

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Par : **BENCHRIRAT Aicha**

Sujet

Impact de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation des terres agricoles en Algérie (Tlemcen)

Soutenu publiquement, le 29 septembre 2024 , devant le jury composé de

Mme BENMESSAOUD Nouara	M.A.A	Université de Tlemcen	Président
M BOUMEDIENE Maamar	M.C.A	Université de Tlemcen	Examineur
Mme CHACHOUA Mounira	M.C.B	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : **2023 /2024**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
1438

Remerciement

Je rends grâce à Allah, le Tout-Puissant, pour Sa miséricorde infinie, Sa guidance et Ses bénédictions tout au long de ce parcours. Sans Sa volonté, rien de tout cela n'aurait été possible.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à l'élaboration de ce mémoire et à la réussite de mon parcours académique.

*À mon encadrante, Mme **CHACHOUA Mounira**, je tiens à vous remercier chaleureusement pour votre soutien constant, vos conseils avisés et votre patience tout au long de la rédaction de ce mémoire.*

Votre expertise, votre rigueur et votre encouragement ont été des éléments cruciaux dans l'achèvement de ce travail. Votre engagement envers l'excellence académique m'a inspiré et guidé à chaque étape de ce projet.

Je vous adresse mes sincères remerciements pour l'honneur que vous m'avez fait en acceptant d'encadrer ce travail

À mes professeurs, je vous adresse mes sincères remerciements pour votre enseignement de qualité et pour l'impact significatif que vous avez eu sur ma formation académique. Vos cours, vos conseils et vos retours constructifs ont enrichi mes connaissances et affiné mes compétences.

Aux membres du jury

*Présidente : **BENMESSAOUD Nouara***

*Examineur : **BOUMEDIENE Maamar***

je souhaite vous exprimer ma gratitude pour le temps que vous avez consacré à l'évaluation de mon travail

Je suis honoré par votre présence et vos contributions, et je vous remercie pour votre attention et votre expertise.

Hommage

*Ce mémoire est dédié à l'âme de ma mère **Khantar Djamilá**, dont l'amour, le soutien et les sacrifices ont été les piliers de mon parcours académique et personnel.*

Perdre ma mère durant mon parcours universitaire a été une épreuve bouleversante, mais c'est dans ce défi que j'ai trouvé la force de continuer et de persévérer. Sa sagesse, sa bienveillance et son inébranlable confiance en moi m'ont inspiré à poursuivre mes rêves malgré les obstacles. Elle était non seulement une mère aimante, mais aussi un mentor précieux, dont les conseils éclairés ont façonné ma vision du monde et ma détermination.

Chaque étape de ce travail est empreinte de sa présence spirituelle et de son influence bienveillante. Elle m'a appris l'importance de l'intégrité, de l'effort et de la passion, et ces leçons m'accompagnent à chaque instant. Mon succès est autant le sien que le mien, car c'est grâce à son amour inconditionnel que j'ai pu trouver la force de traverser cette période difficile.

Ce mémoire est donc une modeste tribute à son héritage, une reconnaissance de tout ce qu'elle a apporté à ma vie et à mon parcours académique. Puissent ses souvenirs vivre à travers chaque ligne de ce travail, et puissions-nous, par cette réalisation, honorer la lumière qu'elle a laissée dans nos vies.

« Ô Allah, accorde à ma mère Ta miséricorde infinie, pardonne-lui et élève son rang dans le Paradis. Purifie son âme, accorde-lui la paix éternelle et fais-lui bénéficier des bénédictions de ce monde et de l'au-delà. Ô Allah, entoure-la de Ta lumière et fais en sorte qu'elle trouve le repos dans Ta demeure céleste. Donne-moi la patience et la force nécessaires pour poursuivre mon chemin, en honorant sa mémoire et en poursuivant ses valeurs. Amine. »

Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire à ma famille bien-aimée, dont le soutien, l'amour et les encouragements ont été des sources inestimables de force et de motivation tout au long de mon parcours universitaire.

*À mon père, **BENCHIRAT Said**, dont la sagesse, la patience et l'amour inconditionnel ont été mes repères. Votre confiance en moi et vos sacrifices ont été les pierres angulaires sur lesquelles j'ai pu construire mon avenir. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre amour et votre guidance ont été essentiels pour que je puisse atteindre cet objectif, et je suis honoré de pouvoir vous rendre hommage à travers cette réalisation.*

*À ma sœur, **Ilham**, dont la présence réconfortante et les encouragements constants ont été des lumières dans les moments d'incertitude. Votre soutien affectueux et votre compréhension m'ont permis de persévérer et d'avancer avec assurance.*

*À mon frère, **Youcef**, dont la solidarité et les mots d'encouragement ont été des moteurs puissants tout au long de ce voyage. Votre amitié et votre soutien m'ont donné la force nécessaire pour surmonter les défis.*

À toute ma famille, mes amies, dont l'amour et la cohésion ont été une source inestimable de force. Vous avez tous contribué à faire de ce parcours un chemin plus supportable et plus enrichissant.

Je vous suis profondément reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi, et ce mémoire est également le vôtre. Merci pour votre soutien inébranlable et votre amour constant.

Table des matières

Remerciement	3
Hommage.....	4
Dédicace.....	5
Liste des figures	10
Liste des tableaux	12
Liste des abréviations	13
Résumé	15
Introduction Générale	16
Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et les systèmes d'épuration.....	1
I. Introduction	2
I.1 Définition des eaux usées.....	2
I.2. Les types des eaux usées	2
I.2.1 Les eaux usées domestique	2
I.2.2 Les eaux usées industriel	3
I.2.3 Les eaux usées agricole	4
I.2.4. Les eaux de ruissèlement	4
II. Compositions des eaux usées	4
II.1. Microorganismes.....	4
II.1.2 Les bactéries	4
II.1.3. Les virus	5
II.1.4. Les protozoaires.....	6
II.1.5. Les helminthes.....	6
II.1.6. Eléments toxique organique	7
II.2 Matière en suspensions et matières organiques	7
II.2.1. Eléments traces.....	8
II.1.2. Substances nutritives.....	8
II.1.3 La salinité	8
III.1. L'impact des eaux usées sur l'environnement.....	9
IV. L'impact des eaux usées sur les ressources en eau souterraine.....	9
V. L'impact des eaux usées sur les ressources en eau superficielle.....	9
V.1. Eutrophisation	10

V.2.	Altération de l'habitat.....	10
V.3.	L'impact sur la chaine alimentaire	10
V.4.	Dégradation de l'écosystème côtier	11
VI.	L'impact des eaux usées sur la santé	11
VI.1.	Maladies d'origine hydrique	11
VII.	Les paramètres caractérisant la pollution de l'eau.....	11
VII.1.	Paramètres physiques.....	12
VII.2.	Les paramètres chimiques et biologique	13
VIII.	Les réseaux d'assainissement.....	14
IX.	L'épuration des eaux usées	15
IX.1	Les étapes d'épuration des eaux usées	15
IX.1.2	Relevage et bassin d'orage/Tampon.....	15
IX.1.2	Le prétraitement.....	16
IX.1.3	Dégrillage.....	17
IX.1.4	Dessablage.....	17
IX.1.5.	Dégraissage-déshuilage.....	18
IX.2	Le traitement primaire	19
IX.3	Traitement biologique	19
IX.3.1	Les boues activées	19
IX.3.2	Les lits bactériens	22
IX.3.3	Le lagunage	22
IX.3.4	Disque biologique.....	23
IX.3.5	Filtre planté	24
IX.4	Le traitement tertiaire	24
IX.4.1	Quelques procédés utilisés dans le traitement tertiaire.....	24
	Conclusion	25
	Chapitre II : La réutilisation des eaux usées	26
I.	Introduction	27
II.	Historique de la réutilisation	27
III.	Définitions de la réutilisation	28
IV.	Différents type de la réutilisation	28
VI.1	Réutilisation agricole.....	28
VI.2	Utilisation dans l'industrie	30
VII.	Les causes de la réutilisation	31
VII.1.	La pénurie d'eau.....	31
VII.2.	La sécheresse	33

VII.3.	La préservation de l'environnement	33
VII.4.	La sécurité alimentaire	33
VII.5.	Alternative économique	34
VIII.	Les contraintes de la réutilisation agricole	34
VIII.1.	Le respect des normes du cadre juridique	34
VIII.2.	Risque de contamination	36
IX.	La réutilisation agricole dans le monde	37
X.	La réutilisation des eaux usées en Algérie	38
X.1.	Situation de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation en Algérie	39
X.2.	Le programme actuel en Algérie.....	39
X.3.	Les organismes responsables sur la gestion de l'opération de la REU en Algérie	39
X.4.	Cadre juridique Algérien	40
X.6.	Les contrôles	43
	Conclusion	46
	Chapitre III: Matériels et Méthodes.....	47
I.	Introduction	44
II.	Présentation et description de la station d'épuration d'Ain lhoutz.....	44
II.1.	Situation géographique de La station d'épuration	44
II.2.	Description de la station	46
II.	Donnée de base	52
II.3.	Caractéristiques après traitement prévues par l'étude	53
III.	Présentation et Description du périmètre Hennaya	54
III.1.	Objectif du projet	54
III.3.	Ressources en eau et son cycle	55
IV.	Contexte climatique.....	56
IV.1.	Précipitation	56
IV.2.	Le vent	56
IV.3.	Température	56
IV.4.	L'insolation	56
IV.5.	La gelée.....	56
IV.6.	L'humidité	57
V.	Cadre pédologique	57
VI.	Mode d'irrigation.....	60
VII.	Les exploitations agricoles	61
	Conclusion	61

Chapitre IV: Analyses et résultats	45
I. Introduction	60
II. Impact de la réutilisation sur la santé.....	60
II.1. Résultats et interprétation	61
Conclusion	69
III. Impacte sur le développement du secteur de l’agriculture.....	70
III.1. Le volume distribué.....	70
III.2. La superficie irriguée.....	72
III. Variation du rendement agrumes	73
IV. Impact sur les agriculteurs	75
V. Questionnaire.....	75
Conclusion	82
Conclusion générale	60
Références Bibliographique.....	82

Liste des figures

Figure 1 : les eaux usées domestique	3
Figure 2: les eaux usées industriel.....	3
Figure 3: bactérie Salmonella	5
Figure 4: Virus norovirus.....	6
Figure 5: Parasite Entamoeba	6
Figure 6: les helminthes intestinaux	7
Figure 7: Dépôt de MES dans une conduite d'irrigation	8
Figure 8: pollution de l'eau dans la rivière par des eaux usées industriel	9
Figure 9: l'eutrophisation	10
Figure 10: pollution du milieu aquatique.....	11
Figure 11: Calcule des MES	12
Figure 12: représentation des matières décantables	13
Figure 13: poste de relevage par vis d'Archimède.....	16
Figure 14: dérailleur vertical.....	17
Figure 15: Dégraisseur.....	18
Figure 16 : Le principe de fonctionnement du procédé boue activée	20
Figure 17: Schéma de fonctionnement d'une station à boue activée	21
Figure 18: Disponibilité en eau douce dans le monde source.....	32
Figure 19: la sécheresse dans le monde en 2013.....	33
Figure 20: Schémas de réutilisation d'eaux usées municipales, selon le type d'applications (FAO, 2010)	37
Figure 21: localisation de la STEP d'Ain El-Houtz	45
Figure 22: Panoramique de la Station	45
Figure 23: Situation de la région d'Ain EL Houtz géographique	46
Figure 24: Déversoir d'orage.....	47
Figure 25: Grille grossière manuelle (1unité)	47
Figure 26: Grille mécanisée (2 unités)	48
Figure 27: Déssableur- déshuileur.....	48
Figure 28: Bassins d'aérations	49
Figure 29: Clarificateur	50
Figure 30: Bassins de chloration	50
Figure 31: Vis de recirculation.....	51
Figure 32: Epaississeur	52
Figure 33: Lits de séchage +Aire de stockage	52
Figure 34: Localisation du périmètre irrigué par les eaux usées traitées	55
Figure 35: classe de profondeurs des sols du périmètre	58
Figure 36: Des jeunes plantations de avec système d'irrigation goutte à goutte	58
Figure 37: un citronnerais dans un Sol iso-humiques calcimagnésiques	59
Figure 38: un verger d'orangers	59
Figure 39: les arbres oliviers.....	60
Figure 40: les modes d'irrigation	60
Figure 41: Exploitations agricoles.....	61
Figure 42: variations de température mois du mars 2024.....	61
Figure 43: variations des concentration de la DCO mars 2024	63
Figure 44: Variation DBO5 le mois du mars 2024	64
Figure 45: Variation MES(mg/l) le mois du mars 2024.....	65
Figure 46: Variation pH le mois du mars 2024.....	66
Figure 47: Variation N-NO3 le mois du mars 2024.....	67
Figure 48: Variation conductivité le mois du mars 2024	69
Figure 49: Variation volume distribué de 2012 à 2023	71

Figure 50: Variation des superficies irriguées a Hennaya	72
Figure 51: Variation rendements agrumes.....	74
Figure 52: L'acceptation d'irriguer par les eaux usées traitées	76
Figure 53: la confiance des agriculteurs en ces eaux	77
Figure 54: Avantages sur les exploitations agricoles	78
Figure 55: impact d'utilisation de ces eaux sur le sol	79
Figure 56: la présence des risques en utilisant les eau usée épurées.....	80
Figure 57: l'application des recommandation de l'OMS	81
Figure 58: La satisfaction de l'agriculteur du rendement	82

Liste des tableaux

Tableau 1: représente les premiers 20 pays qui utilise es plus important volume d'eau usée utilisé pour l'irrigation agricole.....	30
Tableau 2: Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989).....	35
Tableau 3: les wilayas Algériens qui ont profité de l'opération de la réutilisation agricole	39
Tableau 4: Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.....	41
Tableau 5: les Normes Algérienne des paramètres physicochimiques de réutilisation des eaux usées épurées.....	42
Tableau 6: Résumé des taches des intervenants sur le périmètre d'irrigation (cas de Tlemcen).	44
Tableau 7: La station d'épuration de la ville de Tlemcen a été dimensionnée sur la base des données suivante	52
Tableau 9: Les caractéristiques du rejet qui devraient être garanties par l'étude du process sur une durée moyenne de 24 heures.	53

Liste des abréviations

- UFC/l : Unité Formant Colonies par litre
- HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- PCB : Polychlorobiphényles
- BTEX : Benzène, Toluène, Éthylbenzène, Xylènes
- Pb : Plomb
- As : Arsenic
- Hg:Mercure
- Cd : Cadmium
- Ni : Nickel
- H₂O : Eau
- O₂ : Oxygène
- pH : Potentiel Hydrogène (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution)
- MES : Matières En Suspension
- MVS : Matières Volatiles en Suspension
- DBO : Demande Biochimique en Oxygène
- DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène mesurée sur 5 jours
- DCO : Demande Chimique en Oxygène
- COT : Carbone Organique Total
- NT : Azote Total
- PO₄³⁻ : Orthophosphate
- Cm : Charge Massique
- CV : Charge Volumique
- O₃ : Ozone
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- REUT : Réutilisation des Eaux Usées Épurées
- UNEP : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
- PNUE/PAM : Programme des Nations Unies pour l'Environnement / Plan d'Action pour la Méditerranée
- FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- IRD : Institut de Recherche pour le Développement
- STEP : Station d'épuration des eaux usées.
- AEP : Alimentation en eau potable.
- ONA : Office National de l'Assainissement.

- MRE : Ministère des Ressources en Eau.
- ONID : Office National de l'Irrigation et du Drainage.
- JO : Journal Officiel.
- DRE : Direction des Ressources en Eau.
- DSA : Direction des Services Agricoles
- eq/hab : Équivalent habitant (unité utilisée pour exprimer la charge polluante).
- N-NO₃ : Azote Nitré (nitrates)

Résumé

Ce mémoire examine l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées dans les terres agricoles de Tlemcen, en particulier dans le périmètre de l'Hennaya. L'étude vise à évaluer les bénéfices potentiels de cette pratique en termes de sécurité alimentaire, de durabilité environnementale et de développement économique local. Les analyses des eaux épurées ont révélé qu'elles respectent les normes sanitaires, ce qui confirme leur sécurité d'utilisation. Les résultats indiquent également une amélioration des rendements agricoles et de la qualité des sols, ainsi qu'une satisfaction générale des agriculteurs. En conclusion, cette étude souligne la nécessité de promouvoir des politiques publiques qui encouragent la réutilisation des eaux usées pour assurer un développement durable.

Mot clés : Eaux usées épurées , Réutilisation ,Agriculture, Périmètre de l'Hennaya, STEP Ain el houtz.

Abstract

This thesis investigates the impact of reusing treated wastewater in agricultural lands in Tlemcen, specifically within the Hennaya perimeter. The study aims to assess the potential benefits of this practice in terms of food security, environmental sustainability, and local economic development. Analyses of the treated wastewater confirmed that it meets health standards, indicating its safety for use. The results also showed improvements in crop yields and soil quality, alongside overall satisfaction from farmers. In conclusion, this study emphasizes the need to promote public policies that encourage the reuse of wastewater to ensure sustainable development.

Keywords: Treated wastewater, Reuse, Agriculture,Hennaya perimeter, Ain El Houtz WWTP (WastewaterTreatment Plant)

ملخص

يتناول هذا البحث تأثير إعادة استخدام المياه المستعملة المعالجة في الأراضي الزراعية بمنطقة تلمسان، خاصة في محيط الحنايا . نظرت الدراسة في الفوائد المحتملة لهذه الممارسة من حيث الأمن الغذائي والاستدامة البيئية والتنمية الاقتصادية المحلية. من خلال تحليل مياه الصرف الصحي المعالجة، تم التأكد من مطابقتها للمعايير الصحية، مما يشير إلى أنها آمنة للاستخدام. كما أظهرت النتائج تحسناً في إنتاجية المحاصيل وجودة التربة، بالإضافة إلى رضا الفلاحين عن استخدام هذه المياه. في الختام، تؤكد الدراسة على أهمية تعزيز السياسات العامة التي تشجع على إعادة استخدام المياه المستعملة لتحقيق تنمية مستدامة.

كلمات البحث • المياه المعالجة , إعادة الاستخدام , الزراعة , محيط الحنايا محطة معالجة المياه المستعملة عين الحوت.

Introduction Générale

L'eau est un élément essentiel à la vie et au développement socio-économique de toute communauté. La pénurie d'eau semble devenir une préoccupation majeure pour l'humanité. Dans de nombreuses régions du monde, la pression sur les ressources en eau douce augmente en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation rapide et des changements climatiques. La situation de stress hydrique affecte l'Algérie, et elle se trouve en dessous du seuil théorique de rareté établi par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an comme dans de nombreux autres pays, la gestion efficace de l'eau est devenue une priorité nationale pour garantir la sécurité alimentaire, la santé publique et le développement durable.

Tlemcen, une ville historique située dans le nord-ouest de l'Algérie, fait face à des défis complexes en matière de gestion de l'eau. En plus de la pression exercée par une population croissante, Tlemcen est confrontée à des contraintes liées à la disponibilité limitée des ressources en eau douce, Dans ce contexte, la réutilisation d'eau épurée apparaît comme une stratégie prometteuse pour répondre aux besoins en eau de différents secteurs, notamment l'agriculture, tout en préservant les ressources hydriques naturelles.

L'objectif de cette étude est de favoriser une meilleure évaluation des eaux usées épurées en Algérie, et l'impact de la réutilisation de cette eau dans les terres agricoles dans le périmètre irriguée de l'Hennaya, cette étude vise à évaluer les bénéfices potentiels de cette pratique en termes de sécurité alimentaire, de durabilité environnementale et de développement économique local. En examinant de près les effets de la réutilisation d'eau épurée sur les rendements agricoles, la qualité des sols et la santé publique, cette recherche contribuera à mieux comprendre les implications de cette approche innovante pour la gestion de l'eau dans la région.

Pour clarifier notre problème, qui se présente comme suit :

{C'est quoi l'impact de la réutilisation d'eau épurées dans les terres agricoles a Tlemcen ?}

Pour ce faire et répondre a cette problématique, dans la partie bibliographique , le premier chapitre est une revue de a littérature il est consacré aux généralités sur les eaux usées ainsi que le processus d'épuration en général, dans le chapitre II nous avons présenté la Réutilisation des Eaux Usées Dans le Monde, le chapitre III, a été consacré à la présentation des composantes de la STEP de Ain el Houtz (Tlemcen), ainsi que le périmètre de l'Hennaya et concernant le chapitre IV est destiné pour les analyse qui rassemblent les principaux résultats de ce travail.

Dans le but d'assurer une meilleure santé publique et de préserver l'environnement pour un développement durable, il est crucial de favoriser l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles. Cela doit être pris en considération par les autorités administratives et politique.

*Chapitre I : Généralité sur les eaux
usées et les systèmes d'épuration*

I. Introduction

Les eaux usées sont le résultat des activités humaines, industrielles et agricoles, constituées d'un mélange complexe de liquides, de solides et de substances chimiques. Leur gestion efficace est cruciale pour préserver la santé publique, protéger l'environnement et garantir la durabilité des ressources en eau.

L'eau domestique est principalement issue des activités courantes des individus, tandis que les eaux usées industrielles présentent une large gamme de variations, tant en termes de quantité que de qualité. Les caractéristiques spécifiques des eaux usées industrielles dépendent de la nature de l'industrie et de l'étendue du traitement que subissent les eaux usées avant d'être rejetées.

Ce chapitre se penche sur les différentes facettes des eaux usées, comprenant leur nature, leur composition, leur origine, leur traitement et leur impact environnemental, afin de poser les bases nécessaires à la compréhension de leur gestion et de leur réutilisation.

I.1 Définition des eaux usées

Eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles). (Bengouga, 2010)

I.2. Les types des eaux usées

Elles sont principalement divisées en eau usée domestique, eaux usées industrielles, eaux usées agricoles et les eaux usées de ruissèlements.

I.2.1 Les eaux usées domestique

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement, porteuses de pollution organique. Les eaux usées domestiques peuvent aussi contenir des huiles de cuisine, des pesticides, des boissons ou encore de la peinture

Les eaux usées domestique peuvent être classé en :

- **Eaux ménagères** (salles de bains et cuisines) sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...
- **Eaux-vannes** (rejets des toilettes) chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

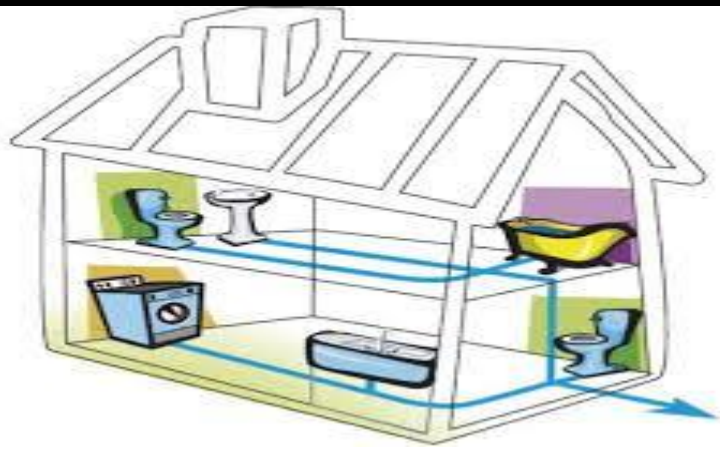


Figure 1 :les eaux usées domestique

(ONEMA , 2020)

I.1.2 Les eaux usées industriel

Il s'agit des effluents engendrés par les activités industrielles. Différentes catégories de polluants peuvent être contenues dans ces eaux :

Les déchets organiques : ils sont produits par les hôpitaux, les abattoirs, les usines alimentaires, les laboratoires agricoles, les laboratoires pharmaceutiques,

Les substances toxiques : elles proviennent de la fracturation hydraulique, de la production du cyanure, du placage métallique, de la production du gaz,

Les biocides et les boues : contenues dans l'eau de refroidissement des moteurs industriels.

Ces eaux usées industrielles regorgent donc de polluants qu'il faut à tout prix traiter avant leur réutilisation



Figure 2: les eaux usées industriel

(Google , Mai 2024)

I.2.3 Les eaux usées agricole

La pollution d'origine agricole peut être causée soit par les engrais ou bien par les pesticides. Cette pollution est provoquée par les eaux de lessivage des sols agricoles, elles sont riches en nitrates, en phosphates, des sels et des matières organiques.

I.2.4. Les eaux de ruissèlement

On parle ici de l'eau de pluie ou de lavage automobile. Celle-ci est contaminée lors du ruissèlement par les résidus de caoutchouc, les composés organiques volatils, les excréments, les huiles, les pesticides/herbicides, les métaux lourds, c. (Betouaf , N ,2012)

II. Compositions des eaux usées

Les eaux usées sont caractérisées par une diversité de polluants qui varient selon leur origine et leur usage. Elles contiennent :

II.1. Microorganismes

Dans les eaux usées, il existe un ensemble de micro-organismes expulsés par les matières fécales. Outre la flore entérique typique, des agents pathogènes nocifs sont également présents. Ces différents organismes peuvent être classés en quatre grands groupes, à savoir les protozoaires, les bactéries, les virus et les helminthes.

II.1.2 Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires (**0,1 à 10 µm**), et certaines d'entre elles peuvent être utilisées comme indicateurs de contamination fécale, comme *Escherichia coli* qui atteint **10⁹ UFC/l** et les entérocoques fécaux qui atteignent **10⁸ UFC/l**.(ATTAB,S, 2011)

Les microorganismes les plus courants dans les eaux usées sont les bactéries. Il y a des *Salmonella* qui ont été trouvées, y compris celles qui provoquent la typhoïde, les paratyphoïdes et les problèmes intestinaux. Les germes connus sous le nom de coliformes thermo tolérants sont fréquemment utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

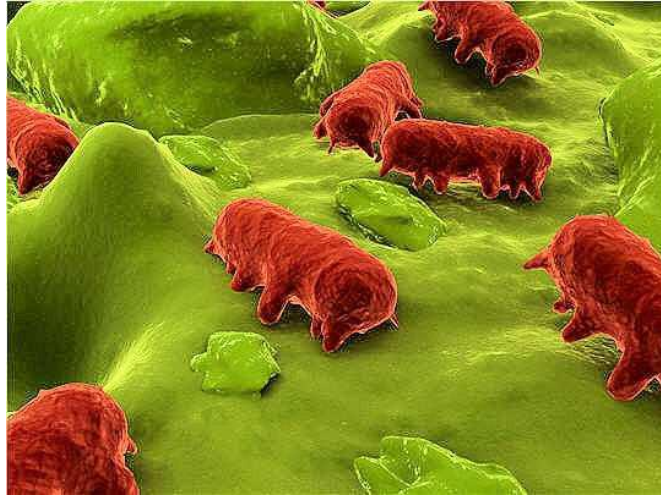


Figure 3: bactérie Salmonella
(Corinne , 2024)

II.1.3. Les virus

Les virus sont des organismes infectieux petits (**10 nm à 350 nm**) qui ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule hôte. Leur taux de particules dans les eaux usées brutes est estimé à **10^2 - 10^4** particules par litre.

Les eaux usées peuvent transmettre certains virus, tels que les Calicivirus ,Norovirus et Sapovirus, les virus de l'Hépatite A et E, les entérovirus, les Paréchovirus, les adénovirus, les Rotavirus et les Astrovirus. Les virus entériques, qui se multiplient dans l'intestin, sont à l'origine de nombreuses maladies, y compris la gastroentérite. (Razi,M, 2012)



Figure 4: Virus norovirus

(Google, Mai 2024)

II.1.4. Les protozoaires

Les protozoaires sont de petits organismes unicellulaires, souvent microscopiques, qui vivent dans divers environnements, y compris l'eau et le sol. Ils se nourrissent généralement de bactéries et d'autres petits organismes et jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique et la régulation des populations microbiennes

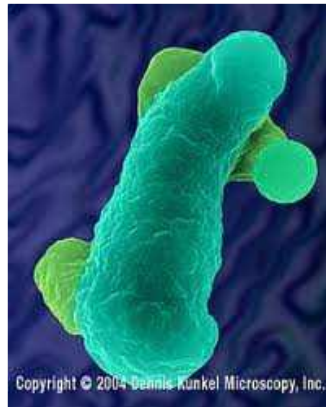


Figure 5: Parasite Entamoeba

(Google , Mai 2024)

II.1.5. Les helminthes

Sont des parasites intestinaux trouvés dans les eaux résiduaires. Le nombre d'œufs d'helminthes dans les eaux usées urbaines varie de 10 à 10^3 germes L^{-1} . De nombreux de ces parasites ont des cycles de vie compliqués qui nécessitent un passage obligé par un hôte intermédiaire.

Leurs œufs sont extrêmement résistants et peuvent survivre de plusieurs semaines à plusieurs mois sur le sol ou les plantes. (Benzaghoul, Y., 2021).



Figure 6: les helminthes intestinaux

(Google, Mai 2024)

II.1.6. Éléments toxique organique

Les éléments toxiques organiques couramment trouvés dans les eaux usées comprennent des composés tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les pesticides, les solvants organiques, les composés phénoliques, les PCB (polychlorobiphényles), les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes), les composés organochlorés, et d'autres produits chimiques provenant de diverses sources industrielles, agricoles et domestiques. (Razi, M., 2012 et Benzaghoul, Y., 2021)

II.2 Matières en suspensions et matières organiques

Les matières en suspension dans les eaux usées se composent de particules solides qui restent en suspension dans l'eau et peuvent inclure des matières organiques telles que des débris végétaux, des particules de nourriture, des microorganismes, des boues et d'autres substances non dissoutes.

Ces matières en suspension peuvent contribuer à la turbidité de l'eau et peuvent transporter des polluants tels que des métaux lourds, des nutriments et des agents pathogènes.

Une quantité excessive de ces matières en suspension peut entraîner des problèmes de transport et de distribution des effluents ainsi que le blocage des systèmes d'irrigation.



Figure 7: Dépôt de MES dans une conduite d'irrigation
(Razi,M, 2012)

II.2.1. Eléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux. Les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple: ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de la distribution de l'eau et de l'assainissement des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels ». Les éléments les plus dangereux sont le plomb (**Pb**), l'arsenic (**As**), le mercure (**Hg**), le cadmium (**Cd**) et le nickel (**Ni**). (Moussaoui,R,2017)

II.1.2. Substances nutritives

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture. Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le bore et le soufre. (Belaid.N,2010)

II.1.3 La salinité

La concentration totale en sels solubles est le critère principal d'évaluation de La qualité des eaux usées dans le cadre d'un projet d'irrigation.

Deux effets néfastes sont associés à une salinité excessive dans les eaux usées d'irrigation.

- Les dommages sur le sol et sur les rendements culturaux.
- Les dommages causés à la culture.

III.1. L'impact des eaux usées sur l'environnement

Les eaux usées ont une influence considérable sur l'environnement et peuvent entraîner des répercussions dévastatrices sur les écosystèmes aquatiques, la biodiversité, la qualité de l'eau et la santé des êtres humains

Voici quelques-uns des principaux impacts des eaux usées sur l'environnement :

IV. L'impact des eaux usées sur les ressources en eau souterraine

Il est crucial de considérer l'impact des eaux usées sur les ressources en eau en raison des risques qu'elles présentent pour leur qualité et disponibilité. En effet, les eaux usées peuvent polluer les aquifères souterrains, qui sont des formations géologiques capables de stocker et de transporter d'importantes quantités d'eau. Cette pollution peut provenir du déversement direct d'eaux usées non traitées dans le sol, des fuites dans les systèmes d'égouts défectueux, ou de la percolation à travers les sols poreux.

V. L'impact des eaux usées sur les ressources en eau superficielle

Les eaux usées renferment différentes substances polluantes comme des substances chimiques, des nutriments, des métaux lourds, des micro-organismes nuisibles, et bien d'autres encore. La pollution de l'eau peut être causée par leur déversement dans les cours d'eau, les lacs, les rivières et les océans, ce qui compromet la qualité de l'eau et met en danger la vie aquatique.



Figure 8: pollution de l'eau dans la rivière par des eaux usées industriel

(Google ,Mai 2024)

V.1. Eutrophisation

Les eaux usées riches en nutriments, tels que l'azote et le phosphore, peuvent favoriser la croissance excessive d'algues et d'autres plantes aquatiques, un phénomène appelé eutrophisation. Cela conduit à la formation de "zones mortes" où l'oxygène est épuisé, causant la mort de la faune aquatique et perturbant l'équilibre écologique des écosystèmes aquatiques.



Figure 9: l'eutrophisation

(Google , Mai 2024)

V.2. Altération de l'habitat

En raison de la sédimentation, de la turbidité et de la dégradation des habitats naturels, les eaux usées peuvent altérer la structure et la composition des habitats aquatiques. Les espèces aquatiques peuvent être affectées de manière négative par cela, en perturbant leurs cycles de reproduction, leur alimentation et leurs déplacements.

V.3. L'impact sur la chaîne alimentaire

Les eaux usées peuvent entraîner une accumulation de contaminants dans la chaîne alimentaire aquatique, ce qui peut avoir un impact sur les poissons, les crustacés et d'autres organismes aquatiques. Cela peut entraîner des conséquences sur la santé des individus, en particulier en accroissant l'exposition aux substances toxiques et en mettant en péril la sécurité alimentaire.



Figure 10: pollution du milieu aquatique

(Google , Mai 2024)

V.4. Dégradation de l'écosystème côtier

Les eaux usées peuvent affecter les écosystèmes côtiers en entraînant une augmentation de la turbidité, une diminution de l'oxygène dissous et une augmentation des niveaux de contaminants. Cela peut avoir un impact négatif sur les écosystèmes marins et côtiers, y compris les récifs coralliens, les mangroves et les zones humides côtières.

VI. L'impact des eaux usées sur la santé

Les eaux usées peuvent avoir un impact significatif sur la santé humaine, car elles peuvent renfermer une multitude de substances contaminants potentiellement dangereuses.

VI.1. Maladies d'origine hydrique

Les eaux usées peuvent contenir des agents pathogènes tels que des bactéries, des virus, des parasites et des protozoaires, qui peuvent causer des maladies d'origine hydrique telles que la gastro-entérite, le choléra, la dysenterie, la fièvre typhoïde, l'hépatite et la leptospirose. Ces maladies peuvent se propager par la consommation d'eau contaminée, la contamination des aliments ou le contact direct avec des eaux contaminées.

VII. Les paramètres caractérisant la pollution de l'eau

La pollution de l'eau est évaluée en utilisant des paramètres qui permettent d'évaluer la qualité de l'eau et de déterminer la présence et la concentration de divers contaminants. Il existe différents types de paramètres, qu'ils soient physiques, chimiques ou biologiques, qui servent à surveiller les écosystèmes aquatiques, à

préservé la santé humaine et à évaluer la conformité aux normes de qualité de l'eau. Voici certains des critères clés utilisés pour définir la pollution de l'eau :

VII.1. Paramètres physiques

- **La température :** Elle affecte principalement la quantité d'oxygène dissous. Elle a un impact significatif sur la solubilité des sels et des gaz (notamment l'O₂) dans l'eau, ainsi que sur la mesure du pH et de la vitesse des réactions chimiques. La multiplication des micro-organismes (croissance des micro-organismes vivants dans l'eau) est influencée par elle
- **La couleur :** Elle est principalement associée aux substances dissoutes et en particulier aux déchets des produits industriels.
- **La turbidité :** La turbidité mesure le degré de transparence de l'eau et indique la quantité de matières en suspension dans l'eau, ce qui peut affecter la pénétration de la lumière et la santé des organismes aquatiques, Elle donne une première indication sur la matière colloïdale d'origine organique ou minérale.
- **Les matières en suspension (MES) :** Il s'agit de substances qui restent en suspension grâce aux mouvements turbulents et dont la densité est similaire à celle de l'eau. Ces composants incluent des substances organiques et minérales.

On évalue ce paramètre en mg/l en le mesurant après filtration ou centrifugation et séchage à une température de 105°C.

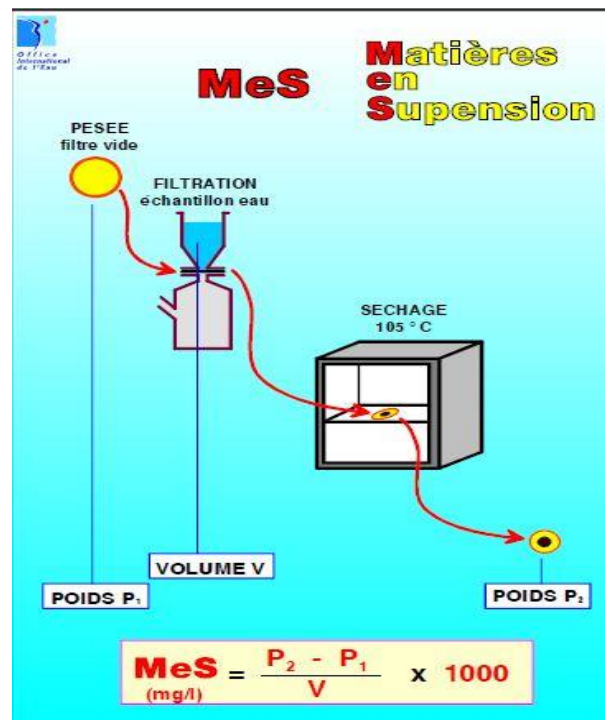


Figure 11: Calcule des MES

(Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau)

- **Les matières volatiles en suspension (MVS)** : sont une mesure utilisée en analyse de l'eau pour évaluer la quantité de matières organiques volatiles présentes dans les eaux usées. Les MVS sont des composés organiques qui peuvent s'évaporer à température ambiante et qui sont en suspension dans l'eau. Elles comprennent des substances telles que les huiles, les graisses, les solvants organiques, les hydrocarbures et d'autres composés organiques volatils, Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon.
- **Les matières décantables** : Il s'agit de la proportion des substances en suspension qui se sédimente en un laps de temps spécifique, habituellement de deux heures.



Figure 12: représentation des matières décantables

(Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau)

VII.2. Les paramètres chimiques et biologique

- **Le pH** : Ce élément influence le processus chimique de traitement de l'eau usée et contribue à la corrosion de l'équipement. La concentration en ion H^+ est indiquée par le potentiel en hydrogène. Son rôle est crucial dans la composition physique et chimique de l'eau (acidité et alcalinité), l'efficacité de certaines méthodes (coagulation-floculation), ainsi que les processus biologiques.
- **La demande biochimique en oxygène (DBO)** : Il s'agit de la quantité d'oxygène présente dans les déchets utilisés en 5 jours par les microorganismes (les bactéries) pour décomposer les matières organiques à une température spécifique. Dans les livres, on appelle cette consommation d'oxygène **DBO5**.

- **La demande chimique en oxygène (DCO) :** Cela correspond à la quantité d'oxygène requise pour oxyder toutes les substances organiques et minérales présentes dans les eaux usées par les microorganismes. Effectuée en utilisant de l'oxygène à une température de 20°C.
- **Carbone total organique COT :** Détermine les différentes caractéristiques du carbone organique dissous et des particules. On effectue sa mesure à l'aide d'un analyseur de CO₂ à infrarouge après la combustion catalytique à haute température de l'échantillon.
- **Azote total NT :** L'azote total (NT) est un paramètre de l'eau qui mesure la quantité totale d'azote, incluant les formes organiques, ammoniacales et nitritiques, ce qui aide à évaluer la pollution et la qualité de l'eau.
- **Le phosphore :** Les eaux usées contiennent du phosphore sous différentes formes :
 - Orthophosphate, la forme la plus fréquente étant PO₄³⁻.
 - Les orthophosphates, les polyphosphates et les phosphores organiques sont tous des sources de phosphore total.
 - **La conductivité électrique :** Le coefficient de conductivité électrique évalue la capacité de l'eau à transporter l'électricité et peut signaler la présence de sels dissous dans l'eau, qu'ils soient issus de sources naturelles ou de pollution.

VIII. Les réseaux d'assainissement

Le système d'assainissement, aussi connu sous le nom de réseau d'égouts, est un réseau de canalisations souterraines élaboré pour recueillir et transporter les eaux usées et les eaux pluviales à l'extérieur des zones urbaines ou industrielles vers les installations d'épuration d'eau. Ce réseau joue un rôle essentiel dans la gestion efficace des eaux usées, la prévention de la pollution de l'environnement et la protection de la santé publique. Le réseau d'assainissement peut présenter plusieurs variantes :

- Les systèmes fondamentaux,
- Le système pseudo-séparatif.
- Le système composite.
- Les systèmes spéciaux

IX. L'épuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées, désigne l'ensemble des processus et des technologies utilisés pour éliminer les contaminants présents dans les eaux usées afin de les rendre propres à être rejetées dans l'environnement ou réutilisées à des fins diverses, En station, les méthodes de traitement diffèrent selon la nature de ces eaux usées et la sensibilité à la pollution du lieu de réception.

Les objectifs de l'épuration des eaux usées sont :

- De combattre les diverses maladies transmissibles par l'eau.
- De retirer la charge organique et microbienne qui est à l'origine de diverses odeurs nocives.
- De préserver l'environnement de toute pollution et détérioration.
- De générer une source d'eau nouvelle à réutiliser.

Il est essentiel de prendre en considération différents aspects lors du choix des filières de traitement des eaux usées, tels que les aspects techniques (sélection des méthodes, des infrastructures et des équipements existants), les réglementations locales (normes), les spécificités culturelles (acceptabilité) et les sources de financement des équipements et de l'exploitation.

Les procédés d'épuration des eaux usées sont essentiels pour éliminer les polluants et garantir une eau propre avant son rejet dans l'environnement ou sa réutilisation. Ils se déroulent en plusieurs étapes :

IX.1.2 Relevage et bassin d'orage/Tampon

Relevage

En général, les eaux usées sont collectées dans un collecteur enterré, ce qui requiert un système de remontée jusqu'aux installations de prétraitement.

Il existe deux types de systèmes de relevage : · un poste de pompage, · une vis d'Archimède.

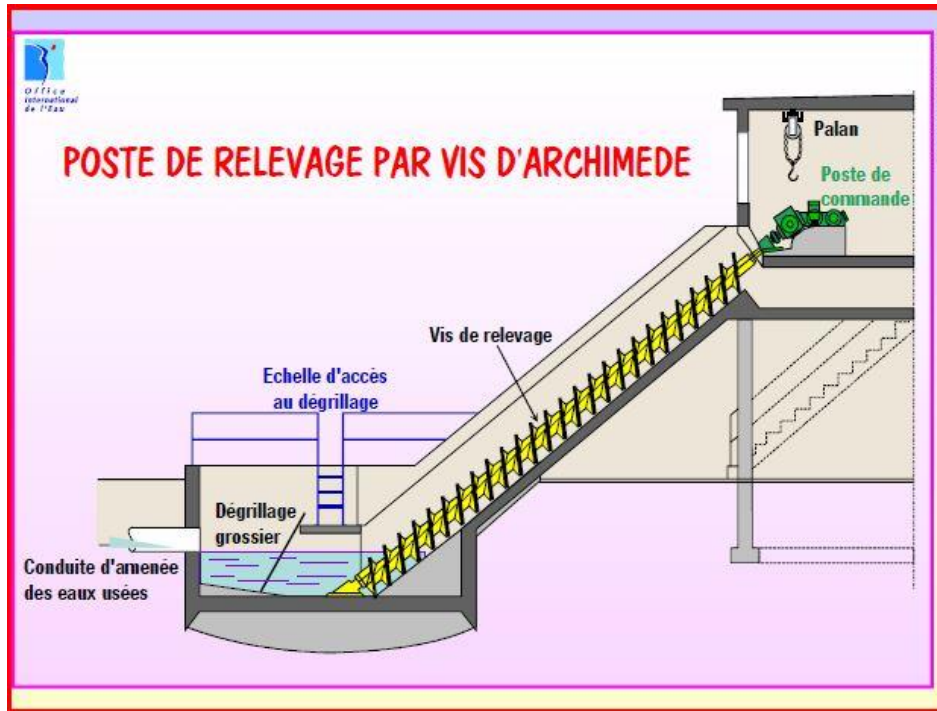


Figure 13: poste de relevage par vis d'Archimède

(Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau)

Bassin d'orage/Tampon

Dans le cas de variation importante de quantité ou qualité d'effluent, il est préférable d'avoir un bassin tampon (industriel) ou bassin d'orage (eaux pluviales).

- **Un bassin tampon permet :**

L'homogénéisation de la qualité de l'effluent. (Cas de la variation de pH, de température et de concentration).

D'écarter les débits de pointes.

IX.1.2 Le prétraitement

Les traitements mécaniques permettent de retirer de l'effluent brut les déchets volumineux, sables, graisses et éventuellement les matières en suspension, de façon à protéger les ouvrages en aval, faciliter le traitement, réduire la taille des ouvrages. Cet ensemble d'opérations s'appelle le prétraitement.

IX.1.3 Dégrillage

Eliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques, etc.) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station. (Brame.V, 1986).

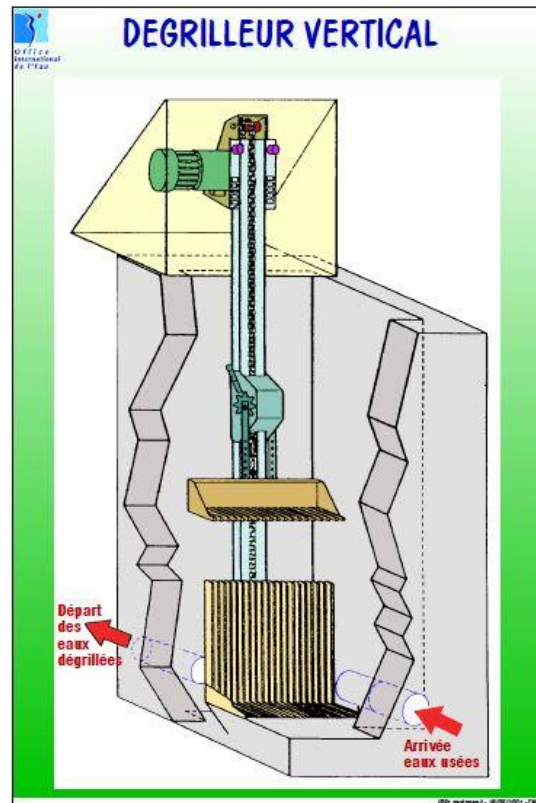


Figure 14: dégrilleur vertical

(Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau)

IX.1.4 Dessablage

Les effluents bruts véhiculent souvent des matières minérales grossières en suspension tels que les sables et les graviers, dont la vitesse de chute est inférieure à **0,3 m/s**, par conséquent, le dessablage a pour but de protéger les conduites et les pompes contre le colmatage. Le dessableur est un bassin à section élargie et rectangulaire, à font plat dont lequel la

vitesse de circulation d'eau est d'environ **0,3 m/s**. Ce qui permet de sédimenter la majeure partie des sables. Pendant le dessablage :

- L'eau brute est admise sur toute la largeur de bassin et sort du la côté opposé.
- Les sables déposés seront évacué par un raclage.
- Le temps de séjour de l'eau brute dans le dessableur est d'environ **3 à 5** minutes ;
- Le volume de sable récuré dans le dessableur varie de **5 à 12 l/hab/an**. Il dépend de
- La nature de l'effluent, du type de réseau et l'état de la voirie (Mekhalif.F, 2009.Boumedienne.M, 2011).

IX.1.5. Dégraissage-déshuilage

Les eaux usées urbaines contiennent souvent des matières flottantes qui passent à travers les grilles (huiles, hydrocarbures, débris de graisse, fragments de matières plastiques, etc.). Les huiles et hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération, dans le cas des boues activées, quant au matières flottantes solides elles risquent de former des bouchons qui pourraient bloquer des canaux ou des orifices dans la station, il est donc nécessaire de piéger ces substances au niveau du prétraitement par un dispositif d'écémage, comme pour les refus de grilles, les résidus de déshuilage ne doivent être mélangés aux boues que s'il est prévu une incinération.(**Duchene.P,1990**).

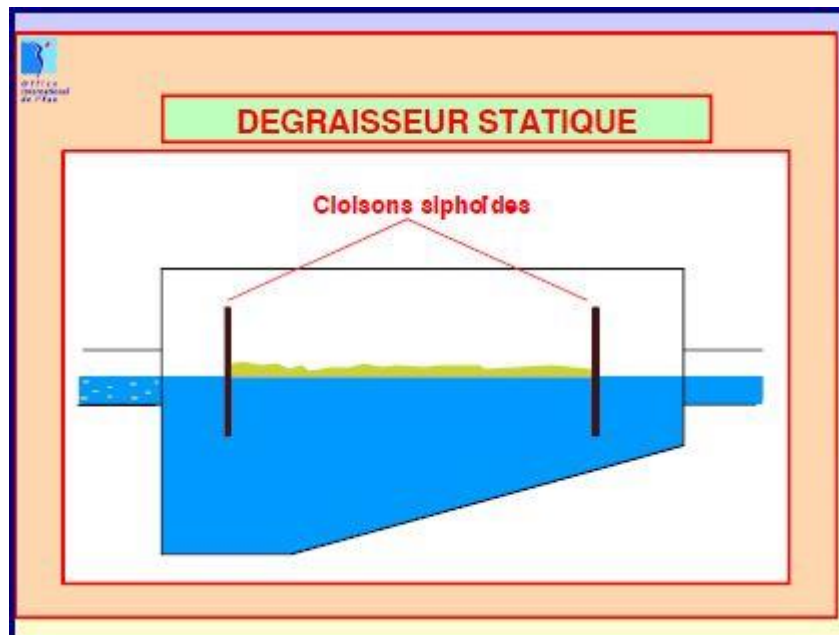


Figure 15: Dégraisseur

(Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau)

IX.2 Le traitement primaire

La décantation «primaire» s'effectue dans des bassins, le plus souvent de forme cyclonique, mais il existe bien d'autres types de décanteurs. Elle permet d'éliminer 70 % environ des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues dites «primaires». Celles-ci sont récupérées par raclage au fond du bassin et envoyées dans des épaisseurs pour y être traitées. Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'incorporation de produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, agents de coagulation...). Cette technique qu'on appelle« floculation » permet de capter **90 %** des matières en suspension (Benzaghoul, 2021).

IX.3 Traitement biologique

Les traitements biologiques consistent en une dégradation de la matière organique contenue dans les eaux usées et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) par des microorganismes déjà présents dans ces eaux, et ce généralement en présence d'air ou d'oxygène, la croissance de la faune et de la flore donne lieu à des floes plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (Vedry, 1975).

IX.3.1 Les boues activées

Le procédé boues activées a été découvert en 1914 à Manchester, il consiste à mélanger dans un réacteur aéré artificiellement de l'eau usée à épurer avec une population microbienne. La décomposition des matières organiques se fait grâce aux microorganismes aérobies qui sont responsables aussi à l'élimination de l'azote et du phosphore.

La technique des boues activées est convenable avec les eaux usées domestiques à partir d'environ 1000 habitants, jusqu'aux plus grandes villes. Les effluents industriels ou agroalimentaires, et peuvent selon leur qualité être traités par ce processus, avec souvent une adaptation à leur nature et leurs caractéristiques.

Le principe de fonctionnement

Le principe du traitement biologique par boues activées consiste à favoriser la multiplication, des bactéries hétérotrophes qui décomposent et se nourrissent de la pollution organique dans les eaux usées.

A la sortie du réacteur, l'effluent sera orienté vers un clarificateur. La boue décantée est divisée en deux parties :

- Une partie est recyclée vers le réacteur aérobique afin de maintenir une certaine concentration en micro-organisme à l'intérieur du bassin ($X = 2$ à 4g/l)
- Le surplus de boue est envoyé vers la filière de traitement des boues.

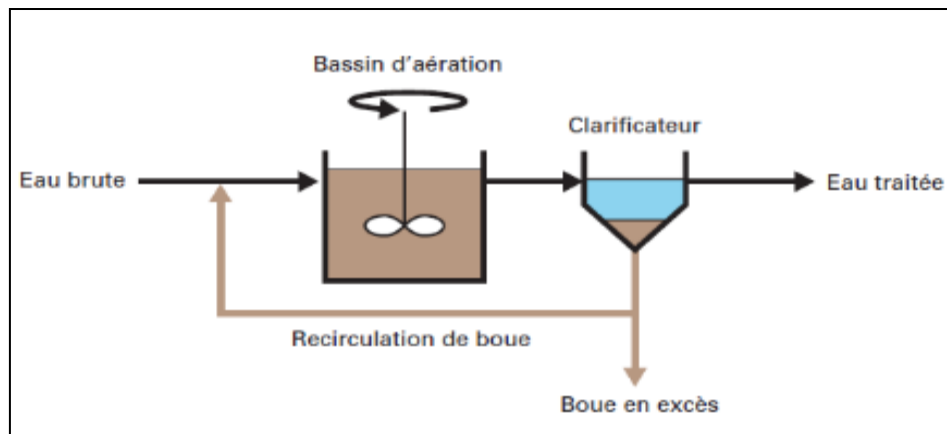


Figure 16 : Le principe de fonctionnement du procédé boue activée

(Google, Mai 2024)

Pour un bon fonctionnement du procédé boues activées, il faut offrir un certain débit d'oxygénisation QO_2 ($\text{kg d'O}_2/\text{j}$) et un certain taux de recirculation de boue (R%).

L'aération peut être assurée en surface par des turbines, ou dans le fond par des diffuseurs d'air.

L'épuration des eaux usées dans une station d'épuration biologique de type boue activée passe par les étapes suivantes :

- Prétraitement ;
- Traitement primaire ;
- Homogénéisation des eaux brutes avec la boue recyclée ;
- Aération ;
- Décantation avec recirculation de boue en tête de station ;
- Traitement tertiaire ;
- Traitement de boue en excès.

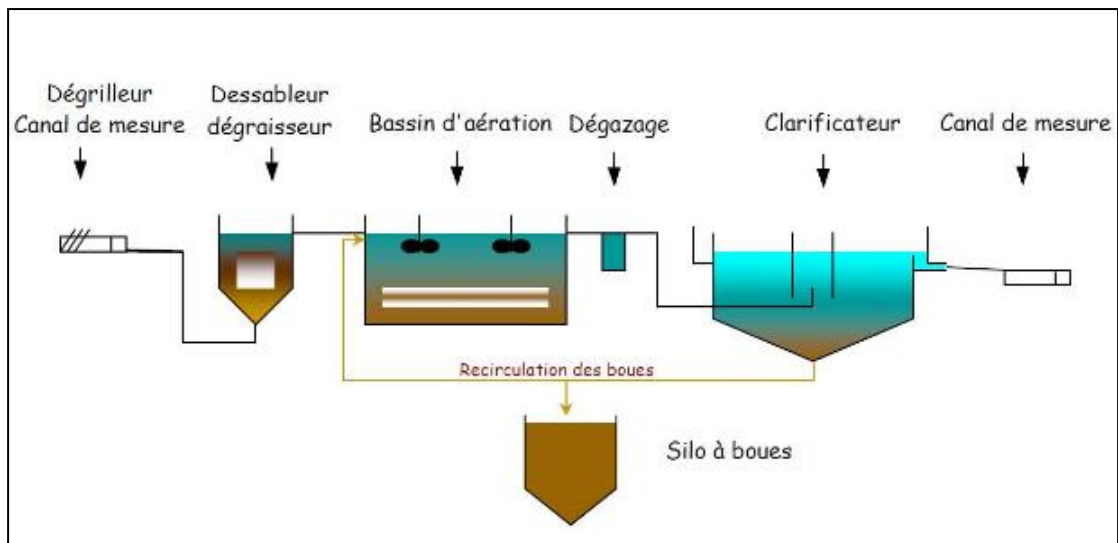


Figure 17: Schéma de fonctionnement d'une station à boue activée

(Google, Mai 2024)

Classification

On classe les systèmes d'épuration boues activées selon deux types de charges :

- **la charge massique (Cm):** qui est calculé par le rapport de la pollution appliquée par jour (kgDBO_5/j) sur la masse de la matière épuratrice (kg de matières sèches totales contenus dans le réacteur),
- **La charge volumique (CV):** qui est le rapport de la pollution appliquée par jour ($\text{kg DBO}_5/\text{j}$) sur le volume du réacteur (m^3).

Selon la valeur des charges appliquées, on distingue trois classes de station d'épuration par boue activée :

a) **Les procédés conventionnels** : les plus utilisés dans la pratique, ils fonctionnent avec une charge moyenne généralement comprise entre [0,2 et 0,5 kg DBO₅/kg MEST/j] pour la charge massique et entre [0,6 et 1,5 kg DBO₅/m³/j] pour la charge volumique.

b) **Les procédés à haute charge** : ils fonctionnent avec une charge massique comprise entre [0,5 et 2,5 kg DBO₅/kg MEST/j] et une charge volumique comprise entre [1,5 et 5 kg DBO₅/m³/j].

c. **Les procédés à faible charge** : ils fonctionnent avec une charge massique comprise entre [0,07 et 0,2 kg DBO₅ / kg MEST/j] et une charge volumique comprise entre [0,35 et 0,6 kg DBO₅/m³/j].

d) **Les procédés à très faible charge** : ils fonctionnent avec une charge massique inférieure à 0,07 kg DBO₅/kg MEST/j et une charge volumique inférieure à 0,35 kg DBO₅/m³/j.

IX.3.2 Les lits bactériens

Les lits bactériens consistent à faire ruisseler les eaux usées décantées à travers une masse de pierres ou de matières plastiques présentant une grande surface et sur laquelle un film bactérien (zooglé) se développe et qui consomme les matières organiques contenues dans l'eau en présence d'oxygène, d'air, le film croît au fur et à mesure de la consommation des matières organiques et se détache sous l'influence des gouttes d'eau qui tombent sur le garnissage. L'eau épurée et décantée et une partie des boues sont recyclées comme pour les boues activées (Brame.V, 1986).

IX.3.3 Le lagunage

Lagunage est un procédé de traitement des eaux usées qui utilise des lagunes ou des bassins de décantation pour éliminer les contaminants présents dans les eaux usées. Ce système repose sur des processus naturels, biologiques et physico-

chimiques qui se produisent dans ces bassins pour purifier l'eau avant qu'elle ne soit rejetée dans l'environnement ou réutilisée.

Les Types de lagunage :

Il existe 3 types :

a. **Lagunage aéré** : il existe deux types

- **Lagunage aéré en surface** : Ces systèmes utilisent des aérateurs pour introduire de l'oxygène dans les eaux usées, favorisant ainsi la dégradation biologique des contaminants par des micro-organismes .
- **Lagunage aéré par boules d'air** : Utilise des diffuseurs pour oxygéner l'eau et favoriser la dégradation biologique. C'est souvent utilisé dans les systèmes de lagunage à haut débit.

b. **Lagunage non aéré** :

Ce type regroupe :

- **Lagunage anaérobie** : Les eaux usées sont traitées dans des conditions sans oxygène, ce qui favorise la dégradation par des micro-organismes anaérobies. Ce type est souvent utilisé pour les eaux fortement chargées en matière organique.
- **Lagunage facultatif** : Combine des zones aérées et non aérées dans un même bassin, permettant ainsi à la fois des processus anaérobies de se produire.
- **Lagunage de maturation** : Ce type de lagunage est souvent utilisé en série avec d'autres types de lagunage. Il vise à affiner le traitement en assurant une dernière étape de purification, généralement en surface, où les processus biologiques et physico-chimiques finissent le traitement des eaux.

IX.3.4 **Disque biologique**

Un disque biologique est un système de traitement des eaux usées où les eaux usées sont mises en contact avec des disques rotatifs recouverts d'un bio film. Ce bio film est constitué de micro-organismes qui dégradent les contaminants présents dans

l'eau. Les disques tournent à la surface de l'eau, permettant l'oxygénation et le traitement des eaux usées par contact avec l'air et le bio film.

Les disques sont partiellement immergés dans les eaux usées, et à mesure qu'ils tournent, les micro-organismes du bio film traitent les polluants. L'air fournit l'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour dégrader la matière organique.

IX.3.5 Filtre planté

Un filtre planté est un système de traitement des eaux usées utilisant des plantes aquatiques ou semi-aquatiques pour améliorer la qualité de l'eau. Les plantes jouent un rôle crucial dans l'absorption des nutriments et la dégradation des contaminants par leurs racines et le sol qui les entoure.

Les filtres plantés favorisent les processus de dégradation biologique par l'intermédiaire des racines des plantes, améliorent la filtration des solides en suspension et favorisent l'élimination des nutriments comme l'azote et le phosphore.

IX.4 Le traitement tertiaire

Est la phase finale dans le processus de traitement des eaux usées, qui vise à affiner la qualité de l'eau après les traitements primaire et secondaire. Ce traitement a pour objectif de réduire davantage les contaminants restants, en particulier les substances qui ne sont pas éliminées par les étapes précédentes, telles que les nutriments, les pathogènes, et les contaminants émergents. Le traitement tertiaire est conçu pour atteindre des niveaux de pureté plus élevés, souvent en réponse à des exigences réglementaires strictes ou à des besoins spécifiques en matière de réutilisation des eaux.

IX.4.1 Quelques procédés utilisés dans le traitement tertiaire

1. Filtration sur sable :

Afin d'améliorer la clarté de l'eau et éliminer les particules solides, L'eau est filtrée à travers un lit de sable, qui élimine les particules fines et les matières en suspension restantes après les traitements primaire et secondaire.

2. Filtration sur charbon actif :

Afin de réduire les contaminants organiques, les composés chimiques et améliorer la qualité de l'eau pour la réutilisation ou le rejet, l'eau passe à travers un filtre contenant du charbon actif, qui adsorbe les contaminants organiques dissous, les couleurs, les goûts et les odeurs.

3. Oxygénation avancée (Ozone) :

Pour détruire les contaminants difficiles à éliminer par d'autres méthodes, désinfecter l'eau, on utilise de l'ozone (O_3) pour oxydier et décomposer les polluants organiques complexes, les micro-organismes et les contaminants émergents.

Conclusion

En conclusion, La gestion efficace des eaux usées et leur épuration revêtent une importance capitale, tant pour la préservation de la santé publique que pour la protection de l'environnement et la durabilité des ressources en eau. Les eaux usées, qu'elles proviennent des activités domestiques, industrielles ou agricoles, renferment une diversité de contaminants potentiellement nocifs pour la santé humaine et les écosystèmes aquatiques. Sans un traitement adéquat, ces contaminants peuvent contaminer les sources d'eau potable, propager des maladies et perturber l'équilibre naturel des habitats aquatiques. Par conséquent, investir dans des infrastructures et des technologies de traitement des eaux usées est crucial pour réduire les risques sanitaires, préserver la biodiversité et assurer une gestion durable des ressources en eau douce.

*Chapitre II : La réutilisation des
eaux usées*

I. Introduction

L'exploitation et la gestion de l'eau sont des préoccupations cruciales dans le monde contemporain, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation rapide et des pressions exercées sur les ressources naturelles. Parmi les solutions innovantes pour répondre à ces défis, la réutilisation des eaux usées émerge comme une stratégie essentielle. Ce processus consiste à traiter les eaux usées afin de les rendre sûres pour des utilisations variées, allant de l'irrigation agricole à la recharge des nappes phréatiques et même à des applications industrielles. Cependant, la réutilisation des eaux usées soulève également des questions complexes liées à la santé publique, à l'environnement et à la réglementation. Dans ce chapitre, nous explorerons les causes de la réutilisation des eaux usées, ses impacts potentiels, les défis qu'elle pose, ainsi que les normes et réglementations en vigueur à l'échelle mondiale.

II. Historique de la réutilisation

Depuis des milliers d'années, on pratique la réutilisation des eaux usées à travers le monde (ABU-MADI et AL-SA'ED, 2009). Effectivement, selon MECHEBBEK (1993) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1989) à la fin du XIXe siècle, les déchets urbains, sans traitement préalable, ont été employés dans la production agricole, notamment en Angleterre, en Allemagne, en Australie, aux États-Unis, en Inde et en France, ainsi qu'avec le Mexique en 1904. Par exemple, à la suite de la construction du réseau d'égouts de Paris, entamée en 1856, il a été décidé, afin d'éviter les rejets dans la Seine, d'épandage sur des champs agricoles dans la région parisienne.

(séminaire international sur a réutilisation d'eau usée , Maroc, 2011)

L'épuration et la réutilisation des eaux usées ont été pratiquées en Australie depuis 1880. Dans les années 1950 et 1960, la réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage des golfs et espaces verts s'est développée et en 1993 elle a été encouragée par le gouvernement d'Etat qui l'a réglementée dans la loi pour la Protection de l'Environnement de 1995 (MONCHALIN,2000)

La Tunisie devient le premier pays de l'Ouest méditerranéen à avoir mis en place des règles de réutilisation des eaux usées en 1989. Les eaux usées traitées sont utilisées pour irriguer environ 6400 hectares. Les cultures irriguées comprennent les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires, etc.), les vignobles, les fourrages (luzerne, sorgho), le coton,... (Benzaria.M, 2008)

III. Définitions de la réutilisation

On dit souvent que la prochaine crise que l'humanité subira sera celle de l'eau potable et que, par conséquent, sa préservation est une priorité. Pourtant, n'est il pas fréquent de constater son emploi pour des usages ne le justifiant pas tels que le nettoyage des voitures ou encore l'arrosage de parcs par exemple ? Afin de limiterons utilisation déraisonnée, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La Réutilisation des Eaux Usées Epurées (REUT) (Moussaoui.R,2017) consiste à récupérer les eaux usées après plusieurs traitements destinés à en éliminer les impuretés, afin de stocker et d'employer cette eau à nouveau (Wikipédia,2024)

Cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. (Ecosse D. 2001)

IV. Différents types de la réutilisation

Les eaux usées sont réutilisées dans différents secteurs, ce qui permet de résoudre des problèmes de pénurie d'eau, de réduire la pollution de l'environnement et de favoriser une gestion durable des ressources en eau. Parmi les applications les plus fréquentes de la réutilisation des eaux usées, voici quelques exemples.

VI.1 Réutilisation agricole

L'irrigation agricole joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité et de la quantité de la production agricole. L'agriculture est le domaine le plus exigeant en termes d'eau à l'échelle mondiale (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005). Selon l'UNESCO (2000), le domaine de l'agriculture représente 67 % des prélèvements totaux d'eau et représente 86 % de la consommation mondiale. En

1995, le total de la surface irriguée était de 245 millions d'hectares, et devrait atteindre 330 millions d'hectares en 2025 (UNESCO, 2000). En Afrique et en Asie, entre 85 et 90 % de l'eau douce collectée est exploitée dans le domaine agricole (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005). La consommation d'eau est principalement liée au secteur agricole dans la plupart des pays ; par exemple, au Maghreb, l'agriculture représente 81% (des prélèvements d'eau. Les projets d'irrigation à grande échelle ont donc accéléré la disparition de plans d'eau, comme la Mer d'Aral, les marécages irakiens et le Lac du Tchad (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005), et encouragé l'intrusion marine des aquifères côtiers et la salinisation des sols (PNUE/PAM-Plan Bleu, 2009). Lorsqu'elle est utilisée de manière adéquate, la REUT peut favoriser une utilisation plus efficace de l'eau dans le secteur agricole, favorisant ainsi une gestion durable de l'eau.

Les avantages majeurs de la REUT pour l'agriculture sont les suivants (UNEP, 2003) :

- La préservation des ressources en eau douce et leur répartition plus rationnelle, notamment dans les pays en situation de pénurie d'eau
- L'évitement de la pollution des eaux de surface en évitant le déversement des eaux usées dans les plans d'eau
- L'apport naturel de nutriments (azote, phosphore et potassium), ce qui réduit les besoins en engrais artificiels
- L'amélioration des caractéristiques physiques des sols et la prévention de l'érosion.

Les eaux usées épurées contiennent des matières organiques comme des débris végétaux et des résidus alimentaires. Lorsqu'elles sont appliquées aux sols, ces matières organiques se décomposent et enrichissent le sol.

Une augmentation de la matière organique améliore la structure du sol, favorise la formation d'agrégats, et augmente la capacité de rétention d'eau. Un sol riche en matière organique est plus fertile et mieux structuré.

(séminaire international sur la réutilisation d'eau usée, Maroc, 2011)

Tableau 1: représente les premiers 20 pays qui utilisent le plus important volume d'eau usée utilisée pour l'irrigation agricole.

Encadré 2. Les 20 pays présentant les plus importants volumes d'eau usée utilisée pour l'irrigation agricole (Banque Mondiale, 2010)				
Pays	Pays	Volume d'eau usée (m ³ /jour)	Pays	Volume d'eau usée (m ³ /jour)
Mexique	4 493 000		Iran	422 000
Egypte	1 918 000		Chili	380 000
Chine	1 239 000		Jordanie	225 000
Syrie	1 182 000		EAU	200 000
Espagne	932 000		Turquie	137 000
USA	911 000		Argentine	130 000
Tunisie	118 000		Italie	741 000
Libye	110 000		Arabie Saoudite	595 000
Qatar	80 000		Koweït	432 000
Chypre	68 000			
Californie et Floride				

(Banque mondiale, 2010)

VI.2 Utilisation dans l'industrie

Un des plus grands potentiels pour la réutilisation de l'eau est de compléter ou de remplacer l'utilisation d'eau potable et/ou de ressources naturelles pour les industries. Avec environ 25% de la demande mondiale, l'industrie occupe la deuxième place en termes de consommation d'eau après l'agriculture.

Depuis de nombreuses années, la réutilisation de l'eau est pratiquée dans les secteurs pétroliers, textiles, automobiles, de la fabrication de pâtes et de papier, de la production d'énergie, et plus récemment dans les secteurs électroniques et alimentaires.

1) Recharge des nappes phréatiques :

Un aquifère est un système important de stockage d'eau douce, qui fournit ainsi les ressources en eau nécessaires pour différents usages (UNEP et Global Environment Centre Fondation, 2005). La recharge artificielle, introduction artificiellement d'une quantité d'eau dans une formation aquifère perméable à travers un dispositif aménagé (Chaieb, 2010) est utilisée pour prévenir la réduction des niveaux d'eaux souterraines et pour préserver ses ressources pour leur utilisation future.

On peut infiltrer les eaux usées traitées dans les nappes phréatiques afin de reconstituer les réserves d'eau souterraine, ce qui permet de recharger les aquifères et de préserver les ressources en eau.

VI.3. Utilisations municipales

On peut utiliser les eaux usées traitées pour des usages municipaux non potables tels que, le lavage des véhicules et des rues municipaux, la lutte contre les incendies. Elle pourrait aussi constituer une excellente option pour l'arrosage des parcs, des terrains de golf, des jardins publics et d'autres espaces verts urbains, qui sont des consommateurs d'eau considérables

VII. Les causes de la réutilisation

VII.1. La pénurie d'eau

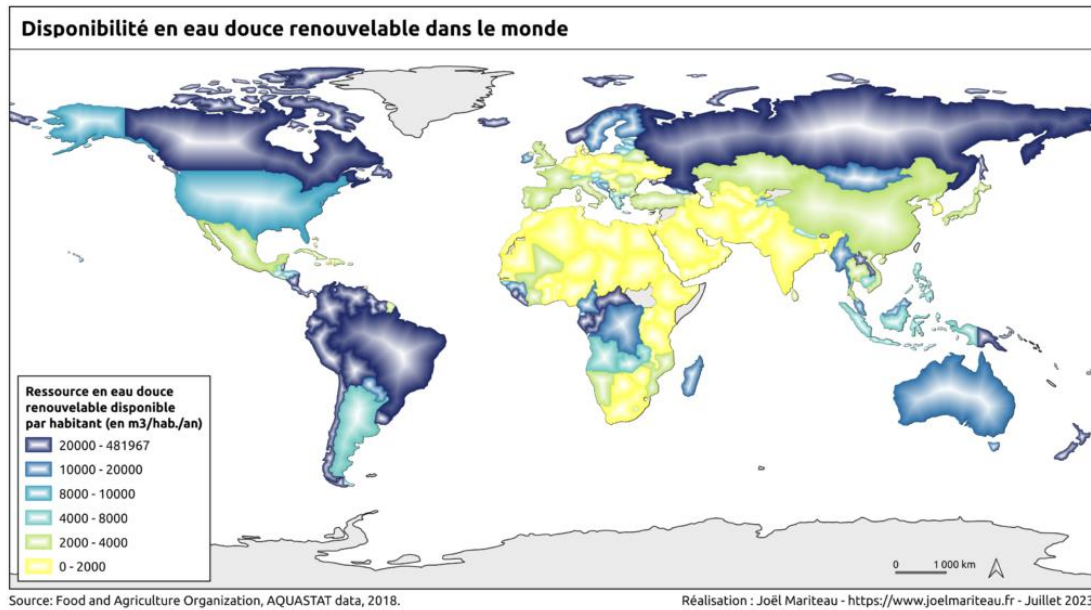


Figure 18: Disponibilité en eau douce dans le monde source (FAO,2018)

Au cours du siècle dernier, la population mondiale a augmenté de 1,7 milliard de personnes en 1900 à plus de 6 milliards en 2000. Mais à mesure que la population s'est triplée, sa consommation en eau a augmenté de plus de six fois, soit une augmentation deux fois plus importante. Il a été nécessaire d'augmenter les surfaces agricoles et d'intensifier l'agriculture afin de répondre aux besoins alimentaires d'une population en constante expansion.

VII.2. La sécheresse

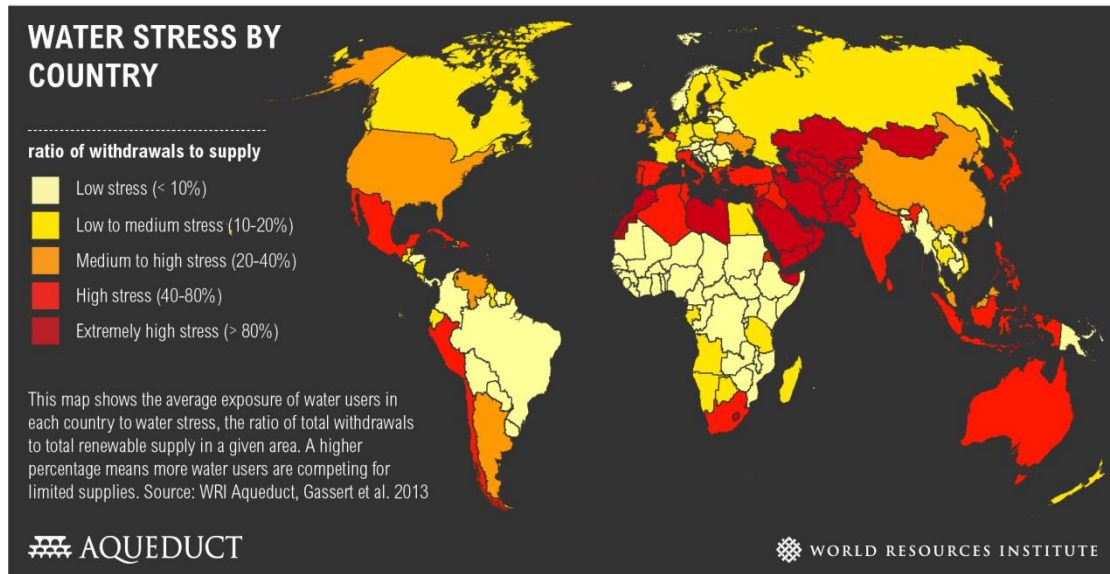


Figure 19: la sécheresse dans le monde en 2013

(Chan Li, Vincent Goetz, Serge Chiron, 2022)

La sécheresse touche plus de 1,8 million de personnes dans le monde, et la pénurie d'eau a de multiples conséquences, en particulier dans les régions vulnérables. Des périodes de sécheresse plus longues peuvent réduire les ressources en eau, ce qui rend cruciale la réutilisation des eaux usées pour assurer l'approvisionnement en eau dans les zones touchées

VII.3. La préservation de l'environnement

La préservation de l'environnement reliant sur la qualité des eaux souterraines et de surface, ainsi que la déplétion des eaux usées. Les eaux épurées utilisées pour l'irrigation réduisent les engrais et les polluants, et peuvent être réutilisées pour préserver les écosystèmes aquatiques.

VII.4. La sécurité alimentaire

L'irrigation agricole joue un rôle crucial dans la production alimentaire, les rendements obtenus grâce à l'irrigation étant au moins deux fois supérieurs à ceux de

l'agriculture pluviale. L'utilisation d'eaux épurées peut améliorer la sécurité alimentaire.

VII.5. Alternative économique

La réutilisation des eaux usées peut être une solution économiquement viable pour obtenir de l'eau douce en particulier dans les régions où les coûts d'approvisionnement en eau sont élevés ou les ressources en eau limitées.

VIII. Les contraintes de la réutilisation agricole

Les contraintes et les défis liés à la réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles sont nombreux par exemple :

VIII.1. Le respect des normes du cadre juridique

Le cadre juridique régissant les normes liées à la réutilisation de l'eau et à la sécurité alimentaire est souvent influencé par les recommandations et les normes établies par des organisations internationales telles que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Tableau 2: Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989)

Catégorie	Conditions de réalisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux ^a (nombre moyen arithmétique)	Coliformes Intestinaux (nombre par 100ml) moyenne ^b géométrique	Procédé de traitement Susceptible d'assurer la Qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures Destinées à être consommées crues, des Terrains de sport, des Jardins publics ^c	Ouvriers agricoles consommateurs public	Maximum 1	Maximum 1.000 ^d	Une série de bassins de Stabilisation conçus de Manière à obtenir la qualité Microbiologique voulue ou Tout autre procédé de Traitement équivalent
B	Irrigation des cultures Céréalières, industrielles Et fourragères, Des pasturages et des	Ouvriers agricoles	Maximum 1	Aucune Norme n'est recommandée	Rétention en bassins de Stabilisation pendant 8-10 Jours autre procédé d'élimination des Helminthes et des

	plantations d'arbres ^e				Coliformes intestinaux
C	Irrigation Localisée des Cultures de la catégorie B .si les ouvriers Agricoles et le Public ne Sont pas exposés	Neant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation ,mais au moins Sedimentation primaire

VIII.2. Risque de contamination

Il existe un risque potentiel de contamination des cultures par des agents pathogènes, des métaux lourds, des produits chimiques et des polluant organiques présents dans les eaux usées.peuvent s'accumuler dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes..

1. Effet sur le sol

Les sols peuvent être affectés par l'utilisation continue d'eaux épurées, surtout si elles renferment , des substances chimiques nocives telles que des métaux lourds, des produits pharmaceutiques ou des composés organiques persistants, l'irrigation par les eaux usées épurée peut également augmenter le risque de salinisation du sol, surtout si les eaux usées contiennent une concentration élevée en sels.

2. Adoption sociale

Le public peut être opposé à la réutilisation des eaux usées en raison de préoccupations liées à la sécurité sanitaire et à la qualité de l'eau. Les parties prenantes locales doivent être impliquées et des campagnes de sensibilisation doivent être menées

afin de favoriser une acceptation sociale des programmes de réutilisation agricole des eaux usées.

IX. La réutilisation agricole dans le monde

Le secteur agricole est le plus gros consommateur d'eau, car la croissance démographique exige plus de nourriture. L'extension des terres irriguées offre une meilleure productivité, avec 264 millions d'hectares de terres irriguées estimées à 17 % des 1,5 milliard d'hectares de terres cultivables dans le monde. Ces zones irriguées représentent 40 % de la production alimentaire mondiale, tandis que 60 % proviennent de l'agriculture pluviale. Le secteur de la réutilisation et de la récupération de l'eau (REUT) s'est rapidement développé depuis 2000, avec des augmentations annuelles de 10 à 29 % en Europe, aux États-Unis, en Chine et en Australie. Le volume quotidien d'eau réutilisée est de 1,5 à 1,7 million de m³/jour dans divers pays et États. Cependant, le secteur manque de stratégies de gestion et de réglementations claires, ce qui limite l'efficacité des efforts de contrôle de la pollution. Certains pays visent à répondre à 10 à 60 % de leurs besoins en eau grâce à la REUT.(FAO)

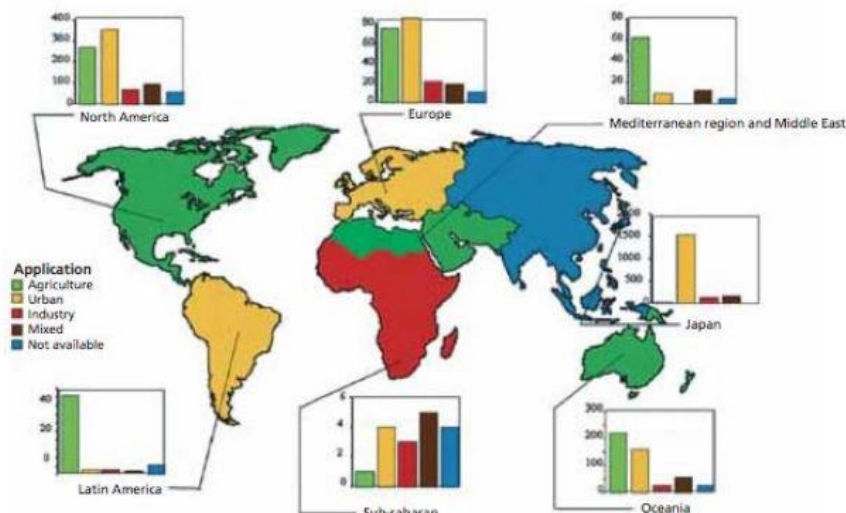


Figure 20: Schémas de réutilisation d'eaux usées municipales, selon le type d'applications (FAO, 2010)

X. La réutilisation des eaux usées en Algérie

L'intérêt porté par l'Algérie à la réutilisation des eaux usées en agriculture a pour origine des besoins en eau en forte augmentation puisque la population algérienne est en forte croissance démographique dans les dernières années (FAO, 2003).

Comme de nombreux pays du bassin méditerranéen, l'Algérie souffre d'un déficit hydrique considérable. Le pays est confronté à une demande croissante d'eau, tandis que les ressources en eau se raréfient de manière permanente pour l'irrigation. D'autre part, la quantité d'eaux usées produites augmente et leur réutilisation apparaît comme une première solution à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation.

La politique de l'épuration du ministère des ressources en eau se base sur la préservation de la ressource en eau et la réutilisation des eaux usées épurées, en particulier à des fins agricoles. De plus, les stations d'épuration fonctionnelles (STEP et lagunes) en Algérie ont une capacité de production d'environ 130000 m³/an, en utilisant les trois traitements primaires, secondaires et tertiaires.

La réutilisation des eaux usées vise principalement à économiser de grandes quantités d'eau potable qui seraient ainsi utilisées pour les besoins de la population en AEP, ce qui permettrait de réduire la pression de mobilisation sur les nappes, sans pour cela défavoriser les agriculteurs

De plus, le processus de traitement des eaux usées produit des boues biologiques, qui contiennent une grande quantité d'azote et de phosphore. On peut considérer leur réutilisation comme un moyen important d'amendement des sols.

En Algérie, l'irrigation à partir des eaux usées épurées permettrait :

- L'utilisation d'une ressource durable permettra de diminuer la consommation d'eau conventionnelle.
- La mise en valeur des sols grâce aux nutriments provenant des eaux usées.
- De favoriser le développement de l'agriculture à court, moyen et long terme.

X.1. Situation de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation en Algérie

Il existe beaucoup d'agriculteurs algériens utilisent actuellement de l'eau usée sans épuration préalable et sans autorisation des autorités pour irriguer des cultures telles que les pommes de terre, les salades et les tomates provenant de bassins de drainage voisins. Bien que ces eaux ne nécessitent pas de réunification directe, des stations ont été mises en place pour permettre aux agriculteurs de les utiliser pour l'irrigation. Le gouvernement algérien reconnaît la nécessité de ressources hydrologiques supplémentaires en raison de son climat sec et semi-aride. Cependant, il existe de multiples défis en termes de législation et de qualité. S'il est évident que la réutilisation des eaux usées possède un grand avenir en Algérie, il est aussi impératif de créer les conditions nécessaires à son développement. (Bouzidi.Y,2020)

X.2. Le programme actuel en Algérie

L'Algérie discute d'un programme ambitieux visant à accroître l'utilisation de l'eau purifiée dans l'irrigation agricole. Le pays dispose de 200 stations d'épuration d'une capacité de production de 500 millions de m³/an. Ces stations devraient atteindre 1 million de m³/an d'ici 2032. Le secteur prévoit d'utiliser l'eau purifiée pour 40 000 hectares d'ici 2030. Le développement de la capacité d'épuration vise également d'autres secteurs, tels l'industrie, l'irrigation des jardins publics, la lutte contre les feux de forêts ainsi que le projet du barrage vert

Tableau 3: les wilayas Algériens qui ont profité de l'opération de la réutilisation agricole

TLEMCEN	1000 Ha
ORAN	350 Ha
BOUMERDES	350 Ha
BORDJ BOU ARREDJ	250 Ha
SETIF	800 Ha
CONSTANTINE	600 Ha
MASCARA	300 Ha
OUARGLA	800 Ha

X.3. Les organismes responsables sur la gestion de l'opération de la REU en

Algérie

a. L'Office National de l'Assainissement (ONA)

est un établissement public national chargé de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau pour l'agriculture. Il a été créé par le décret n° 01-102 du 27 avril 2001, visant à absorber la pollution des eaux usées urbaines pour protéger l'environnement. L'ONA est sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Il gère 130 stations d'épuration réparties sur 44 wilayas, dont 17 axées sur la réutilisation des eaux épurées pour l'agriculture. La mission de l'ONA comprend la protection du milieu hydrique, la lutte contre les sources de pollution des eaux, la préservation de la santé publique et la mise en œuvre de projets liés au traitement des eaux.

b. L'ONID,

créé en 2005, est chargé de la gestion, de l'exploitation et de l'entretien des réseaux d'irrigation, de l'orientation des irrigations, de la commercialisation de l'eau et de l'assistance aux utilisateurs. L'ONID exploite 25 périmètres d'irrigation, couvrant plus de 200 000 hectares de terres irriguées.

X.4. Cadre juridique Algérien

Entre 1995 et 2005, une série de réformes a repensé la mobilisation, la gestion et l'utilisation des ressources en eau en prenant en compte trois points

clés :

- ✓ les principes (cadre réglementaire, gestion intégrée, efficacité de l'eau agricole, politique tarifaire).
- ✓ les institutions (création du ministère des Ressources en eau, des agences de bassins hydrographiques et restructuration des agences nationales et régionales).
- ✓ les priorités (alimentation en eau potable, transferts d'eau, etc.) qui définissent la nouvelle politique nationale de l'eau.

Une réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées

avec des eaux usées épurées , et les normes physico-chimique et bactériologiques Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Tableau 4: Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers(*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères(**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge ,triticale et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin ,marjo laine et romarin

Tableau 5: les Normes Algérienne des paramètres physicochimiques de réutilisation des eaux usées épurées

Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
Ph		6.5<ph<8 .5
Mes	Mg/l	30
Ce	Ds/m	3
Infiltration le sar = 0-3 ce	Ds/m	0 .2
3-6		0.3
6-12		0.5
12-20		1.3
20-40		3
Dbo5	Mg/l	30
Dco	Mg/l	90
Chlorure(cl)	Mg/l	10
Azote(no3-n)	Mg/l	30
Bicarbonate(hco3)	Mg/l	8.5
Aluminium	Mg/l	20
Arsenic	Mg/l	2
Béryllium	Mg/l	0.5
Bore	Mg/l	2
Cadmium	Mg/l	0.05
Chrome	Mg/l	1
Cobalt	Mg/l	5
Cuivre	Mg/l	5
Cyanures	Mg/l	0.5
Fluor	Mg/l	15
Fer	Mg/l	20
Phénols	Mg/l	0.002
Plomb	Mg/l	10
Lithium	Mg/l	2.5

Manganèse	Mg/l	10
Mercure	Mg/l	0.01
Molybdène	Mg/l	0.05
Nickel	Mg/l	2
Sélénium	Mg/l	0.02
Vanadium	Mg/l	1
Zinc	Mg/l	10

Il est autorisé d'irriguer avec des eaux usées épurées à condition.

- L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette
- L'irrigation par aspersion est à éviter.
- Les fruits tombent au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.
- Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs (ONID, 2024)

X.6. Les contrôles

Plusieurs mesures sont prises afin de garantir la durabilité du projet et de réduire les conséquences néfastes tant sur la santé humaine que sur l'environnement.

Selon les articles de 26 à 31 du décret exécutif 07-149 du 20 mai 2007 (JO. Algérien n°35), les éléments qui seront soumis à un contrôle régulier comprennent :

- 1- La qualité des eaux destinée à être utilisée pour l'irrigation.
- 2- L'évolution de la qualité des eaux de la nappe
- 3- L'état des ouvrages de distribution et de stockage.
- 4- L'état sanitaire du personnel affecté au travail à l'irrigation par les eaux épurées.
- 5- Les cultures.

6- Le sol.

7- Les produits agricoles.

Ces contrôles sont effectués par les services compétents chacun en ce qui le concerne à savoir ; DRE(direction des ressources en eau), la santé, DSA (direction des services agricoles)et les services des commerces.

Tableau 6: Résumé des taches des intervenants sur le périmètre d’irrigation (cas de Tlemcen).

Intervenant	Mission
DRE: Les services de l’hydraulique de la wilaya	<p>Contrôle et suivi:</p> <p>La qualité des eaux usées épurées destinées à l’irrigation.</p> <p>l’évolution de la qualité de l’eau de la nappe souterraine.</p> <p>l’état des ouvrages de stockage et de distribution des eaux usées épurées.</p>
Santé: Les services De la santé de la wilaya.	<p>Contrôle:</p> <p>La santé du personne affecté à l’irrigation</p>
DSA: Les services De l’agriculture de la wilaya	<p>Contrôle et suivi:</p> <p>Phytop sanitaire des cultures irriguées.</p> <p>Evolution des caractéristiques du sol</p>
Les services Commere de la wilaya	<p>Contrôle:</p> <p>Produits agricoles (biologique et physico-chimique)</p>
ONA	<p>Exploitation de la station d’épuration.</p> <p>Garantir une eau épurée en quantité et qualité requises</p>

<p>ONID</p>	<p>Assurer une exploitation rationnelle des eaux usées épurées</p> <p>Vérifier que la qualité des eaux usées épurées distribuées aux usagers est conforme à la réglementation en vigueur.</p> <p>Suivi de l'évolution des paramètres fertilisants (N.P.K) au niveau du sol irrigué.</p>
<p>EAC, EAI et agriculteur privé</p>	<p>Exploitation des terres agricoles.</p>

Conclusion

En conclusion, l'étude de la réutilisation des eaux usées a permis de mettre en lumière un domaine crucial pour la gestion durable des ressources en eau dans le monde entier. En examinant les causes de la réutilisation des eaux usées, les diverses applications dans différents secteurs tels que l'agriculture, l'industrie et l'approvisionnement en eau potable, ainsi que les défis associés à cette pratique, nous avons pu apprécier à quel point cette approche est essentielle pour répondre aux besoins croissants en eau dans un contexte de changement climatique et de pression sur les ressources hydriques.

L'analyse des normes et des réglementations entourant la réutilisation des eaux usées a souligné l'importance de protéger la santé publique et l'environnement tout en encourageant une utilisation sûre et responsable des ressources en eau recyclée. La mise en place de normes claires et de systèmes de surveillance efficaces est cruciale pour garantir la qualité et la sécurité de l'eau réutilisée, tout en favorisant la confiance du public dans cette pratique.

La réutilisation des eaux usées en Algérie est une nécessité impérieuse pour assurer la sécurité hydrique, promouvoir une agriculture durable et répondre aux besoins croissants de la population. Bien que des progrès aient été réalisés, il reste encore beaucoup à faire pour renforcer les programmes existants, garantir le respect des normes et améliorer la gestion globale de cette ressource précieuse.

Il est crucial de mettre en place des politiques et des pratiques de gestion efficaces, transparentes et conformes aux normes internationales.

Enfin, la réussite de la réutilisation des eaux usées en Algérie dépendra de l'engagement continu des autorités gouvernementales, des acteurs locaux, des experts techniques et de la société dans son ensemble. En travaillant ensemble de manière collaborative et coordonnée, nous pouvons créer un avenir où l'eau est utilisée de manière durable, équitable et responsable pour le bien-être de tous.

Chapitre III: Matériels et Méthodes

I. Introduction

La réutilisation agricole en Algérie revêt une importance capitale dans le contexte de la rareté croissante des ressources hydriques et des défis environnementaux auxquels le pays est confronté. Dans un pays où l'eau est une ressource précieuse et souvent limitée, cette pratique offre une opportunité précieuse de maximiser l'utilisation des ressources disponibles tout en minimisant les pressions exercées sur les sources d'eau conventionnelles. En Algérie, la réutilisation des eaux épurées dans les terres agricoles a un impact important sur divers aspects

On a sélectionné pour cette étude la station d'épuration de la ville de Tlemcen, ainsi que les terres irriguées sur le périmètre de Hennaya (912 H).

L'analyse met en évidence les effets positifs et négatifs de la réutilisation sur l'économie et l'écosystème global.

II. Présentation et description de la station d'épuration d'Ain lhoutz

La station d'épuration de Tlemcen est une station d'épuration de type Boues à faible charge. En général, les processus aérobies sont utilisés dans le traitement biologique des effluents, où les bactéries oxydent directement les matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

Elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement mise ne service le 05 Novembre 2005 gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement(ONA)

II.1. Situation géographique de La station d'épuration

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au nord du chef lieu « Tlemcen Ville », à l'ouest de Chetouane « Daïra » sur la Route de Ain El Houtz conçue pour une population de 150 000 eq/hab d'une capacité de 30 000 m³/j,



Figure 21: localisation de la STEP d'Ain El-Houtz



Figure 22: Panoramique de la Station

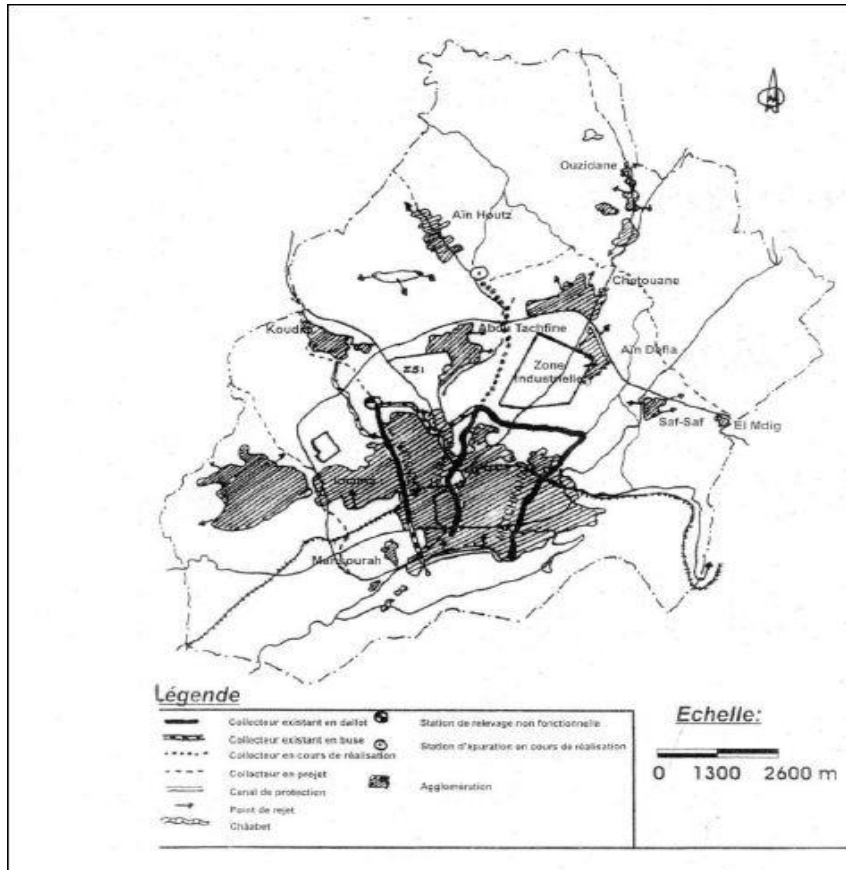


Figure 23: Situation de la région d'Ain EL Houtz géographique

II.2. Description de la station

La station comprend

- Pour la partie **Eaux Usées**
- ❖ Déversoir d'orage

Il est dimensionné pour prendre en charge un maximum de 3300 m³/h



Figure 24: Déversoir d'orage

❖ **Deux Dégrilleurs sont présents.**

Grille manuelle grossière (1 unité) ;

- La grille mesure 1,8m de large - L'inclinaison est de 70%
- Écartement entre les barreaux : 50mm Dessableur – déshuileur



Figure 25: Grille grossière manuelle (1 unité)

❖ **Grille mécanisée (2 unités)**

Le diamètre de la grille est de 1,0m, la profondeur du chenal est de 1,5m, l'écartement entre les barreaux est de 20mm et la puissance du moteur est de 0,37kw.



Figure 26: Grille mécanisée (2 unités)

❖ **Déssableur- déshuileur (2 unités)**

De forme trapézoïdale, est muni d'un pont suceur et écumeur et a des dimensions :

- Longueur : 26 mètres - Largeur : 4 mètres



Figure 27: Déssableur- déshuileur

❖ **Quatre bassins d'aération**

La taille de chaque bassin est la suivante ;

- Capacité : 4723m³ - Conception rectangulaire de
- 55,5m de long - 18,5m de large - 4,6m de profondeur d'eau - 5,6m de hauteur
béton



Figure 28: Bassins d'aérations

❖ **Décanteurs secondaires : deux décanteurs chacun est équipé de;**

- Pont racleur à vitesse de rotation 0,04m/s
- Sont de forme circulaire
- Diamètre : 46m
- Surface : 1661m²
- Profondeur d'eau : 4m en périphérie



Figure 29: Clarificateur

❖ **Bassin de chloration :**

Il est en béton armé et d'un volume de l'ordre de 700 m³



Figure 30: Bassins de chloration

- Pour la partie **Boues**

Un poste de pompage des boues avec pompe de recirculation



Figure 31: Vis de recirculation

❖ Épaisseur à boue : Il est en béton armé et à un pont support de la tête tournante avec moteur et réducteur

- Diamètre : 14m

- Hauteur utile : 04m

- Pente de fond : 1/10



Figure 32: Epaisseur

❖ Lits de séchage : Quatorze lits de séchage Chaque lit a les dimensions suivantes ;

-Nombre : 14

-Longueur : 30 m

-Largeur : 15 m



Figure 33: Lits de séchage + Aire de stockage

❖ Aire de stockage des boues séchées

- Bâtiments
 - Un bâtiment d'exploitation
 - Un bâtiment de chloration

II. Donnée de base

Tableau 7: La station d'épuration de la ville de Tlemcen a été dimensionnée sur la base des données suivante

1/ horizon	2005
2/ type de réseau	Unitaire
3/ nature des eaux brutes	Domestiques
4/ population	150 000 eq/hab
5/ débit journalier	30 000 m ³ /j
6/ débit de pointe horaire admis au traitement	3 800 m ³ /h
7/ dbo ₅ journalière	9 300 kg/j
8/ matière en suspension	13 950 kg/j
9/ azote à nitrifier	1 980 kg
10/ l'équivalence calculée sur la DBO	172 000 eq/hab

II.3. Caractéristiques après traitement prévues par l'étude

Tableau 8: Les caractéristiques du rejet qui devraient être garanties par l'étude du process sur une durée moyenne de 24 heures.

1/ matière en suspension	30 mg/l
2/ matières sédimentables	0.5 CC/l
3/ DBO	20 mg/l
4/ DBO point max, en moyenne sur 2 heures	30 mg/l
5/ DCO	120 mg/l
6/ azotes (N-NH ₄)	3 – 5 mg/l
7/ azotes (N-NO ₃)	8 – 10 mg/l
8/ huiles et graisses végétales	20 mg/l
9/ coliformes totaux	20 000 / 100 ml
10/ coliformes fécaux	12 000 / 100 ml
11/ streptocoques fécaux	2 000 / 100 ml

III. Présentation et Description du périmètre Hennaya

III.1. Objectif du projet

Ce projet est destiné à irriguer gravitairement le périmètre de Hennaya sur une superficie de 912 Ha par l'intermédiaire d'un réservoir de compensation d'un volume de 9300 m³ à partir de la STEP de Tlemcen.

III.2. Situation géographique

Le périmètre d'irrigation d'Hennaya est situé dans la partie nord du chef-lieu de la commune. Il est situé à 11 km en aval de la station des eaux usées de la ville de Tlemcen.

Il est limité :

- A l'est par la route départemental N°38 reliant Hennaya a Bensekrane
- A l'Ouest par la route nationale N°22 reliant la ville de Tlemcen a la ville d'Oran
- Au nord par la route départementale qui mène au village d'Ain Youcef
- Au sud par la ville d'Hennaya

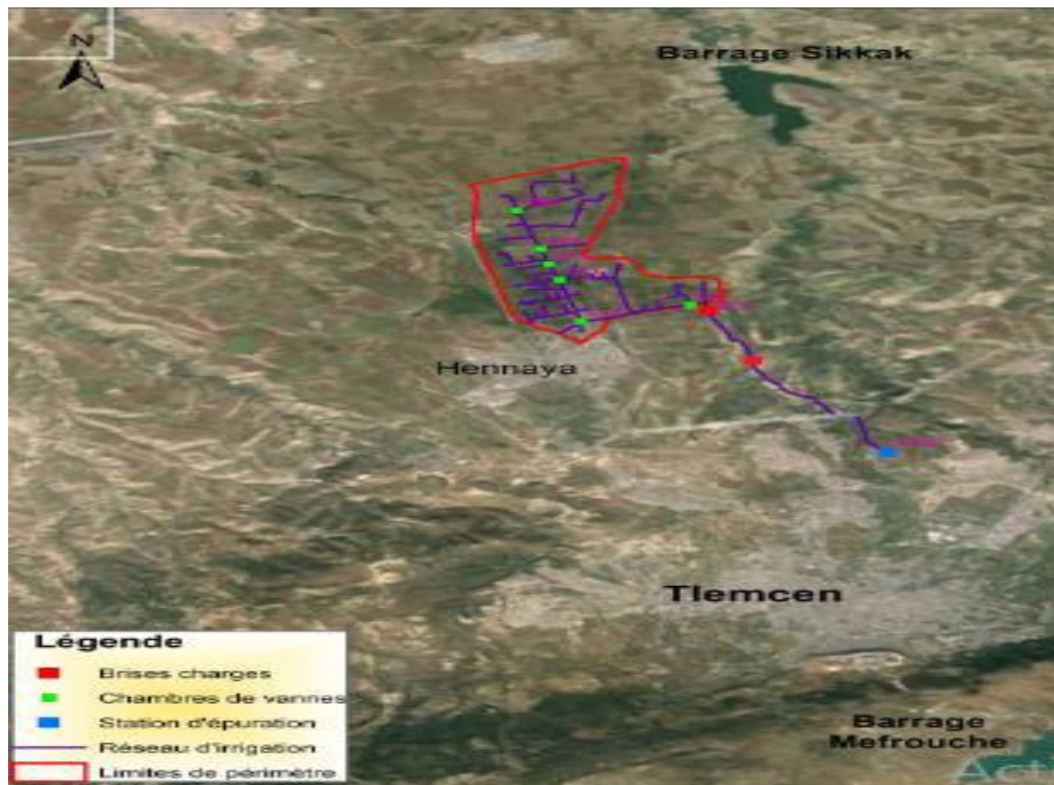


Figure 34: Localisation du périmètre irrigué par les eaux usées traitées

(Google earth)

III.3. Ressources en eau et son cycle

L'alimentation en eau du périmètre est assurée par les eaux usées recyclées en provenance de la station d'épuration de la ville de Tlemcen située a Ain el Hout

Le volume recyclé est environ 11 millions m³/an, soit un volume de 300000 m³/j (volume qui reste non atteint a ce jour).

Cette eau sera stockée au niveau du bassin de compensation localisé juste a la sortie de la station d'épuration d'une capacité de 9300 m³ implanté en tête de l'adduction a la cote 525 m équipé de deux chambre de vannes, suite a la sortie de cette eau elle sera transportée sur deux types de réseau qui se sont réseau d'adduction et réseau de distribution.

- **Réseau d'adduction** : il fait la liaison entre le bassin de régulation et l'entrée du périmètre composé d'une conduite principale DN 700 mm et deux conduites secondaires DN 600mm , DN 800 mm en béton précontraints posées parallèlement qui se séparent a un certain point avec un mètre linéaire de 14880 ml , Sur le long de ce réseau deux brises de charges et des ouvrages de franchissement (CV1 ,CV2,CV3,CV4,CV5,CV6) se sont installés qui ont pour but la régulation du débit de chaque conduite (canalisation DN 600 mm et canalisation DN 800 mm) entre le point aval et le point amont pour l'adapter a la consommation.

- **Réseau de distribution** :représente l'entrée du périmètre composé seulement de canalisation en PVC de différents diamètres allant de 90 mm vers 500 mm avec un mètre linéaire de 26720 ml.

- **Equipements hydromécaniques** : ventouses – vidanges
- **Vannes de sectionnements** : (qui varie entre DN 100 et 500 mm)
- **Bornes** : 102
- **Prises** : 139
- **Piste d'exploitation** : 1200ml
- **Vannes papillon** : (qui varie entre DN 600 et 800 mm)

IV. Contexte climatique

IV.1. Précipitation

La station de M'lila Hennaya enregistre une moyenne annuelle de précipitations de 525 mm. La saison humide se déroule sur une période de huit mois (d'octobre à mai) où la pluviométrie représente 93 % des précipitations totaux annuels, avec des maximums répartis entre Février et Mars dépassant les 15 % et des minimums inférieurs à 6 % en octobre. Une période sèche de quatre mois (du mois de juin au mois de septembre), avec des précipitations minimales en juillet et août, qui représentent généralement 1% des pluies annuels.

IV.2. Le vent

La vitesse du vent reste constante tout au long de l'année.

IV.3. Température

En analysant les températures dans la zone d'étude, on constate que le mois de janvier est le plus froid avec une température comprise entre 8°C et 11,5°C, tandis que le mois d'août est le plus chaud avec une . variation de température de 24,2°C à 26,5°C.

L'air a une température minimale moyenne annuelle qui oscille entre 15,4°C et 18°C

IV.4. L'insolation

Dans cette région, l'insolation est d'environ 3000 heures par an, avec une moyenne de 8,2 heures par jour.

IV.5. La gelée

La gelée est rare, elle ne se produit qu'en janvier et s'étend en moyenne sur une journée par an. En ce qui concerne Tlemcen et Zenata, ce phénomène se produit souvent pendant l'hiver (novembre + avril), avec un maximum de 5 à 8 jours en janvier.

Le climat de la région est de type semi-aride, ce qui entraîne un manque d'eau

IV.6. L'humidité

L'humidité relative est plus élevée pendant les mois d'hiver et plus basse durant l'été, en raison des variations saisonnières des précipitations et des températures.

V. Cadre pédologique

Le cadre pédologique de la région de Hennaya, est influencé par le climat méditerranéen et le relief de la région.

Dans la région de Hennaya, on peut observer des différences. Quatre catégories de sol :

1. Les sols à sesquioxydes de fer sont des sols rouges qui se forment dans un climat méditerranéen, avec une réserve calcique et souvent peu lessivés. Ils sont souvent recalcifiés, profonds et de type limono-argileux.
2. Les sols iso-humiques comprennent des couleurs marron encroûtées et des sols calcimagnésiques avec des carbonates bruns et des calcaires modaux.
3. Les sols iso-humiques : encroûtés marron, ce sont des sols à complexe saturé de type limono-argileux.
4. Un sol qui ne peut pas être irrigué : La présence de la croûte calcaire à une profondeur supérieure à 40 cm.

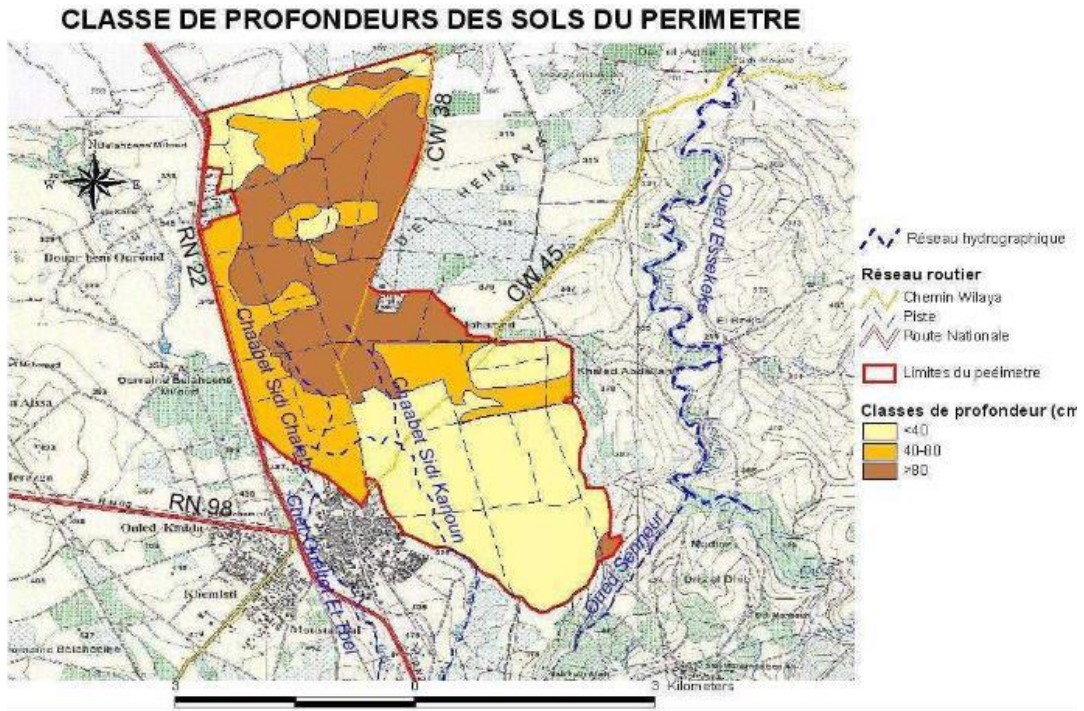


Figure 35: classe de profondeurs des sols du périmètre

Les photos ci-après ont été prises sur le terrain témoignant des cultures pratiquées dans le périmètre d’Hennaya



Figure 36: Des jeunes plantations de avec système d’irrigation goutte à goutte



Figure 37:un citronnerait dans un Sol iso-humiques calcimagnésiques



Figure 38:un verger d'orangers



Figure 39: les arbres oliviers

VI. Mode d'irrigation

Plusieurs méthodes d'irrigation sont employées. Chaque méthode présente des avantages spécifiques en termes de conservation de l'eau, de coût, et de pertinence pour différents types de cultures.

Le diagramme ci-dessous illustre les principaux modes d'irrigation utilisés dans le périmètre de l'Hennaya

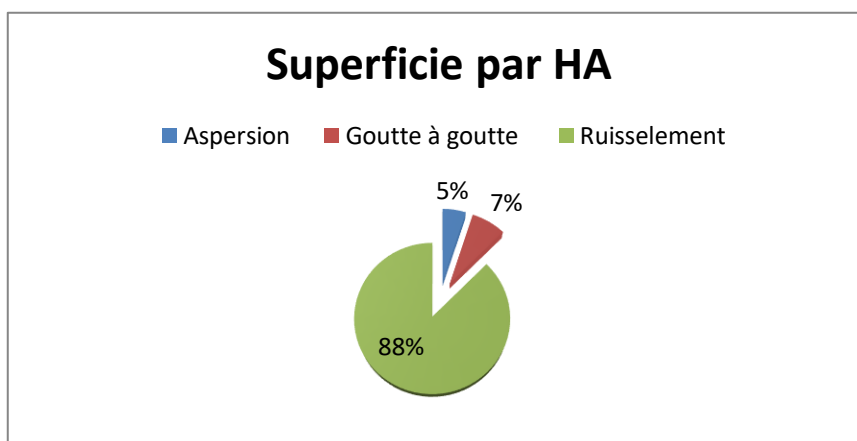


Figure 40: les modes d'irrigation

VII. Les exploitations agricoles

Dans le périmètre le paysage agricole est diversifié et reflète différentes formes d'organisation et de gestion des terres. Ces exploitations agricoles se classifient principalement en trois catégories : les exploitations individuelles, collectives et privées. Le diagramme ci-dessous présente une répartition des exploitations agricoles dans la région de Hennaya, en montrant le nombre d'exploitations pour chaque type.

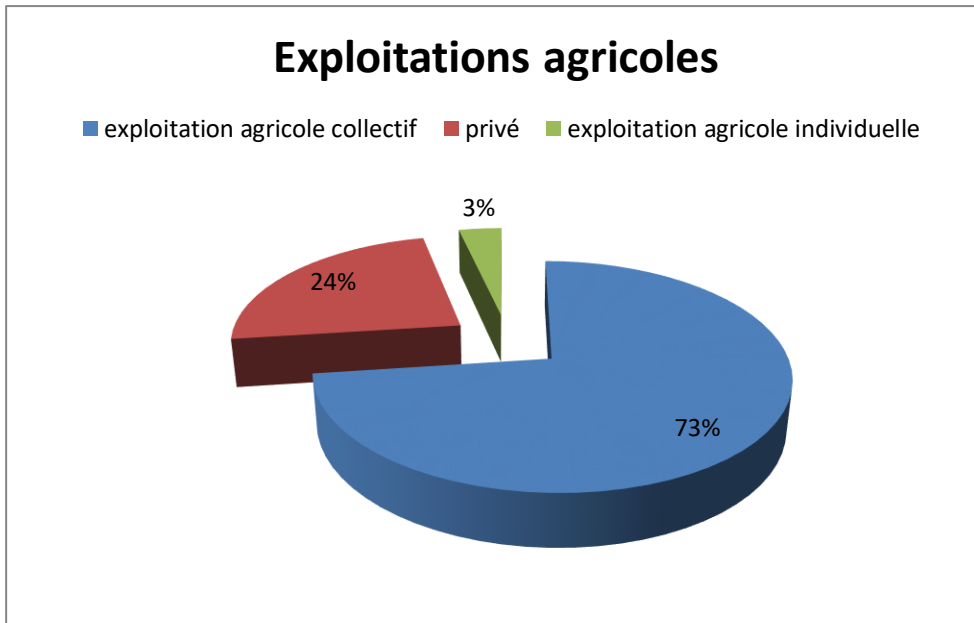


Figure 41: Exploitations agricoles

Conclusion

Ce chapitre a offert une vue d'ensemble essentielle de la réutilisation des eaux épurées dans le contexte agricole de la région de Hennaya, en Algérie. Nous avons examiné en détail la station d'épuration de Tlemcen et son rôle crucial dans le traitement des eaux, ainsi que les caractéristiques du périmètre de Hennaya, incluant son climat, son sol et les aspects visuels à travers des photographies.

La présentation de la station d'épuration a souligné son importance en tant qu'infrastructure clé pour la gestion des ressources en eau, en fournissant un aperçu de son fonctionnement et de ses capacités. Le périmètre de Hennaya, avec ses caractéristiques climatiques et pédologiques spécifiques, a été décrit pour mettre en

lumière les conditions dans lesquelles les eaux épurées sont réutilisées pour l'irrigation.

Ainsi, les prochaines étapes de l'étude pourront se concentrer sur l'analyse des effets de la réutilisation des eaux épurées, en tenant compte des données présentées ici pour une évaluation complète et informée des bénéfices et des défis associés à cette pratique.

Chapitre IV: Analyses et résultats

I. Introduction

Dans le contexte de la rareté croissante des ressources en eau en Algérie, la réutilisation des eaux épurées représente une solution innovante et cruciale pour la gestion durable des ressources hydriques. Ce dernier chapitre se concentre sur l'analyse approfondie des données collectées et des résultats obtenus concernant la réutilisation des eaux épurées dans le périmètre de Hennaya, en se basant sur les informations précédemment présentées sur la station d'épuration de Tlemcen et les caractéristiques agricoles de la région.

Après avoir décrit les infrastructures de traitement et les conditions locales dans les chapitres précédents, cette section vise à examiner en détail l'impacte de la réutilisation des eaux épurées sur divers aspects, notamment l'impact sur la santé humaine et l'impact économique et socio économique, ainsi que les bénéfices et défis associés à cette pratique. L'objectif est de fournir une évaluation complète des conséquences de la réutilisation des eaux épurées, en tenant compte des données empiriques et des observations collectées.

II. Impact de la réutilisation sur la santé

Afin d'étudier l'impact des eaux épurées de la STEP D'Ain El Houtz sur la santé des consommateurs des cultures irriguées par ces eaux on doit tout d'abord vérifier si ces eaux épurées sont effectivement conformes aux normes de qualité et ne présentent pas de risques pour l'environnement et la santé humaine, il est essentiel de procéder à des analyses rigoureuses et régulières.

Une partie fondamentale de cette analyse repose sur la comparaison entre les résultats des analyses physico-chimiques des eaux épurées et les normes nationales algériennes en matière d'épuration des eaux. Afin d'obtenir une vue d'ensemble complète et détaillée, il était prévu d'examiner les analyses physico-chimiques des eaux épurées de la station d'épuration d'Ain Houtz sur une période de trois ans. Cependant, en raison des limitations dans l'accès aux données, nous avons dû restreindre notre analyse aux résultats du mois de mars 2024.

II.1. Résultats et interprétation

Cette analyse nous permettra d'évaluer si les eaux épurées produites par la station d'épuration d'Ain Houtz respectent les normes nationales en vigueur et, par conséquent, si elles sont appropriées pour une utilisation dans les terres agricoles.

Les analyses physico-chimiques effectuées portent sur divers paramètres essentiels pour évaluer la qualité des eaux épurées. Ces paramètres incluent :

a. La température :

La température de l'eau est un paramètre essentiel pour évaluer la qualité des eaux épurées, car elle influence divers aspects du processus de traitement ainsi que la qualité finale de l'eau. En particulier, la température peut affecter la solubilité des oxydants, les réactions chimiques, et la biodiversité des micro-organismes présents dans les eaux usées.

Le graphique ci-dessous illustre la variation de la température des eaux usées durant le mois de mars 2024. Ce graphique compare les températures mesurées avec la limite maximale de 30°C.

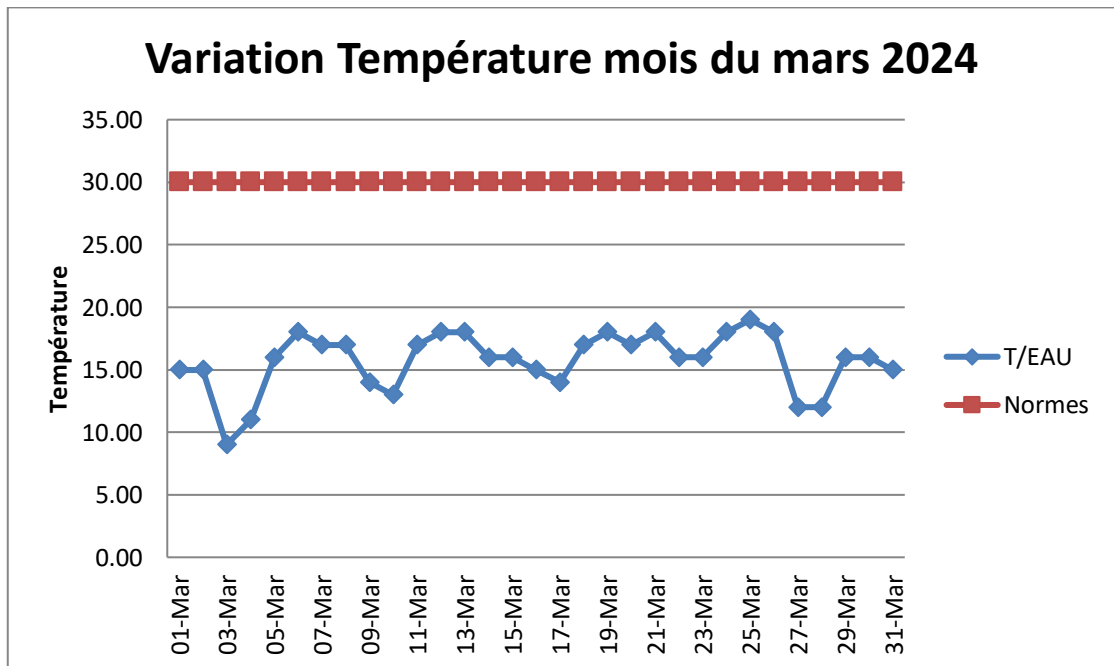


Figure 42: variations de température mois du mars 2024

Le graphique montre les variations des températures mesurées des eaux épurées à la sortie de la station d'Ain Houtz pour chaque jour du mois de mars 2024. La ligne horizontale représente la limite de température maximale de 30°C, tandis que les points ou la courbe montrent les valeurs mesurées chaque jour.

Toutes les valeurs de température sont inférieures à 30°C, cela indique que les eaux épurées produites par la station respectent les normes nationales pour la température. Dans ce cas, les eaux sont considérées comme appropriées pour l'irrigation agricole sans risques supplémentaires liés à des températures élevées.

Il est important de noter qu'il y a une variation de la température au cours du mois. Ces variations peuvent être dues à des facteurs opérationnels ou environnementaux, tels que les conditions climatiques externes

b. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est un indicateur crucial pour évaluer la qualité des eaux épurées. Elle mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement la matière organique présente dans l'eau. Un niveau élevé de DCO indique une concentration élevée de matière organique, ce qui peut entraîner des impacts négatifs sur les sols et les cultures lorsqu'elle est utilisée pour l'irrigation.

Les normes nationales algériennes stipulent que la DCO des eaux épurées ne doit pas dépasser 90 mg/L pour garantir leur sécurité et leur qualité pour une utilisation en agriculture. Les données fournies par la station d'épuration d'Ain Houtz pour le mois de mars 2024 incluent les mesures de DCO prises à quatre dates spécifiques : les 4, 11, 18 et 25 mars.

Le graphique ci-dessous illustre les valeurs de DCO mesurées à la sortie de la station d'épuration pour les quatre dates de mesure en mars 2024. La ligne horizontale à 90 mg/L représente la limite maximale conforme aux normes.

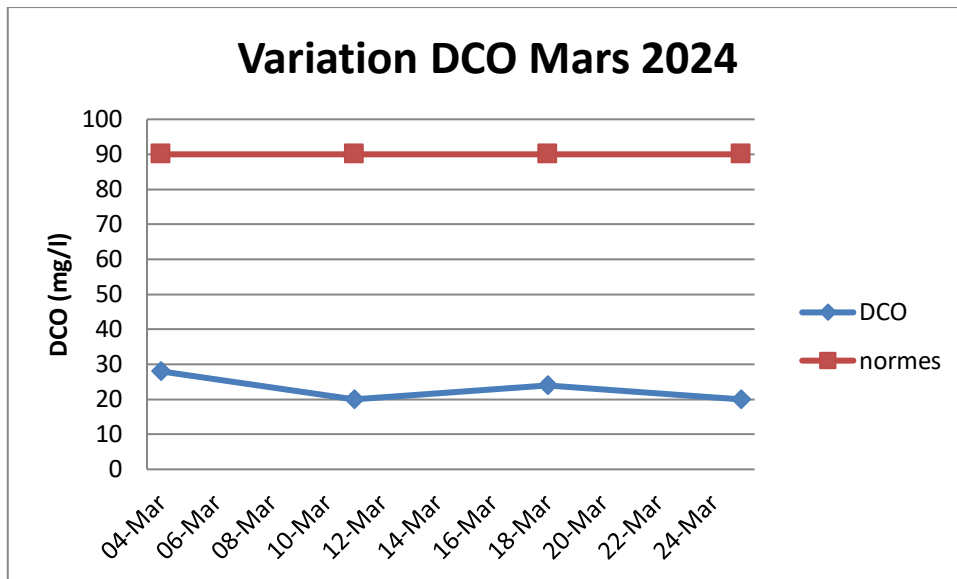


Figure 43: variations de la concentration de la DCO mars 2024

Le graphique montre les valeurs de DCO mesurées pour les dates spécifiées en mars 2024. Une ligne horizontale à 90 mg/l est tracée pour indiquer la limite maximale imposée par les normes nationales

Le graphique montre une variation des valeurs de DCO entre les différentes dates de mesure.

Toutes les valeurs de DCO sont inférieures à 90 mg/L, ce qui indique que les eaux épurées respectent les normes de qualité pour l'irrigation. Cette conformité assure que ces eaux peuvent être considérées comme sûres pour l'utilisation agricole.

c. La Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO₅)

La Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO₅) est un indicateur essentiel de la qualité des eaux usées, mesurant la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer biologiquement la matière organique sur une période de cinq jours. Une faible DBO₅ indique une faible concentration de matière organique, ce qui est souhaitable pour les eaux destinées à des usages comme l'irrigation agricole.

En Algérie, les normes stipulent que la DBO₅ des eaux épurées ne doit pas dépasser 30 mg/l pour être considérée comme conforme pour l'irrigation. Pour évaluer la conformité des eaux épurées de la station d'épuration d'Ain Houtz, les

valeurs de DBO₅ ont été mesurées à quatre dates spécifiques durant le mois de mars 2024 : les 4, 11, 18 et 25 mars.

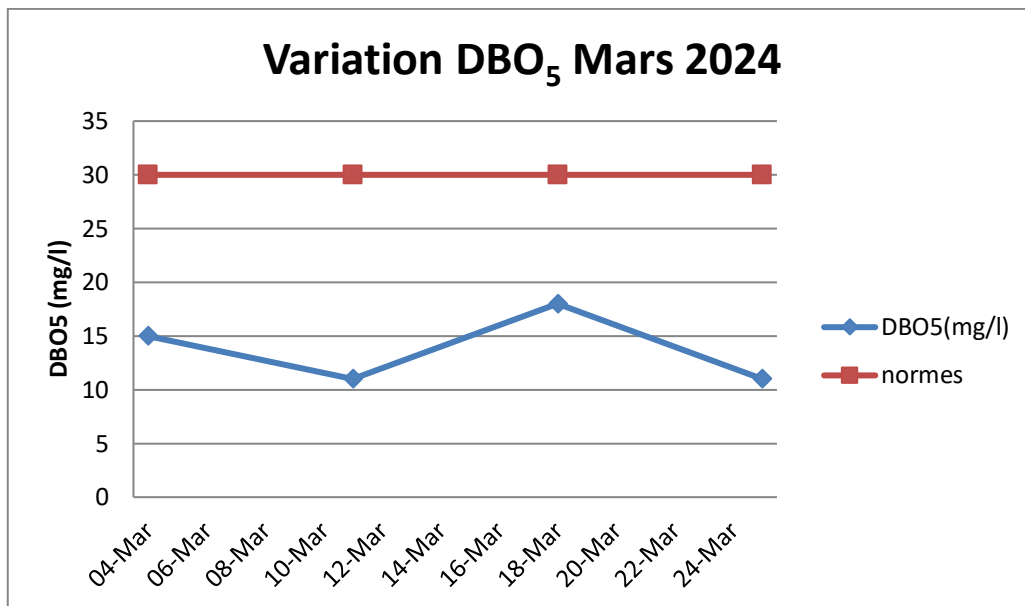


Figure 44: Variation DBO₅ le mois du mars 2024

Le graphique montre les valeurs de DBO₅ mesurées pour les dates spécifiées en mars 2024. Une ligne horizontale à 30 mg/l est tracée pour indiquer la limite maximale selon les normes nationales. Les points indiquent les mesures spécifiques pour chaque date.

Les valeurs de DBO₅ mesurées sont toutes inférieures à 30 mg/l. Cela démontre que les eaux épurées sont conformes aux normes nationales et sont adaptées à l'irrigation.

d. Les Matières En Suspension (MES)

Les Matières En Suspension (MES) représentent des particules solides qui sont présentes en suspension dans l'eau. Leur concentration est un indicateur clé de la qualité des eaux épurées. Des niveaux élevés de MES peuvent entraîner des problèmes tels que l'envasement des sols et la diminution de la disponibilité d'oxygène pour les plantes lors de l'irrigation.

Conformément aux normes algériennes, la concentration de MES dans les eaux épurées ne doit pas dépasser 30 mg/l pour être considérée comme appropriée pour

l'irrigation agricole. Pour évaluer la conformité des eaux épurées de la station d'épuration d'Ain Houtz, les niveaux de MES ont été mesurés à douze dates spécifiques durant le mois de mars 2024 : les 4, 6, 11, 13, 16, 18, 20, 23, 25, 27 et 30 mars.

Le graphique ci-dessous illustre les concentrations de MES mesurées aux dates indiquées. Une ligne horizontale à 30 mg/L marque la limite maximale fixée par les normes.

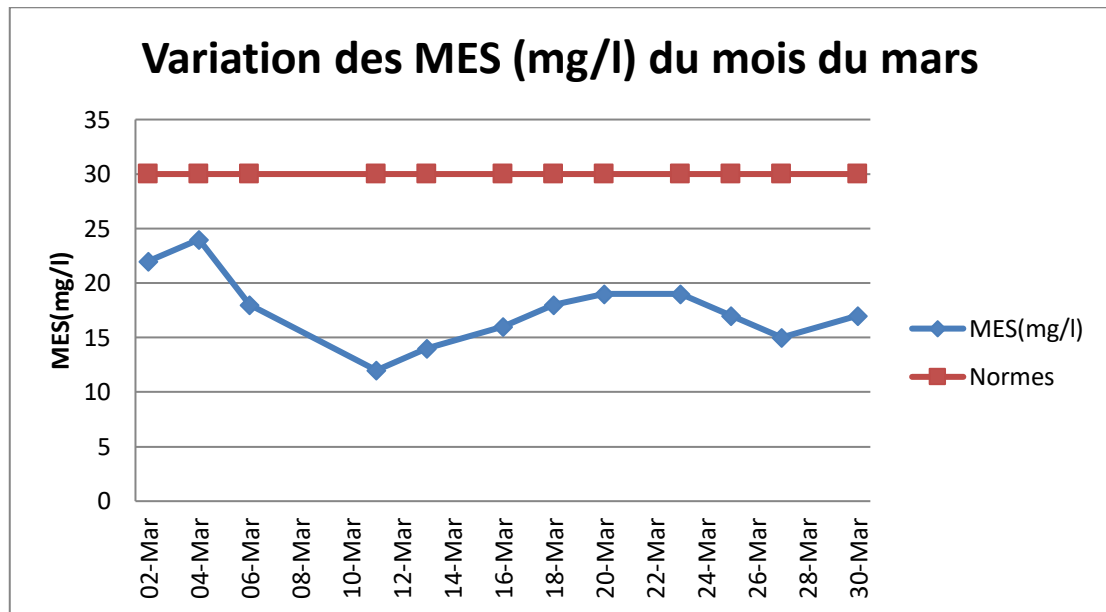


Figure 45: Variation MES(mg/l) le mois du mars 2024

Toutes les concentrations de MES mesurées sont inférieures à la norme de 30 mg/L. Cela confirme que les eaux épurées sont conformes aux critères de qualité requis pour leur utilisation en irrigation, garantissant que les niveaux de particules solides sont suffisamment faibles pour éviter des impacts négatifs.

Les valeurs de MES montrent des fluctuations au cours du mois. La concentration maximale enregistrée est de 24 mg/L le 4 mars, ce qui est bien en dessous de la limite de 30 mg/l mais représente la valeur la plus élevée de la période de mesure.

e. Le pH

Le pH est un paramètre clé pour évaluer la qualité des eaux épurées, car il indique l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Un pH approprié est crucial pour la santé des sols et des cultures lorsqu'elles sont irriguées. Les normes nationales algériennes spécifient que le pH des eaux épurées doit être maintenu entre 6,5 et 8,5 pour garantir leur sécurité et leur efficacité pour l'irrigation agricole.

Pour évaluer la conformité des eaux épurées de la station d'épuration d'Ain Houtz, les valeurs de pH ont été mesurées tout au long du mois de mars 2024.

Le graphique ci-dessous montre les valeurs de pH mesurées à la sortie de la station d'épuration pour chaque jour du mois de mars. Les lignes horizontales représentent les limites minimales (6,5) et maximales (8,5) du pH selon les normes

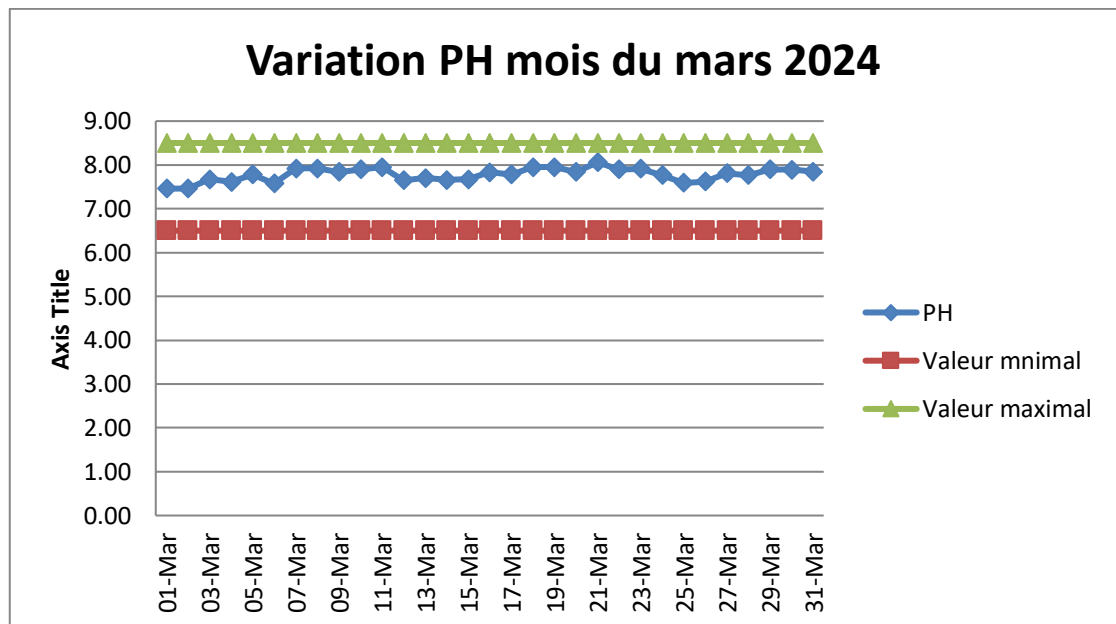


Figure 46: Variation pH le mois du mars 2024

On remarque qu'il y a un **respect des plages normatives** toutes les valeurs mesurées de pH pour le mois de mars se situent dans la plage normative de 6,5 à 8,5. Cela indique que les eaux épurées sont conformes aux normes de pH, assurant que leur acidité ou alcalinité est appropriée pour l'irrigation agricole.

La valeur la plus élevée de pH a été enregistrée le 21 mars à 8,06. Bien que cette valeur soit la plus élevée du mois, elle reste dans la plage normale définie par les normes.

f. N-NO₃

Le nitrate (N-NO₃) est un ion important dans le suivi de la qualité des eaux, car il reflète la concentration d'azote assimilable qui peut influencer la croissance des plantes et le potentiel de pollution des sols. Une concentration élevée de nitrates dans les eaux épurées peut entraîner des problèmes tels que la contamination des eaux souterraines et des effets néfastes sur la qualité des sols.

Pour les eaux destinées à l'irrigation agricole, la norme algérienne stipule que la concentration en Nitrate ne doit pas dépasser 30 mg/l. Pour évaluer la conformité des eaux épurées de la station d'épuration d'Ain Houtz, les niveaux de N-NO₃ ont été mesurés à quatre dates spécifiques en mars 2024 : les 4, 11, 18 et 25 mars.

Le graphique ci-dessous illustre les concentrations de N-NO₃ mesurées aux dates mentionnées. Une ligne horizontale à 30 mg/L représente la limite maximale autorisée par les normes.

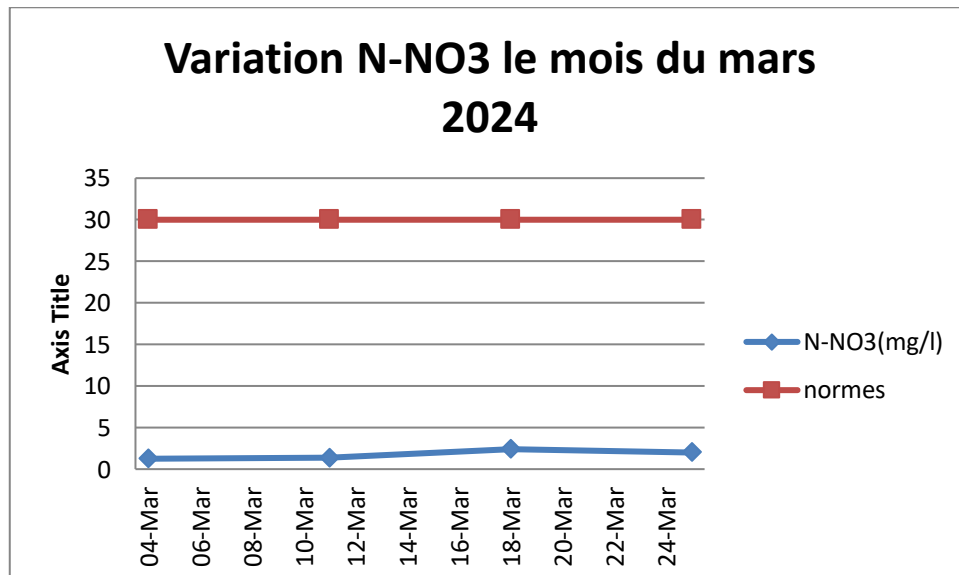


Figure 47: Variation N-NO₃ le mois du mars 2024

Nous remarquons que toutes les concentrations de N-NO₃ mesurées durant le mois de mars sont largement inférieures à la limite maximale de 30 mg/l. La concentration maximale de 2,4 mg/l enregistrée le 18 mars étant relativement faible comparée à la limite autorisée. Cela indique que les eaux épurées sont bien en deçà du seuil critique, ce qui est un indicateur positif pour leur utilisation en irrigation.

Les faibles concentrations de N-NO₃ observées peuvent suggérer une efficacité élevée du traitement des eaux usées en ce qui concerne l'élimination des nitrates, ou une faible charge de nitrates dans les eaux entrantes. Cela est favorable pour éviter des effets négatifs tels que l'enrichissement excessif des sols en nutriments.

g. Conductivité

La conductivité de l'eau est un indicateur clé qui mesure la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, ce qui est directement lié à la concentration en ions dissous tels que les sels, les minéraux, et d'autres substances chimiques. Une conductivité élevée peut indiquer une concentration élevée de ces ions, ce qui peut affecter la qualité de l'eau pour l'irrigation et d'autres usages.

Pour les eaux épurées destinées à l'irrigation agricole, la norme algérienne spécifie que la conductivité ne doit pas dépasser 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens par centimètre). Afin de vérifier la conformité des eaux épurées de la station d'épuration d'Ain Houtz, la conductivité a été mesurée tout au long du mois de mars 2024.

Le graphique ci-dessous montre les valeurs de conductivité mesurées pour chaque jour de mars 2024. La ligne horizontale à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ représente la limite maximale autorisée par les normes.

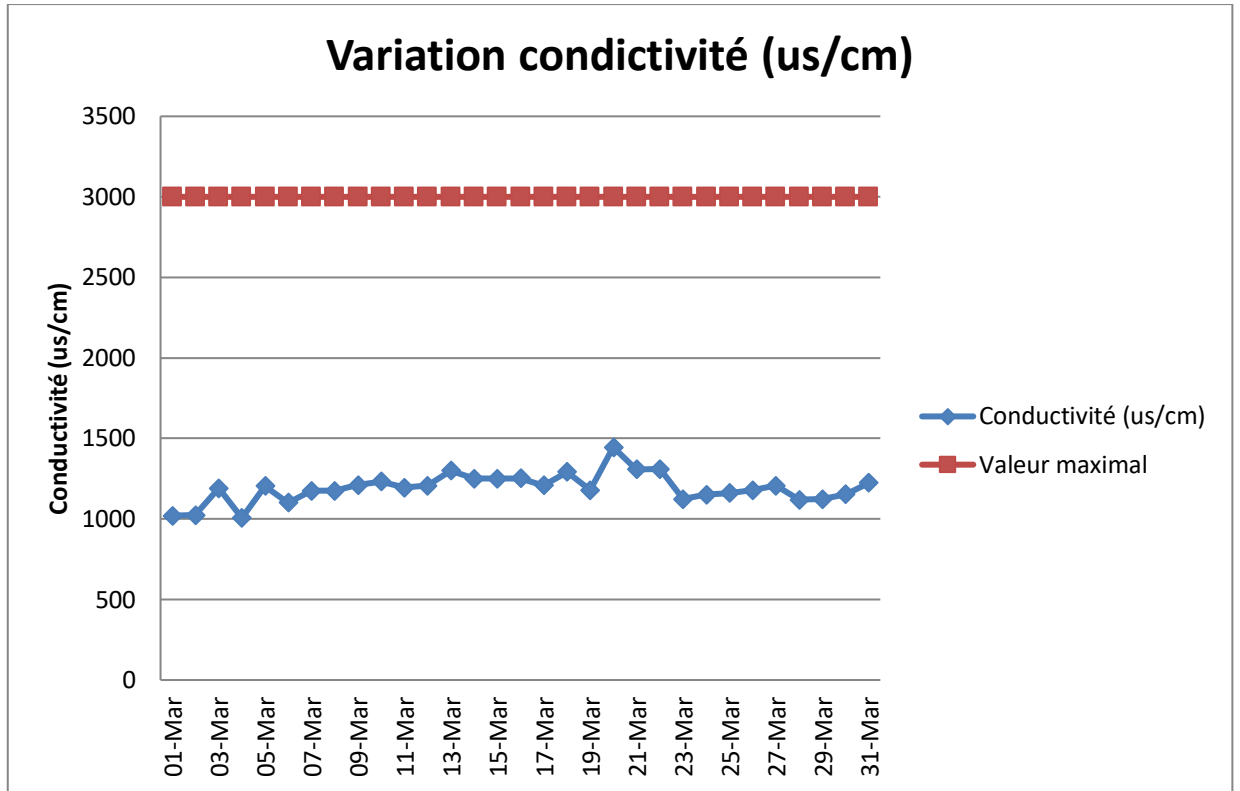


Figure 48: Variation conductivité le mois du mars 2024

D'après la figure précédente nous observant que toutes les valeurs de conductivité mesurées durant le mois de mars sont bien en dessous de la limite maximale de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur maximal a été enregistré le 20 mars avec 1446 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Cela indique que les eaux épurées sont conformes aux normes établies pour l'irrigation agricole.

La conformité à la norme de conductivité assure que les eaux épurées ne présentent pas une concentration excessive d'ions dissous, ce qui est favorable pour l'irrigation et minimise les risques de salinisation des sols.

Conclusion

Les analyses effectuées sur les eaux épurées provenant de la station d'épuration Ain Elhoutz ont révélé que les paramètres étudiés (DCO, DBO₅, pH, température, conductivité, N-NO₃ et MES) respectent les normes de qualité en vigueur. Ces résultats indiquent que les eaux traitées sont conformes aux exigences pour une réutilisation en agriculture, minimisant ainsi les risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement.

III. Impacte sur le développement du secteur de l'agriculture

La réutilisation des eaux épurées joue un rôle crucial dans le développement du secteur agricole, en offrant des solutions durables pour faire face à la raréfaction des ressources en eau. En intégrant ces eaux dans les systèmes d'irrigation, les agriculteurs peuvent accroître leur rendement tout en réduisant les coûts liés à l'approvisionnement en eau. Cette pratique permet également de diversifier les cultures, d'améliorer la sécurité alimentaire et de renforcer la compétitivité des exploitations. En favorisant une agriculture plus productive et résiliente

III.1. Le volume distribué

Dans le cadre de notre étude sur l'impact de la réutilisation des eaux épurées sur les terres agricoles dans le périmètre de Hennaya à Tlemcen, nous avons analysé les variations du volume d'eau irriguée distribué depuis la station d'épuration de Ain Lhoutz, de 2012 à 2023

Les données utilisées pour cette analyse ont été fournies par la Direction de l'Hydraulique et l'Office National d'Irrigation et du Drainage, garantissant ainsi leur précision et leur pertinence pour notre étude

L'objectif est de présenter et d'interpréter les données relatives au volume d'eau distribuée par cette station d'épuration au fil des ans.

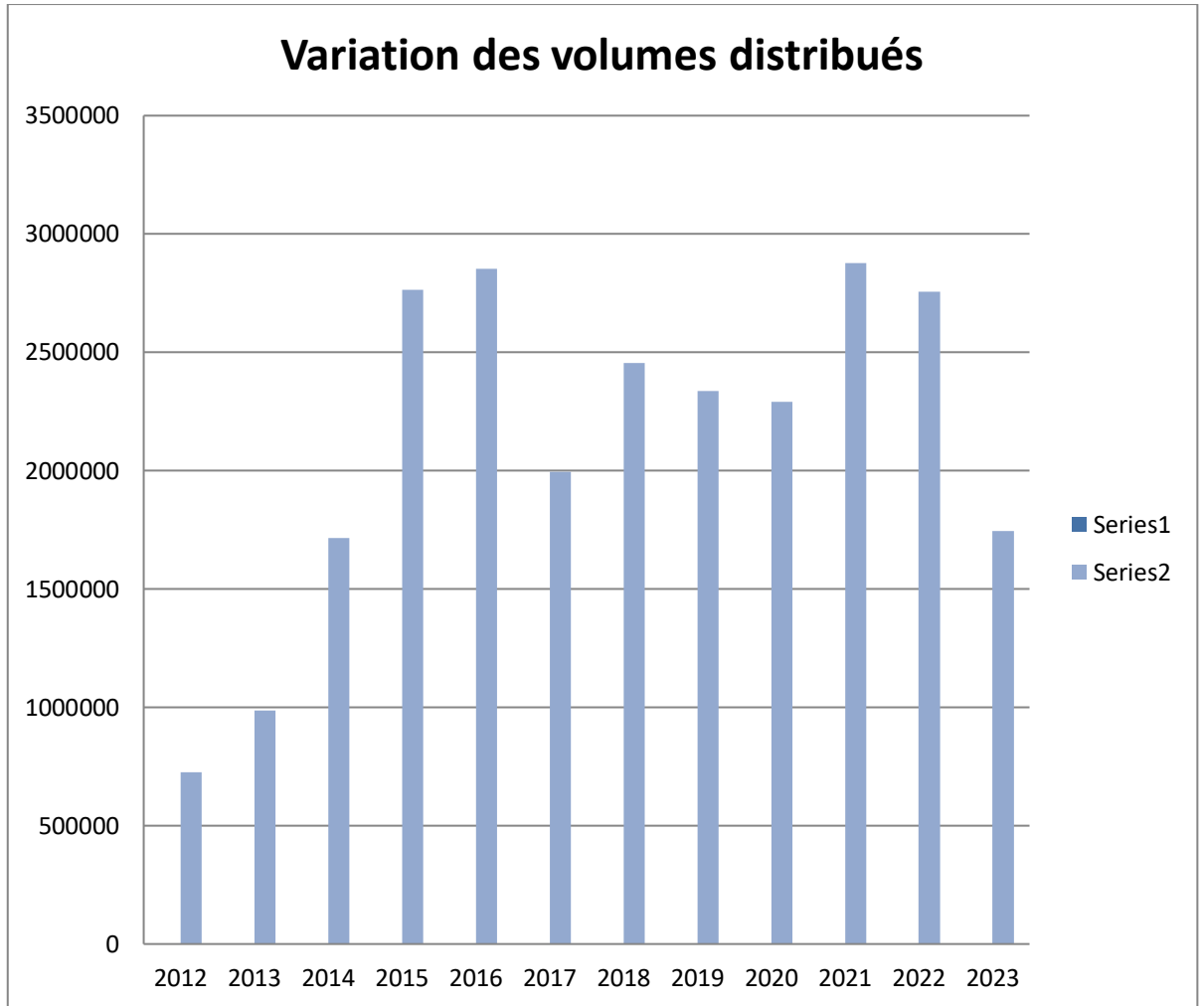


Figure 49: Variation volume distribué de 2012 à 2023

Le diagramme illustre les variations annuelles du volume d'eau distribuée par la station d'épuration d'AinELhoutz, pour la période de 2012 à 2023. Chaque barre du diagramme représente le volume d'eau, mesuré en mètres cubes, que la station a distribué aux terres agricoles de Hennaya chaque année.

Le volume d'eau distribuée a atteint son maximum en 2021, avec 2877600m^3 tandis que le volume le plus bas a été enregistré en 2012 avec 724660m^3 . Cette observation suggère une tendance générale à l'augmentation du volume d'eau disponible pour l'irrigation au fil du temps

En général, nous constatons une augmentation continue du volume d'eau distribuée jusqu'à 2022

Cependant, en 2023, nous observons une diminution notable du volume d'eau

Distribuée par rapport aux années précédentes. Cette baisse pourrait être due à divers facteurs, tels que des problèmes techniques à la station d'épuration.

III.2. La superficie irriguée

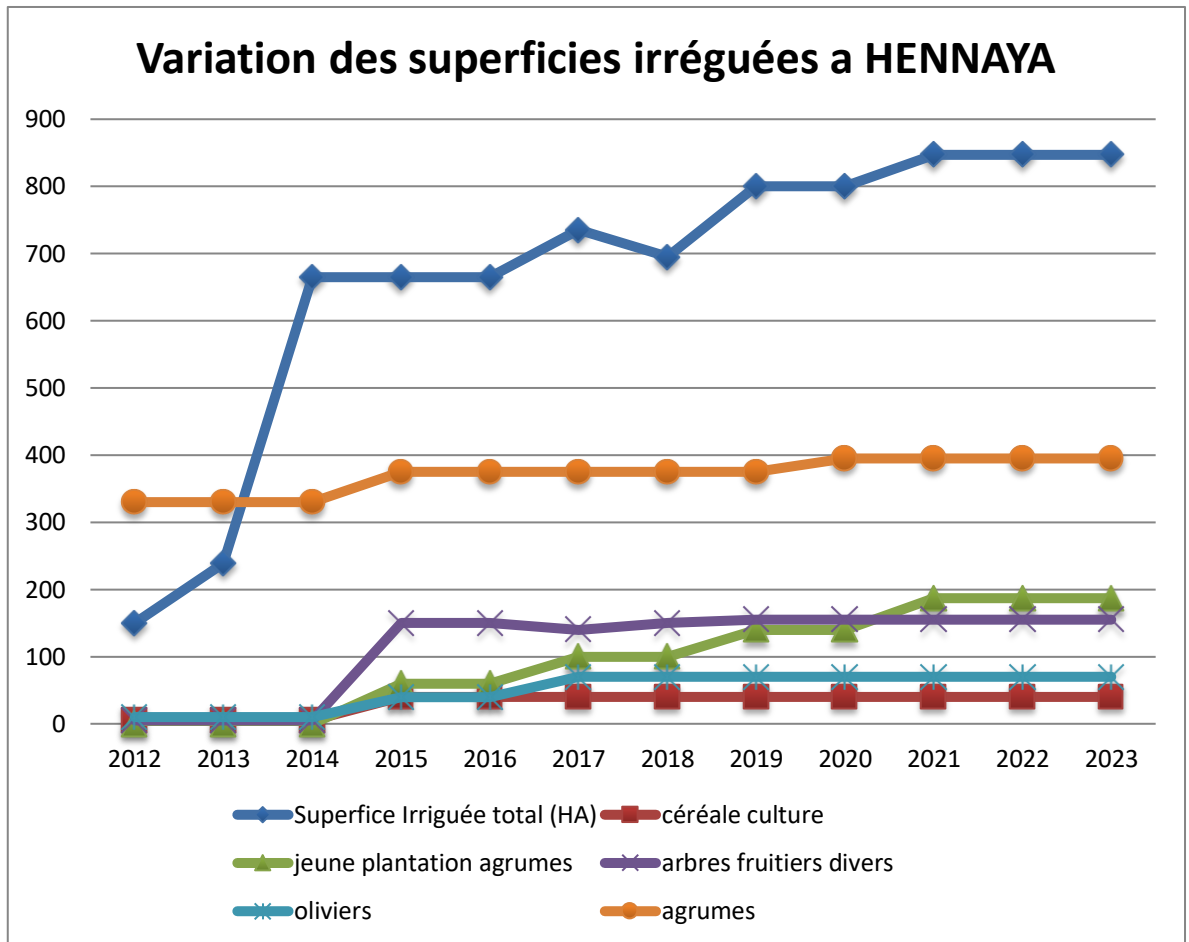


Figure 50: Variation des superficies irriguées a Hennaya

Le graphe ci-dessous montre l'évolution annuelle de la superficie irriguée pour différentes spéculations agricoles dans le périmètre de Hennaya, de 2012 à 2023. Le graphe est divisé en plusieurs courbes représentant les superficies irriguées pour chaque type de culture

Depuis 2014, on remarque une augmentation continue de la superficie irriguée est observée, de 350 HA en 2012 jusqu'à 665 HA en 2014 avec une accélération notable

Le graphe présenté dans ce chapitre illustre également que, parmi les différentes spéculations agricoles, les agrumes occupent une part prépondérante. Cette prédominance des agrumes est indicative de leur adaptation réussie aux conditions d'irrigation améliorées grâce aux eaux épurées

Cependant, de 2021 à 2023, la superficie irriguée est restée relativement stable. Cette stabilité pourrait refléter des facteurs tels que la saturation des capacités d'irrigation ou des ajustements dans les pratiques agricoles en réponse à des conditions climatiques ou économiques changeantes.

III. Variation du rendement agrumes

Dans cette pratique, nous avons décidé de réaliser une étude approfondie des variations des rendements des agrumes pour la période de 2012 à 2022. Cette décision est motivée par le fait que les agrumes occupent une part prépondérante de la superficie irriguée dans le périmètre de Hennaya à Tlemcen. Leur importance dominante dans l'agriculture locale rend essentielle une analyse détaillée de leurs rendements afin de mieux comprendre les impacts de la réutilisation des eaux épurées sur cette culture clé.

En examinant les rendements des agrumes, nous cherchons également à évaluer leur impact économique. Les agrumes jouent un rôle crucial dans l'économie agricole de la région, et comprendre comment leur rendement a évolué au fil des années permet d'évaluer les bénéfices économiques générés par les pratiques de réutilisation des eaux épurées

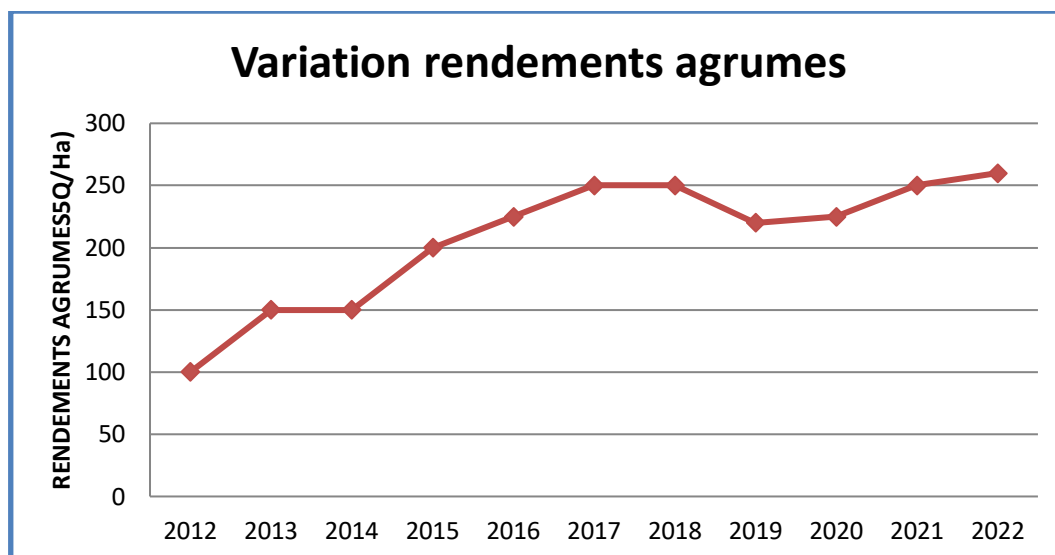


Figure 51: Variation rendements agrumes

Le graphe ci-dessous illustre les rendements des agrumes dans le périmètre de Hennaya à Tlemcen pour la période allant de 2012 à 2022. Chaque point sur le graphe représente le rendement moyen annuel des agrumes, mesuré en tonnes Q/Ha, permettant une évaluation visuelle des variations de productivité au cours des années

Le graphe montre une tendance générale à la hausse des rendements des agrumes au fil du temps.

La valeur maximale de rendement a été enregistrée en 2022, avec un rendement de 260 Q/ha.

Il est également important de noter les périodes de diminution des rendements, notamment en 2019 et 2020

Conclusion

L'analyse du volume distribué et de la superficie irriguée, ainsi que l'évaluation des rendements des cultures d'agrumes de 2012 à 2023, révèle des résultats positifs et témoigne d'un développement notable dans le secteur agricole à Tlemcen. L'utilisation des eaux épurées a permis d'améliorer non seulement la productivité, mais aussi la durabilité des exploitations agricoles. Ces avancées soulignent

l'importance de la réutilisation des ressources en eau pour soutenir une agriculture résiliente face aux défis environnementaux et économiques.

À la lumière des résultats obtenus, plusieurs recommandations peuvent être formulées pour optimiser l'utilisation des eaux épurées et soutenir le développement durable du secteur agricole à Tlemcen.

•**Renforcement des infrastructures** : Investir dans l'amélioration des infrastructures d'irrigation pour maximiser l'efficacité de l'utilisation des eaux épurées et minimiser les pertes.

•**Sensibilisation des agriculteurs** : Mettre en place des programmes de sensibilisation et de formation pour éduquer les agriculteurs sur les avantages de la réutilisation des eaux épurées et sur les meilleures pratiques agricoles.

•**Suivi et évaluation continus** : Établir un système de suivi régulier des rendements et de la qualité des eaux utilisées, afin d'ajuster les pratiques d'irrigation et de garantir la durabilité des cultures.

IV. Impact sur les agriculteurs

L'utilisation des eaux usées épurées offre aux agriculteurs la possibilité d'irriguer leurs cultures tout en contribuant à la durabilité des ressources hydriques. Nous avons sollicité les agriculteurs, car ce sont eux qui sont en contact direct avec les eaux usées traitées et qui peuvent nous apporter des insights précieux grâce à leur expérience sur le terrain. Cette étude vise à évaluer leur satisfaction quant aux rendements obtenus et à identifier les éventuels impacts négatifs sur leur santé.

V. Questionnaire

Nous avons conçu une enquête afin de mieux appréhender les divers aspects liés à l'utilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole. Notre objectif est de recueillir des informations détaillées sur les agriculteurs, les pratiques d'application des eaux usées, les types de cultures réalisées, ainsi que les risques anticipés et les effets sur l'agriculture et l'environnement.

Cette démarche nous permettra d'évaluer si et comment l'expérience impacte les pratiques agricoles et les perceptions des risques associés à cette méthode d'irrigation

1. Les questions et leurs interprétations :

• L'ouverture des agriculteurs à l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation.

	OUI	NON
pourcentage	100%	0%

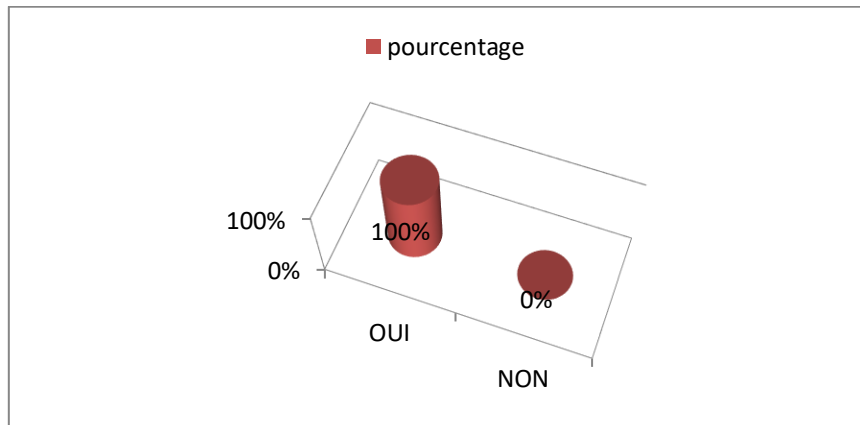


Figure 52: L'acceptation d'irriguer par les eaux usées traitées

La réponse à la première question a révélé que 100 % des agriculteurs sont favorables à l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation. Cette unanimité indique une forte conviction parmi les agriculteurs quant aux avantages potentiels de cette méthode.

- **Avez-vous confiance dans l'utilisation en ces eaux et consommez vous ce que vous récoltez ?**

	OUI	NON
POURCENTAGE	100%	0%

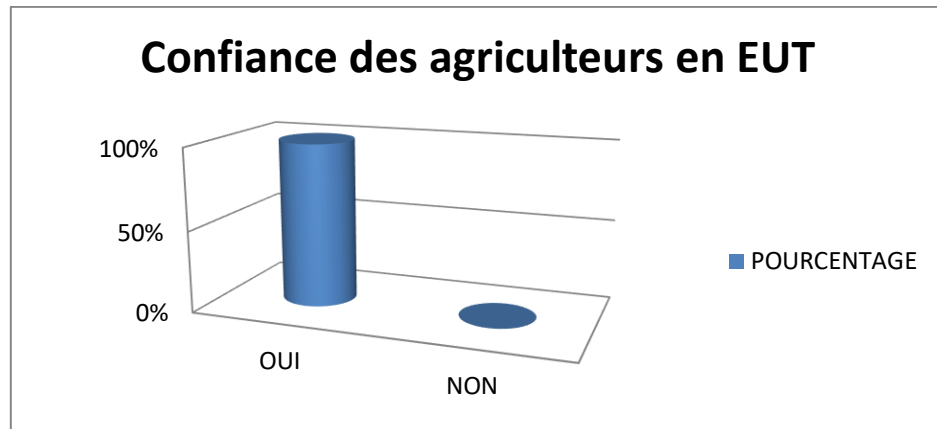


Figure 53: la confiance des agriculteurs en ces eaux

Les agriculteurs montrent une grande confiance envers l'utilisation des eaux usées traitées, conscients que cette approche représente une solution d'avenir face à la rareté croissante des ressources en eau. Beaucoup d'entre eux, bien informés sur la valeur vitale de l'eau, reconnaissent l'importance de préserver les réserves d'eau douce. En adoptant cette méthode, ils s'engagent à donner l'exemple en consommant eux-mêmes les produits issus de ces récoltes, ce qui renforce leur confiance dans la sécurité des eaux épurées. Il est également crucial que les consommateurs soient formés et informés sur cette technique afin de garantir une acceptation et une compréhension adéquates de cette pratique innovante.

•la réutilisation des EUT peut présenter un avantage pour votre exploitation agricole ?

	OUI	NON
POURCENTAGE	100%	0%

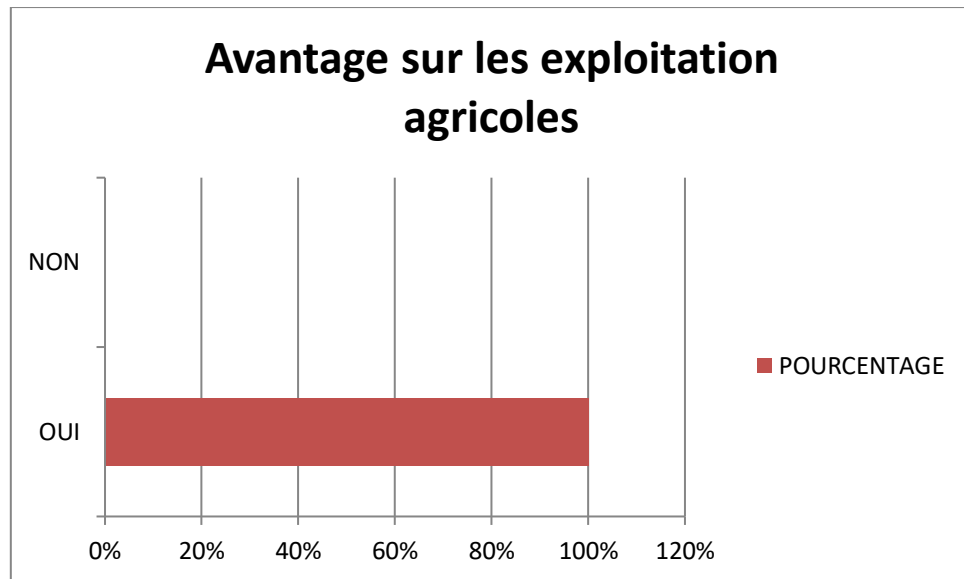


Figure 54: Avantages sur les exploitations agricoles

Les réponses des agriculteurs révèlent une forte satisfaction quant à l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation, et ce pour plusieurs raisons. Outre le fait que ces eaux sont fournies gratuitement, elles présentent une richesse en nutriments et fertilisants qui en fait une ressource précieuse pour les cultures. Les agriculteurs constatent que cette méthode leur permet de réaliser des économies significatives sur l'eau douce, qui devient de plus en plus précieuse.

• **L'impact de ces eaux sur le sol ?**

impact	négatif	positif
pourcentage	0%	100%

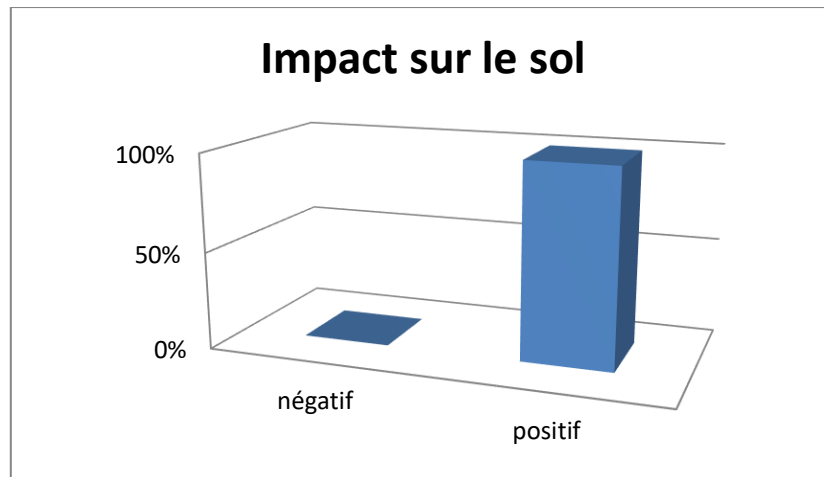


Figure 55: impact d'utilisation de ces eaux sur le sol

D'après les agriculteurs L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation a un impact positif significatif sur la qualité du sol. Tout d'abord, ces eaux sont riches en nutriments essentiels, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont souvent limités dans les sols agricoles. L'apport régulier de ces éléments favorise une fertilisation naturelle et améliore la fertilité du sol, ce qui peut réduire la dépendance aux fertilisants chimiques. En outre, les eaux épurées contribuent à une meilleure structure du sol en augmentant sa capacité de rétention d'eau et en favorisant l'activité microbienne bénéfique.

•Les agriculteurs sont-ils exposés à des risques en pratiquant l'irrigation avec des eaux usées épurées ?

	OUI	NON
POURCENTAGE	0%	100%

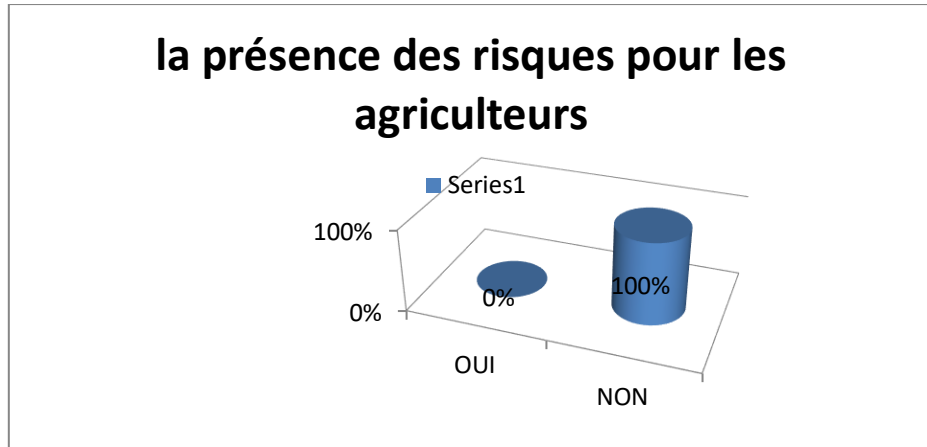


Figure 56: la présence des risques en utilisant les eaux usées épurées

Selon les réponses des agriculteurs, l'irrigation avec des eaux usées épurées ne présente aucun risque pour eux. Cette assurance repose directement sur la formation approfondie qu'ils ont reçue, leur expérience pratique et leur stricte adhésion aux réglementations en vigueur. Les agriculteurs ont souligné que leurs connaissances et compétences acquises leur permettent de gérer efficacement l'utilisation des eaux usées traitées, tout en respectant les normes de sécurité. Cette conformité aux règlements assure non seulement leur protection, mais aussi celle de leurs cultures et de l'environnement. Ainsi, leur confiance dans cette méthode repose sur une solide base de formation, d'expérience et de respect des pratiques réglementaires.

•L'application des recommandations de l'OMS pour une utilisation sûre des eaux usées traitées

	OUI	NON
POURCENTAGE	5%	95%

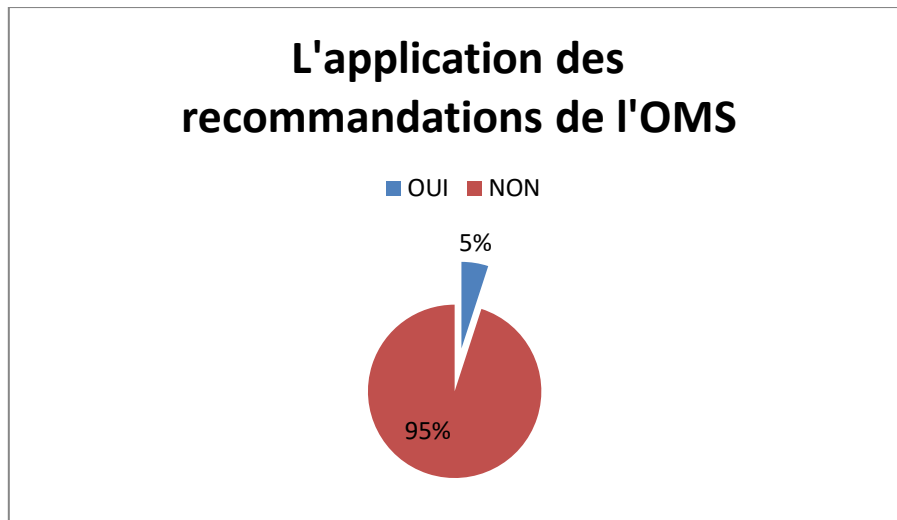


Figure 57: l'application des recommandations de l'OMS

À travers cette question, il apparaît que les agriculteurs ont irrigué leurs cultures avec des eaux usées épurées tout en ayant reçu une formation sur les impacts et les risques associés à leur utilisation. Bien que seule une minorité se réfère directement au guide des directives de l'OMS, il est important de noter que l'ensemble des agriculteurs soutient le programme de formation et de sensibilisation. Ces programmes jouent un rôle crucial en permettant aux agriculteurs de comprendre et de gérer efficacement les eaux usées traitées. En parallèle, les agriculteurs restent focalisés sur l'objectif de produire des récoltes de qualité tout en préservant la performance de leurs sols. Leur engagement envers une gestion appropriée de l'irrigation reflète leur désir d'optimiser à la fois leur production agricole et la durabilité de leurs terres.

•La satisfaction de l'agriculteur concernant les résultats du rendement, tant sur le plan de la quantité que de la qualité.

	OUI	NON
POURCENTAGE	100%	0%

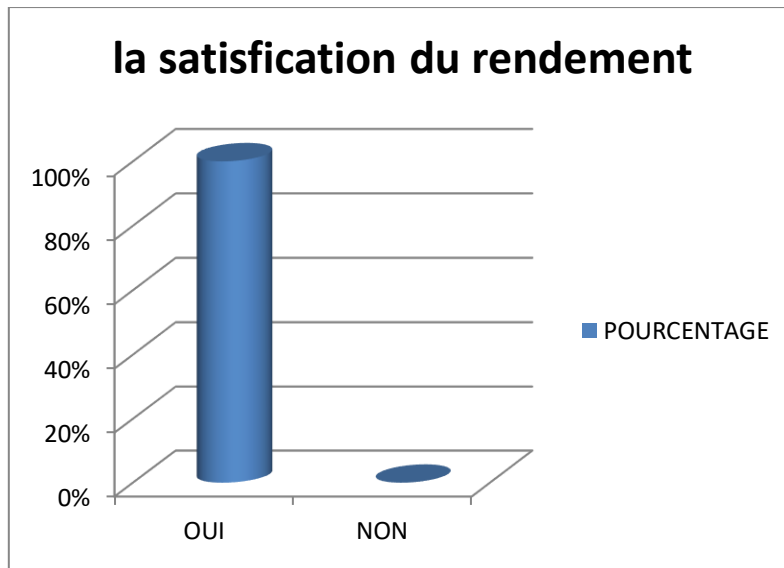


Figure 58: La satisfaction de l'agriculteur du rendement

Chacun cherche à maximiser son profit, l'agriculteur tire parti de l'utilisation des eaux épurées pour ses cultures. Grâce à cette pratique, il constate une amélioration notable des rendements, tant avant qu'après l'application de ces eaux traitées. Cette observation est le résultat de son expérience pratique et des résultats obtenus au fil du temps. En parallèle, il veille à respecter scrupuleusement les réglementations en vigueur, assurant ainsi non seulement l'efficacité de ses méthodes, mais aussi leur conformité aux normes établies

❖ En conclusion, selon les avis des agriculteurs, l'utilisation de ces eaux a rencontré un grand succès. Bien que leur expérience avec la réutilisation des eaux traitées soit encore récente, les résultats obtenus ainsi que les rendements réalisés en peu de temps ont suscité un optimisme notable quant à la réussite de ce projet à long terme

Conclusion

Ce dernier chapitre pratique a permis d'évaluer de manière approfondie l'impact de la réutilisation des eaux épurées sur la santé, l'économie et le secteur agricole. Les analyses effectuées sur les eaux épurées de la station Ain El Houts en mars ont montré que ces eaux respectent les normes de qualité requises pour leur réutilisation, garantissant ainsi la sécurité des agriculteurs et des consommateurs.

Par ailleurs, nous avons observé une augmentation significative du volume et de la superficie irriguée de 2012 à 2023, ainsi qu'une amélioration des rendements agricoles, soulignant les avantages économiques de cette pratique. Enfin, le questionnaire administré aux agriculteurs a révélé une satisfaction générale quant à l'utilisation des eaux usées épurées, confirmant leur acceptation et leur confiance dans cette méthode d'irrigation.

Ces résultats mettent en lumière les bénéfices globaux de la réutilisation des eaux épurées, tant pour la santé publique que pour le développement durable du secteur agricole, tout en ouvrant la voie à des recommandations pour optimiser cette partie.

Conclusion générale

L'eau est une ressource vitale, et la gestion efficace de celle-ci est devenue une priorité face à la pénurie croissante qui affecte de nombreuses régions, dont l'Algérie. Cette étude a mis en lumière l'importance de la réutilisation des eaux usées épurées dans le périmètre irrigué de l'Hennaya

Cette étude a permis de mettre en exergue l'impact positif et multifacette de la réutilisation des eaux usées épurées, en particulier dans le périmètre irrigué de l'Hennaya. Les résultats de l'évaluation pratique, basée sur des analyses des eaux épurées de la station Ain El Houts, révèlent que ces eaux respectent les normes de qualité nécessaires pour leur réutilisation. Cela garantit non seulement la sécurité sanitaire des agriculteurs, mais aussi celle des consommateurs, ouvrant ainsi la voie à des pratiques d'irrigation durables et sécurisées.

De plus, l'étude a mis en lumière une augmentation significative du volume et de la superficie irriguée entre 2012 et 2023. Cette expansion témoigne de l'efficacité de la réutilisation des eaux épurées, qui a non seulement permis d'améliorer les rendements agricoles, mais a également généré des bénéfices économiques tangibles pour les agriculteurs. En effet, les analyses démontrent que l'utilisation des eaux épurées contribue à une gestion plus efficace et durable des ressources en eau, indispensable face aux défis croissants de la pénurie d'eau et des changements climatiques.

Le questionnaire administré aux agriculteurs a révélé une satisfaction générale quant à l'utilisation des eaux usées épurées, témoignant de leur confiance envers cette méthode d'irrigation. Cette acceptation est cruciale pour l'adoption de pratiques innovantes dans le secteur agricole, et souligne l'importance de sensibiliser davantage les acteurs du terrain sur les avantages de cette approche.

En conclusion, les résultats obtenus dans cette étude soulignent la nécessité d'adopter une politique publique proactive en faveur de la réutilisation des eaux usées. Il est essentiel de mettre en place des réglementations adaptées et d'encourager les agriculteurs à adopter des pratiques d'irrigation sécurisées. En favorisant cette approche, l'Algérie pourra non seulement améliorer son système agricole et renforcer la sécurité alimentaire, mais aussi promouvoir le développement durable et inclusif de la région. Les recommandations issues de cette recherche, visant à optimiser

l'utilisation des eaux épurées, s'inscrivent dans cette dynamique essentielle pour garantir un avenir résilient face aux crises hydriques et aux défis environnementaux.

Références Bibliographique

- ATTAB, Sarah. Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local, Mémoire magister , université kasdi merbah Ouargla .2011
- BANGOURA, khalila. Contribution a l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides. Mémoire master, université mohamed khider Biskra,2010
- BELAID , Nebil. Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phyto-absorption des éléments métalliques, thèse de doctorat L'École Nationale d'Ingénieurs, Sfax ,2010
- BENZAGHOU, Yasmine .Effets de l'utilisation des eaux usées épurées et des sous-produits de la STEP d'Ain El Houtz sur la qualité des cultures du périmètre irriguée de Hennaya, mémoire master Université Abou-Bakr Blekaid ,Tlemcen 2021
- BENZARIA, Mohammed . Approche Méthodologique Pour Les Projets De Réutilisation Des Eaux Usées En Irrigation, Université Du QUÉBEC à MONTRÉAL, 2008
- BETOUAF, Nafissa. Réutilisation des eaux usées dans l'agriculture avantages et inconvénients, mémoire master ,Université Abou-Bakr Blekaid, Tlemcen,2012
- BOUMEDIENE. Maamar, 2011 : Cours d'épuration des eaux usées.
- BOUZIDI Youssouf . Réutilisation des eaux usée épurées en Algérie Mémoire master Université de Guelma,2020
- BRAME v.- les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. Serie documents techniques a.f.e.e france.,1986
- Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Conception et dimensionnement Le traitement par boues activées séminaire international sur a réutilisation d'eau usée , Maroc, 2011
- CORINNE Elya : hygiène office décrypte la salmonnose pour vous ,article sur le site www.hygiene-office.fr consulté en mai 2024
- CHAN LI, VINCENT GOETZ, SERGE CHIRON, (2022) technique de traitement de l'eau au sud (article) consulté en Mai 2024 sur www.ird.fr
- DUCHENE p., - les systemes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivites. Documentation technique du fndae. 1990

- ECOSSE David , « La Réutilisation des Eaux Usées ». Mémoire. D .E.S.S Fac science,2001
- FAO (septembre 2003), organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'irrigation avec les eaux usées traites
- Journal officiel de la république algérienne. Les paramètres physico-chimiques, Article41,15JUILLET,2012 sur le site <https://www.joradp.dz/FTP/JO-FRANCAIS/2012/F2012041.pdf>
- MEKHALIF.F , Réutilisation des eaux résiduaires industrielle épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Université du 20 aout 1995 Skikda,2009
- MOUSSAOUI Rafika (2017) l'impact de l'eau Recyclée Sur La Performance De L'Agriculture Doctorat thèse Université Abou-Bakr -Blekaid Tlemcen
- MONCHAIN Gérard , AVIRON Vioet Jacks , réutilisation des eaux usée après traitement ,2020
- ONA, Fiche technique de la STEP d'Ain El Houtz, 2024.
- ONEMA (2020) composition des eaux usées domestique par source d'émission ,article , consultée sur le site www.provencegeoconseils.com en Mai 2024
- RAZI Mohamed ,projet REUE, Master mémoire,France 2012
- Les impacts de la pollution de l'eau (article) consulté en Mai 2024 sur le site www.eaufrance.fr
- Séminaire international sur la réutilisation des eaux usées traitées dans la région arabe, Bureau multi-pays (Algérie, Mauritanie, Maroc, Tunisie) , Morocco. Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement ,2011
- www.wikipedia.org

