit. Ex. : mer Méditerranée, Mer Rouge, mer Noire, mer d'Azov.

•mers bordières (ouvertes) :

Elles forment des golfes en bordure d'un océan ou d'une grande mer. Ex. : mer de Bali, mer du Nord, mer des Caraïbes.

•mers intérieures (fermées) :

Elles sont de très Grands Lacs salés. Ex. : mer Caspienne, mer d'Aral **[14].**

-Océans :

Est souvent défini, en géographie, comme un vaste étendu d'eau salée comprise entre deux continents. En fait, il s'agit plutôt d'un volume dont l'eau est en permanence brassée par des courants marins. Approximativement 70,8 % de la surface de la Terre est recouverte par l'océan mondial. Celui-ci est historiquement divisé en quatre océans — Pacifique, Atlantique, Arctique et Indien — ou en cinq pour les gouvernements ou organismes qui reconnaissent l'existence de l'océan Austral. L'océan mondial comporte aussi plusieurs dizaines de mers. Avec une profondeur moyenne de 3 682 mètres, les océans représentent 96 % du volume biosphérique **[15].**



Figure I.6 : *Photo illustrant un océans* ***[16]***

-Lacs :

Un lac est une grande étendue d'eau, généralement douce, entourée par les terres. Différents types d'évènements géologiques peuvent être à l'origine de la formation d'un lac, et lorsqu'il s'agit d'une formation tectonique (mouvement des plaques) et plus précisément océanique, alors il y a création d'un lac salé. Il arrive que ce lac communique avec la mer où l'océan via un cours d'eau nommé émissaire **[17].**



Figure I.7 : *Photo illustrant un lac salé fermé* ***[18]***

I.2.1.2 L'importance des eaux de surface

Les eaux de surface (rivières, lacs, fleuves) sont cruciales pour la vie et l'économie, fournissant de l'eau potable, l'irrigation agricole, l'énergie et des habitats écologiques. Elles

participent activement au cycle de l'eau et à la régulation du climat local. Faciles d'accès, elles nécessitent cependant des traitements pour la consommation.

Importance des eaux de surface :

- **Ressource en eau potable et industrie :** Elles constituent une source principale d'approvisionnement en eau potable, nécessitant souvent des traitements de potabilisation. Elles sont aussi fondamentales pour les processus industriels.
- **Agriculture et Irrigation :** Les eaux de surface sont indispensables à l'irrigation, permettant de sauver les récoltes lors de sécheresses et d'abreuver le bétail.
- **Biodiversité et écosystèmes :** Ces eaux abritent une faune et une flore riches (poissons, crustacés) et maintiennent les zones humides.
- **Régulation du cycle de l'eau :** Elles participent au cycle hydrologique par évaporation, ruissellement et infiltration pour recharger les nappes phréatiques.
- **Loisirs et climat :** Elles offrent des lieux d'activités récréatives et influencent la température et le climat local.
- **Production d'énergie :** Les cours d'eau sont utilisés pour la production d'énergie hydroélectrique **[19].**

I.2.2 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des eaux contenues sous terre, dans le sol ou dans les pores et les fissures des roches, ou dans les zones saturées situées sous la surface du sol,

Les eaux souterraines proviennent principalement des précipitations qui ont réussi à s'infiltrer dans le sol, puis au travers de différentes couches du sol j'usquà atteindre une zone saturée en eau par recharge des eaux souterraines.

Elle joue un rôle fondamental dans le cycle naturel de l'eau, constitue une partie importante du cycle hydrologique, contribue à l'alimentation des rivières et des sources, et est considérée comme une source importante d'eau potable et d'irrigation, notamment dans les régions arides et semi-arides **[20].**

I.2.2.1 Nappes libres

Une nappe libre qualifie une nappe d'eau, souvent une nappe souterraine phréatique, dont la partie supérieure n'est pas limitée par une couche imperméable, de ce fait, son niveau peut monter et parfois atteindre la surface du sol si les précipitations augmentent. Un aquifère

ouvert n'est pas fermé au sommet par un matériau imperméable et détermine la nappe phréatique.

L'eau d'une nappe libre est en équilibre avec la pression atmosphérique et atteint naturellement son niveau piézométrique. Les nappes phréatiques saturées sont des nappes libres.

Dans l'aquifère confiné, l'eau est sous pression, donc si le toit de l'aquifère devait être foré, par exemple avec un forage de puits, le niveau d'eau irait à un niveau plus élevé du toit lui-même, atteignant le niveau de la surface piézométrique. Si la surface piézométrique est supérieure à celle de la nappe libre, l'aquifère est appelé aquifère artésien ; en créant un puits (artésien), l'eau peut remonter à la surface sans l'aide de pompes.

La zone de fluctuation de la nappe libre est cette partie de la lithosphère qui, par suite de la fluctuation de la surface de la nappe libre, se trouve tantôt dans la zone saturée et tantôt dans la zone aérée. Par exemple : un puits ordinaire **[21].**

I.2.2.1 Nappes captives

Une nappe captive est un aquifère ou une partie de nappe sans surface libre, donc soumise en tous points à une pression supérieure à la pression atmosphérique et dont la surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère. La nappe d'eau souterraine a un aquifère situé entre deux couches imperméables de terrain. Il est confiné. L'eau (artésienne) sous pression jaillit spontanément des puits qui la mettent en relation avec la surface. Un tel puits est dit artésien avec nappe artésienne.

Des couches de matériaux imperméables se trouvent à la fois au-dessus et au-dessous de la nappe captive, ce qui la met sous pression de sorte que lorsque l'aquifère est pénétré par un puits, l'eau s'élève au-dessus du sommet de l'aquifère avec un aquifère non confiné (non captif), la pression hydrostatique est par définition égale à la pression atmosphérique. Ce n'est pas le cas dans une nappe captive. Avec une séquence verticale de plusieurs aquifères confinés et non-confinés d'eau souterraine, une pluralité de niveaux d'eau souterraine superposés peuvent être disponibles. Une conceptualisation courante d'un aquifère confiné (ou nappe captive) est celle d'une unité aquifère ouverte sur l'atmosphère dans les montagnes où elle reçoit une recharge grâce aux précipitations. L'unité aquifère latéralement continue s'étend dans la vallée où elle est enfouie par des sédiments à grains fins qui confinent l'unité aquifère.

Par exemple : un puits artésien **[22].**

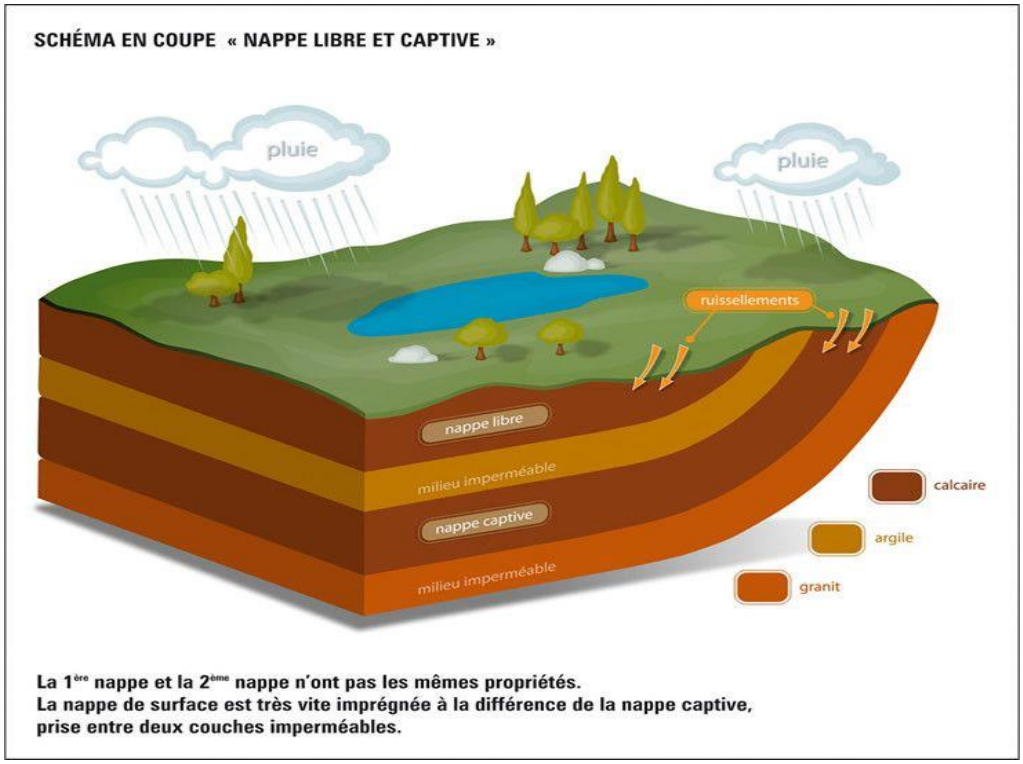


Figure I.8 :*Schéma en coupe nappe libre et captive* ***[23]***

Tableau I.1: Tableau comparatif : nappe libre et nappe captive [24].

Critère	**Nappe libre**	**Nappe captive**
Definition	Il s'agit d'un réservoir d'eau souterrain peu profond dont la surface supérieure n'est pas fermée	Il s'agit d'un réservoir d'eau souterrain ou d'une partie d'un aquifère qui ne possède pas de surface libre
La Couche supérieure	La couche supérieure est perméable et poreuse ce qui permet l'infiltration de l'eau	La couche supérieure est imperméable ou peu perméable, empêchant l'infiltration directe de l'eau
La pression	L'eau d'une nappe libre est en équilibre avec la pression atmosphérique et atteint naturellement son niveau piézométrique	Dans les nappes captives la pression est supérieure à la pression atmosphérique
Niveau de l'eau	Niveau phréatique libre, son niveau augmentant et diminuant en fonction des précipitations	Le niveau piézométrique correspond au niveau auquel l'eau remonterait sous l'effet de la pression
La recharge	Par infiltration direct des eaux de pluie et des eaux de ruissellement	Indirect et plus lent

Tableau I.1: Tableau comparatif : nappe libre et nappe captive [24].

Critière	Nappe libre	Nappe captive
Vitesse de regeneration	Elle évolue rapidement et directement influencée par la saison des pluies	C'est lent et l'eau met très longtemps à l'atteindre
La profondeur	Elle se trouve souvent près de la surface	Ils sont profonds et souterrains
Le movement	Relativement rapide	Trés lent
La pollution	Facile à contaminer	Moins sujettes à la pollution

I.2.3 Ouvrages des eaux souterraines

Les **eaux souterraines** représentent la majeure partie des réserves d'eau douce exploitables. Elles sont captées principalement via deux types d'ouvrages : le **puits traditionnel** et le **forage**. Le choix entre un puits et un forage dépend de la profondeur de la nappe et de la nature du sol.

I.2.3.1 Puits traditionnel

Un puits traditionnel est un trou cylindrique ou rectangulaire creusé verticalement dans le sol, souvent à la main ou à l'aide de moyens mécaniques simples, afin d'atteindre les nappes souterraines proches de la surface et d'en extraire l'eau qui s'y infiltre pour l'utiliser. Ce type de puits se caractérise par une profondeur limitée par rapport aux puits profonds, qui varie généralement entre 10 et 20 mètres, et peut varier en fonction de la nature du sol et du niveau de la nappe phréatique. La paroi du puits est souvent renforcée par des pierres, du béton ou des briques pour empêcher son effondrement, et l'eau en est extraite à l'aide de moyens traditionnels tels que des seaux ou des pompes simples. Le puits traditionnel est largement utilisé dans les zones rurales pour l'eau potable, d'irrigation et pour répondre aux besoins quotidiens, mais il reste plus exposé à la pollution en raison de sa proximité avec la surface du sol **[25].**

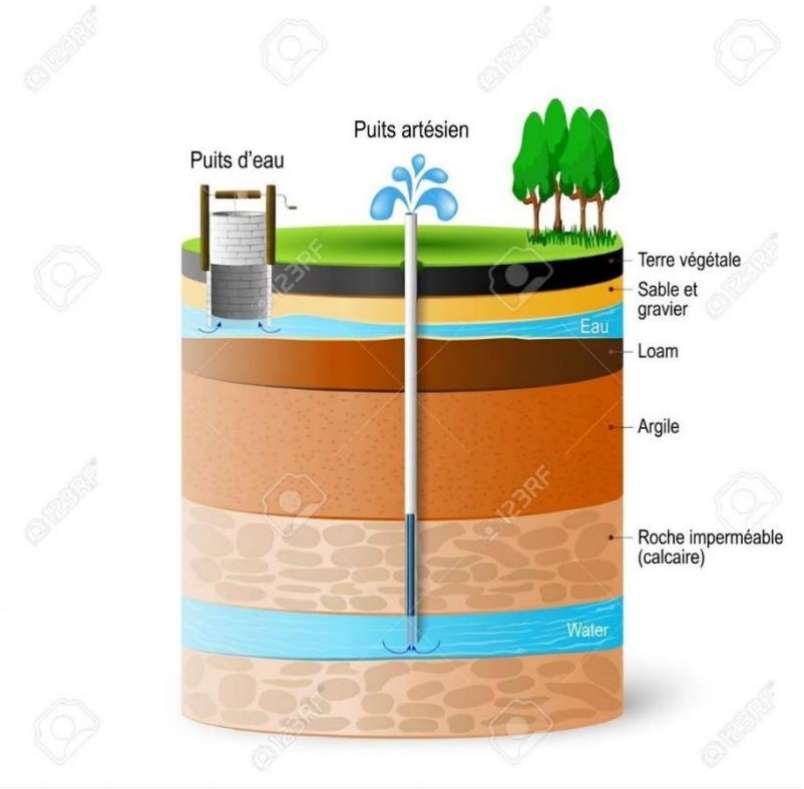


Figure I.9 : *Coupe schématique d'un aquifère montrant un puits traditionnel* ***[26]***

I.2.3.2 Forage :

Consiste en un trou vertical étroit et profond permettant d'atteindre l'eau stockée dans l'aquifère ; sa profondeur varie généralement entre 30 et 70 mètres, ce qui en fait un ouvrage complexe nécessitant un équipement spécialisé (machines de forage) et une supervision rigoureuse par des spécialistes **[27].**

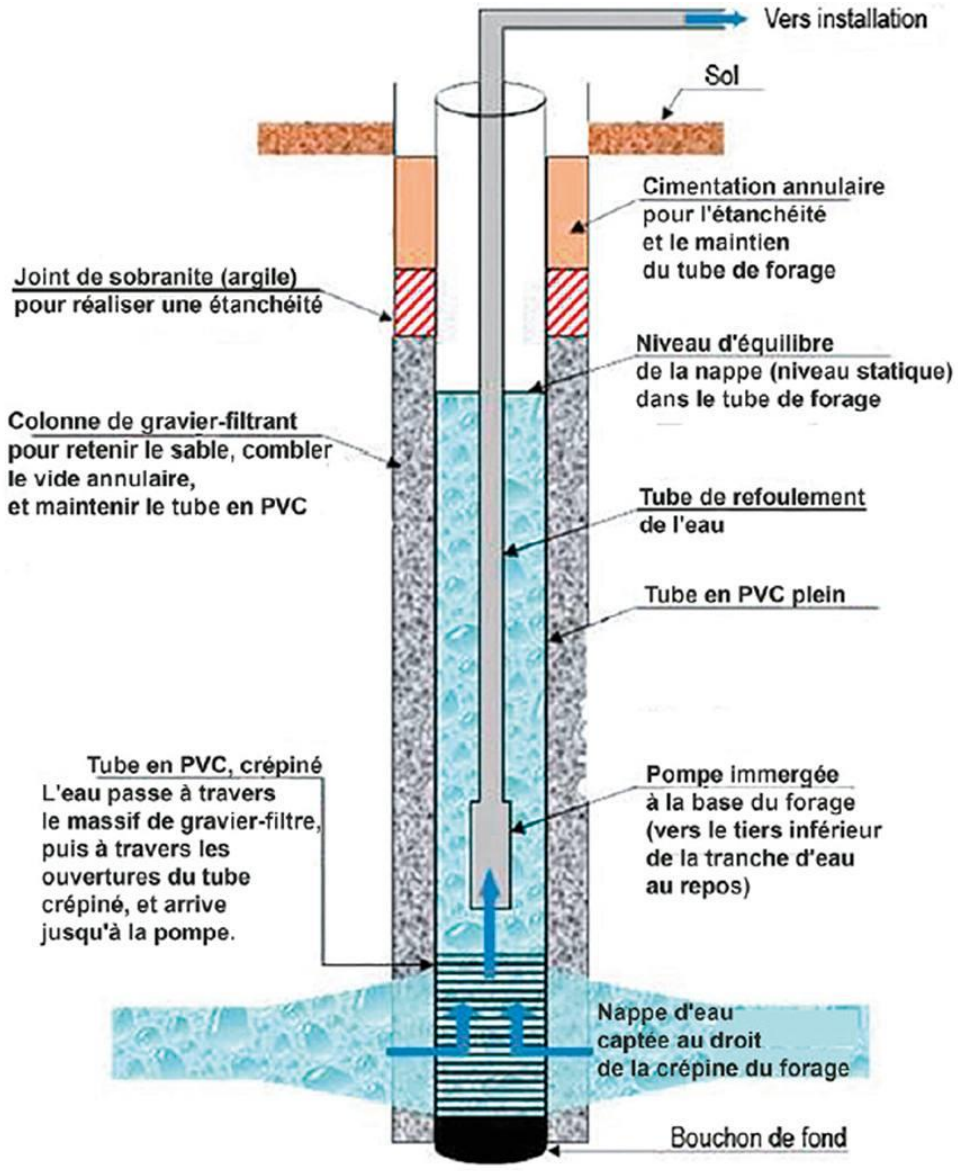


Figure I.10 : *Coupe technique et composants d'un forage d'eau* ***[28]***

La méthode de forage varie en fonction de plusieurs facteurs, parmi lesquels :

*La nature géologique du sol

*La profondeur et la quantité d'eau requise

*Les obstacles en surface.

*La distance entre le forage et les sources de pollution.

*L'objectif du forage.

*Le coût et le budget **[27].**

On distingue 3 types de forage différents, à savoir :

•Le forage vertical : il est effectué à la verticale pour atteindre la couche située directement sous la foreuse.

• Le forage incliné : ce type de forage permet d'atteindre des zones difficiles à forer directement à partir d'un seul site de forage en modifiant l'angle de forage.

• Le forage horizontal : il s'agit d'une technique qui nous permet d'atteindre plusieurs points souterrains à partir d'un seul site de forage **[29].**

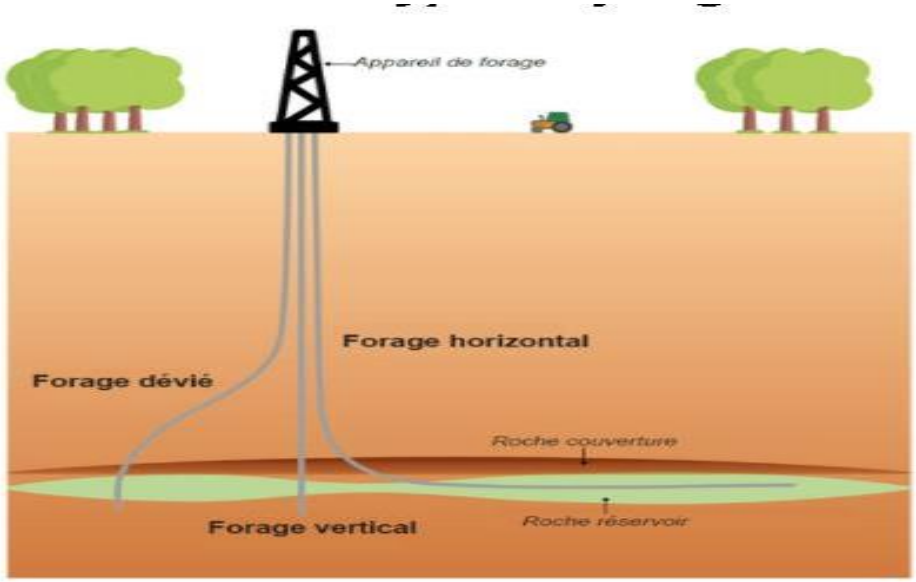


Figure I.11 : *Différentes types de forage* ***[30]***

Le forage sert à fournir de l'eau potable et à répondre à certains besoins agricoles, comme l'irrigation, ainsi qu'à des besoins industriels **[27].**

I.3. Pollution de l'eau

I.3.1 Définition de la pollution des eaux

Définition de la pollution donnée par la Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 : « Introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substance ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres, qui entrainent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier » **[5].**

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation douteuse et ou perturbe l'écosystème ; elle peut concerner les eaux superficielles et ou les eaux souterraines) **[31].**

I.3.2 Types de pollution et Impact sur le milieu naturel

Le tableau ci-dessous récapitule les différents types de pollution et leur impact sur l'environnement **[32].**

Tableau I .2 : Types de pollution et leurs impacts sur le milieu naturel

TYPES DE POLLUTION	IMPACT SUR LE MILIE NATUREL
Pollution insoluble	
Phase polluante solide (minérale et ou /organique) : Débris grossiers, Matière en suspension, Matière non colloïdales, Matière colloidales **Phase polluante (organique) :** Non dispersé, Dispersé (émulsion)	Nuisances esthétiques Dépôt des sédiments Diminution de la photosynthèse Diminution des transferts d'oxygène
Phase soluble	
Pollution de nature minérale : Acidité ou basicité Oxydants ou réducteur (chrome, cyanure, sulfate…) Sels toxiques (métaux lourds : Cu, Pb, Zn, Cd, Hg…) Formes minérales de l'azote (Ammonium, nitrites, nitrates) et du phosphore (phosphates) **Pollution de nature organique :** Biodégradable, Non biodégradable Formes organiques de l'azote(urée) et du phosphore Substances toxiques (phytosanitaires, hydrocarbures, polycycliques aromatiques, composés phénolés…)	Toxicité aiguë entrainant une mortalité rapide Toxicité différée par bioaccumulation (trouble du métabolisme des espèces) Eutrophisation : prolifération surabondante d'algues, toxicité Consommation de l'oxygène dissous (mortalité des poissons par asphyxie) Contamination des chaines trophiques Eutrophisation (déséquilibre de l'écosystème, altération de la qualité de l'eau) Toxicité à long terme (trouble de la reproduction des espèces)
Pollution thermique	Diminution de l'oxygène dissous, modification de l'écosystème
Pollution microbiologique	Présence des germes pathogènes et de virus, dangereux pour l'homme et les animaux

I.3.3 Paramètres indiquant une pollution due à l'activité agricole

La pollution des eaux par les activités agricoles résulte principalement de l'épandage d'engrais (nitrates, phosphore) et de l'usage de pesticides, entraînant une contamination par ruissellement et infiltration. Les paramètres clés incluent l'azote, le phosphore, la turbidité, les matières en suspension (MES) et la demande en oxygène.

Principaux Paramètres de Surveillance (Physico-chimiques et Biologiques) :

- **Composés Azotés et Nitrates :** Principale cause de pollution par excès de fertilisation, entraînant l'eutrophisation et la contamination des nappes phréatiques.
- **Phosphore total et Phosphates :** Issus des engrais et des effluents d'élevage, favorisant la prolifération d'algues.
- **Pesticides (Phytosanitaires) :** Résidus d'herbicides, insecticides et fongicides, présents même en faible dose, impactant la santé et l'écosystème.
- **Matières en Suspension (MES) et Turbidité :** Mesurent la limpidité de l'eau, affectée par l'érosion des sols agricoles.
- **Paramètres d'Oxygène :** Demande Biochimique en Oxygène et Demande Chimique en Oxygène pour mesurer la charge organique.
- **Conductivité et pH :** Évaluent la minéralisation et l'acidité, souvent modifiées par les engrais.
- **Coliformes fécaux :** Indicateurs de pollution organique liée aux élevages **[33].**

1.4 Normes de qualité de l'eau :

Il s'agit de normes physico-chimiques et biologiques établies par des organismes chargés de protéger la qualité de l'eau.

Tableau I.3 : Normes de qualité d'eau algérienne et OMS [34,35]

Groupe de parameter	**Les paramétres**	**Normes de qualité d'eau algérienne**	**Normes de qualité d'eau (OMS)**
Paramétres Organoleptique	**Couleur**	Incolore	Incolore
	Gout	Sans gout	Sans gout
	Odeur	Inodore	Inodore
Paramètres chimiques	**Nitrates (NO_3-)**	50 mg/l	50 mg/l
	Aluminium	0,2 mg/l	0,2 mg/l
	Nitrites (NO_2-)	0,2 mg/l	0,2 mg/l
	Pesticides	0,5 mg/l	0,01 mg/l
Paramètres physico-chimiques	**Conductivité**	2800 µm/cm	Pas de limite
Paramètres Physique	**pH**	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
	Température	25 °C	20 – 25 °C
Paramètres Microbiologique	**Escherichia coli**	0/100ml	0/100ml
	Salmonelles	Absence	Absence

Conclusion

Les conséquences de la pollution des milieux aquatiques sont multiples. Elles conduisent à des mortalités massives d'espèces, mais elles ont aussi des effets moins visibles : une eutrophisation des milieux, des effets toxiques à plus ou moins long terme, des maladies ou des perturbations endocriniennes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Bruand, A., & Coquet, Y. (2005). Les sols et le cycle de l'eau. *Science du Sol et Environnement*, 345-363.

[2] : Quizlet. (N.d.). Cycle de l'eau.

[3] : Mekaoussi, N. (2014). *COMPORTEMENT DES ELEMENTS CHIMIQUES DANS LES EAUX DE SURFACE DE HAMMAM DEBAGH (EST ALGERIEN* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

[4] : Paquerot, S. (2005). Eau douce. *Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec*.

[5] : Lévêque, C. (2021). Quelles rivières pour demain ? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau.

[6]: Nester, S. (n.d.). Top view of a river and green forest [Photograph]. Pexels.

[7] : Noubactep, C. (2024). Collecte des Eaux Pluviales-Un manuel de sensibilisation. Document Technique préparé pour APADER, 10

[8] : Pexels. (N.d.). Iraq is situated on the river... [Photograph]. Pexels.

[9] : Abdessalam, M. B. A., & Djelloul, M. A. MASTER ACADEMIQUE.

[10] : Dupont, J. (2024). Photo de barrage Beni-Haroun, Algérie [Photographie]. Pexels

[11]: [13] Frank R S; (2008); The Science of water: concepts and applications;3éme Ed; CRC Press Taylor & Francis Group; USA; p 417

[12] : Loubersac, L. (2021). L'eau de mer dans tous ses états. *Revue Juridique Politique et Économique de Nouvelle-Calédonie*, *2021*(37), 255-275.

[13]: Doe, J. (2025, 14 mars). A group of boats floating on top of water.

[14] : Nicole, E. (2004). L'oeuvre des mers. Ed. De l'Olivier.

[15] : VERNY, J. Géographie des mers et des océans.

[16] : Une vue sur l'océan depuis un bateau. (s. d.). Unsplash.

[17]: Vernex, J. C. (1998). Qu'est-ce qu'un lac ? De l'imaginaire lacustre à l'aménagement. Le Globe. Revue genevoise de géographie, 138(1), 7-16.

[18] : Al-Tayeb, B. (s. d.). Désert libyen [Photographie]. Facebook, Page Fawasel.

[19] : De Marsily, G. (2006). Les eaux continentales. EDP Science.

[20] : Renard, F. (2007). Master Professionnel « Eaux Souterraines » Cours d'hydrogéologie.

[21] : Margat, J., & Ruf, T. (2014). Les eaux souterraines sont-elles éternelles ? 90 clés pour comprendre les eaux souterraines.

[22] : Boualem, B. Cours de l'Hydrogéologie.

[23] : Cours, tutoriaux et travaux pratiques de géologie, hydrogéologie et géotechnique. (S.d.). Schéma hydrogéologique (source: Renard, 2002). WordPress.

[24]: Castany, G., Castany, G., Castany, G., Geologist, F., Castany, G., & Geologue, F. (1982). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Dunod.

[25] : Ohou-Yao, M. J. A., Séka, A. M., Mambo, V., Yapo, O. B., Konan, K. F., & Houénou, P. V. (2014). Contamination des eaux de puits traditionnels par les nitrates sur le bassin versant de la Lobo (Buyo, sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Journal of Applied Biosciences, 78, 6654-6665.

[26] : Systèmes de Filtration. (S. d.). Puits artésien et puits de surface [Infographie].

[27]: OYEBODE, O. J., OYEGOKE, S. O., OLOWE, K. O., & ADEBAYO, V. B. (2015). Borehole drilling, usage, maintenance and sustainability in ado-ekiti, Nigeria. American Journal of Engineering Research (AJER), 4(9), 1-12.

[28] : La Revue EIN. (S.d.). L'eau dans le sol : amie ou ennemie ? (2ème partie).

[29] : Thiziri, A. (2025). Suivi de deux modes de réalisation de forages d'eau (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammerie).

[30] : Vermilion Energy. (S.d.). Les différents types de forage en France.

[31]: Directive, W. F. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official journal of the European communities*, *22*(12), 2000.

[32]: Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: structure and function of running waters*. Dordrecht: Springer Netherlands.

[33]: Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, *418*(6898), 671-677.

[34]: Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 38(4), 104-8.

[35] : Arbi, R., & Aldjoubi, A. ÉTUDE DE LA QUALITÉ DES EAUX EMBOUTILLÉES DESTINÉES A L'AEP COMERCIALISÉES AU NIVEAU DE LA RÉGION DE OUARGLA (Doctoral dissertation).

CHAPITRE II :

GÉNÉRALITÉ SUR LA POLLUTION AGRICOLE

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LA POLLUTION AGRICOLE

Introduction

La pollution agricole désigne la dégradation des écosystèmes (eau, sols, air) causée par les activités agricoles, principalement par l'usage intensif d'intrants chimiques et la gestion des déjections animales. Elle constitue l'une des principales sources de contamination des eaux douces mondiales, menaçant la biodiversité et la santé humaine.

II.1 Définition de la pollution agricole

La pollution agricole constitue l'un des défis environnementaux majeurs. Elle résulte principalement de l'usage excessif d'engrais azotés et chimiques, et des pesticides dans l'objectif d'optimiser les rendements productifs, ainsi que, les rejets industriels et des déjections animales **[1].**

D'autres facteurs, tels que l'érosion des sols, leur sédimentation et une exploitation irrationnelle des terres ou un aménagement inapproprié des parcelles agricole contribuent également à ce phénomène. Ces pratiques favorisent le transfert de nutriments, de substances chimiques et d'agents pathogènes vers les ressources hydriques, provoquant des impacts négatifs sur les écosystèmes **[2].**



Figure II.1**: Image représentant la pollution agricole **[3].

II.2 Types des polluants agricoles :

II.2.1 Engrais chimiques :

Les engrais chimiques sont des substances chimiques ajoutées au sol dans le but d'augmenter la production agricole ; ils comprennent différents types, tels que les engrais azotés

(N), phosphatés (P) et potassiques(K). On distingue des engrais simples (un seul élément) et des engrais composés (2 ou 3 éléments majeurs), souvent complétés par du magnésium, du soufre ou des oligoéléments **[4].**

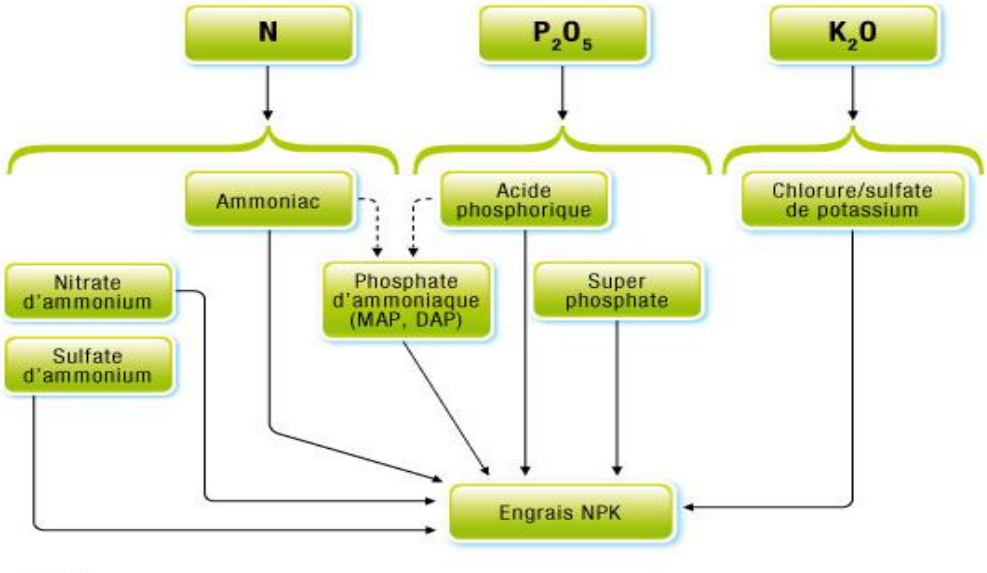


Figure II.2 : *Schéma de différents types d'engrais chimiques* ***[5]***



Figure II.3: *Différents Engrais chimiques NPK* ***[6]***

-Rôles et fonctions des éléments majeurs :

L'azote (N) est un élément essentiel à la croissance des parties végétatives de la plante, en particulier les tiges et les feuilles, et entre dans la composition de la chlorophylle, indispensable au processus de photosynthèse.

Le phosphore (P), il joue un rôle important dans la croissance des racines et la formation des fleurs et des fruits, et contribue à améliorer la résistance des plantes aux conditions environnementales telles que la sécheresse.

Quant au potassium (K), il contribue à stimuler la croissance des racines et des fruits, améliore la qualité des récoltes et aide à augmenter leur capacité de conservation **[7].**

-Avantages et inconvénients des engrais chimiques :

L'utilisation de ces engrais offre certains avantages agronomiques pour la qualité des cultures, car la rapidité avec laquelle les éléments nutritifs sont disponibles est liée à leur solubilité élevée ; de plus, grâce à leur forte concentration, les doses d'application sont réduites; cependant, leur utilisation excessive entraîne des déséquilibres environnementaux, car elle provoque la pollution des sols, de l'eau et de l'air, et contribue à l'augmentation de la salinité des sols, à la dégradation de leur structure et à une plus grande sensibilité aux maladies. Certains éléments nutritifs non absorbés peuvent se transformer en polluants potentiels, ce qui a un impact négatif sur l'environnement et la santé publique et nuit à la biodiversité à long terme **[8].**

- **Nitrates :**

Les nitrates sont de formule chimique NO_3^- comptent parmi les formes d'azote les plus répandues et les plus susceptibles de s'infiltrer dans les sols et les eaux ; leur origine est multiple et comprend les transports, l'industrie et les activités agricoles, ces dernières constituant la principale source en raison de l'utilisation intensive d'engrais chimiques. Les nitrates se caractérisent par le fait qu'il s'agit d'ions incolores et inodores, très solubles dans l'eau, ce qui facilite leur migration à travers les pores du sol jusqu'aux nappes phréatiques sous l'effet de l'eau d'irrigation ou des précipitations. Cette infiltration entraîne une dégradation de la qualité des eaux souterraines, ce qui constitue un danger direct pour la santé humaine lorsqu'elles sont utilisées comme source d'eau potable. Les nitrates apparaissent ainsi comme l'un des principaux polluants chimiques et agricoles menaçant l'équilibre écologique **[9].**

-Le cycle de l’azote (figure ci-dessous) illustre les différentes transformations menant à la formation des nitrates.

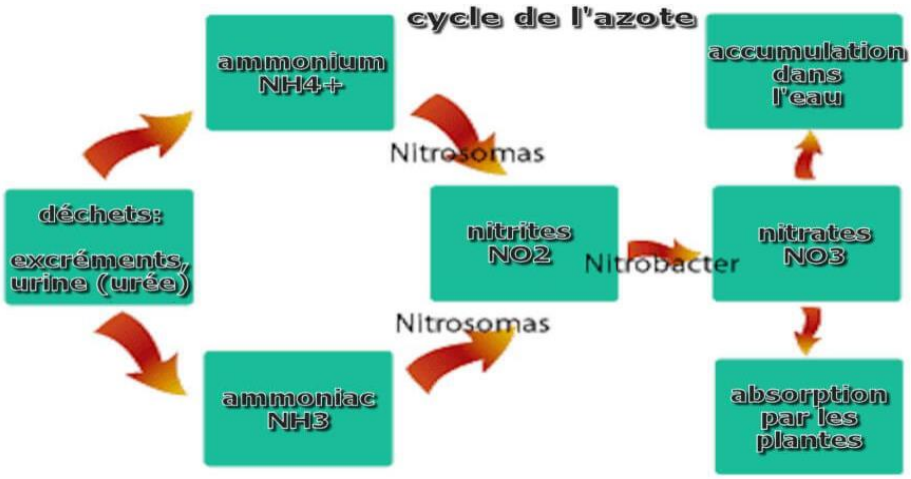


Figure II.4 *: Cycle de l'azote* ***[10]***

- ***Phosphates :***

Définis chimiquement comme les sels dérivés de l'acide orthophosphorique (H_3PO_4), représentent une source de nutriments minéraux indispensables à la croissance des organismes végétaux autotrophes. Parmi les principales causes de la présence des phosphates dans les milieux aquatiques figurent les eaux usées domestiques contenant des détergents, les eaux agricoles chargées d'engrais, ainsi que certains rejets industriels **[11].**

Lorsque ces nutriments sont présents en concentration élevées, ils entraînent une prolifération excessive d'algues, ce qui détériore la qualité de l'eau et provoque la propagation d'odeurs nauséabondes dans les plans d'eau, sans compter les problèmes de navigation et d'aération, ainsi que le manque d'oxygène dans l'eau, ce qui entraîne la mort des organismes aquatiques **[12].**

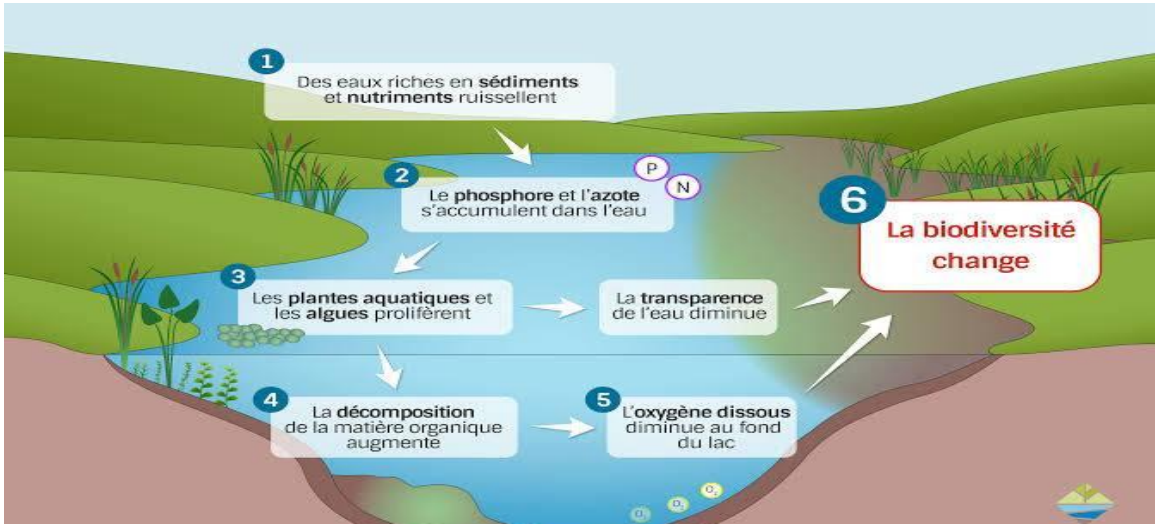


Figure II.5 *: Schéma illustrant le phénomène d'eutrophisation* ***[13]***

II.2.2 Pesticides

Sont des substances chimiques ou biologiques utilisées pour éliminer les organismes nuisibles ou limiter leur prolifération, et visent principalement à protéger les cultures agricoles et à améliorer leur rendement. Il existe trois types principaux de pesticides en raison de la différence des organismes ciblés et de leur mode d'action **[14].**

-Insecticides : sont des composés chimiques ou biologiques utilisés pour éliminer les insectes qui endommagent les cultures agricoles ou transmettent des maladies. Ils constituent un moyen efficace de protection des plantes et d'amélioration du rendement, et se divisent en plusieurs catégories, parmi lesquelles :

*Insecticides chimiques : tels que les composés organochlorés et les pyréthrinoïdes.

*Insecticides biologiques : issus d'organismes vivants ou de substances naturelles, comme certaines bactéries.

Le mode d'action de ces insecticides varie selon leur type : certains agissent par contact et tuent les insectes directement lors du contact, tandis que d'autres sont systémiques, absorbés par les plantes et transportés à l'intérieur de leurs tissus pour affecter les insectes qui s'en nourrissent. Il existe également des insecticides digestifs qui agissent comme des poisons provoquant la mort de l'insecte après ingestion **[14].**



Figure II.6 *: L''application des insecticides sur les cultures* ***[15]***

-Herbicides : sont des substances chimiques utilisées pour éliminer les mauvaises herbes indésirables. Ils se caractérisent par leur rapidité d'action et leur facilité d'utilisation par rapport aux autres méthodes de lutte. Ils sont classés en plusieurs catégories, parmi lesquelles :

-Herbicides sélectifs : ils ciblent certains types de mauvaises herbes sans nuire aux cultures.

-Herbicides non sélectifs : ils détruisent toutes les plantes sans distinction.

-Herbicides de prélevée : ils sont utilisés pour empêcher la germination des mauvaises herbes avant leur apparition.

-Herbicides de post-levée : ils sont appliqués sur les mauvaises herbes après leur émergence.

Ces herbicides diffèrent également selon leur mode d'action : certains agissent par contact en détruisant directement les tissus de la plante, tandis que d'autres sont systémiques, absorbés par la plante et transportés à travers ses tissus pour la détruire de l'intérieur **[14].**



Figure II.7 : *Arrachage des mauvaises herbes* ***[16]***

-Fongicides : ils sont employés pour combattre les champignons pathogènes des plantes en affectant leur paroi cellulaire ou leur métabolisme, empêchant ainsi leur croissance et leur reproduction. Bien que bénéfiques pour l'agriculture, les pesticides peuvent affecter des organismes non ciblés, s'accumuler dans les organismes vivants et se propager dans la chaîne alimentaire, notamment dans les environnements aquatiques. Ils peuvent également se décomposer en produits parfois plus toxiques que la substance initiale. De plus, l'usage répété et intensif du même pesticide peut provoquer l'apparition d'une résistance chez les organismes nuisibles, certains individus survivant au traitement et transmettant cette résistance aux générations suivantes, ce qui réduit progressivement l'efficacité du pesticide **[17].**



Figure II.8 : *Image montrant des infections fongiques* ***[18]***

II.2.3 Pollution organique

Désigne l'introduction de matières organiques biodégradables, naturelles ou d'origine anthropique, dans l'environnement, entraînant une augmentation de la consommation d'oxygène et un déséquilibre des écosystèmes **[19].**

Cette pollution provient principalement de deux sources :

-Effluents d'élevage *:* Ce sont les eaux résiduaires issues des exploitations animales, comprenant le fumier, l'urine et les restes alimentaires. Ces effluents contiennent une grande quantité de matière organique, de nutriments (azote et phosphore) et de micro-organismes.



Figure II.9: *Déchets d'élevage* ***[20]***

-Matière organique biodégradable : Ce sont les substances organiques pouvant être décomposées par des micro-organismes, incluant les résidus végétaux et autres déchets organiques.

La pollution organique provenant des effluents d'élevage et de la matière organique biodégradable entraîne une augmentation de la demande biologique en oxygène (DBO), réduisant l'oxygène disponible pour les organismes vivants et perturbant l'équilibre des écosystèmes. L'accumulation de ces matières provoque également des désordres dans les sols et les eaux et stimule une croissance excessive des micro-organismes et des algues, pouvant altérer la qualité et le fonctionnement naturel de l'environnement **[21].**

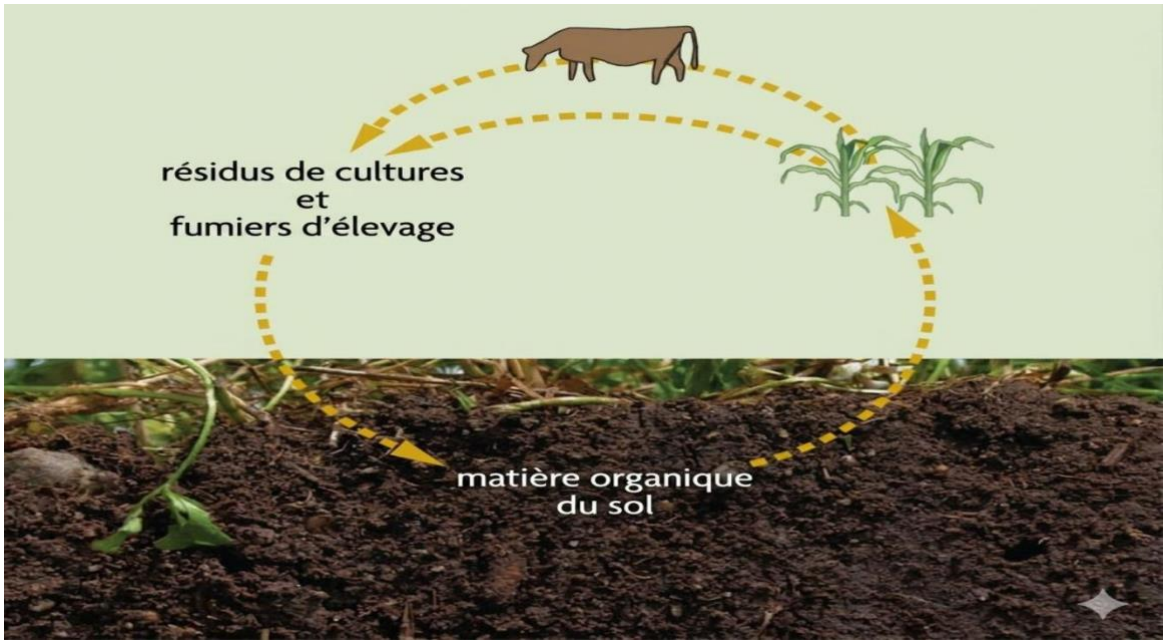


Figure II.10: *Recyclage de la matière organique du sol* ***[22]***

II.3 Mécanisme de transfert des polluants vers les eaux :

Le transfert des polluants vers les eaux s'effectue principalement par ruissellement des eaux de pluie, lessivage des sols, et drainage, transportant des contaminants agricoles, industriels ou urbains. Ces substances voyagent sous formes dissoutes ou particulaires, atteignant les cours d'eau directement ou via des réseaux d'assainissement **[23].**

II.3.1 Ruissellement

Un ruissellement de surface est un écoulement diffus de l'eau sur le sol avant d'atteindre un cours d'eau. L'écoulement d'eau de surface est l'eau qui traverse la terre après les précipitations, soit après avoir quitté un cours d'eau sous forme d'eau de crue, avant d'entrer dans un cours d'eau sous forme de ruissellement, soit en remontant naturellement à la surface à partir du sous-sol. Ce phénomène survient lorsque l'eau ne parvient pas à s'infiltrer dans le sol ou à s'évaporer. Il est influencé par divers facteurs tels que l'intensité des précipitations, la

perméabilité du sol et la couverture végétale. Le ruissellement joue un rôle clé dans le cycle de l'eau et peut entraîner des effets comme l'érosion des sols ou les inondations **[24].**



Figure II.11: *Illustration du ruissellement de surface* ***[25]***

On distingue deux types de ruissellement :

-le ruissellement diffus : Écoulement superficiel et pelliculaire qui se produit de manière dispersée sur la surface du sol. Il peut entraîner l'érosion des particules fines du sol.

-le ruissellement concentré : Écoulement linéaires plus épais et turbulents, capables de créer des incisions linéaires comme des rigoles ou des ravines **[26].**

II.3.1.1 Étapes clés du transfert

1. Émission et dépôt : Dépôt atmosphérique (pluie), application de pesticides/engrais, ou rejets directs (urbains/industriels) sur la surface.

2. Ruissellement de surface : Sous l'action de fortes pluies, l'eau s'écoule sur le sol, entraînant les polluants solubles et particulaires vers les cours d'eau.

3. Écoulement hypodermique : L'eau contaminée circule latéralement à faible profondeur à travers le sol, rejoignant les berges, notamment sur des sols argileux ou peu perméables.

4. Drainage enterré : Dans les parcelles agricoles, les systèmes de drainage captent l'eau infiltrée chargée de polluants pour l'évacuer rapidement vers les fossés et cours d'eau.

5. Transfert urbain : Les eaux de ruissellement collectées par les réseaux d'égouts (souvent séparatifs ou unitaires) rejoignent le milieu naturel, parfois après traitement.

6. Transport particulaire et sédimentation : Les polluants associés aux particules s'accumulent dans les sédiments ou se dissolvent, prolongeant la contamination **[27]**.

II.3.1.2 Précipitations

Les précipitations constituent la principale source d'eau s'écoulant à la surface de la Terre ; par conséquent, elles influent directement sur le ruissellement de surface, et leur impact varie en fonction de :

1. Quantité des précipitations : Le ruissellement de surface augmente avec la quantité et l'intensité des précipitations, se produisant lorsque l'eau tombe plus vite que le sol ne peut l'absorber (infiltration). Une forte intensité, surtout sur des sols saturés ou imperméables, limite l'absorption, provoquant un écoulement rapide qui entraîne inondations et érosion.

2. Intensité des précipitations : L'intensité des précipitations est le facteur moteur principal du ruissellement de surface : lorsque la vitesse de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, l'eau excédentaire s'écoule, causant érosion, inondations et transport de polluants. Une forte intensité réduite l'infiltration et sature rapidement les sols, aggravant ces phénomènes.

3. Durée des précipitations : La durée des précipitations influence le ruissellement de surface en augmentant le volume d'eau, saturant progressivement les sols, ce qui réduit leur capacité d'infiltration. Une pluie longue, même d'intensité modérée, finit par déclencher le ruissellement en comblant les rétentions superficielles, exacerbant ainsi l'érosion et les risques d'inondations.

4-Type de précipitations : Le type de précipitations influence fortement le ruissellement de surface : les averses intenses (convectives) dépassent rapidement la capacité d'infiltration du sol, provoquant un fort ruissellement immédiat. Inversement, des pluies faibles et durables (stratiformes) s'infiltrent mieux, limitant le ruissellement, sauf si le sol est déjà saturé **[28]**.

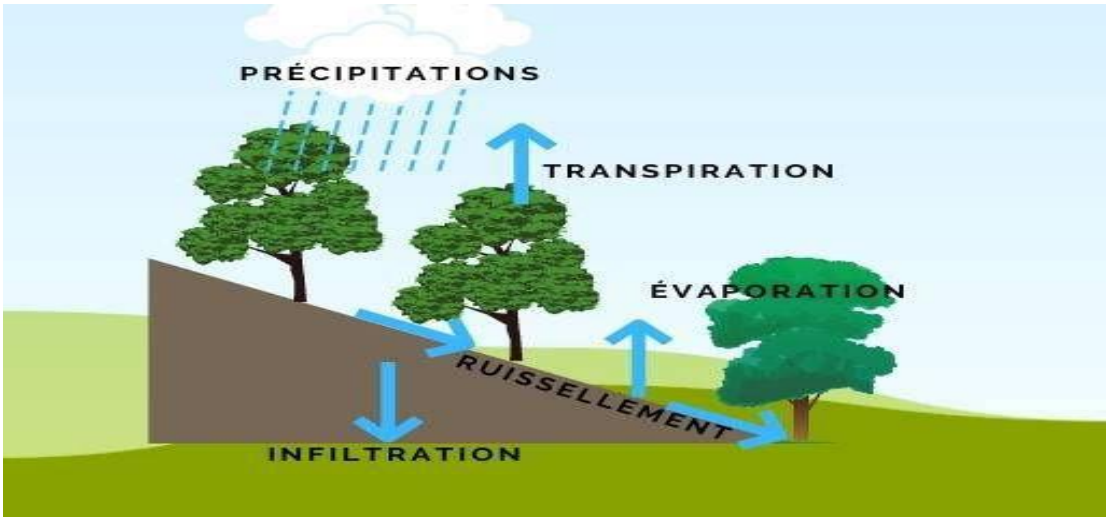


Figure II.12: *Schéma illustrant l'impact des précipitations sur le ruissellement* ***[29]***

II.3.1.3 Résultats du ruissellement de surface :

Le ruissellement de surface, se produisant lorsque l'intensité des précipitations dépasse la capacité d'infiltration des sols, entraîne une érosion hydrique, le transport de polluants et des inondations rapides. Il s'intensifie sur des sols saturés ou imperméabilisés, provoquant des ravines, des coulées de boue et des risques structurels.

Principaux résultats et impacts :

- Érosion et perte de terres : Le ruissellement, notamment lors de fortes averses, cause l'érosion en nappe et la formation de ravines, entraînant une perte de terres cultivables et de la dégradation des sols.

- Contamination des cours d'eau : Les eaux de ruissellement entraînent des polluants accumulés sur les surfaces (déchets, hydrocarbures, produits agricoles) directement vers les cours d'eau.

- Inondations rapides : il s'agit d'un facteur majeur d'inondations, pouvant provoquer des glissements de terrain et endommager des infrastructures **[30].**

II.3.2. L'infiltration :

Il s'agit d'un processus physique par lequel l'eau passe de la couche superficielle du sol à la nappe phréatique.

Le processus d'infiltration commence lorsque l'eau de pluie ou l'eau d'irrigation pénètre dans les pores de la couche superficielle du sol. Au cours de cette phase, l'eau joue le rôle de moteur et de principal vecteur de transport des polluants, car elle dissout et emporte les

matières polluantes accumulées à la surface, les transformant en une solution aqueuse polluée susceptible d'être transportée.

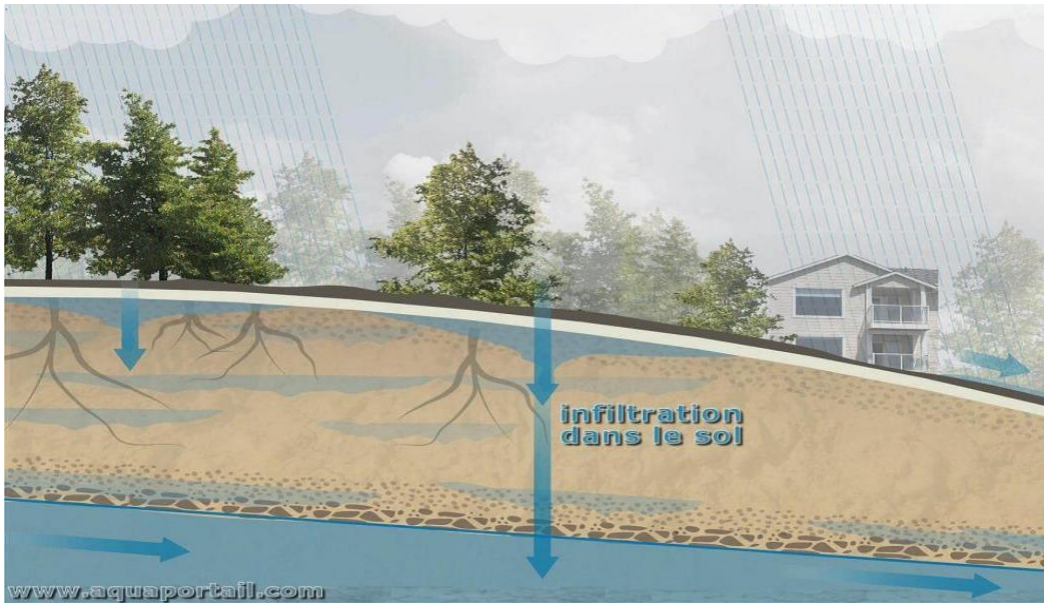


Figure II.13: *Infiltration d'eau dans le sol* ***[31]***

Lorsque la couche superficielle atteint son état de saturation, l'eau commence à s'écouler verticalement vers le bas, entraînant avec elle les polluants à travers trois unités hydrogéologiques principales :

1. **Le sol :** Il constitue la première étape du passage de l'eau, où il agit comme un milieu d'interaction initial dans lequel se produisent la dissolution, l'adsorption et la filtration primaire des polluants, résultant de l'interaction entre l'eau et les composants minéraux et organiques du sol.
2. **La zone non saturée :** Il s'agit de la couche qui sépare le sol de surface des eaux souterraines, et qui est régie par les forces de gravité et de tension capillaire. À ce stade, le transfert des polluants se poursuit, accompagné de changements physiques, chimiques et biologiques qui influencent leur concentration et leur comportement.
3. **La nappe phréatique** : Elle représente la phase finale du transfert des polluants, où ceux-ci peuvent s'accumuler ou se propager horizontalement avec le mouvement des eaux souterraines. Les processus de dilution et de dispersion hydrodynamique deviennent alors les principaux facteurs déterminants de la répartition de ces polluants au sein de l'aquifère.

Chacune de ces couches contribue à déterminer le temps de transit des polluants, leur étendue de propagation ou leur rétention finale. De plus, le mouvement des polluants tels que les métaux lourds et les micro-organismes est soumis à des interactions géochimiques complexes, telles que l'adsorption, la biodégradation et la sédimentation, processus qui

déterminent le parcours final de ces éléments depuis leur transport depuis la surface jusqu'à leur arrivée dans les aquifères **[32,33]**.

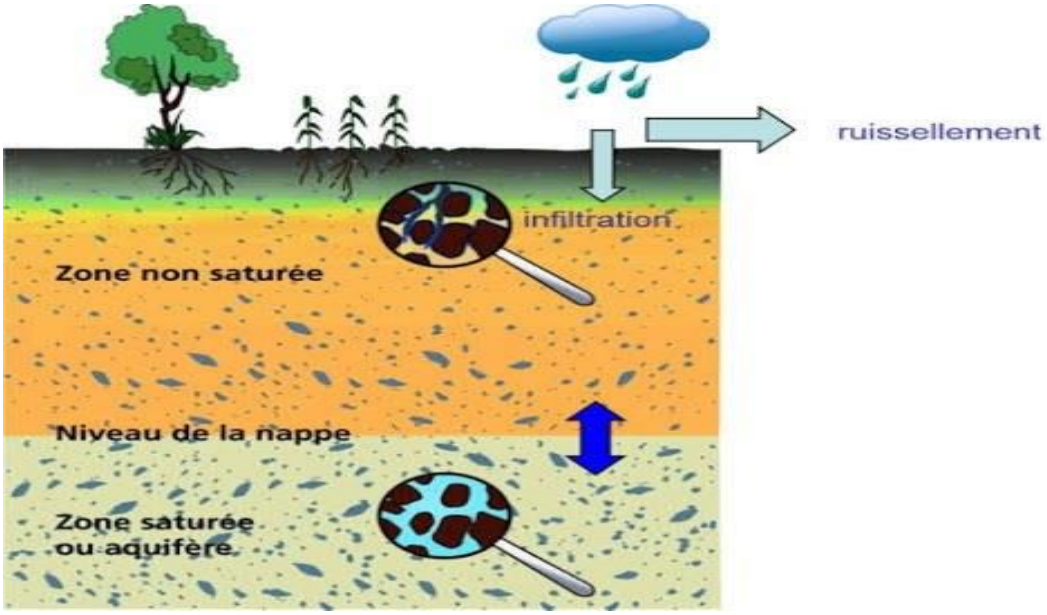


Figure II.14: *Coupe du sol illustrant la zone non saturée et la zone saturée* ***[34]***

II.3.2.1 Facteurs influencent le processus d'infiltration

Plusieurs facteurs influencent le processus d'infiltration, notamment le niveau des précipitations ou l'irrigation, ainsi que la structure et la texture du sol**,[32]** car celles-ci sont directement liées à la perméabilité du sol, qui constitue le principal facteur déterminant la vulnérabilité des nappes phréatiques à la pollution. Cette relation est illustrée par la comparaison suivante :

• **Dans les sols à haute perméabilité (comme les sols sableux)** : Grâce à leurs pores larges (macropores), ils permettent à l'eau et aux polluants de s'écouler très rapidement vers le bas, ce qui réduit le rôle du sol en tant que « filtre naturel » et augmente le risque de pollution des eaux souterraines.

•**Dans les sols à faible perméabilité (comme les sols argileux) :** Ils se caractérisent par des pores très fins (micropores) et capillaires, ce qui entraîne la rétention de l'eau et ralentit considérablement son mouvement dans le sol. Cette lenteur laisse suffisamment de temps pour que des réactions chimiques telles que l'adsorption se produisent, les polluants se fixant aux grains d'argile et n'atteignant pas l'aquifère, ce qui fait de ce sol une barrière protectrice efficace **[35].**

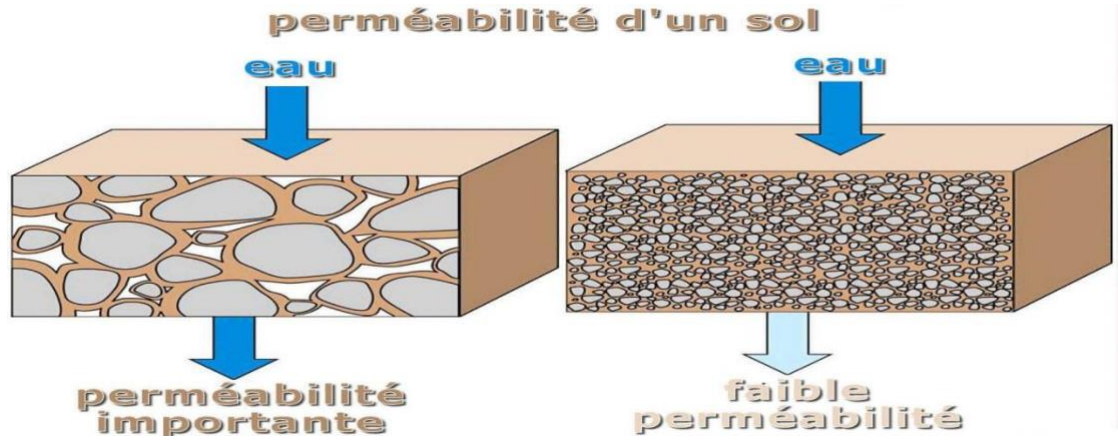


Figure II.15: *Comparaison entre une perméabilité importante et une faible perméabilité.**[36]***

II.3.2.2 Effets d'infiltration

Le processus d'infiltration présente plusieurs effets fondamentaux qui influencent directement les eaux souterraines :

• La recharge de la nappe phréatique.

• Le transport et la dispersion des polluants, l'eau agissant comme un « vecteur » de substances minérales et organiques vers les couches profondes.

• La modification de la qualité de l'eau par des réactions géochimiques telles que l'oxydation et l'adsorption qui se produisent lors du passage de l'eau à travers différents milieux.

• La filtration et la rétention, le sol et la zone non saturée contribuant à réduire la concentration des polluants ou à en retenir une partie avant qu'ils n'atteignent les eaux souterraines.

: ***Tableau II.1 : Comparaison entre ruissellement de surface et infiltration du sol***

POINT DE COMPARAISON	RUISSELLEMENT DE SURFACE	INFILTRATION
Définition	Écoulement horizontal de l'eau sur la surface du sol	Mouvement vertical de l'eau à travers les pores du sol
Condition Majeure	Intensité des precipitations > capacité d'absorption	Intensité des precipitations < = capacité d'absorption
Vitesse Relative	Écoulement rapide (horizontal)	Écoulement plus lent (vertical)
Facteur Influents	Augmente sur sols clayeux, compacts et imperméables	Augmente sur sols sableux poreux et perméables
Taux de transfert de polluants	Eaux de surface	Eaux souterraines
Principaux impacts environnementaux	Erosion, perte de sols, inondations, pollution superficielle	Recharge des nappes, filtration naturelle, risque de contamination souterraine

II 3.3 Facteurs influençant le transfert des polluants vers les eaux

II.3.3.1 Facteurs naturels

- **Types de sol :**

-Sol sableux : la texture du sol a une influence déterminante sur l'infiltration de l'eau. Les sols sableux contiennent des particules dont le diamètre varie entre 50 et 200 micromètres, ce qui leur confère une grande porosité. Cela augmente la perméabilité et l'empêche de retenir l'eau, ce qui permet à celle-ci de s'infiltrer en profondeur dans le sol, facilitant ainsi le transfert des polluants vers les eaux souterraines**.**

Des études ont montré que la quantité de nitrates s'infiltrant dans les sols sableux atteignait 9,1 %. Cette valeur élevée nous confirme la facilité d'infiltration dans les sols sableux **[37].**



Figure II.16: *Illustration d'un sol sableux.* ***[38]***

-Sol argileux : les propriétés des sols argileux influencent le processus de ruissellement, car ces sols se caractérisent par des particules dont le diamètre est inférieur à 2 micromètres, ce qui leur confère une porosité fine. Cette particularité les rend peu perméables, et l'eau s'y infiltre lentement, ce qui entraîne leur saturation et l'accumulation d'eau à la surface, d'où le ruissellement **[37].**



Figure II.17: *Illustration d'un sol argileux* ***[39]***

Donc le type de sol est le principal facteur qui détermine le cheminement de l'eau, qu'il s'agisse de l'eau qui s'infiltre en profondeur ou de l'eau présente en surface sous forme d'écoulement.

Tableau II.2 : Part de volumes de particules dans différents types de sol [37]

Type de sol	Sable	Argile
Porosité total	35%	40-45%
Microporosité (< 2 µm)	5%	30%
Mésoporosité (2-50 µm)	5%	5-10%
Macroporosité (50-2000 µm)	25%	5%

- **Climat :**

Le climat est une description statistique des conditions météorologiques à travers la variation des éléments climatiques tels que la température et l'intensité des précipitations ; l'interaction de ces éléments donne naissance à un régime climatique qui détermine le comportement de l'eau dans le sol, qu'il s'agisse d'écoulement de surface ou d'infiltration. Nous aborderons l'étude de l'influence de ces deux éléments dans ce qui suit selon la définition de (l'Organisation météorologique mondiale, l'OMM**) [40].**

- **Intensité des pluies :**

L'augmentation de la quantité de précipitations à une incidence sur le ruissellement, et ce, en raison de son effet sur la capacité d'infiltration du sol : celui-ci s'imbibe et devient incapable d'infiltrer et d'absorber l'eau, ce qui contribue à l'accumulation d'un excès d'eau à la surface et, par conséquent, à l'intensification du ruissellement

En revanche, en cas de faibles précipitations ou lorsque celles-ci sont égales à la capacité d'infiltration, le processus d'infiltration est renforcé, car le sol est capable d'absorber l'eau lentement et de la laisser s'infiltrer **[41].**

- **Température** :

La hausse des températures a une influence indirecte sur le phénomène d'infiltration, notamment par le biais de l'évaporation et de l'assèchement du sol, qui réduisent l'infiltration de l'eau en profondeur. D'autre part, les températures élevées favorisent la fonte des neiges, ce qui entraîne une augmentation du volume d'eau à la surface et, par conséquent, une augmentation du ruissellement

Quant aux basses températures, elles s'accompagnent du gel hivernal qui entrave le processus d'infiltration et accentue le ruissellement de surface **[42].**

C'est donc le climat qui détermine l'équilibre entre l'infiltration et le ruissellement, par le biais des effets de la température et de l'intensité des précipitations sur le sol.



Figure II.18: *Effet de la sécheresse sur le ruissellement de surface et l'infiltration* ***[43]***

II.3.3.2 Facteurs humains

Les pratiques agricoles, notamment l'irrigation et la fertilisation, constituent l'un des facteurs les plus importants contrôlant la dynamique de l'eau dans le sol, car elles influencent

directement et indirectement ses propriétés physiques et structurelles, et par conséquent les processus d'infiltration et de ruissellement de surface.

- **Surdosage des engrais**

L'utilisation excessive des engrais, en particulier les engrais chimiques tels que les nitrates et les phosphates, affecte les propriétés du sol ainsi que la structure de sa surface, et par conséquent le mouvement de l'eau à l'intérieur du sol (infiltration et ruissellement de surface). Certains engrais, notamment ceux contenant du sodium ou contribuant à l'augmentation de la salinité du sol, peuvent provoquer la dispersion des particules du sol, entraînant le colmatage des pores fins et la réduction de la perméabilité de l'eau, ce qui diminue ainsi le taux d'infiltration.

Lorsque l'infiltration diminue, la couche superficielle du sol se sature rapidement, ce qui entraîne une accumulation d'eau en surface et une augmentation du ruissellement de surface, en particulier lors de fortes pluies ou d'une irrigation intensive. Ce ruissellement peut également entraîner le transport des engrais solubles tels que les nitrates et les phosphates vers les eaux de surface, provoquant ainsi leur pollution.

En outre, certains types d'engrais peuvent favoriser la formation d'une croûte superficielle, ce qui augmente la compaction de la surface du sol et réduit sa perméabilité à l'eau, accélérant ainsi l'apparition du ruissellement de surface **[44].**

- **Irrigation excessive**

Lorsque des quantités excessives d'eau d'irrigation sont appliquées, dépassant les besoins des plantes ou la capacité de rétention du sol, cela affecte directement le mouvement de l'eau dans le sol en contrôlant la quantité d'eau qui pénètre à la surface et s'infiltre dans ses couches. Lorsque les volumes d'irrigation sont élevés ou non adaptés à la capacité d'absorption du sol, la couche superficielle devient rapidement saturée, ce qui réduit le taux d'infiltration et entraîne une accumulation d'eau en surface, provoquant ainsi le ruissellement de surface. Dans certains cas, notamment dans les sols perméables ou lorsque l'apport d'eau se prolonge dans le temps, l'eau dépasse la zone racinaire et se déplace vers les profondeurs, un processus appelé percolation profonde, qui peut contribuer au transfert de l'eau et des substances dissoutes vers les couches inférieures du sol. Ainsi, l'irrigation excessive perturbe l'équilibre entre l'infiltration et le ruissellement de surface, où l'un ou l'autre peut dominer selon les caractéristiques du sol, l'intensité de l'irrigation et le mode d'application **[45]**.

Ainsi, l'irrigation et la fertilisation excessives jouent un rôle déterminant dans le contrôle de l'équilibre hydrique et le transfert des polluants au sein du sol.

Conclusion

Le transfert de pollution des eaux par l'activité agricole est une pollution diffuse majeure, principalement due aux engrais (nitrates, phosphore) et pesticides utilisés en agriculture intensive. Les contaminants atteignent les nappes et rivières via le ruissellement, l'infiltration profonde, le drainage ou l'air (dérive). Cela dégrade la qualité de l'eau potable et provoque l'eutrophisation des milieux aquatiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Chitra, K., & Priya, B. S. (2020). Agricultural pollution. In *A primer on earth pollution: Pollution types and disposal* (pp. 46-58). Bentham Science Publishers.

[2]: Lawani, R. A. N., Kelome, N. C., Agassounon Djikpo Tchibozo, M., Hounkpe, J. B., & Adjagodo, A. (2017). Effets des pratiques agricoles sur la pollution des eaux de surface en République du Bénin. *Larhyss Journal*, *14*(2), 173-190.

[3]: FAO**.** (n.d.). More people, more food, worse water? FAO Knowledge Repository**.**

[4]: Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs* (pp. 1-20). Cham : Springer International Publishing.

[5] : UNIFA**.** (N.d.). Engrais minéraux composés**.** Parlons fertilisation**.**

[6] : Legrowshop**.** (N.d.). Fertilisant NPK engrais : NPK définition et utilisation**.**

[7] : FAO. (2017). Fiche d'information 7 : Les éléments nutritifs végétaux : rôle et sources. Dans Créer et diriger un jardin scolaire : Manuel du professeur. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

[8] : Chen, J. H. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility.

[9] : Oms, M. T., Cerdà, A., & Cerdà, V. (2000). Analysis of nitrates and nitrites. *Handbook of water analysis*, 201.

[10] : Florentin**,** A. (n.d.). Cycle de l'azote : définition et explications**.** AquaPortail.

[11] : Kundu, S., Coumar, M. V., Rajendiran, S., Rao, A., & Rao, A. S. (2015). Phosphates from detergents and eutrophication of surface water ecosystem in India. *Current science*, 1320-1325.

[12]: Singh, A. L. (2013). Nitrate and phosphate contamination in water and possible remedial measures. book: Environmental Problems and Plant Edition: Ist Chapter: Chapter Publisher: Springer Verlag GmbH Heidelberg, Germany Editors: Dwivedi, N, 44-56.

[13] : RAPPEL. (N.d.)**.** Eutrophisation - RAPPEL**.**

[14]: Acharjee, S. (2025). Pesticides and related materials: Insecticides and herbicides. ResearchGate.

[15] : Dreamstime. (2026). Utilisation des insecticides dans l'agriculture [Image].

[16] : Turf Medic. (S.d.). Identification et gestion des mauvaises herbes [Image].

[17] : Foughalia, A. (2022). Recherche d'agents de lutte biologique d'origine microbienne contre des champignons phytopathogènes (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider de Biskra).

[18] : BugHut. (S.d.). Maladies fongiques et traitement par fongicides [Image].

[19] : Renault, C. (2013). Impact de perturbations sporadique et constante de matière organique sur l'écosystème benthique (Doctoral dissertation, Université du Québec à Rimouski).

[20] : LPELC. (S.d.). Gestion des déchets d'élevage et impact environnemental [Image].

[21]: food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges**.**

[22]: Magdoff, F., & Van Es, H. (s.d.). Cycle des matières organiques dans le sol [Image]. SARE.

[23] : Caner-Chabran, A. (2019). (TRAPEZE) Transfert de Polluants organiques et minéraux En Zone viticole : évaluation de l'Efficacité des bassins de rétention à réduire la contamination des eaux de surface (Doctoral dissertation, Université de Reims Champagne-Ardenne).

[24] : Poulard, C., Breil, P., Hauchard, E., Codah, J. D., & Lagadec, L.-R. (2015). Le ruissellement, comprendre pour diagnostiquer et agir. Techni.Cités, (282), 21-28.

[25] : AquaPortail. (S.d.). Illustration du ruissellement de l'eau sur le sol [Image].

[26] : Larue, J. P. (2000). Contribution du ruissellement concentré à l'érosion des sols sableux cultivés de l'ouest du Bassin parisien : l'exemple des bassins du Dué et du Narais. Sciences Eaux & Territoires, (21 Ingénieries-EAT), 51-62.

[27] : Tarboton, D. G. (2003). Rainfall-runoff processes.

[28] : Santos, J. C. N., de Andrade, E. M., Medeiros, P. H. A., Guerreiro, M. J. S., & de Queiroz Palácio, H. A. (2017). Effect of rainfall characteristics on runoff and water erosion for different land uses in a tropical semiarid region. *Water Resources Management*, *31*(1), 173-185.

[29] : 123RF. (S.d.). Coupe schématique d'un aquifère montrant un puits traditionnel et un puits artésien.

[30]: Boardman, J., Vandaele, K., Evans, R., & Foster, I. D. (2019). Off-site impacts of soil erosion and runoff: Why connectivity is more important than erosion rates. *Soil Use and Management*, *35*(2), 245-256.

[31] : Aquaportail. (S.d.). Infiltration d'eau de pluie dans le sol.

[32] : Feki, M., Ravazzani, G., Ceppi, A., Milleo, G., & Mancini, M. (2018). *Impact of infiltration process modeling on soil water content simulations for irrigation management*. Water, 10, 850.

[33] : Chéry, L., & Mouvet, C. (2000). Principaux processus physico-chimiques et biologiques intervenant dans l'infiltration des produits polluants et leur transfert vers les eaux souterraines. *La houille blanche*, *86*(7-8), 82-88.

[34] : Wikhydro. (S.d.). Zone non saturée (HU).

[35] : Shi, T., Liu, W., Yang, Y., Liu, Y., Li, M., Liu, T., ... & Wang, Q. (2024). Low-Permeability Layered Clay Soil Hinders Organic Macromolecular Pollutant Migration in the Transition Zone of the Jianghan Plain–Dabie Mountain Area. Water, 16(11), 1522.

[36] : Aquaportail. (S.d.). Perméabilité d'un sol : définition et explications.

[37] : Le Roy, J., Dubois, V., Tournebize, J., Lauvernet, C., & Clément, R. (2020). Synthèse bibliographique : Impacts de l'infiltration d'eaux usées traitées sur les sols (Doctoral dissertation, INRAE UR-Reversaal).

[38] : Raw Catalog. (S.d.). Sol sableux avec des grumeau.

[39] : Actisol. (S.d.). Actisol. Sol argileux.

[40]: Food and Agriculture Organization (FAO). (S.d.). Chapitre 1 - Le climat de la terre - Une entité dynamique.

[41]: Horton, R. E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *14*(1), 446-460

[42]: Luo, L., Robock, A., Vinnikov, K. Y., Schlosser, C. A., Slater, A. G., Boone, A., ... & Yang, Z. L. (2003). Effects of frozen soil on soil temperature, spring infiltration, and runoff: Results from the PILPS 2 (d) experiment at Valdai, Russia. Journal of Hydrometeorology, 4(2), 334-351.

[43] : Gilbert, P. (2023, septembre 1). Sécheresse et sols. Aquagir.

[44] : Rashmi, I., Shirale, A., Kartikha, K. S., Shinogi, K. C., Meena, B. P., & Kala, S. (2017). Leaching of plant nutrients from agricultural lands. In *Essential plant nutrients: uptake, use efficiency, and management* (pp. 465-489). Cham: Springer International Publishing.

[45]: Tanji, K. K., & Kielen, N. C. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 61). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

CHAPITRE III :

MATERIELS

ET

METHODES

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

Introduction

Ce chapitre présente la partie terrain de cette étude, dans laquelle sont décrits la zone ciblée et ses caractéristiques hydrogéologiques, avec la localisation des points de prélèvement retenus pour cette étude, qui comprennent des cours d'eau de surface et des puits souterrains, ainsi que la présentation des appareils utilisés et des protocoles suivis pour la réalisation des analyses.

Les principaux indicateurs physiques, chimiques et microbiologiques utilisés pour évaluer la qualité de l'eau sont également abordés.

III.1 Présentation de la zone d'étude

III.1.1 Situation de la zone d´étude

La zone d´étude (pleine de Collo) est localisée à l´ouest de la wilaya de Skikda, et elle occupe une superficie de 50 Km^2 (Fig III.1). Elle est drainée par oued El Guebli et Oued Cherka. La plaine de Collo appartient au bassin côtier constantinois (code 3) (Fig. 1) **[1]**.

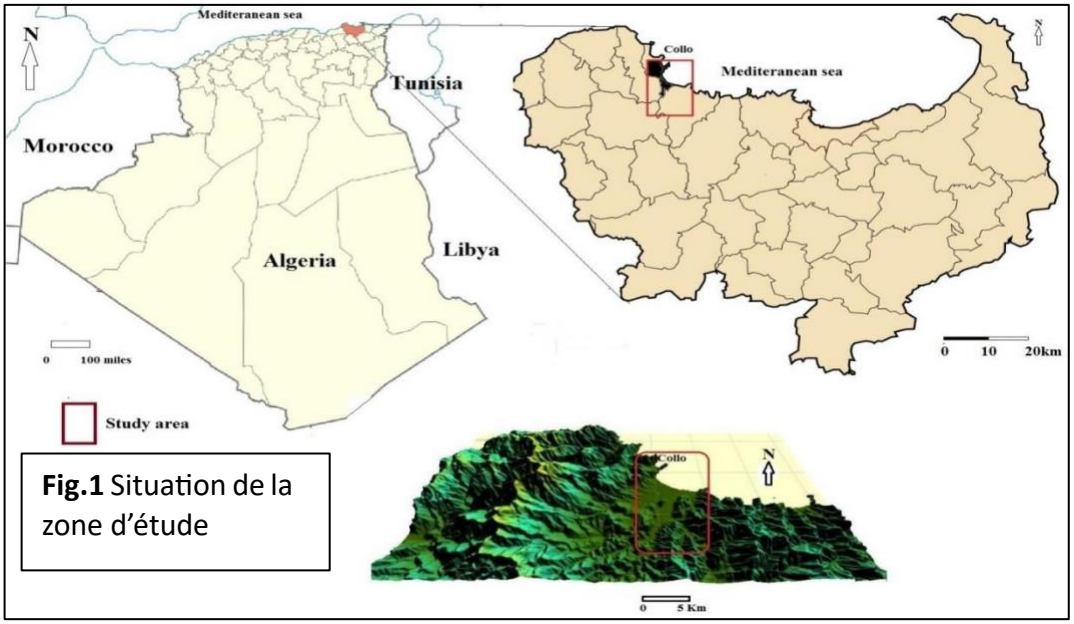


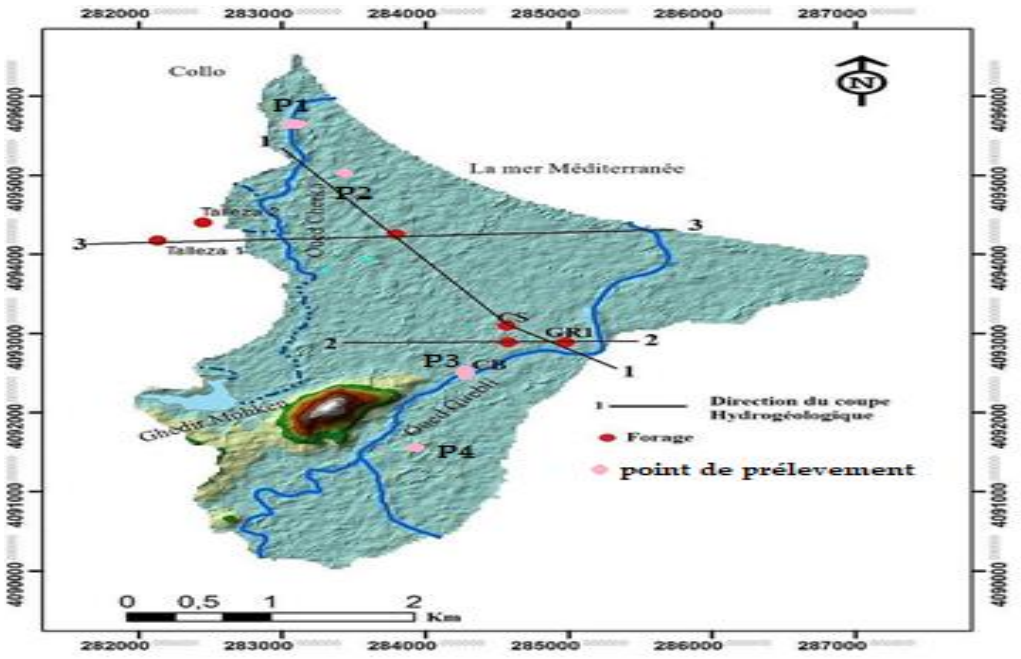
Fig.1 Situation de la zone d'étude

Figure III. 2:*Situation de la zone d'étude*

III.1.2 Étude hydrogéologique

L'étude hydrogéologique complétée par la géophysique ainsi que la géologie et les données de forages ont permis de schématiser la géométrie de l'aquifère alluvionnaire. Il s'agit d'un aquifère libre au nord devient captif à l'ouest et semi-captif au sud ou l'épaisseur de couvertures limoneuses devient important. Le substratum de l'aquifère est essentiellement marneux de Mio-pliocène sur laquelle repose une couche de sable et gravier

d'épaisseur environ 25 m au nord, qui constitue le principal réservoir de l'aquifère **[2]**.



FigureIII. 3:*Inventaires des forages avec direction des coupes hydrogéologique*

III.2 Points de prélèvements et caractéristiques

PI : Le point de prélèvement est situé au niveau de **l'Oued Cherka**. Ce cours d'eau traverse des zones à vocation agricole, et proche de la mer et à proximité d'une station de lavage. Cette localisation expose le cours d'eau à plusieurs sources de pollution d'origines différentes (agricole et anthropique)

P2 : Correspond à un puits captant une nappe phréatique libre, situé dans une zone agricole et proche de la mer. Ce site a été choisi afin d'évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines peu profondes face aux apports de pollution d'origine agricole et à l'influence marine**.**

P3 : Le point de prélèvement est situé au niveau **de l'Oued Guebli**, qui traverse une **zone à forte densité de population** ainsi qu'une **zone agricole.** Cette localisation expose l'oued à des sources multiples de pollution, d'origine domestique et agricole**.**

P4 : Correspond à un puits captant une nappe captive (aquifère confiné), situé dans une zone agricole. Cette nappe est protégée par des couches imperméables, ce qui limite généralement l'infiltration directe des polluants de surface.

III.3 Analyses des paramètres physico-chimiques et microbiologiques

III.3.1 Paramètres physiques

- **Turbidité** : La turbidité est un paramètre organoleptique qui permet d'évaluer le degré de trouble de l'eau ou de son manque de clarté et de transparence, dû à la présence de particules en suspension telles que la boue et les matières organiques qui empêchent la lumière de traverser l'eau.

Pour la mesurer, on utilise un turbidimètre, appareil dans lequel se produit une interaction entre la lumière et ces particules : après avoir placé l'échantillon dans une cuvette de mesure propre à l'intérieur de l'appareil, une source de lumière artificielle d'une certaine intensité est projetée ; les particules diffusent ou absorbent alors la lumière, ce qui permet d'effectuer la mesure à l'aide d'un détecteur fixé à un angle perpendiculaire de 90 degrés , et le résultat s'affiche sur l'appareil en NTU **[3]**.



Figure III.4: *Turbidimètre de laboratoire de haute précision* ***[4]***

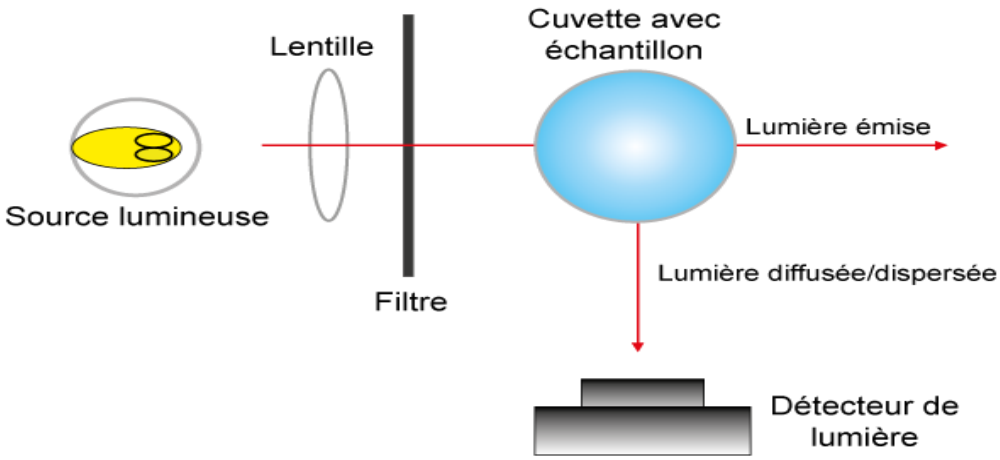


Figure III.5: *Principe de la mesure néphélométrique de la turbidité* ***[5]***

La turbidité peut être visible si elle est supérieure à 5 NTU et est considérée comme forte si la valeur dépasse 100 NTU. En général, la turbidité des eaux souterraines est faible **[3].**

- . **pH :** est un indice qui mesure la concentration en ions hydrogène présents dans l'eau, en déterminant le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau sur une échelle allant de 0 à 14.

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre : on commence par étalonner l'appareil avec des solutions de concentration connue, puis on rince l'électrode à l'eau distillée, on la plonge dans l'échantillon et on obtient immédiatement le résultat lorsque l'appareil indique une valeur de pH = 7, l'eau est neutre ; si le pH est inférieur à 7, l'eau est acide ; et si le pH est supérieur à 7, l'eau est basique. Il est également possible de le mesurer par une méthode colorimétrique, grâce au changement de couleur en fonction de la valeur du pH **[6]**.



***Figure III.6**:pH-mètre [7]*

III.3.2 Paramètres chimiques

- **DCO** : La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène dissous qui doit être présente dans l'eau pour oxyder les matières organiques chimiques, comme le pétrole. La DCO est utilisée pour évaluer l'impact à court terme des effluents d'eaux usées sur les niveaux d'oxygène des eaux réceptrices **[8]**.

La méthode de mesure de la DCO (demande chimique en oxygène) repose sur la méthode au dichromate. Un volume d'échantillon est traité par du dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ en milieu fortement acide (H_2SO_4), avec du sulfate d'argent Ag_2SO_4 comme catalyseur et du sulfate de mercure $HgSO_4$ pour éliminer l'interférence des chlorures. L'échantillon est ensuite chauffé à environ 150 °C pendant deux heures afin d'oxyder la matière organique. Après refroidissement, le dichromate restant est dosé par titrage avec du sulfate ferreux $FeSO_4$.

La DCO est exprimée en mg O_2/L et permet d'évaluer la pollution organique de l'eau : plus la valeur est élevée, plus la pollution est importante.

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) est une unité de mesure de la pollution organique dans l'eau, exprimée en milligrammes d'oxygène par litre (mg/L ou mg O2/L) **[9]**.



Figure III.7:*Thermo réacteur pour la digestion DCO* ***[10]***

- **DBO_5** : (Demande Biochimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données.

Les conditions communément utilisées sont de 5 jours (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air **[11]**.

La mesure de la DBO_5 (demande biochimique en oxygène sur 5 jours) est un test de laboratoire fondamental visant à déterminer la quantité de matière organique biodégradable présente dans l'eau.

La méthode standard repose sur la mesure de la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes (bactéries) lors de la dégradation des matières organiques.

La quantité d'oxygène dissous dans l'échantillon est déterminée immédiatement après son prélèvement (DO_0), ou après dilution avec de l'eau de dilution dans le cas d'eaux fortement polluées, en ajustant le pH entre 6,5 et 7,5.

Les flacons DBO sont ensuite remplis avec l'échantillon sans laisser de bulles d'air et fermés hermétiquement.

L'oxygène dissous initial DO_0 est mesuré à l'aide d'un oxymètre.

Les flacons sont ensuite placés dans un incubateur DBO réglé à 20 °C, dans l'obscurité totale afin d'éviter l'influence de la photosynthèse sur les résultats.

Les échantillons sont incubés pendant 5 jours (120 heures).

À la fin de la période d'incubation, les flacons sont retirés et l'oxygène dissous résiduel DO_5 est mesuré de la même manière que précédemment.

-Calcul DBO_5:

DBO_5 (mg/L) =(DO0-DO5) × facture de dilution

DO0 : oxygène dissous initial

DO5 : L'oxygène dissous après 5 jours

Facture de dilution : Coefficient de dilution (s'il n'y a pas de dilution, il est égal à 1

L'unité de mesure DBO_5 correspond à des milligrammes d'oxygène par litre ; elle est notée $\boldsymbol{mg/L}$ ou $mgO2/L$ **[12]**.



Figure III.8: *Système de mesure la DBO_5 (oxitop WTW et incubateur thermostatique)**[13]***

- **Les nitrates (NO_3-) :** les nitrates sont issus du processus final d'oxydation de l'azote organique

présent dans l'eau, au cours duquel les nitrites sont transformés en nitrates par les bactéries nitrifiantes ; toute augmentation ou diminution de leur concentration a un impact négatif sur la santé humaine et l'équilibre écologique.

Nous mesurons l'absorbance par la méthode colorimétrique grâce à la réaction de réactifs (solution de sulfanilamide, solution de N-phényléthylènediamine) avec le nitrate de di, formant un composé coloré. En

présence de salicylate de sodium, le nitrate donne du par nitrosonitrate de sodium, un composé jaune. Enfin, la couleur est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 543 nm.

La concentration en nitrate peut être déterminée à partir de l'intensité de la couleur obtenue **[6]**.

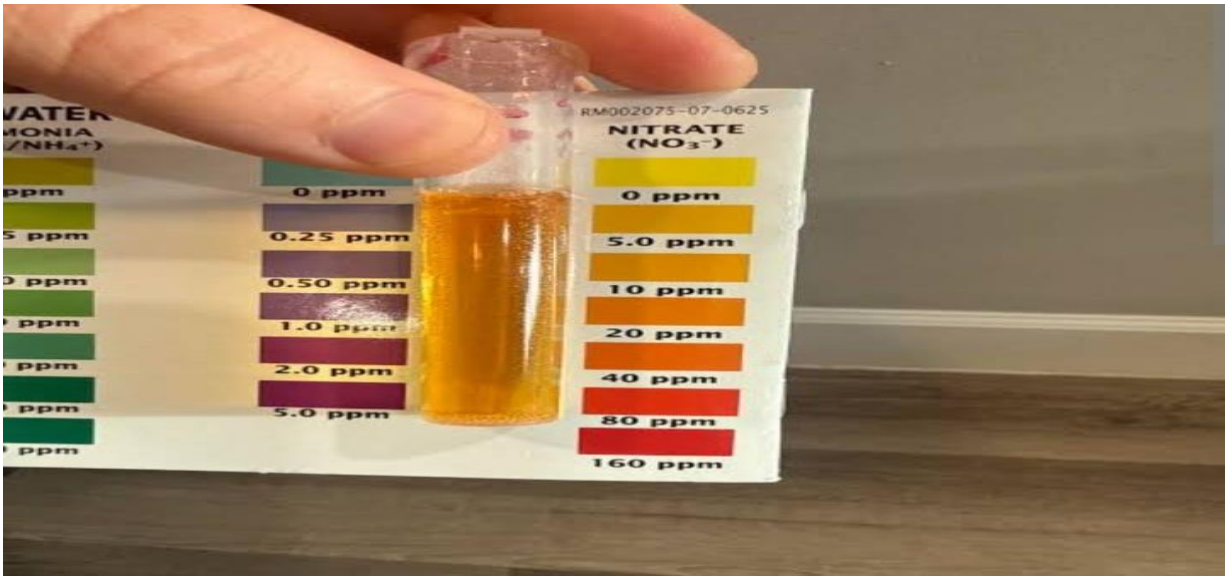


Figure III.9:*Test colorimétrique des nitrates dans l'eau* ***[14]***

- **Les nitrites :**il s'agit d'une analyse chimique utilisée pour déterminer la concentration des ions nitrite dans l'eau, basée sur leur réaction avec des réactifs spécifiques, à savoir la sulfanilamide et la N-(1-naphtyl) éthylènediamine, en milieu acide, conduisant à la formation d'un composé coloré rouge dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en nitrites dans l'échantillon. En effet, les ions nitrite réagissent en milieu acide (pH = 1,9) avec la sulfanilamide pour former un sel de diazonium (réaction de diazotation), qui réagit ensuite avec la N-(1-naphtyl) éthylènediamine dichlorhydrate pour donner un colorant azoïque rouge, dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 543 nm **[6]**.



Figure III.10:*Spectrophotomètre* ***[15]***

- **Les phosphates (PO_4^{3-}) :** Il s'agit d'une analyse chimique utilisée pour déterminer la concentration des ions phosphate dans l'eau, basée sur leur réaction avec des réactifs spécifiques en milieu acide, conduisant à la formation d'un composé coloré bleu. Les ions phosphate réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe phosphomolybdique, qui ne se forme que dans un milieu acide approprié. Ensuite, ce complexe est réduit par l'ajout d'acide ascorbique, ce qui entraîne l'apparition d'une coloration bleue, tandis que l'oxytartrate de potassium et d'antimoine agit comme catalyseur pour accélérer la réaction. L'intensité de cette coloration est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 650 nm, et elle est proportionnelle à la concentration des phosphates dans l'échantillon **[6]**.

III.3.3 Paramètres microbiologiques

- **Coliformes fécaux :**il s'agit d'un sous-groupe de bactéries coliformes totales, défini comme des bactéries présentes dans l'intestin des humains et des animaux ; leur présence dans l'eau indique une contamination et la présence de micro-organismes pathogènes.

Elle est mesurée à l'aide de méthodes biologiques, parmi lesquelles :

- La filtration membranaire : cette méthode consiste à faire passer l'échantillon à travers un filtre fin pour retenir les bactéries, puis à le placer dans un milieu de culture spécial et à l'incuber à 44,5 °C, ce qui permet aux bactéries de se développer sous forme de colonies bleues visibles à l'œil nu. Leur concentration est exprimée en CFU/100 ml.



Figure III.11:*Schéma des étapes de dénombrement bactérien par la technique de filtration sur membrane* ***[16]***

-Principe du nombre le plus probable : cette méthode repose sur une estimation statistique, l'échantillon étant réparti dans une série de tubes de culture contenant un milieu nutritif (lactose) ; la présence de bactéries est détectée par l'opacification du liquide et la formation de gaz dans les tubes. Après incubation à 44,5 °C, la concentration bactérienne approximative est déterminée à partir de tableaux statistiques basés sur les tubes positifs et exprimée en MPN/100 ml **[17].**

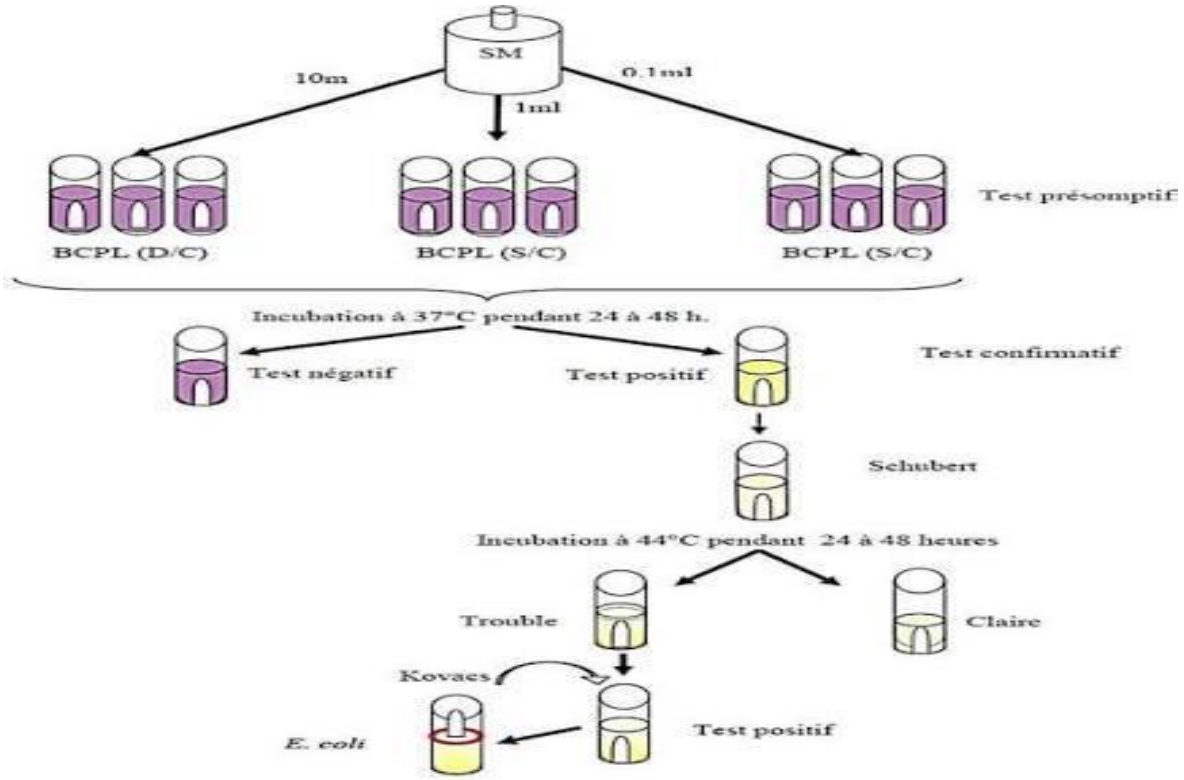


Figure III.12:*Recherche et dénombrement des Coliformes fécaux (principalement E. Coli) par la méthode NPP* ***[18]***

Les normes prévoient l'absence totale de ces bactéries dans l'eau potable et autorisent leur présence à des concentrations variables et limitées dans les eaux destinées à d'autres usages, comme l'irrigation **[17]**.

Conclusion

Les différentes méthodes d'analyse utilisées au cours de cette étude ont permis de déterminer les principaux paramètres physico-chimiques nécessaires à l'évaluation de la qualité des eaux. L'utilisation d'équipements adaptés et de méthodes normalisées a assuré la fiabilité des résultats obtenus.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Meliani, A. (2024). Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre Collo secteur 2 (180ha) à partir du barrage Béni Zid (W. Skikda) (Doctoral dissertation).

[2] : Chabour, N. "La surexploitation des eaux souterraines dans les plaines littorales : la nappe de Télezza dans la plaine de Collo (Nord-Est algérien)." Sciences & Technologie. B, Sciences de l'ingénieur (2004) : 127-132.

[3] : Ghazali, D., & Zaid, A. (2013). Etude de la qualite physico-chimique et bacteriologique des eaux de la source ain salama-jerri (region de meknes–maroc). Larhyss Journal, 10(1), 25-36

[4] : Hanna Instruments. (S.d.). Turbidimètre de laboratoire USEPA180.1 - HI88703-02.

[5] : Hanna Instruments. (S.d.). La mesure néphélométrique (lumière diffusée à 90°).

[6] : Chehra, B. O. U. G. U. E. N. N. A., & Medjoudj, W. (2024). Etude de qualité de trois sources d'eau dans la wilaya de Mila (Doctoral dissertation, university centre of abdelhafid boussouf-mila-).

[7]: Metrohm. (s. d.). 780 pH Meter / 781 pH/Ion Meter.

[8]: Ben Larbi, M., & Benamrane, L. (2020). Traitement des margines par la combinaison des procédés physico-chimiques (Doctoral dissertation, UMMTO).

[9] : Baba, L., & Djelouahi, K. (2017). Etude comparative de la détermination de la demande chimique en oxygène par différentes méthodes (Doctoral dissertation, UMMTO.

[10] : Hanna Instruments. (S.d.). Thermoréacteur pour la digestion DCO HI839150.

[11]: Lakhal, R., Menacer, A., & Mr Drif, S. E. (2018). Caracterisation et traitement des lixiviats

[12] : Ikene, R., & Messad, M. (2022). Suivi qualitatif des eaux usées brutes et traitées de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

[13] : WTW. (S.d.). Système de mesure de la DBO5 : Têtes OxiTop et incubateur thermostatique [Image].

[14] : Reddit. (2026). Aide avec le réservoir de cyclisme : analyse du taux de nitrate (NO_3^-) [Post]. Reddit.

[15] : Torontech Team, "Qu'est-ce qu'un spectrophotomètre UV-Vis et comment fonctionne-t-il ?", 12/01/2025.

[16] : Nouichi, S. (2024). Chapitre V : Croissance bactérienne [Support de cours]. Institut des sciences de la nature et de la vie, C.U. Abdelhafid Boussouf – Mila.

[17]: Santiago-Mercado, J., & Hazen, T. C. (1987). Comparison of four membrane filter

methods for fecal coliform enumeration in tropical waters. Applied and Environmental Microbiology, 53(12), 2922-2928.

[18] : Bouchachi, H. (2023). Impact du réchauffement climatique sur les ppc et bactériologiques des eaux des plages de baignade d'Annaba (2021) [Mémoire de master non publié]. Université Badji Mokhtar – Annaba

CHAPITRE IV :

RESULTATS

ET

DISCUSSIONS

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude et à l'analyse des résultats obtenus au cours de la période d'étude s'étendant de janvier à avril ; il analyse les différents paramètres physiques, chimiques et microbiologiques mesurés aux quatre points d'étude. Il vise également à comparer les résultats enregistrés aux normes internationales reconnues pour l'évaluation de la qualité de l'eau et à déterminer dans quelle mesure les eaux de surface et souterraines sont affectées par les activités agricoles.

IV.I. Résultats obtenus

L'analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques mesurés au niveau des quatre sites d'étude (P1, P2, P3 et P4) révèle une différence importante dans le degré de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines. Les résultats montrent clairement que les sites de surface (P1 et surtout P3) sont les plus affectés par les activités agricoles, tandis que les eaux souterraines profondes (P4) présentent la meilleure qualité.

Tableau IV.I : Tableau global des résultats

Site	Paramètre	Janvier	Février	Mars	Avril
P1(Oued Cherka)	pH	7.7	7.8	7.9	8.0
	Turbidité (NTU)	80	110	130	100
	Nitrates (mg/L)	40	35	55	60
	Nitrites (mg/L)	0.10	0.08	0.15	0.18
	Phosphates (mg/L)	2.5	2.0	4.0	5.0
	DBO5 (mg/L)	25	22	30	35
	DCO (mg/L)	70	60	85	95
	Coliformes (UFC/100 mL)	10^4	10^3	10^5	10^5
P2 (nappe libre)	pH	7.4	7.5	7.6	7.7
	Turbidité	15	12	25	30
	Nitrates	35	30	45	50
	Nitrites	0.08	0.05	0.10	0.12
	Phosphates	1.0	0.8	1.5	2.0

Site	Paramètre	Janvier	Février	Mars	Avril
	DBO5	8	6	10	12
	DCO	25	20	30	35
	Coliformes	10^2	10^1	10^2	10^3
P3 (Oued Guebli)	pH	7.4	7.5	7.6	7.7
	Turbidité	120	150	180	200
	Nitrates	50	45	65	70
	Nitrites	0.15	0.12	0.20	0.25
	Phosphates	3.5	3.0	6.0	8.0
	DBO5	40	35	50	60
	DCO	90	80	120	140
	Coliformes	10^5	10^4	10^6	10^6
P4 (nappe captive)	pH	7.2	7.3	7.4	7.5
	Turbidité	3	2	4	5
	Nitrates	10	8	12	15
	Nitrites	0.01	0.01	0.02	0.02
	Phosphates	0.3	0.2	0.4	0.5
	DBO5	3	2	4	5
	DCO	10	8	12	15
	Coliformes	0	0	0	0

IV.II Analyse des Résultats

IV.II.1 Résultat de la turbidité

Les valeurs très élevées de la turbidité observées dans les sites P1 et P3, atteignant respectivement 130 NTU et 200 NTU, témoignent d'une forte charge en matières en suspension. Cette situation peut être attribuée au ruissellement des sols agricoles, à l'érosion et au transport de particules fines vers les cours d'eau. L'augmentation progressive entre janvier et avril suggère l'intensification des activités agricoles et des phénomènes de lessivage des sols durant cette période. En revanche, la faible turbidité enregistrée dans la nappe captive P4 indique une bonne protection naturelle contre les apports extérieurs.

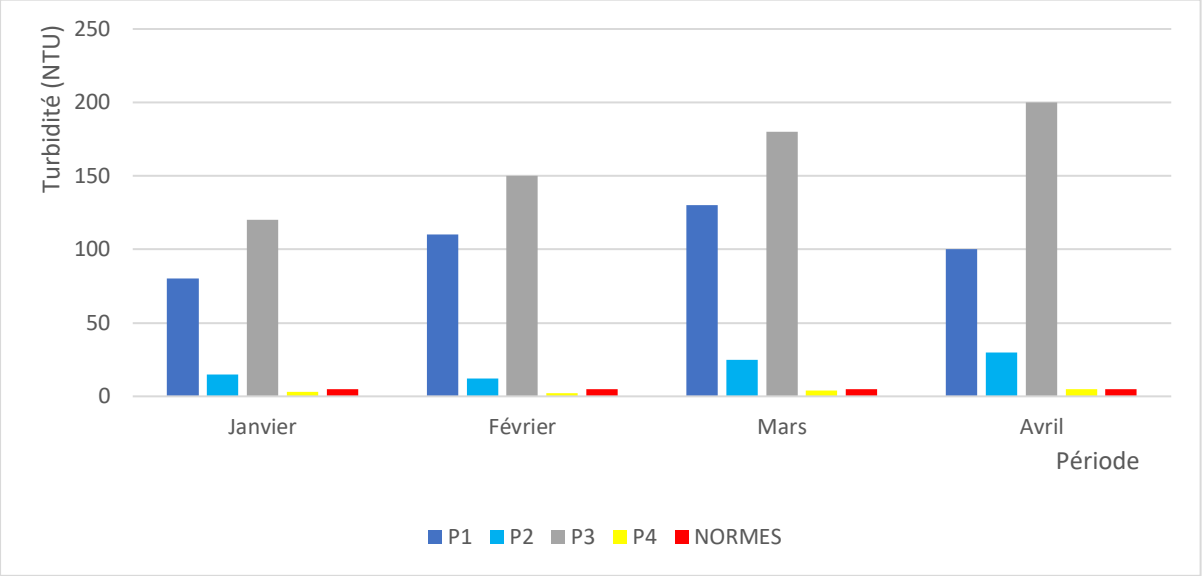


Figure IV. 13:*Évolution de la turbidité*

IV.II.2 Résultat du pH

Les valeurs du pH varient entre 7,2 et 8,0, ce qui traduit un milieu légèrement alcalin. Toutes les valeurs demeurent dans les limites recommandées pour les eaux naturelles. La légère augmentation observée au cours de la période d'étude peut être liée à l'activité biologique et à la présence d'ions bicarbonates dans l'eau. Ainsi, le pH ne constitue pas un facteur limitant de la qualité de l'eau dans cette étude.

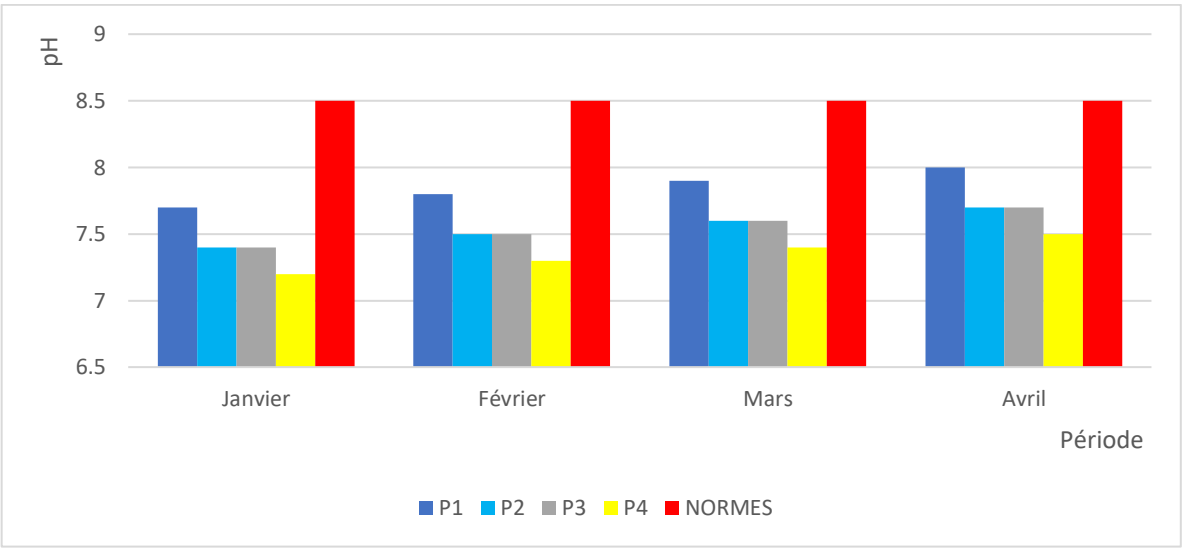


Figure IV. 14:*Évolution du pH*

IV.II.3 Résultat de la DBO5

Les concentrations élevées de DBO_5 observées dans les sites P1 et P3 indiquent une importante pollution organique. Les valeurs atteignent jusqu'à 60 mg/L au niveau de P3, dépassant largement la norme recommandée (< 5 mg/L). Cette situation traduit la présence de matières organiques biodégradables provenant des rejets domestiques, des déchets animaux et des résidus agricoles. L'augmentation progressive des valeurs de janvier à avril montre une aggravation de la pollution organique.

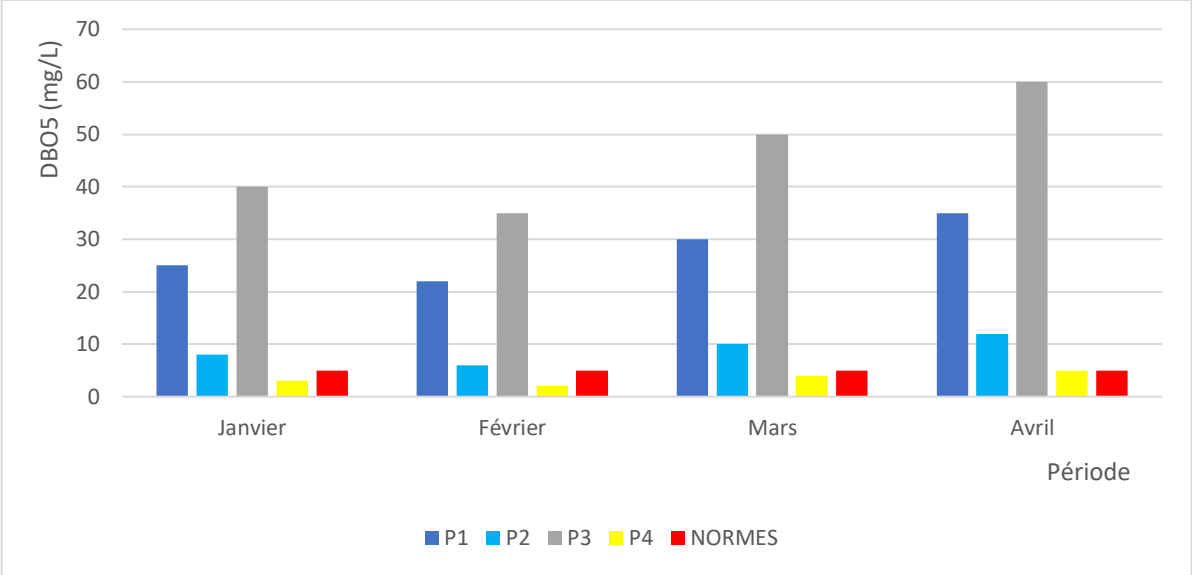


Figure IV.4: *Évolution de la DBO5*

IV.II.4 Résultat de la DCO

Les valeurs de DCO sont particulièrement élevées dans les eaux de surface, notamment au niveau du site P3 où elles atteignent 140 mg/L. Cette augmentation indique la présence d'une forte quantité de substances organiques et minérales oxydables. La corrélation observée entre la DCO et la DBO_5 suggère que les sources de pollution sont principalement d'origine agricole et domestique. Les faibles valeurs enregistrées dans P4 démontrent l'efficacité de la filtration naturelle assurée par les couches géologiques.

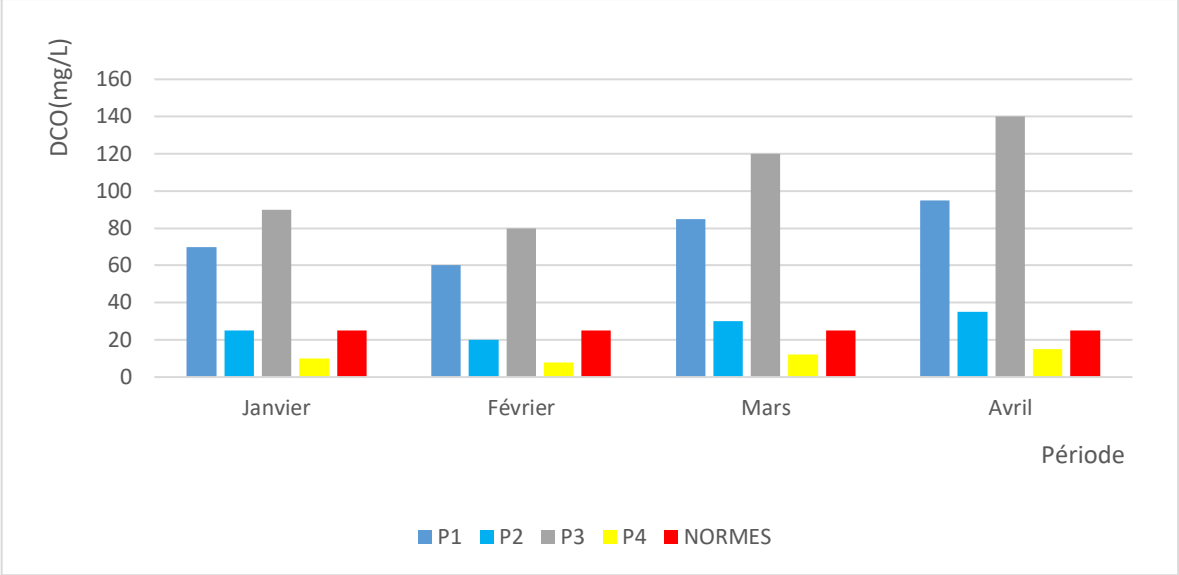


Figure IV.15: *Évolution de la DCO*

IV.II.5 Résultat des nitrates

Les concentrations en nitrates augmentent progressivement au cours de la période d'étude et dépassent la limite de 50 mg/L dans les sites P1 et P3 à partir du mois de mars. Cette augmentation coïncide probablement avec les périodes de fertilisation agricole. Les nitrates étant très solubles dans l'eau, ils sont facilement transportés vers les cours d'eau et les nappes phréatiques par infiltration et ruissellement. La contamination observée constitue un indicateur direct de l'impact des engrais azotés sur la qualité des ressources hydriques.

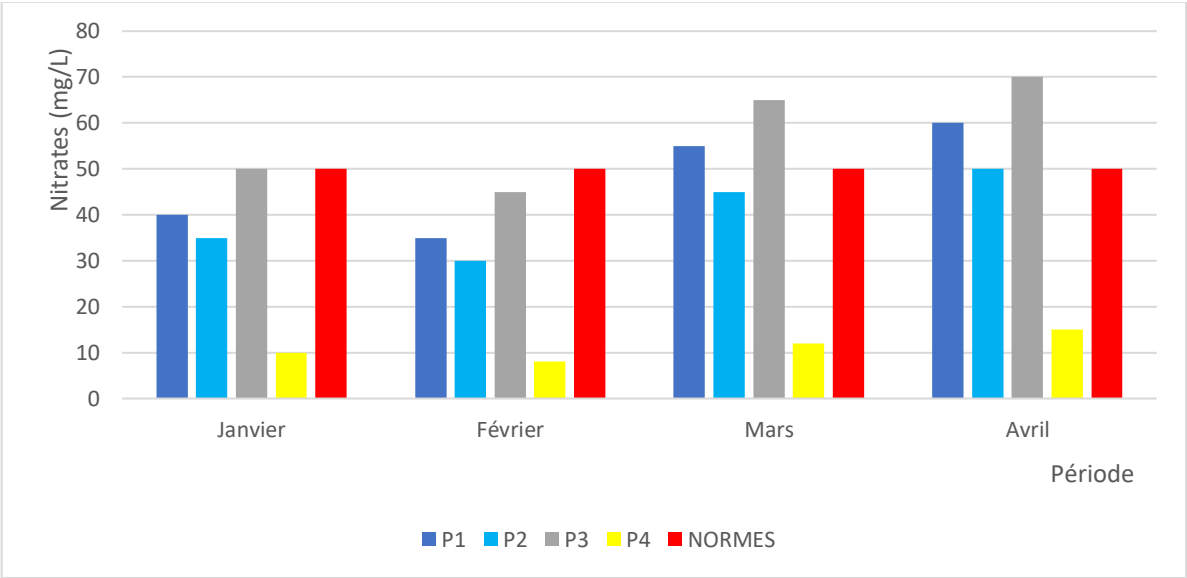


Figure IV.5: Évolution des nitrates

IV.II.6 Résultat des nitrites

Les concentrations en nitrites restent relativement faibles dans la majorité des sites mais dépassent les limites admissibles au niveau du site P3 durant les derniers mois de l'étude. Les nitrites étant des composés intermédiaires du cycle de l'azote, leur présence témoigne d'une pollution récente par des matières organiques ou des engrais azotés. Leur augmentation progressive confirme la dégradation de la qualité des eaux de surface.

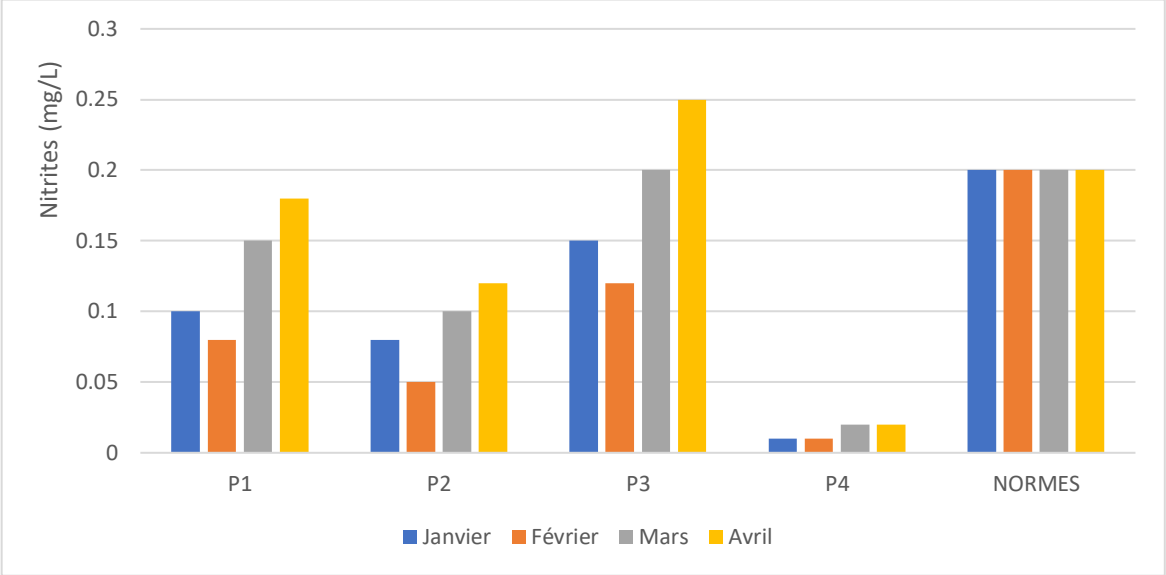


***Figure IV. 6** : Évolution des nitrites*

IV.II.7 Résultat des phosphates

Les concentrations en phosphates dépassent largement les valeurs de référence dans tous les sites, avec des maxima atteignant 8 mg/L au niveau de P3. Cette situation est fortement liée à l'utilisation d'engrais phosphatés dans les activités agricoles. Ces teneurs élevées favorisent les phénomènes d'eutrophisation susceptibles d'entraîner une prolifération excessive des algues et une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau.

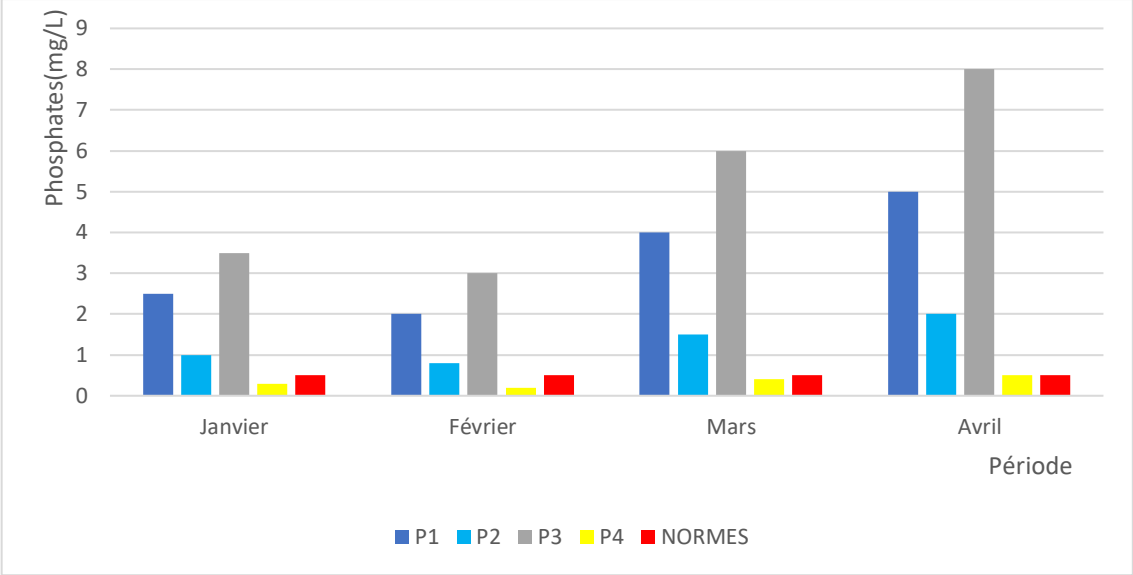


Figure IV.7: *Évolution des phosphates*

IV.II.8 Résultat des Coliformes

La présence de coliformes à des concentrations très élevées dans les sites P1 et P3, atteignant jusqu'à 10^6 UFC/100 mL, révèle une contamination microbiologique importante d'origine fécale. Cette contamination peut être liée aux rejets domestiques, aux déjections animales ou aux eaux de ruissellement contaminées. Le site P4 ne présente aucun coliforme durant toute la période d'étude, ce qui confirme sa bonne qualité sanitaire et sa protection contre les sources de pollution de surface.

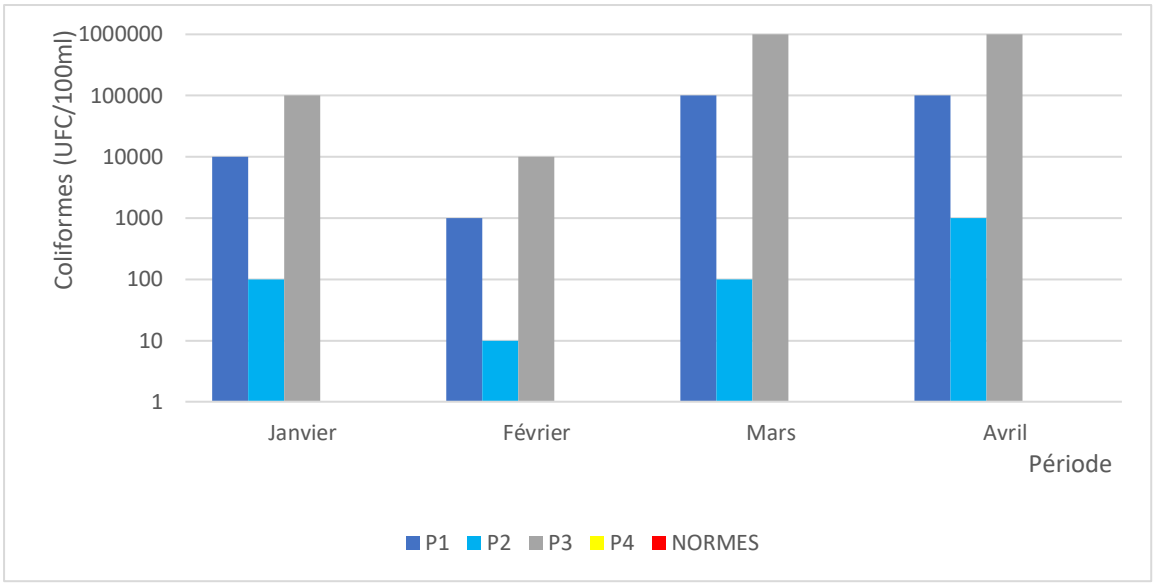


Figure IV. 8 : *Évolution des Coliformes*

.

Conclusion :

Les résultats démontrent clairement que le site P3 (Oued Guebli) est le plus contaminé, suivi du site P1 (Oued Cherka). Le site P2 présente une contamination modérée témoignant d'une influence indirecte des activités agricoles sur la nappe libre. Le site P4 (nappe captive) conserve une qualité satisfaisante grâce à la protection naturelle des formations géologiques. Ces observations confirment l'impact significatif des pratiques agricoles sur la dégradation de la qualité des eaux de surface et, dans une moindre mesure, des eaux souterraines de la région étudiée.

Conclusion générale

Au terme de cette étude, l'analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques a permis de mettre en évidence une dégradation variable de la qualité des eaux selon les sites étudiés. Les résultats obtenus montrent que les eaux de surface, particulièrement celles des sites P3 (Oued Guebli) et P1 (Oued Cherka), présentent les niveaux de pollution les plus élevés, caractérisés par des valeurs importantes de turbidité, de DBO_5, de DCO, de nitrates, de phosphates et de coliformes. Cette situation traduit l'influence directe des activités agricoles, notamment l'utilisation intensive des engrais chimiques, ainsi que l'apport des matières organiques transportées par le ruissellement.

Les eaux souterraines de la nappe libre (P2) présentent une qualité intermédiaire. Bien que certains paramètres demeurent relativement acceptables, l'augmentation progressive des concentrations en nitrates, phosphates et coliformes révèle une vulnérabilité de cette ressource à l'infiltration des polluants d'origine agricole.

En revanche, la nappe captive (P4) affiche les meilleures caractéristiques de qualité durant toute la période d'étude. Les faibles concentrations enregistrées pour l'ensemble des paramètres analysés témoignent de l'efficacité de la protection naturelle assurée par les formations géologiques qui limitent la migration des contaminants.

Par ailleurs, l'évolution temporelle des différents paramètres entre janvier et avril montre une tendance générale à l'augmentation des concentrations, particulièrement pour les composés azotés et phosphorés. Cette évolution confirme l'impact des périodes de fertilisation sur la qualité des ressources hydriques et met en évidence la relation étroite entre les pratiques agricoles et la contamination des eaux.

Ainsi, les résultats obtenus confirment l'hypothèse de départ selon laquelle les activités agricoles exercent une influence significative sur la qualité des eaux de surface et, dans une moindre mesure, sur les eaux souterraines. Ils soulignent également la nécessité de mettre en œuvre des mesures de gestion durable des fertilisants, de renforcer le suivi régulier de la qualité des eaux et de promouvoir des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement afin de préserver durablement les ressources hydriques de la région étudiée.

Enfin, la protection des eaux de surface et souterraines dans la région de COLLO n'est plus une option, mais une nécessité absolue pour garantir la durabilité de ces ressources vitales et préserver la santé humaine et l'équilibre écologique pour les générations actuelles et futures.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : /ق ع ف /2026

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Président de Jury

Je soussigné : **Pr. Neddam Salim**

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Bouaine Takoua**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **L'impact des Engrais Chimiques sur la Qualité des Eaux Souterraines et de Surface.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : /ق ع ف /2026

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026
Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Pr. Heddam Salim** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Bouachari Sameh**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **L'impact des Engrais Chimiques sur la Qualité des Eaux Souterraines et de Surface.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	**Président(e) de Jury**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : /ك ع ف /2026

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

Skikda le': .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Pr. Heddam Salim** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Chouit Djihane**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **L'impact des Engrais Chimiques sur la Qualité des Eaux Souterraines et de Surface.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 – SKIKDA –
Faculté des Sciences
Département D'Agronomie
Ref : D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955 – سكيكدة –
كلية العلوم :
قسم علوم فلاحية
رقم : / /2026

Skikda le : .....

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Pr. Heddam Salim** Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) **Bougdah Cheima**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **L'impact des Engrais Chimiques sur la Qualité des Eaux Souterraines et de Surface.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de Mémoire	Président(e) de Jury