

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERS  
ITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE  
& BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE  
LA VIE

FILIERE : SCIENCE BIOLOGIQUE

OPTION : BIOCHIMIE APPLIQUEE

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par : BOURABIA Nermine

HERIZI Khaoula

KERMICHE Niama

Intitulé

**Traitement des eaux usées**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. <b>GUESMIA khawkha</b>	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. <b>RABAH Noura</b>	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. <b>BOUAZIZ Samia</b>	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2024 /2025**

## Remerciement

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"هَلْ كَسَبْتُمْ لَكُمْ جَزَاءً إِلَّا الْجَنَّةَ لِلَّهِ لَمَّا جَاءَتْ"ُ

(سورة الرحمن، الآية 60)

اتقدم بخالص عبارات الشكر والتقدير الى كافة الأساتذة الأفاضل الذين كانوا لهم الفضل بعد الله في تعليمنا وتوجيهنا طوال مسيرتنا الجامعية لقد كنتم لنا شموعا أضاءت طريق الغلم

وبذلت من وقتكم وجهدكم الكثير فكان عطاؤكم اثرا طيبا في نفوسنا وعلما ننتفع به ما حيينا.

نسأل الله عز وجل ان يجعل كل ما قدمتموه لنا في ميزان حسناتكم وان يبارك في اعماركم واعمالكم.

الشكر الخاص للأستاذة الفاضلة رابع نورة مشرفتنا الكريمة جزاك الله عنا كل خير وجعل كل ما بذلته من تعب وجهد في سبيل نجاحنا رفعة لك في الدارين ولا يسعنا أيضا الا ان نتقدم بجزيل الشكر والإخلاص للأستاذ الكريم ناصر حرار الداعم الموجه الذي لم يبخل علينا بعلمه ونصائحه.

كما لا يفوتني ان اشكر استاذتنا بوعزيز سامية قامة من قامات الجامعة وأحد أعمدة الكلية حفظك الله ورعاك.

واستاذة قسمية خوخة هذه الأستاذة التي خدمتنا بلا كلل ولا ملل وكان مرشدتنا ومعيننا بعد الله سبحانه وتعالى.

نشكركم على كل عطائكم وعلى ما زرعتم فينا من قيم لن ننساها ما حيينا.

وفي الختام لا يسغنا الا ان نقول

جزاكم الله عنا كل خير وبارك الله فيكم وفي سعيتكم وكتب اجركم ورفع قدركم.

## Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

«يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا وَبِخَيْرِكُمْ وَأُولَئِكَ هُمُ الَّذِينَ أَوْفَوْا بِالْعَهْدِ وَأَتُوا نِعْمَتَ اللَّهِ إِكْرَامًا»

اللهم كما انعمت فزد وكما زدت فبارك وكما باركت فتمم كما اتممت فثبت.  
بمشيئة من الله عز وجل المعين الأول في كل خطواتي الله سبحانه وتعالى.  
الى العزيز الذي حملت اسمه فخرا والى من كلله الله بالهيبة والوقار، الى من حصد الاشواك، عن دربي وزرع ليا الراحة بدلا منها، الى أبي.  
لم يحي ظهر أبي ما كان يحمل، لكن ليحملني من اجل ينحدي وكنت احجب عن نفسي مطالها فكان يكشف عما اشتري الحجب، فشكرا لكونك أبي.  
وإلى من علمتني الاخلاق قبل ان تعلمها، الى الجسر الصاعد به الى الجنة،  
الى اليد الخفية التي ازالته عن طريق العقبات، ومن ظلت دعواتها تحمل اسمي ليلا ونهارا.  
" امي محبوبتي وملهمتي "  
الى من وهبني الله نعمة وجودهم، الى مصدر قوتي وارضى الصلابة، وجدار قلبي المتين،  
اخوتي واخواتي مريم وبدر الدين وريان ومناسك والى زوج اخي يوسف واولاد اخي رتيل إبراهيم رزان ورهام والى ما ان ضاقت بيا الدنيا وسعت بخطاهم وان سقطت كانوا اول من رفعوني بكلماتهم.  
الى من رافقني بالقلب قبل الدرب صديقاتي وحيباتي.  
ها انا اليوم طويت صفحة من التعب وسجلت في تاريخي فخرا لا ينسى لمن اعد أتسال عن ملامح الوصول فقد رايتها في عيوني،  
تلاشت غيوم التعب وبتسم الأفق بعد عتمة الانتظار، ها هي الخطى التي كانت تتعثر أحيانا قد وجدت مستقرها في قمة الإنجاز،  
بين طيات الطريق تنفست سلاما وفرحنا وامتنان.  
واخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين.

Herizi khaoula.

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمدُ لله أولاً وآخرًا، الذي بِنِعْمَتِهِ تَتِمُّ الصالحات، وبتوفيقِهِ تُحَقَّقُ الغايات  
أُهدِي ثمرةَ تعبي

إلى الله عزَّ وجل، الذي منحني القوَّة والصَّبْر، وأنار دربي بنوره.

إلى أولئك الذين رسموا أحلامهم على جدرانِ الجامعات، وحملوا دفاترهم في طريقيهم إلى الشهادة، إلى طلبة غزَّة الجامعيين  
الذين رحلوا قبل أن تكتمل الحكاية، قبل أن يُنادى بأسمائهم يومَ التخرُّج، فصاروا نورًا لا ينطفئ في سماءِ العلم والكراسة.  
سلامًا على أرواحكم الطاهرة، وموعدنا عند ربِّ لا ينسى.

إلى العزيزِ الذي أحملُ اسمه فخراً، إلى من كلَّله الله بالهيبَةِ والوقار، إلى من حصد الأشواك عن دربي وزرع لي الرَّاحة بدلاً منها،  
إلى أبي الغالي.

إلى من علَّمَتني الأخلاق قبل أن أتعلَّمها، إلى الجسرِ الصاعدِ بي إلى الجنَّة، إلى اليدِ الخفيَّة التي أزالَت العقبات عن طريقي، إلى  
محبوبي: ماما.

إلى من وهبني الله نعمةً وجودهم، إلى مصدرِ قوتي، وأرضي الصلبة، وجدار قلبي المتين، وحيديتي أختي سارة، وإخواني فارس  
وحمزة.

إلى روحي من غابا عن الدنيا، ولم يغب أثرهما عن حياتي... إلى جدِّي وجدَّتي، رحمكما الله وجعل الجنَّة مثواكما، أُهدي تخرُّجي،  
ثمرةَ دعائكما، وحصادَ حبِّكما.

إلى جدَّتي، عزيزة قلبي. وإلى أهلي وعائلي، دعاؤكم كان سلاحي، ومحبتكم نوري في العتمة، شكرًا من القلب إلى من إن ضاقت  
بي الدنيا، وسعت بخطاهم، وإن سقطت، كانوا أوَّل من رفعوني بكلماتهم، إلى من رافقني بقلبٍ قبل الدرب، صديقاتي: تيزيري،  
سارة، سندس، أنفال، ونجمات دربي، يسر الله أمركنَّ يا أغلى عطايا الرب.

ها أنا اليومَ أطوي صفحةً من التعب، وأسجِّل في تاريخي فخراً لا يُنسى. لم أعد أتساءل عن ملامح الوصول، فقد رأيتها في عيوني.  
تلاشت غيومُ التعب، وابتسم الأفقُ بعدَ عتمة الانتظار، وها هي الخطى التي كانت تتعثرُ أحيانًا، قد وجدتُ مستقرَّها في قمَّة  
الإنجاز.

وأخردعو انا أن الحمد لله رب العالمين

وفي الختام، أحمد الله تعالى على توفيقه وإتمام هذا العمل، وأسأله أن يجعله خالصًا لوجهه الكريم، نافعًا ومباركًا.

**Bourabia Nermine.**

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إلى أولئك الذين لم يكونوا يوماً عابرين في حياتي، بل كانوا جذورًا في عمق روحي... إلى من ساندوني دون شرط، وأحبوني دون مقابل، وآمنوا بي حين شككتُ بنفسي... إلى من منحوني القوة حين أوشكت على الانهيار، وكانوا لي النور حين اشتدّ الظلام...

إلى أُمي الحبيبة، نبع الحنان الذي لا يجفّ، وصوت الدعاء الذي رافقني في كل خطوة، يا من علّمتني أن العطاء لا حدود له، وأن الحبّ الحقيقي هو أن تضحي بصمت... كل حرف في هذه المذكرة يحمل شيئًا من قلبك، من صبرك، من حكاياتك التي كانت سلوأي في التعب. أهديك هذه اللحظة، يا من كنتِ دومًا حاضرةً في غيابي، داعمةً في بعدي، وفخورةً بي حتى في ضعفي.

وإلى أبي، ذلك الجبل الذي علّمني أن الرجولة موقف، وأن الإرادة لا تُشتري... يا من حملت على عاتقك همومي قبل أن تُولد، وضحيّ كثيرًا في صمتٍ نبيل، كنتِ دائمًا خلف الستار، تصفق لي من بعيد، وتدفعني لأكون الأفضل، دون أن تنتظر شيئًا بالمقابل... فلك هذا النجاح، فهو جزء من حلمك الذي حملته في قلبي.

إلى إخوتي وأخواتي، أنتم السند حين يميل الجدار، أنتم التفاصيل الصغيرة التي جعلت كل شيء أجمل، وأنتم النور في كل العتمات... لكم مني كل الحب الذي لا يقال بالكلمات.

إلى أصدقائي الذين لم يخذلوني، إلى من شاركوني الدرب بما فيه من سهر وضغط وقلق وضحك... أنتم الصفحة البيضاء في كتابي، التي كلما تعبت، عدت إليها فارتحت.

إلى أساتذتي الكرام، منارة الطريق ونبأة الفكر... أنتم من غرستم فينا العلم، ورَبَّيتم فينا المسؤولية، لكم الفضل بعد الله في وصولنا إلى هذه المرحلة، فلكم كل الشكر والتقدير.

إلى كل من مرّ في حياتي، حتى دون أن يشعر، وترك بصمة لا تُنسى... إلى من قال كلمة طيبة، أو فتح لي بابًا، أو آمن بي يومًا... أنتم جزء من هذا الإنجاز، حتى وإن لم تروه.

وأخيرًا... إلى نفسي، التي صبرت، وثابرت، وسهرت الليالي، وتحملت كل شيء في صمت... كنتِ تستحقين أن تصلي، وقد وصلت. فامضي فخورةً، فهذا الحلم لم يكن سهلًا، لكنه صار حقيقيًا.

**Kermiche Niama**

## ملخص

تتكون مياه الصرف الصحي من المواد الصلبة والسوائل المنقولة بالماء التي يتم تصريفها في شبكات الصرف الصحي، والتي تمثل المنتجات الثانوية للحياة المجتمعية. وتحتوي على مواد صلبة عضوية مذابة ومعلقة قابلة للتحلل الحيوي أو قابلة للتحلل البيولوجي. معالجة مياه الصرف الصحي هي عملية يتم فيها إزالة المواد الصلبة الموجودة في مياه الصرف الصحي جزئياً وتحويلها جزئياً من خلال التحلل من مواد عضوية معقدة قابلة للتحلل البيولوجي إلى مواد عضوية مستقرة نسبياً أو معدنية. تزيل المعالجة الأولية والثانوية معظم الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والمواد الصلبة العالقة الموجودة في مياه الصرف الصحي. ومع ذلك، فقد أظهر عدد متزايد من الحالات أن هذا المستوى من المعالجة غير كافٍ لحماية المسطحات المائية المستقبلية أو لتوفير مياه مناسبة لإعادة الاستخدام وإعادة التدوير. ولذلك، تم إدراج خطوات معالجة إضافية في محطات معالجة مياه الصرف الصحي لزيادة التخلص من المواد العضوية والمواد الصلبة أو لإزالة المغذيات و/أو المواد السامة. وقد شهدت السنوات الأخيرة تطورات جديدة في معالجة المياه. وظهرت بدائل لأنظمة المعالجة التقليدية. وأصبحت المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي مجالاً معترفاً به عالمياً، حيث يسعى الأفراد والمجتمعات والصناعات والدول جاهدين للحفاظ على الموارد المائية الأساسية متاحة ومناسبة للاستخدام. توفر تقنيات معالجة مياه الصرف الصحي المتقدمة، جنباً إلى جنب مع مبادرات الحد من مياه الصرف الصحي وإعادة تدويرها، الأمل في إبطاء - أو حتى وقف - فقدان الحتمي للمياه الصالحة للاستخدام

### الكلمات المفتاحية

مياه الصرف الصحي، المواد العضوية القابلة للتحلل، المعالجة البيولوجية، معالجة مياه الصرف الصحي المواد العضوية القابلة للتحلل .

## **Abstract**

**Wastewater** consists of solids and waterborne liquids discharged into sewer systems, representing the by-products of community life. It contains dissolved and suspended organic solids that are biodegradable or subject to biological decomposition. **Wastewater treatment** is a process in which solids present in **wastewater** are partially removed and partially transformed through degradation from complex biodegradable organic matter into relatively stable or mineralized organic substances. Primary and secondary treatment removes most of the biochemical oxygen demand (BOD) and suspended solids present in **wastewater**. However, an increasing number of cases have shown that this level of treatment is insufficient to protect receiving water bodies or to provide water suitable for reuse and recycling. Therefore, additional treatment steps have been incorporated into **wastewater treatment** plants to further eliminate organic matter and solids or to remove nutrients and/or toxic substances. Recent years have witnessed new developments in **water treatment**. Alternatives to conventional treatment systems have emerged. Advanced **wastewater treatment** has become a globally recognized field, with individuals, communities, industries, and nations striving to keep essential water resources accessible and suitable for use. Advanced **wastewater treatment** technologies, combined with initiatives for **wastewater** reduction and recycling, offer hope for slowing down—or even halting—the inevitable loss of usable water resources.

### **Keywords**

Wastewater, Biodegradable organic matter, Wastewater treatment.

## Résumé

Les **eaux usées** sont des matières solides et des liquides transportés par l'eau et déversés dans les réseaux d'assainissement. Elles représentent les déchets issus de la vie communautaire. Les eaux usées comprennent des matières solides organiques dissoutes et en suspension, qui sont biodégradables ou susceptibles de l'être. **Le traitement des eaux usées** est un processus au cours duquel les matières solides présentes dans les **eaux usées** sont partiellement éliminées et partiellement transformées, par dégradation, de substances organiques complexes biodégradables en substances organiques minéralisées ou relativement stables. Le **traitement** primaire et secondaire élimine la majorité de la demande biologique biochimique en oxygène (DBO) et des matières solides en suspension contenues dans les **eaux usées**. Toutefois, il a été démontré dans un nombre croissant de cas que ce niveau de traitement est insuffisant pour protéger les milieux aquatiques récepteurs ou pour fournir une eau réutilisable pour le recyclage. Par conséquent, des étapes de traitement supplémentaires ont été ajoutées aux stations d'épuration afin d'éliminer davantage de matières organiques et solides, ou encore pour retirer les nutriments et/ou les substances toxiques. Ces dernières années ont vu l'émergence de nouvelles avancées dans le domaine du traitement de l'eau. Des alternatives aux systèmes de traitement conventionnels ont vu le jour. Le **traitement** avancé des **eaux usées** est devenu un domaine d'intérêt mondial, les individus, les communautés, les industries et les États s'efforçant de préserver l'accessibilité et la qualité des ressources essentielles. La technologie de traitement avancé des **eaux usées**, associée aux initiatives de réduction et de recyclage, offre un espoir de ralentir, voire d'arrêter, la perte inévitable des ressources en eau utilisables.

### Mots-clés

Eaux usées, Matières organiques biodégradables, Traitement des eaux usées, Demande biologique en oxygène (DBO).

## Liste des abréviations

**ABS** : Alkyl BenzèneSulfonate

**CET** : Centre d'Enfouissement Technique

**COT** : Carbone Organique Total

**DBO** : Demande Biologique en Oxygène

**DBO** : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**MES** : Matière en suspension

**PH** : Potentiel d'hydrogène

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Les micro-organismes dans les eaux usées.....	7
<b>Tableau 2:</b> classification des caractéristiques physiques des eaux usées.....	8
<b>Tableau 3:</b> Récapitulatif des caractéristiques chimiques. ....	9
<b>Tableau 4:</b> Méthodes de mesure de la charge organique (Bitton, 2005). ....	10
<b>Tableau 5:</b> Matières inorganiques et leur effets (Bitton, 2005). ....	11
<b>Tableau 6:</b> charges de fonctionnement pour les boues activées d'après (DEGREMONT,1989).	20
<b>Tableau 7:</b> Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement (Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009, JORA n° 36 du 21 juin 2009).....	28
<b>Tableau 8:</b> Études mondiales sur les maladies causées par les eaux usées et leurs agents pathogènes (Chakraborty <i>et al.</i> , 2023). ....	31

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Composition typique des eaux usées (Jain <i>et al.</i> , 2021). .....	4
<b>Figure 2</b> : Diverses sources des eaux usées (Jain <i>et al.</i> , 2021).....	6
<b>Figure 3</b> : Station d'épuration STEP (Bourkaib S <i>et al.</i> ,2021). .....	15
<b>Figure 4</b> : Dégrillage (Tebib, 2020). .....	16
<b>Figure 5</b> : Le processus de dégraissage (Tebib, 2020). .....	17
<b>Figure 6</b> : Schéma d'un déssableur (Tebib, 2020). .....	18
<b>Figure 7</b> : Boues activées (Tebib, 2020).....	21
<b>Figure 8</b> : Représentation schématique de la filière "lit bactérien moyenne charge à recirculation + tertre filtrant" (Liénard <i>et al.</i> , 1996).....	22
<b>Figure 9</b> : Lésions cutanées causées par une exposition chronique à l'arsenicose (Kwon <i>et al.</i> , 2004).....	29

## SOMMAIRE

<b>DEDICACE .....</b>	<b>II</b>
<b>REMERCIEMENT .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>

## CHAPITRE I

### GENERALITES SUR LES EAUX USEE

I.1. Définition des eaux usée .....	3
I.2. Type des eaux usée .....	4
I.2.1. Eaux usées domestiques.....	4
I.2.2. Eaux usées industrielles .....	5
I.2.3. Eaux usées agricoles .....	5
I.2.4. Eaux usées pluviales .....	5
I.2.5. Eaux hospitalières .....	5
I.3. Caractéristique des eaux usées.....	6
I.3.1. Caractéristiques biologiques des eaux usées.....	6
I.3.2. Caractéristiques physiques des eaux usées .....	7
I.3.3. Caractéristiques chimiques des eaux usées.....	8
I.4. Impacts du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate.....	11
I.4.1. Effets sur la santé humaine .....	11
I.4.2. Effets environnementaux .....	12
I.4.3. Effets économiques.....	12

## CHAPITRE II

### TRAITEMENT DES EAUX USEES

II.1. Définition de traitement des eaux usée.....	14
II.2. Définition d'une station d'épuration STEP .....	14
II.2.1. Technique utilisée de traitement des eaux usées .....	15
II.2.1.1. Prétraitement.....	15
II.2.1.1.1. Dégrillage .....	16

II.2.1.1.2. Dégraissage.....	16
II.2.1.1.3. Dessablage.....	17
II.2.1.2. Traitement primaire.....	18
II.2.1.3. Traitement secondaire.....	19
II.2.1.3.1. Traitement de la pollution carbonée.....	19
II.2.1.3.2. Gestion de la pollution par les nitrates.....	20
II.2.1.3.3. Gestion de la pollution par le phosphore.....	21
II.2.1.4. Traitement tertiaire.....	23
II.2.1.4.1. Désinfection.....	23
II.2.1.4.2. Elimination des nutriments.....	23
II.2.1.4.3. Traitement de finition.....	23
II.2.1.4.4. Traitement sur charbon actif.....	24
II.3. Gestion des boues issues du traitement des eaux usées.....	24
II.3.1. L'épaississement.....	24
II.3.1.1. Décantation gravitaire.....	24
II.3.1.2. Flottation.....	24
II.3.1.3. Table d'égouttage.....	24
II.3.2. Processus de digestion.....	24
II.3.2.1. Anaérobie.....	25
II.3.2.2. Aérobie.....	25
II.3.3. Processus de déshydratation.....	25
II.3.3.1. Centrifugation.....	25
II.3.3.2. Filtre-presse.....	25
II.3.3.3. Filtre à bandes.....	25
II.3.3.4. Lit de déshydratation.....	25
II.3.4. Application de chaux.....	25
II.3.5. Pratique du compostage.....	26
II.3.5.1. Fermentation.....	26
II.3.5.2. Maturation.....	26
II.3.6. Processus de séchage.....	26
II.3.6.1. Séchage à l'air chaud direct.....	26
II.3.6.2. Séchage thermique indirect.....	26
II.3.6.3. Séchage mixte.....	26
II.3.6.4. CMV (Compression Mécanique de Vapeur).....	26
II.3.6.5. Séchage au soleil.....	26

II.3.7. Méthodes de traitement final des boues .....	26
II.3.7.1. Diffusion .....	27
II.3.7.2. Combustion.....	27
II.3.7.3. Mise en centre de stockage .....	27
II.4. Normes de rejet.....	27
II.5. Maladies associées à l'exposition des eaux usées contaminées.....	28
II.5.1. L'arsenicose.....	29
II.5.2. Choléra.....	29
II.5.3. Dommages endocriniens.....	29
II.5.4. Hépatite.....	30
II.5.5. Infections respiratoires .....	30
II.5.6. Dommages rénaux .....	30
II.5.7. Typhoïde.....	30
II.5.8. Ulcères .....	30

### **CHAPITRE III**

#### **DEFIS ET PERSPECTIVES D'AVENIR**

III.1. Défis techniques .....	33
III.2. Innovations technologiques.....	33
III.3. Éducation et sensibilisation du public.....	34
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>39</b>

#### **ANNEXES**

# **Introduction**

## **Introduction**

Les ressources en eau à travers le monde sont de plus en plus menacées par la pollution due aux rejets massifs de substances nocives. Les effluents issus des activités agricoles, industrielles et municipales contiennent une grande variété de contaminants, tels que les colorants, les métaux lourds, les agents tensioactifs, les pesticides et les produits pharmaceutiques, qui se retrouvent dans les rivières et autres sources d'eau. Face à cette contamination croissante, l'assainissement de l'eau est devenu un enjeu majeur à l'échelle internationale, nécessitant des efforts considérables pour développer des solutions de traitement efficaces (Bouchentouf *et al.*,2021).

Depuis les trente dernières années, la pollution chimique et biologique de l'eau est devenue une préoccupation majeure pour la société, les autorités publiques et le monde industriel. Toutes les activités humaines, qu'elles soient domestiques, agricoles ou industrielles, génèrent des effluents contenant des contaminants indésirables, parfois toxiques, mettant en péril la qualité et la disponibilité des ressources en eau. Dans ce contexte, il est impératif de mettre en place des stratégies adaptées pour préserver ces ressources vitales.

Le traitement conventionnel des eaux usées repose sur une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques permettant d'éliminer les particules insolubles ainsi que les contaminants dissous (Crini *et al.*,2018).

Les eaux usées, issues de diverses sources domestiques, industrielles et agricoles, contiennent une multitude de substances nocives pour la santé humaine et les écosystèmes. Elles représentent une matrice complexe composée majoritairement d'eau, mais également de matières organiques, de nutriments, de métaux lourds et de micro-organismes pathogènes, nécessitant ainsi un traitement rigoureux avant tout rejet dans l'environnement

Ce travail propose d'examiner les différentes sources de pollution, de présenter un aperçu général des étapes de traitement des eaux usées et d'évaluer les avantages et limites des technologies disponibles.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les eaux usée**

## I.1. Définition des eaux usées

L'eau propre constitue un besoin humain fondamental pour le développement multiforme de la société et une économie prospère. Cependant, l'augmentation rapide de la population, l'industrialisation croissante, l'urbanisation étendue et les pratiques agricoles intensives ont entraîné une détérioration continue de la qualité des ressources en eau, générant ainsi des eaux usées qui représentent un problème mondial préoccupant.

Ces eaux usées, provenant de diverses sources telles que les résidences, les industries, les commerces et les activités agricoles, contiennent des matériaux dangereux et nocifs qui les rendent non seulement polluées, mais également dangereuses pour la santé humaine et l'environnement.

Les eaux usées peuvent être définies comme une matrice complexe composée de 99,9 % d'eau, et les 0,1 % restants comprennent des solides en suspension (350–1200 mg/L), des composés organiques tels que les déchets corporels (c'est-à-dire, les excréments, le papier toilette, les déchets alimentaires), des organiques biodégradables dissous (c'est-à-dire, les protéines, les glucides et les lipides), des solides inorganiques (c'est-à-dire, les sédiments, les sels et les métaux), et des particules avec une demande chimique en oxygène de 250–1000 mg/L, plusieurs micro-organismes (jusqu'à  $10^9$  micro-organismes/ml), des métaux lourds, des micropolluants et des nutriments. Près de 63 % des composés phosphatés ont été trouvés sous forme de fraction soluble dans les eaux usées (Jain *et al.*, 2021).

Elles se caractérisent par leur apparence physique, leur composition chimique et leur charge en microorganismes, contenant souvent une forte concentration de matières organiques, de nutriments, de produits chimiques inorganiques, de sédiments et parfois de composés toxiques.

De plus, elles incluent des solides organiques dissous et en suspension, qui sont "putrescibles" ou biologiquement décomposables, et sont généralement classées en deux catégories principales :

Domestiques et industrielles, bien que ces catégories ne soient pas entièrement séparables (Sonune *et al.*, 2004).

Par ailleurs, le rejet non traité de ces eaux dans les plans d'eau naturels entraîne une pollution généralisée, affectant les écosystèmes aquatiques et réduisant la disponibilité des ressources en

Eau potable, Bien que diverses méthodes de traitement des eaux usées aient été explorées au cours des dernières décennies, leur utilisation reste limitée par des contraintes techniques, économiques et environnementales (Jain *et al.*, 2021).

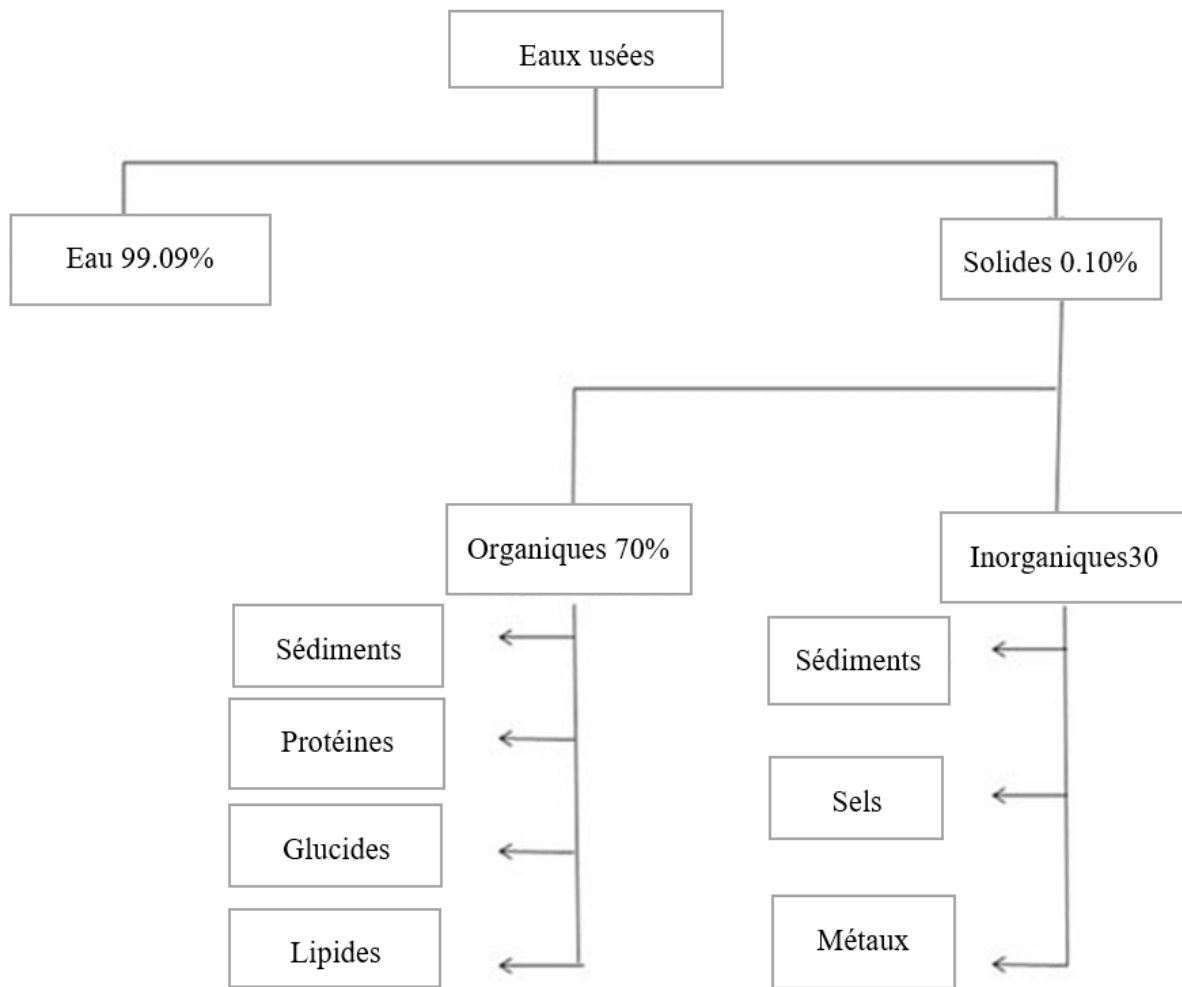


Figure 1 : Composition typique des eaux usées (Jain *et al.*, 2021).

## I.2. Type des eaux usée

En fonction de leur source de génération, les eaux usées sont généralement classées en cinq catégories : les eaux usées domestiques et les eaux usées industrielles et les eaux usées agricoles et les eaux usées pluviales et les eaux hospitalières.

### I.2.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques, également appelées eaux usées municipales, eaux usées sanitaires ou simplement égouts, désignent l'eau utilisée et rejetée par les zones résidentielles, commerciales et institutionnelles d'une ville, d'une commune ou d'une communauté, puis collectée par un système d'égouts. Parfois, des effluents liquides partiellement traités provenant de petites industries sont également collectés et déversés dans les égouts sanitaires, et donc inclus dans les eaux usées domestiques.

En général, les eaux usées domestiques contiennent des matières organiques et inorganiques, ainsi que des micro-organismes, principalement des bactéries. Leur composition dépend de leur

source d'origine. Les eaux usées domestiques sont constituées à 99,9 % d'eau et ne contiennent que 0,1 % de matières solides (Rao *et al*, 2018).

### **I.2.2. Eaux usées industrielles**

En général, les eaux usées générées par les industries de grande et moyenne taille sont appelées eaux usées industrielles. Ces eaux usées varient en quantité et en qualité selon l'industrie et selon le procédé utilisé au sein d'une même industrie. De manière générale, la majorité des industries manufacturières produisent un volume important d'eaux usées à forte charge polluante (Rao, 2018).

Les rejets d'eaux usées provenant d'industries telles que la galvanoplastie, la pâte et le papier, ainsi que la production chimique, contiennent des métaux lourds, des composés organiques toxiques, des composés inorganiques, des solides dissous, des matières en suspension totales et d'autres nutriments (Karia *et al*, 2024).

### **I.2.3. Eaux usées agricoles**

Les eaux usées agricoles sont définies comme les eaux résultant des activités agricoles et pouvant contenir des résidus d'engrais, de pesticides et de métaux lourds. L'utilisation de ces eaux non traitées peut entraîner la contamination des sols et des cultures, nécessitant ainsi leur traitement avant toute réutilisation pour l'irrigation (Rusănescu *et al*, 2022).

### **I.2.4. Eaux usées pluviales**

Elles proviennent du ruissellement de l'eau pluviale. Ces eaux de pluie ne sont pas intrinsèquement polluées, mais elles peuvent représenter une source significative de pollution pour les rivières. Les pluies collectent les contaminants atmosphériques (gaz polluants émis par les industries, etc.) et s'écoulent sur des terrains qui renferment des résidus d'hydrocarbures, de métaux lourds, d'huiles, etc. Quand on parle de « système d'assainissement unitaire », cela signifie que les eaux de pluie sont combinées avec les eaux résiduaires domestiques. Lors de précipitations intenses, les restrictions visant à protéger les installations d'épuration peuvent exiger une libération de ce mélange fortement pollué dans l'environnement naturel (Bouchentouf *et al*, 2021).

### **I.2.5. Eaux hospitalières**

Dans les hôpitaux, l'eau est utilisée dans divers espaces tels que les zones d'hospitalisation, les blocs opératoires, les laboratoires, les unités administratives, les blanchisseries et les cuisines. Au cours de ces processus, sa qualité physique, chimique et biologique se dégrade, la transformant ainsi en eaux usées.

Les eaux usées hospitalières contiennent une grande diversité de substances toxiques ou persistantes, telles que des produits pharmaceutiques, des radionucléides, des solvants et des désinfectants utilisés dans le secteur médical, à des concentrations variables.

Par ailleurs, les eaux usées hospitalières constituent l'un des principaux réservoirs de bactéries pathogènes. Les eaux usées ou les ressources en eau naturelle dans lesquelles ces effluents sont rejetés sont susceptibles de contenir des micro-organismes pathogènes issus principalement des excréctions humaines. Par exemple, dans les établissements de santé, où l'utilisation des antibiotiques est fréquente et intensive, les bactéries résistantes aux antibiotiques peuvent bénéficier d'un avantage sélectif par rapport à leurs homologues sensibles, faisant ainsi des hôpitaux d'importants réservoirs de résistance aux antibiotiques, Diverses sources des eaux usées indiqué sur figure 2 (Verlicchi, 2017).

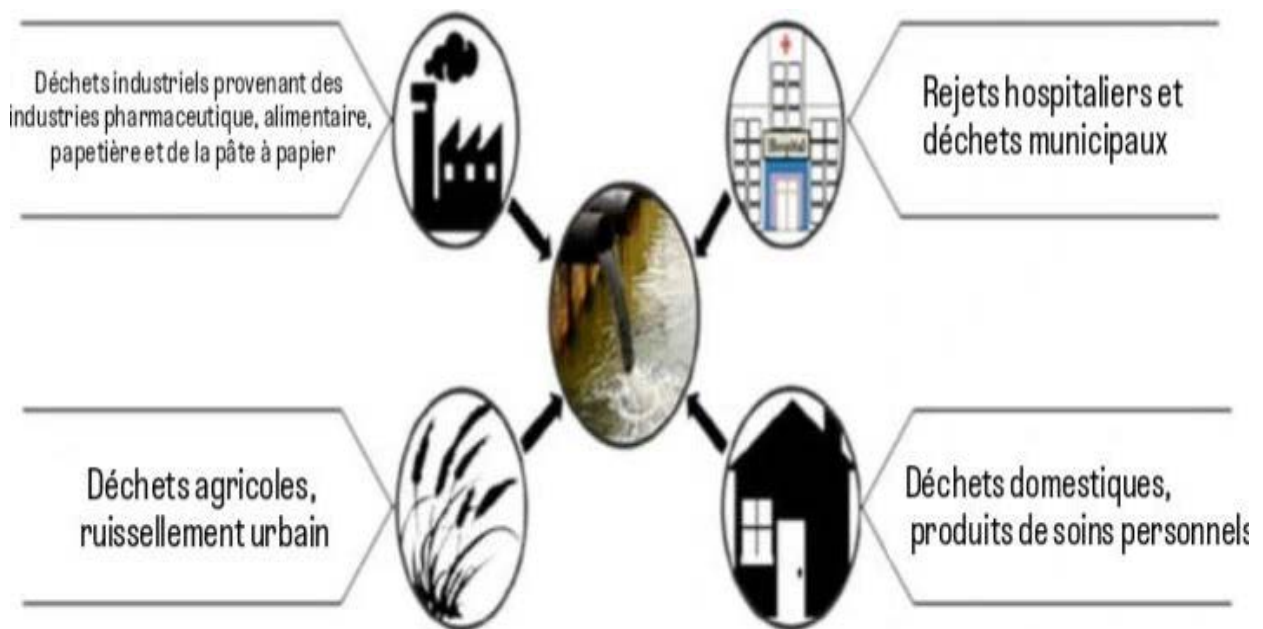


Figure 2 : Diverses sources des eaux usées (Jain *et al.*, 2021).

### I.3. Caractéristique des eaux usées

Les eaux usées sont caractérisées par leurs propriétés physiques et leur composition chimique et biologique

#### I.3.1. Caractéristiques biologiques des eaux usées

Les eaux usées contiennent une diversité de micro-organismes provenant principalement des sources domestiques, alimentaires et industrielles. La nature et la quantité de ces micro-organismes varient selon l'origine des eaux usées. Les principaux groupes présents incluent les bactéries, les protozoaires, les virus, les helminthes et les champignons. Chacun de ces groupes joue un rôle

particulier dans la décomposition de la matière organique ou représente un risque sanitaire potentiel.

Le tableau 1 présente une classification de ces micro-organismes selon leurs caractéristiques et leur rôle dans le traitement des eaux usées.

**Tableau 1:** Les micro-organismes dans les eaux usées (Bitton, 2005).

Type de micro-organisme	Origine	Rôle dans les eaux usées	Exemples
Bactéries	Origine Domestique et industrielle	Décomposition de la matière organique, stabilisation des eaux usées	<i>Escherichia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Alcaligenes</i>
Protozoaires	Présents naturellement dans les eaux usées	Consommation des bactéries, rôle dans l'épuration biologique	Amoebas, Ciliés, Flagellés
Virus	Excrétas humains	Peuvent provoquer des maladies	Entériques, <i>Bacteriophages</i>
Champignons	Naturels dans les eaux usées	Décomposition de la matière organique (cellulose, lignine)	<i>Fungi</i> <i>Saprophytes</i>

### I.3.2. Caractéristiques physiques des eaux usées

Les eaux usées présentent plusieurs caractéristiques physiques importantes qui influencent leur traitement et leur impact environnemental. Ces caractéristiques comprennent la température, l'odeur, la couleur, les solides totaux. Leur compréhension est essentielle pour la conception et l'optimisation des systèmes d'épuration.

**Tableau 2:** classification des caractéristiques physiques des eaux usées (Bitton, 2005).

Caractéristique	Description	Influence /Consequences
<b>Température</b>	Supérieure à celle de l'eau potable en raison de l'activité humaine et des réactions microbiennes.	Affecte les processus biologiques et le niveau d'oxygène dissous ; l'eau Chaude peut perturber les écosystèmes aquatiques.
<b>Odeur</b>	Dépend de l'âge des eaux usées ; les eaux fraîches ont une odeur modérée, les eaux septiques ont une forte odeur due au H <sub>2</sub> S	Peut causer du stress, des nausées, et affecter la qualité de vie.
<b>Couleur</b>	Évolue de gris clair à noir selon l'état anaérobie.	Indique l'âge et la composition : coloration supplémentaire possible par les déchets industriels.
<b>Solides totaux</b>	Contiennent des matières organiques/inorganiques, classes en solides dissous/suspendus, volatils/fixes.	Affectent la DBO, la désinfection et influencent les méthodes de traitement.

### I.3.3. Caractéristiques chimiques des eaux usées

Les eaux usées sont composées majoritairement d'eau ; les autres matières présentes, bien qu'en faible proportion, représentent un danger significatif pour la santé publique et l'environnement. Ces matières, organiques et inorganiques, filtrables ou non, proviennent des usages domestiques, industriels et agricoles. La composition chimique des eaux usées varie selon les communautés et les périodes.

#### I.3.3.1. Matières organiques

Les substances organiques contenues dans les eaux usées proviennent de matières végétales, animales ou de composés synthétiques. Elles sont introduites par les excréta humains, les produits en papier, les détergents, les cosmétiques, les aliments ainsi que les activités agricoles, commerciales et industrielles. Les principaux groupes de matières organiques comprennent les

protéines, les glucides, les huiles et les graisses. L'urée, substance azotée organique, est aussi un composant important des eaux domestiques fraîches.

Ces matières sont généralement biodégradables Certaines substances synthétiques, comme les tensioactifs (L'alkylbenzène sulfonate (ABS), résistant à la biodégradation) et les polluants industriels (Tels que le benzène, le toluène, le dichlorométhane), sont difficiles à biodégrader et peuvent être toxiques. Le tableau suivant illustre les types de matières organiques dans les eaux usées Tableau 1.

**Tableau 3:** Récapitulatif des caractéristiques chimiques(Bitton, 2005).

<b>Matière organique</b>		
<b>Composants</b>	<b>Origine</b>	<b>Propriétés/Impacts</b>
Protéines	humaines, aliments, déchets animaux	Décomposition génère des odeurs nauséabondes
Glucides (sucres, amidon)	Aliments, déchets végétaux	Sucres facilement dégradables ; amidon plus stable
Cellulose et fibres de bois	Papier, déchets végétaux	Résistantes aux bactéries, dégradées par champignons
Huiles et graisses	Cuisine, industries, produits pétroliers	Décomposition lente, pollution, formation de dépôts
Urée	Urine humaine	Biodégradable, source d'azote organique
Tensioactifs (ex : Alkyl Benzène Sulfonate, sulfonates linéaires)	Détergents, produits ménagers	Certains résistants à la biodégradation
Polluants prioritaires (benzène, toluène, etc.)	Rejets industriels	Toxiques, cancérigènes

**Mesure de la teneur organique des eaux usées :**

La DBO mesure la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour dégrader la matière organique. Une eau contenant beaucoup de déchets organiques nécessitera beaucoup d'oxygène, donc une DBO élevée. Malgré cela, la DBO5 reste la méthode standard jusqu'à la mise au point d'une méthode plus rapide et efficace. Le tableau suivant présente les principales méthodes de mesure de la charge organique des eaux usées.

**Tableau 4:** Méthodes de mesure de la charge organique (Bitton, 2005).

Méthode	Principe	Remarques
DBO (Demande Biologique en Oxygène).	Mesure de l'oxygène consommé par les microorganismes pour dégrader la matière organique	Méthode standard (5 jours), ne mesure que la fraction biodégradable de la matière organique.
DCO (Demande Chimique en Oxygéné)	Mesure de la quantité d'oxygène consommée par les réaction chimique	Plus rapide que la DBO
COT (Carbone Organique Total)	Mesure Total de la matière organique	Mesure globale

**I.3.3.2. Matières inorganiques**

Les eaux usées contiennent des substances inorganiques (minéraux, métaux et leurs composés) provenant de sources domestiques et industrielles. Ces substances, souvent stables, sont difficiles à éliminer biologiquement. Exemples et effets :

PH : Doit être maintenu entre 6,0 et 9,0 pour ne pas nuire aux micro-organismes utiles et à la faune aquatique. Un pH inférieur à 5 ou supérieur à 10 compromet le traitement biologique.

Le tableau suivant décrit les principales substances inorganiques présentes dans les eaux usées ainsi que leurs effets.

**Tableau 5:** Matières inorganiques et leur effets (Bitton, 2005).

Composant	Origine /Fonction	Effets
pH	Domestique, industriel	Doit être entre 6,0 et 9,0 pour protéger la faune
Alcalinité	Carbonates, hydroxydes	Indique la présence de rejets industriels
Chlorures	Excrétas, procédés industriels	Peuvent influencer la conductivité
Azote, phosphore	Engrais, déchets	Caused l'eutrophisation
Nitrates	Agriculture, eaux potables	Dangereux pour les nourrissons
Soufre /sulfates	Industriel	Se transforme en H <sub>2</sub> S, corrosif et odorant
Métaux lourds	Industrie	Toxiques, nécessitent traitement spécifique

#### **I.4. Impacts du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate**

##### **I.4.1. Effets sur la santé humaine**

Le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement entraîne la pollution des eaux de surface, du sol et des eaux souterraines. Une fois rejetées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrant dans les aquifères, où elles peuvent affecter la qualité (et donc la disponibilité) des approvisionnements en eau douce. L'océan est souvent la destination finale des eaux usées rejetées dans les fleuves et les lacs.

On peut classer les répercussions du rejet d'eaux usées non épurées ou mal épurées en trois groupes : les nuisances à la santé liées à une baisse de la qualité de l'eau ; les impacts environnementaux défavorables dus à la détérioration des ressources aquatiques et des écosystèmes ; et les conséquences éventuelles sur les opérations économiques (Tchobanoglous *et al.*, 1987).

#### **I.4.2. Effets environnementaux**

Dans les pays où l'approvisionnement en services d'assainissement est limité, où l'usage non régulé des eaux usées non purifiées pour la production de nourriture est répandu, et où le recours à l'eau de surface polluée pour boire et se divertir est habituel, les maladies liées aux eaux résiduaires et à l'assainissement continuent de sévir à grande échelle. Selon l'OMS (2014b), en 2012, près de 842 000 personnes ont perdu la vie dans les pays à faible et moyen revenu en raison d'eau potable polluée, de systèmes de lavage des mains insuffisants ou de services d'assainissement inadaptés ou déficients.

L'amélioration de l'assainissement et du traitement des eaux usées est également une approche cruciale pour lutter contre diverses maladies, notamment le choléra et certaines maladies tropicales négligées comme la dengue, la dracunculose, la filariose lymphatique, la schistosomiase, l'helminthiase transmise par le sol ainsi que le trachome (Chaignat Aagaard-Hansen *et al.*, 2010). Disposer d'installations sanitaires améliorées peut grandement contribuer à réduire les risques pour la santé. De plus, d'autres bénéfices en matière de santé peuvent être réalisés grâce à la mise à disposition de services d'assainissement et de gestion sécurisée des eaux usées (Tchobanoglous *et al.*, 1987).

#### **I.4.3. Effets économiques**

Étant donné que l'accès à l'eau douce est essentiel pour préserver le bien-être économique de toute communauté, une mauvaise qualité de l'eau représente un frein additionnel à la croissance économique. Dans les zones rurales et périurbaines, la productivité agricole est entravée par la mauvaise qualité de l'eau. L'eau polluée peut avoir un impact direct sur les secteurs économiques qui consomment beaucoup d'eau, comme l'industrie, la pêche, l'aquaculture et le tourisme. De plus, elle peut aussi entraver indirectement les exportations de certains produits en raison de restrictions (ou même d'interdictions) liées aux produits contaminés. Quand le rejet des eaux usées nuit à l'environnement, cela engendre des coûts externes (externalités) qui mènent à la disparition des bénéfices potentiels liés à leur utilisation. Un argument économique en faveur de l'amélioration du traitement des eaux usées est qu'il serait possible de minimiser les conséquences négatives potentielles tout en maximisant les profits envisageables. Si l'on considère les eaux usées comme une ressource économique, celles correctement traitées pourraient apporter un avantage tant pour leurs producteurs que pour leurs consommateurs (Tchobanoglous *et al.*, 1987).

# **Chapitre II**

## **Traitement des eaux usées**

### **II.1. Définition de traitement des eaux usée**

Le traitement des eaux usées est un processus visant à éliminer les matières solides et les composés organiques nocifs des eaux usées, à travers une combinaison de procédés physiques, chimiques et biologiques, dans le but de réduire leur impact environnemental et de les rendre réutilisables. Ce traitement commence par l'élimination des solides en suspension et des composés organiques biodégradables lors des étapes primaire et secondaire ; toutefois, cela s'avère souvent insuffisant, nécessitant ainsi l'ajout de traitements avancés pour éliminer les nutriments et les substances toxiques. Les techniques de traitement varient selon la source des eaux usées, et se divisent généralement en traitements biologiques, reposant sur les micro-organismes, et en traitements physico-chimiques, basés sur des réactions chimiques et des procédés physiques. Ces efforts visent à protéger l'environnement et à garantir la durabilité des ressources en eau, dans un contexte de besoin croissant à l'échelle mondiale de préserver l'eau utilisable (Khan *et al.*, 2022 ; Shon *et al.*, 2006).

### **II.2. Définition d'une station d'épuration STEP**

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur. Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus est biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter. Une station d'épuration est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues (Centre d'hygiène et de salubrité publique, 2009).



Figure 3: Station d'épuration STEP (Bourkaib S *et al*,2021).

### II.2.1. Technique utilisée de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées se divise en quatre phases :

- Les étapes de prétraitement.
- Traitement primaire.
- Traitement secondaire.
- Traitement tertiaire.

#### II.2.1.1. Prétraitement

Le but des prétraitements est d'éliminer de l'eau usée les substances qui pourraient compromettre la qualité du traitement ultérieur ou la durabilité des installations, Les sujets concernés sont :

#### **II.2.1.1.1. Dégrillage**

Un système de dégrillage retient les éléments trop grands et encombrants susceptibles d'endommager les pompes ou de bloquer les conduites. Les dégrilleurs contemporains sont équipés de râteaux pour l'élimination des objets, accompagnés de systèmes automatisés pour

L'emballage des éléments non dégrillés. Les refus de dégrillage sont acheminés soit vers un centre d'enfouissement technique de classe 2 (CET II), soit vers une installation d'incinération figure (4) (CANLER,2001).



**Figure 4:** Dégrillage (Tebib, 2020).

#### **II.2.1.1.2. Dégraissage**

Elles sont extraites d'un dégraisseur, une installation où, grâce à la diffusion de petites bulles d'air, les huiles et les graisses remontent à la surface pour y être raclées. Les graisses peuvent être soit traitées sur le site, soit éliminées par incinération ou dans un Centre d'Enfouissement Technique (CET), bien que cette dernière option soit interdite réglementairement depuis 2002.

Les graisses entravent les processus biologiques en restreignant la diffusion de l'oxygène dans l'eau et en nuisant à la sédimentation des boues. En raison de leurs caractéristiques chimiques, elles peuvent aussi être à l'origine d'odeurs désagréables et de bouchage des tuyaux. Elles réduisent également l'efficacité de la déshydratation des boues. Finalement, les substances lipidiques encouragent la croissance des bactéries filamenteuses, qui sont à l'origine de troubles majeurs sur les stations figure 5 (CANLER,2001).



**Figure 5:** Le processus de dégraissage (Tebib, 2020).

#### **II.2.1.1.3. Dessablage**

Un dispositif de dessablage collecte les sables par le biais de la décantation, protégeant ainsi les structures en aval d'un ensablement et préservant l'usure rapide des pompes. Les sables sont aussi acheminés vers le CET. Cependant, des systèmes actuels offrent la possibilité de les recycler par le biais du lavage et de la classification figure (6). (CANLER,2001).



**Figure 6:** Schéma d'un déssableur (Tebib, 2020).

Dans une station d'épuration, le processus de prétraitement débute par le dégrillage, suivi du dégraissage et du dessablage qui sont généralement regroupés au sein d'une même installation. Après avoir éliminé les objets encombrants, les graisses et les sables, l'eau usée peut être acheminée vers le traitement primaire ou directement vers le traitement secondaire.

#### **II.2.1.2. Traitement primaire**

L'étape initiale du traitement implique un processus de décantation. Cette étape permet de retirer une portion des matières en suspension, pouvant atteindre 60 %, ainsi qu'une partie de la matière organique, environ un tiers de la DBO5 entrant (Renou, 2006). On parle alors de boues primaires, fortement organiques et fermentescibles, qui sont dirigées vers la chaîne de traitement des boues pour leur traitement.

Les clarificateurs, également connus sous le nom de bassins de décantation primaire, peuvent être circulaires ou en forme de rectangle, avec une profondeur typique allant de 3 à 5 mètres, et un temps de séjour hydraulique qui varie entre 2 et 3 heures. Les boues primaires, une fois décantées, sont habituellement extraites du plancher des bassins à l'aide de râpeaux à boues qui les grattent en direction d'un puit central. Celles-ci sont ensuite pompées vers les installations dédiées au traitement des boues. Des jets d'eau ou des méthodes mécaniques sont utilisés pour balayer l'écume

à la surface du bassin, d'où elle est aussi aspirée vers les unités de traitement des boues (Pescod, 1992).

Le traitement primaire diminue la pollution entrant dans le traitement secondaire, mais produit un volume conséquent de boues. Cette étape ne permet pas de respecter les limites d'émission réglementaires. La fosse Imhoff, particulièrement appropriée pour les petites stations d'épuration des eaux usées, est une méthode qui associe la sédimentation primaire, la décomposition et l'accumulation des boues (Renou, 2006).

Dans les installations qui opèrent uniquement par procédés physico-chimiques (ce qui est le cas dans de nombreuses villes en bord de mer), l'étape primaire de traitement de l'eau est la seule mise en œuvre. Dans ce contexte, l'efficacité de la décantation est améliorée par un traitement préalable utilisant un coagulant. Ce dernier est combiné à l'eau usée (coagulation) et rassemble les particules et colloïdes faiblement sédimentables en floccs plus denses (floculation), qui sont ensuite retenus par décantation.

La décantation lamellaire, une variante perfectionnée de la décantation traditionnelle, offre aussi le moyen d'optimiser l'efficacité de cette phase tout en réduisant l'espace requis par les installations.

Le traitement primaire n'est pas obligatoire et dans plusieurs stations d'épuration, les eaux usées prétraitées sont directement dirigées vers la phase de traitement secondaire.

### **II.2.1.3. Traitement secondaire**

C'est un procédé biologique visant à supprimer la pollution par le carbone, l'azote et le phosphore.

Le procédé biologique exploite le pouvoir d'auto-purification des microorganismes, dont l'activité est stimulée en les plaçant dans des conditions idéales. Le traitement par biomasse peut se présenter sous diverses modalités : systèmes à culture libre ou ancrée, méthode intensive ou extensive. Peu importe la technologie utilisée, le concept du traitement biologique demeure identique (Renou, 2006).

#### **II.2.1.3.1. Traitement de la pollution carbonée**

Les bactéries hétérotrophes décomposent la pollution organique dans un environnement aérobie. Les substances sont initialement décomposées en molécules simples grâce à l'hydrolyse. Les bactéries exploitent ces substances comme source d'énergie dans des réactions biologiques qui requièrent un oxydant, généralement l'oxygène. Ces réactions garantissent la multiplication active des microorganismes. L'accroissement de la biomasse nécessite l'extraction périodique d'une

quantité semblable de boues afin de maintenir l'équilibre dans le réacteur. Ainsi, le carbone des eaux usées est converti en CO<sub>2</sub> ou en biomasse.

Les charges massiques et volumiques correspondent aux rapports entre la quantité de pollution organique à traiter, estimée en termes de DBO ou de DCO, et respectivement la densité de biomasse présente dans ce volume ou le volume du réacteur. Il s'agit de critères essentiels qui déterminent divers intervalles de fonctionnement, influençant les volumes dimensionnels des réacteurs et l'efficacité du traitement biologique. On évoque donc une charge élevée, moyenne et très basse. Par exemple le tableau 6 fournit les charges massiques des boues activées.

**Tableau 6:** charges de fonctionnement pour les boues activées d'après (DEGREMONT,1989).

	<b>Très faible</b>	<b>Faible</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Forte</b>
<b>Charge massique</b> (Kg DBO <sub>3</sub> . Kg MES.j <sup>1</sup> )	<0,07	0.07Cm<0,15	0,15<C<0.4	> 0.4
<b>Charge volumique</b> (kg DBO <sub>5</sub> . m <sup>3</sup> .j <sup>1</sup> )	<0,4	0.4<C<0,7	0,7 <C<1,5	> 1.5

Les bactéries hétérotrophes sont affectées par la charge polluante et leur réaction varie selon celle-ci. Particulièrement en faible charge, le phénomène de respiration endogène, ou auto-oxydation des bactéries, intensifie la demande en oxygène et par conséquent l'utilisation d'énergie. Cependant, cela génère moins de boues et plus stabilisées. L'azote ne peut être nitrifié qu'à une charge très minimale, en raison du taux de croissance limité des bactéries autotrophes nitrifiantes. C'est pour cette raison que les spécialistes recommandent un fonctionnement à faible charge (Renou, 2006).

### **II.2.1.3.2. Gestion de la pollution par les nitrates**

L'azote est traité en deux étapes distinctes :

**Nitrification :** Ce processus aérobie implique la conversion de l'ammonium en nitrates grâce aux bactéries Nitrosomonas et Nitrobacter. Elle a lieu dans des réacteurs à faible charge en raison de sa lenteur cinétique.

### II.2.1.3.3. Gestion de la pollution par le phosphore

L'élimination du phosphore se fait essentiellement par concentration dans les boues. L'alternance de phases aérobies et anaérobies lors d'un traitement biologique peut permettre l'élimination de 20 à 30 % du phosphore. La déphosphatation biologique peut atteindre des taux de rendement variant entre 60 et 70 %.

#### Technologies de traitement biologique

Parmi la large gamme de procédés existants, nous décrivons les principales technologies :

#### La méthode des boues activées

Elle se sert d'un bassin d'aération rempli d'une suspension mêlant eaux résiduaires et micro-organismes, connue sous le nom de liqueur mixte. Des systèmes d'aération fournissent de l'oxygène afin de faciliter le métabolisme de la matière organique par les micro-organismes.

Suite à l'aération, les micro-organismes sont séparés grâce à la sédimentation. Une portion des boues est réacheminée vers le bassin d'aération, alors que l'excédent est dirigé vers le processus de traitement des boues figure (7), (Renou, 2006).

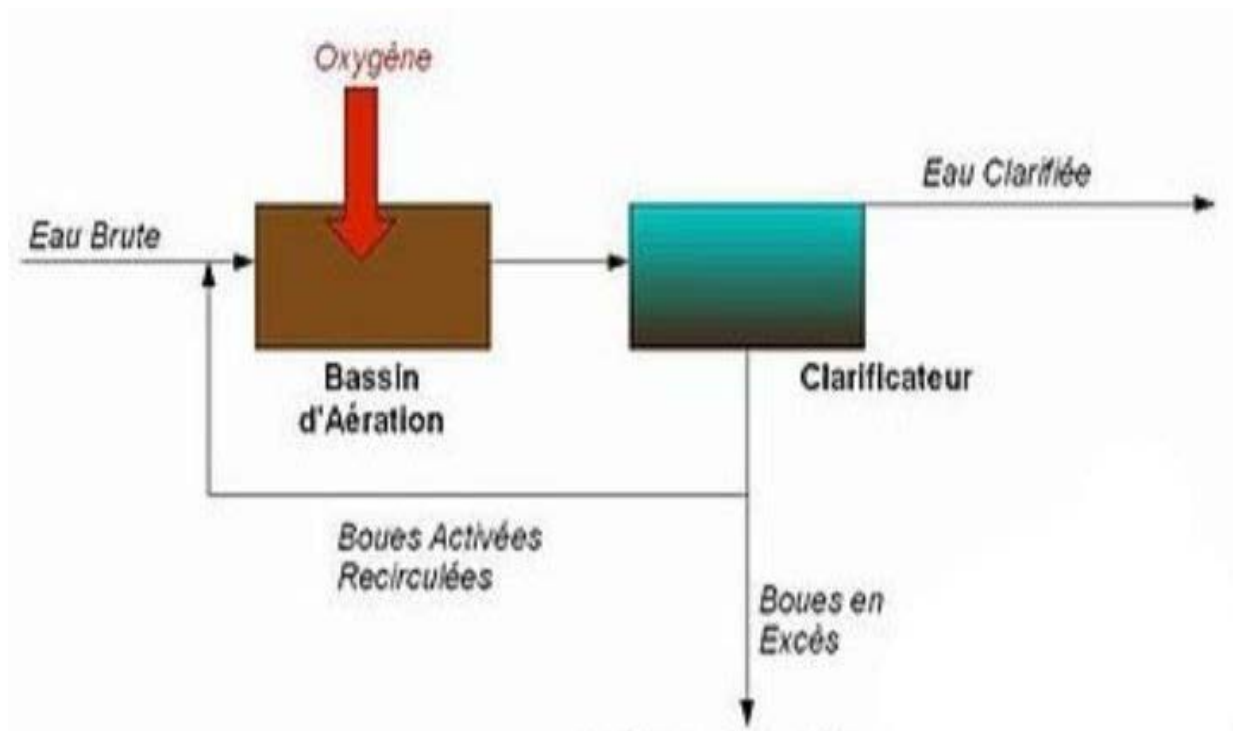


Figure 7: Boues activées (Tebib, 2020).

#### Filtres bactériens ou biofiltres :

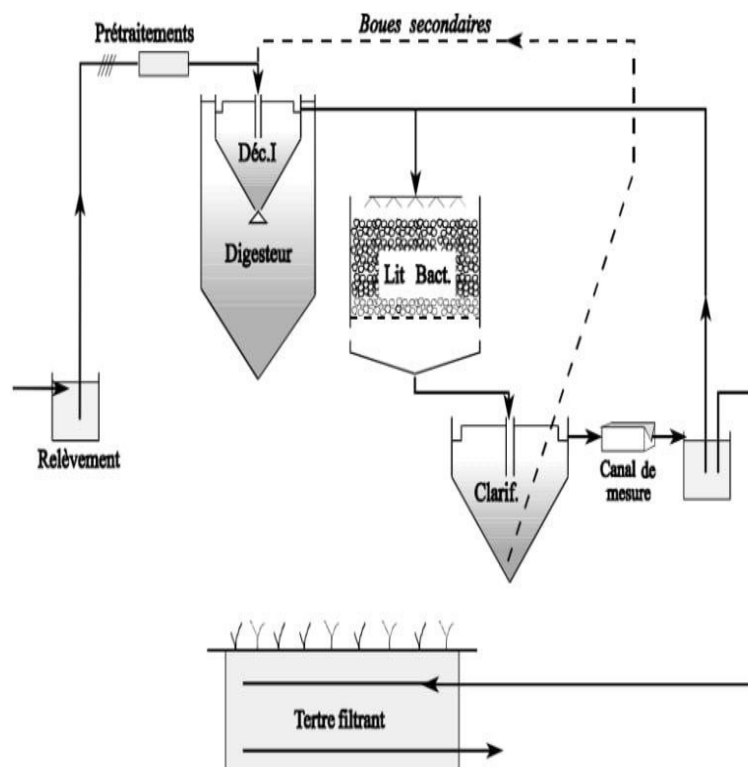
Ce sont des structures remplies de substances (pierres, plastiques...) où les micro-organismes s'installent et créent un biofilm. Les eaux résiduaires y dévalent, facilitant la décomposition de la

matière organique. L'air ambiant fournit de l'oxygène. Des portions de biofilm se détachent, puis sont séparées dans un clarificateur secondaire (Renou, 2006).

### Lit bactérien

L'eau s'écoule par gravité sur un réacteur garni où la biomasse se développe. Le biofilm piège les substances présentes dans l'eau usée qui coule sur le garnissage, avant qu'elles ne soient dégradées par la biomasse fixée. De manière périodique, des fragments de biofilm se décollent du revêtement et sont transportés par le courant de l'eau. Après avoir quitté le lit bactérien, l'eau traverse un clarificateur où elle est séparée des boues, qui sont composées de fractions détachées du biofilm, par procédé de décantation. Le garnissage permet l'oxygénation de la biomasse à travers la circulation naturelle de l'air et la diffusion d'oxygène se fait également à travers le biofilm.

La performance du lit bactérien est donc principalement liée à la qualité du garnissage, qui se distingue par sa surface développée, influençant la quantité de biomasse par unité de volume, et le volume de vide, qui facilite le passage de l'air.



**Figure 8 :** Représentation schématique de la filière "lit bactérien moyenne charge à recirculation + terre filtrant" (Liénard *et al*, 1996).

#### **II.2.1.4. Traitement tertiaire**

C'est une ou plusieurs procédures additionnelles destinées à optimiser un aspect précis de la qualité de l'eau déversée, en vue de sauvegarder l'environnement récepteur dans une zone localement plus exposée. Nous pouvons mentionner les traitements suivants parmi ceux qui existent :

##### **II.2.1.4.1. Désinfection**

Elle est essentielle lorsque les eaux usées traitées sont déversées dans un environnement aquatique destiné à la baignade (plages, zones pour activités nautiques ou touristiques...) ou afin de réduire le danger de contamination humaine (sources d'eau potable, élevage conchylicole...).

Les méthodes traditionnelles pour éliminer les agents pathogènes incluent la chloration, l'ozonation ou encore l'irradiation par des rayons ultraviolets (UV).

Néanmoins, les composés chlorés sont toxiques pour l'écosystème aquatique et le prix de l'ozone est onéreux. C'est pour cette raison que la désinfection par UV est généralement privilégiée comme méthode de traitement.

Il est également nécessaire d'utiliser des eaux claires pour cette technique. Si l'espace le permet, le lagunage peut aussi servir à diminuer la quantité de micro-organismes nuisibles (Renou, 2006).

##### **II.2.1.4.2. Elimination des nutriments**

###### **- Nitrification**

Effectuée dans des conditions anoxiques, favorise la transformation des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en azote gazeux ( $\text{N}_2$ ) grâce à l'action de bactéries hétérotrophes. Elle requiert une source de carbone et peut s'effectuer dans un bassin distinct ou en alternance avec la phase aérobie dans le même bassin. L'approche combinée de la nitrification et de la dénitrification permet d'obtenir des taux d'élimination de l'azote pouvant atteindre 95 %.

Concernant le phosphore, un procédé chimique est fréquemment employé. Cela implique l'ajout de sels métalliques (comme le fer ou l'aluminium), ce qui permet d'obtenir des rendements qui dépassent 85%, même si cela requiert une utilisation conséquente de réactifs.

##### **II.2.1.4.3. Traitement de finition**

Pour certaines applications, il est recommandé d'obtenir des niveaux très faibles en MES, DBO, DCO, azote ou phosphore. On peut alors recourir à diverses méthodes en tant que processus d'affinage. L'intérêt d'implanter une étape de traitement tertiaire réside dans la possibilité de viser le polluant spécifique à traiter et de concevoir l'installation en fonction de cela. C'est la filtration

sur sable qui contribue à la diminution des matières en suspension (MES). On utilise aussi des procédés secondaires tels que la biofiltration ou le lagunage. En définitive, pour les petites stations d'épuration, les lits d'infiltration ou de percolation agissent comme des filtres et assurent un traitement biologique avancé (Renou, S2006).

#### **II.2.1.4.4. Traitement sur charbon actif**

Elle peut s'avérer utile pour la suppression de certaines molécules qui résistent aux traitements biologiques, surtout lorsque la station d'épuration reçoit des eaux provenant de l'industrie. Par exemple, il offre la possibilité d'éliminer la couleur de l'effluent.

### **II.3. Gestion des boues issues du traitement des eaux usées**

Dans le processus de traitement des eaux usées, les contaminants et la biomasse excédentaire sont concentrés dans les boues, qui sont principalement collectées dans les décanteurs primaires et secondaires, ainsi que lors du nettoyage des biofiltres. Ces boues, qui contiennent de 1 à 4 % de matières sèches, requièrent un processus de traitement particulier afin de diminuer leur volume, les stabiliser, les hygiéniser et les préparer pour une valorisation en matière ou en énergie.

Le processus de traitement des boues comporte diverses phases techniques majeures :

#### **II.3.1. L'épaississement**

Diminution du volume par la concentration des substances. On compte de nombreuses techniques :

##### **II.3.1.1. Décantation gravitaire**

Les boues se déposent de manière naturelle dans un bassin, créant une couche plus dense au fond.

##### **II.3.1.2. Flottation**

L'air est injecté sous forme de petites bulles pour permettre aux boues de remonter à la surface, une technique souvent employée en combinaison avec un traitement biologique du phosphore.

##### **II.3.1.3. Table d'égouttage**

La boue est déposée sur une toile en mouvement qui sert de filtre, capturant les particules solides. Centrifugation : exploitation de la force centrifuge pour dissocier l'eau des substances solides ; technique performante en termes d'efficacité, mais gourmande en énergie.

#### **II.3.2. Processus de digestion**

Décomposition de la matière organique afin de stabiliser et minimiser le volume des boues :

### **II.3.2.1. Anaérobie**

Dépourvue d'oxygène, elle génère du biogaz (méthane) qui peut être utilisé comme source d'énergie. Elle se déroule en trois étapes :

Hydrolyse, production d'acide et méthanogenèse. On distingue deux catégories :

Mésophile (35 °C), stable et fréquemment employée.

Thermophile (55 °C), ce qui le rend plus rapide mais nécessite une consommation d'énergie plus importante.

### **II.3.2.2. Aérobie**

En présence d'oxygène, la boue est oxydée par des micro-organismes dans des conditions comparables à celles des boues activées. Elle utilise davantage d'énergie et ne génère pas de biogaz.

### **II.3.3. Processus de déshydratation**

Elle observe l'épaississement ou la décomposition pour améliorer la sécheresse :

#### **II.3.3.1. Centrifugation**

Séparation rapide par l'effet de la force centrifuge.

#### **II.3.3.2. Filtre-presse**

La boue est pressée entre des plaques pour en retirer l'eau ; cela nécessite généralement l'utilisation de réactifs comme la chaux ou les polymères.

#### **II.3.3.3. Filtre à bandes**

Boue floclée pressée entre deux bandes de textile.

#### **II.3.3.4. Lit de déshydratation**

Boue disposée sur un matériau filtrant, l'eau est retirée par absorption et évaporation ; technique facile pour les installations de petite taille.

### **II.3.4. Application de chaux**

On incorpore de la chaux vive ou éteinte à la boue déshydratée afin d'élever le pH et la température. Cela favorise la stabilisation, l'hygiène et peut optimiser l'utilisation agricole (apport de calcaire). Toutefois, cela peut accroître le volume final et provoquer des odeurs désagréables (émission d'ammoniac).

### **II.3.5. Pratique du compostage**

#### **II.3.5.1. Fermentation**

Phase d'aération active permettant la dégradation des matières organiques, la stabilisation et l'hygiénisation des boues.

#### **II.3.5.2. Maturation**

Phase de repos destinée à stabiliser le produit et à optimiser sa qualité agricole. Cette méthode requiert l'incorporation de sous-produits (déchets verts, copeaux de bois) et facilite la production d'un compost utile en agriculture.

### **II.3.6. Processus de séchage**

Evaporation de l'eau résiduelle pour obtenir une sécheresse élevée (pouvant atteindre jusqu'à 90 %), dans le but de diminuer le volume ou en préparation à la combustion :

#### **II.3.6.1. Séchage à l'air chaud direct**

La boue est en contact direct avec l'air chauffé.

#### **II.3.6.2. Séchage thermique indirect**

Transfert de chaleur à travers une paroi sans connexion directe avec l'air.

#### **II.3.6.3. Séchage mixte**

Allie conduction et convection.

#### **II.3.6.4. CMV (Compression Mécanique de Vapeur)**

La vapeur est recueillie, comprimée et ensuite réinsérée pour optimiser l'efficacité énergétique.

#### **II.3.6.5. Séchage au soleil**

Effectué dans des serres ventilées, approprié pour les petites installations. Après traitement, ces boues peuvent être valorisées ou éliminées via l'épandage agricole, l'enfouissement (CET II) ou la combustion, en fonction de leur qualité et de leur destination finale (Renou, S.2006).

### **II.3.7. Méthodes de traitement final des boues**

Les méthodes d'élimination finale des boues jouent un rôle crucial dans le processus de traitement des eaux usées, même si elles ne sont pas toujours réalisées au sein de la station d'épuration, à l'exception de l'incinération dédiée. On distingue trois principales méthodes d'élimination :

#### **II.3.7.1. Diffusion**

Cette méthode implique l'emploi des boues comme engrais agricole, fournissant des composants tels que l'azote et le phosphore. Elle exige une supervision rigoureuse afin de prévenir les dangers de contamination des sols et des plantations.

#### **II.3.7.2. Combustion**

Les boues sont incinérées à une température élevée (environ 900°C), ce qui assure leur élimination complète et leur conversion en résidus de cendres. Cette méthode diminue la quantité de déchets et a la capacité de générer de l'énergie (sous forme de chaleur ou d'électricité), cependant elle requiert une gestion des gaz et des fumées

#### **II.3.7.3. Mise en centre de stockage**

Cette méthode consiste à enfouir les boues dans des installations spécifiques (ISD II), où elles sont isolées des milieux extérieurs. Ce procédé génère des lixiviats et du biogaz, et présente l'avantage de la simplicité, mais la réglementation impose des contrôles stricts, notamment une siccité minimale de 30 % (Renou, S.2006).

#### **II.4. Normes de rejet**

Le tableau ci-dessous présente les valeurs limites maximales des substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration fixées par la réglementation pour les eaux usées non domestiques :

**Tableau 7:** Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement (Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009, JORA n° 36 du 21 juin 2009).

PARAMETRES	VALEURS LIMITES MAXIMALES (mg/l)	PARAMETRES	VALEURS LIMITES MAXIMALES (mg/l)
Azote Global	150	Etain	0.1
Aluminium	5	Fer	1
Argent	0.1	Fluorures	10
Arsenic	0.1	Hydrocarbures totaux	10
Bérylium	0.05	Matériaux de suspension	600
Cadmium	0.1	Magnésium	300
Chlore	3	Mercure	0.01
Chrome trivalent	2	Nickel	2
Chromates hexavalent	0.1	Nitrites	0.1

Les normes et la Tolérance à certains valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels selon les catégories d'installation sont représenté dans l'annexe 1 et 2.

### **II.5. Maladies associées à l'exposition des eaux usées contaminées**

Les eaux usées peuvent contenir une grande diversité d'agents pathogènes (virus, bactéries, champignons, parasites) provenant notamment des déchets animaux. Dans les eaux riches en nutriments (nitrates, phosphates), les algues et cyanobactéries peuvent se développer et libérer des toxines dangereuses. La pollution hydrique provoque ainsi plusieurs maladies affectant le système digestif, nerveux, respiratoire ou hépatique, allant de la simple diarrhée à des maladies graves comme l'encéphalite ou l'hépatite. Des substances toxiques comme les solvants et les pesticides peuvent causer des cancers, des troubles endocriniens, des atteintes hépatiques ou nerveuses. L'eau stagnante favorise le paludisme, tandis que les eaux de baignade contaminées exposent à des maladies comme le choléra, la dracunculose, l'arsenicose ou des infections rénales.

### II.5.1. L'arsenicose

L'arsenicose est une intoxication chronique due à l'ingestion d'eau riche en *arsenic* (au-delà de 0,01 mg/l selon l'OMS). Elle peut causer des cancers (peau, vessie), des maladies pulmonaires, hépatiques et rénales, ainsi que des troubles cardiovasculaires et nerveux. Les cas graves mènent à des symptômes aigus comme *confusion*, *diarrhée sévère* ou *coma*. En Inde, certains États sont particulièrement touchés par cette contamination des eaux souterraines (Bej et al., 2023).



**Figure 9:** Lésions cutanées causées par une exposition chronique à l'arsenicose (Kwon *et al.*, 2004).

### II.5.2. Choléra

Causé par la bactérie *Vibrio spp.*, le choléra se propage dans les eaux sales. Il entraîne des diarrhées aiguës, une déshydratation sévère, voire la mort. Il peut aussi être contracté lors de baignades dans des eaux cotaminées (Bej *et al.*, 2023).

### II.5.3. Dommages endocriniens

Certaines infections bactériennes ou polluants causent des déséquilibres hormonaux : diabète, troubles de poids. Le traitement repose sur un suivi médical et une thérapie hormonale dans certains cas. Par exemple, des études ont montré que l'exposition au bisphénol A (BPA), un

perturbateur endocrinien présent dans certains contenants plastiques, peut altérer le fonctionnement hormonal et favoriser l'apparition de maladies métaboliques comme le diabète de type 2 et l'obésité (Bej *et al.*, 2023).

#### **II.5.4. Hépatite**

Les infections virales hépatiques provoquent une inflammation du foie ainsi que des troubles digestifs. L'hépatite A et E sont des infections virales transmises par de l'eau contaminée. Elles affectent le foie et peuvent être aggravées par des facteurs tels que l'alcoolisme. La vaccination constitue le moyen de prévention le plus efficace (Bej *et al.*, 2023).

#### **II.5.5. Infections respiratoires**

Maladie causée par des bactéries et virus présents dans l'eau contaminée, comme les adénovirus. Les symptômes incluent toux, fièvre et difficultés respiratoires (Bej *et al.*, 2023).

#### **II.5.6. Dommages rénaux**

La consommation d'eau polluée peut entraîner des infections rénales, réduisant la production d'urine et causant fatigue et douleurs. Les cas graves nécessitent *dialyse* ou *greffe* (Bej *et al.*, 2023).

#### **II.5.7. Typhoïde**

Maladie grave causée par *Salmonella typhi*, transmise par l'eau ou la nourriture contaminée. Elle provoque fièvre, douleurs abdominales, vomissements et perte de poids (Bej *et al.*, 2023).

#### **II.5.8. Ulcères**

Les ulcères peptiques, souvent causés par *Helicobacter pylori* ou l'usage excessif d'anti-inflammatoires, peuvent évoluer en *cancer gastrique* (Bej *et al.*, 2023).

Un tableau récapitulatif présente les agents pathogènes majeurs liés à ces maladies, ainsi que les types d'eaux usées et les pays concernés (Bej *et al.*, 2023 ; Chakraborty *et al.*, 2023).

**Tableau 8:** Études mondiales sur les maladies causées par les eaux usées et leurs agents pathogènes (Chakraborty *et al.*, 2023).

Agent causal	Maladie	Type d'eaux usées	Pays
<i>Campylobacter sp., C. jejuni</i>	Diarrhée, gastro-entérite	Eaux usées non traitées	Vallée de Mezquital, Mexique
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Diarrhée, arthrite reactive	Eaux usées non traitées	Vallée de Mezquital, Mexique
<i>Escherichia coli</i> (entérotoxinogène, entéro-pathogène, entéro-hémorragique, entéro-invasive)	Diarrhée sanglante, diarrhée aiguë et gastro-entérite	Eaux usées traitées au niveau secondaire et tertiaire, eaux de surface contaminées par les eaux usées, eaux usées traitées, eaux usées recyclées	Italie, Espagne, Chine, Israël, Brésil, États-Unis
Mycobactéries non tuberculeuses	Maladie pulmonaire, infection cutanée	Eaux usées partiellement traitées	Hanoï, Vietnam
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiose, diarrhée	Eaux usées non traitées, eaux usées traitées	Mexique, Chine
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne, diarrhée	Eaux usées non traitées	Bangkok, Thaïlande

# **Chapitre III**

## **Défis et perspectives d'avenir**

### **III.1. Défis techniques**

Le vieillissement des infrastructures constitue un défi majeur pour la gestion durable de l'eau. De nombreuses infrastructures, notamment les réseaux de distribution et les stations de traitement, datent de plusieurs décennies et présentent une dégradation progressive. Cette obsolescence entraîne des fuites, une baisse de l'efficacité des systèmes et une augmentation des risques sanitaires et environnementaux (UNESCO, 2021).

Le financement représente un autre obstacle technique significatif. Dans de nombreuses régions, le manque d'investissement limite la modernisation des systèmes existants ou la construction de nouvelles infrastructures. Ce déficit de financement compromet la capacité des services publics à maintenir une qualité d'eau adéquate et à répondre à la demande croissante (UNESCO, 2021).

Face à ces défis, les technologies membranaires innovantes offrent des solutions techniques prometteuses. Ces technologies permettent un traitement efficace des eaux usées, même dans des contextes où les infrastructures sont vieillissantes ou insuffisantes. L'utilisation de membranes céramiques et polymériques améliore la séparation des contaminants tout en réduisant les coûts d'exploitation et les besoins en maintenance, ce qui peut compenser le manque de financement et prolonger la durée de vie des systèmes existants (Jantaporn, 2016).

### **III.2. Innovations technologiques**

Les innovations technologiques dans le domaine de la réutilisation des eaux à faible coût se concentrent sur des solutions efficaces permettant à la fois le traitement des eaux usées et la réduction des coûts. Un processus innovant combine la réutilisation des eaux et la production d'énergie renouvelable, en particulier dans les zones rurales où l'accès aux ressources est limité. Ce processus permet de traiter les eaux usées tout en générant de l'énergie, offrant ainsi une solution durable et rentable (Borja-Vega et Aragon-Briceño, 2018).

De plus, les technologies membranaires avancées, telles que les membranes céramiques et polymériques, permettent une séparation efficace des contaminants. Ces membranes nécessitent moins d'entretien et de produits chimiques, réduisant ainsi les coûts d'exploitation. L'amélioration des matériaux et des procédés contribue également à une réduction des coûts énergétiques et opérationnels, rendant ces technologies accessibles même dans les collectivités à ressources limitées.

En outre, ces technologies permettent de réutiliser l'eau traitée dans des applications telles que l'irrigation, les usages industriels ou même l'alimentation des nappes phréatiques, contribuant ainsi à une gestion durable de l'eau. L'intégration de systèmes hybrides, tels que la combinaison de membranes et de traitements biologiques, permet d'optimiser l'efficacité de purification tout en réduisant les coûts (Jantaporn, 2016).

D'autre part, la réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture en France présente des défis réglementaires, notamment en ce qui concerne les exigences strictes en matière de qualité de l'eau. Cependant, cette pratique peut offrir des avantages considérables, notamment dans les zones rurales où les ressources en eau sont limitées. L'adoption de ces technologies pourrait aider à améliorer la durabilité des systèmes agricoles tout en faisant face à des conditions de sécheresse croissantes (Mallard *et al.*, 2024).

### **III.3. Éducation et sensibilisation du public**

#### **Promouvoir la conservation de l'eau comme norme sociétale**

Les efforts de conservation de l'eau ne relèvent pas uniquement de la responsabilité des gouvernements ou des entreprises ; les individus jouent un rôle crucial dans la réduction de la consommation d'eau. Les campagnes d'éducation du public, qui sensibilisent à l'importance de l'efficacité hydrique et encouragent les comportements durables, sont essentielles pour faire évoluer les comportements sociaux. Les stratégies de promotion de la conservation de l'eau comprennent :

#### **Campagnes de sensibilisation à l'échelle nationale**

Les gouvernements et les ONG doivent collaborer pour mener des campagnes éducatives sur diverses plateformes médiatiques, en ciblant des groupes démographiques variés, des enfants dans les écoles aux adultes sur leur lieu de travail. Ces campagnes doivent mettre en évidence les conséquences du gaspillage d'eau sur l'environnement et la société, tout en proposant des gestes simples et concrets pour réduire la consommation.

#### **Intégration dans les systèmes éducatifs**

L'introduction des principes de conservation de l'eau dans les programmes scolaires dès le plus jeune âge permet de développer une culture de la durabilité chez les générations futures. Des leçons pratiques sur les moyens d'économiser l'eau à la maison, à l'école et dans la communauté peuvent favoriser l'adoption d'habitudes durables à long terme.

### **Programmes communautaires locaux**

Les actions locales de sensibilisation peuvent s'avérer très efficaces, comme les ateliers communautaires, les audits hydriques de quartier, et les événements promouvant les technologies économes en eau. Encourager les leaders locaux à porter ces initiatives peut contribuer à renforcer le sentiment de responsabilité collective.

En renforçant les cadres juridiques et la participation des parties prenantes, en investissant dans la recherche et les technologies locales, et en promouvant l'éducation du public, les pays peuvent construire un avenir plus durable et plus efficace dans la gestion de l'eau. Ensemble, ces recommandations forment une stratégie holistique pour faire face à la crise de l'eau et ouvrir la voie à des communautés plus résilientes.

# **Conclusion**

## **Conclusion**

La pollution des rivières et des ruisseaux par des contaminants est considérée comme l'un des problèmes environnementaux les plus graves, elle est transportée par l'eau ce qui provoque des destructions considérables. Il est donc essentiel de traiter les eaux usées avant de les décharger dans la nature. L'objectif principal du traitement des eaux usées est généralement de permettre l'élimination des déchets humains et industriels sans danger pour la santé humaine ni dommages inacceptables à l'environnement naturel. Le traitement avancé des eaux usées peut être utilisé pour atteindre un niveau avancé nécessaire dans certains systèmes d'épuration pour permettre la réutilisation de ces eaux dans certains secteurs comme l'agriculture ou rejeter dans la nature.

Les stations de traitement des eaux usées utilisent des processus et des équipements sophistiqués. Leur fonctionnement est relativement coûteux, et les coûts d'exploitation ainsi que la qualité de l'eau traitée sont sensibles à la qualité de l'opération. Les processus de traitement des eaux usées nécessitent une gestion minutieuse pour garantir la protection du corps d'eau qui reçoit le déversement. Des opérateurs formés et certifiés dans les stations de traitement mesurent et surveillent les eaux usées entrantes, le processus de traitement et l'effluent final. L'objectif ultime du traitement des eaux usées devrait être de les gérer de manière efficace, économique et écologique (Sonune *et al.*, Ghate, 2004).

# **Références bibliographiques**

## **Références bibliographiques**

- Bitton, G. (2005). *Microbiology of wastewater treatment*. Wiley-Liss.
- Bouchentouf, M., Abdarraahmane, M., & Dehmani, S. (2021). *Traitement des eaux usées par les microalgues* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-Adrar).
- Bourkaib, S., Ferroukhi, N., Saidoun, K., Bekara, S., Derkaoui, L., & Bacha, Y. (2021). *Guide méthodologique pour former et se former à l'écriture du mémoire de recherche*. Université Lounici Ali – Blida 2.
- Chakraborty, P., Ghangrekar, M. M., & Vijayan, A. (2023). *Wastewater-associated infections: A public health concern*. ResearchGate.
- Jain, K., Patel, A. S., Pardhi, V. P., & Flora, S. J. S. (2021). *Nanotechnology in wastewater management: A new paradigm towards wastewater treatment*. *Molecules*, 26(6), 1797.
- Jantaporn, W. (2016). *Technologies membranaires innovantes pour la réutilisation des eaux* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- Karia, G. L., Christian, R. A., & Jariwala, N. D. (2024). *Wastewater treatment: Concepts and design approach* (3rd ed.). PHI Learning Private Limited.
- Khan, S. J., Wintgens, T., Sherman, P., & Schäfer, A. I. (2022). *Wastewater treatment*. In A. I. Schäfer (Ed.), *Integrated membrane systems and processes* (pp. 1–39). Elsevier.
- Krantz, D., & Kifferstein, B. (n.d.). *Water pollution and society*. Columbia University. Retrieved from [URL à insérer si disponible].
- Liénard, A., Racault, Y., Seguret, F., & Boutin, C. (1996, October). *Systèmes de traitement des eaux usées par cultures fixées sur supports grossiers : lits bactériens conventionnels et préfabriqués monoblocs, disques biologiques*. In 8èmes rencontres de l'ARPE : *Quelle station d'épuration choisir en 2005* (p. 20).
- Mallard, Y., Lefebvre, M., Thareau, B., Lombard-Latune, R., & Loubaud-Berson, M. (2024). *Réutiliser les eaux usées traitées : Quelles perspectives pour l'agriculture française ?*
- Pescod, M. B. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rao, M. N. (2018). *Waste water treatment* (3rd ed.). CBS Publishers & Distributors.

Renou, S. (2006). Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées (Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, spécialité Génie des procédés et des produits). Nancy, France : Institut National Polytechnique de Lorraine.

République Algérienne Démocratique et Populaire. (2003). Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Journal Officiel de la République Algérienne, n° 43.

République Algérienne Démocratique et Populaire. (2005). Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau. Journal Officiel de la République Algérienne, n° 55.

République Algérienne Démocratique et Populaire. (2006). Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, n° 27.

République Algérienne Démocratique et Populaire. (2009). Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration. Journal Officiel de la République Algérienne, n° 36.

Rusănescu, C. O., Rusănescu, M., & Constantin, G. A. (2022). Wastewater management in agriculture. *Water*, 14(21), 3351.

Shon, H. K., Vigneswaran, S., & Snyder, S. A. (2006). Effluent organic matter (EfOM) in wastewater: Constituents, effects, and treatment. *Desalination*, 202(1–3), 222–242.

Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167(1), 55–63.

Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. D. (1987). *Water quality: Characteristics, modeling, modification*. Addison-Wesley.

UNESCO. (2021). *Valuing water: The United Nations World Water Development Report 2021*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Verlicchi, P. (Ed.). (2017). *Hospital wastewaters: Characteristics, management, treatment and environmental risks*. Springer.

# **Annexes**

## Annexes

## ANEXES 1

Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LILITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 -8,5	6,5 -8,5
3	MES	Mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5

13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,001	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	3	7

## ANEXES 2

Tolérance a certaines valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels selon les catégories d'installations

**1-INDUSTRIE AGRO-ALIMENTAIRE:****a-Abattoirs et transformation de la viande:**

<b>PARAMETRES</b>	<b>UNITE</b>	<b>VALEURS LIMITES</b>	<b>TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS</b>
<b>Volume/quantité</b>	m3/t carcasse traitée	6	8
<b>Matière décantable</b>	-	5,5-8,5	6-9
<b>DBO<sub>5</sub></b>	g/t	250	300
<b>DCO</b>	"	800	1000
<b>Matière décantable</b>	"	200	250

**b\_ Sucrerie :**

<b>PARAMETRES</b>	<b>UNITE</b>	<b>VALEURS LIMITES</b>	<b>TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS</b>
<b>Température</b>	°C	30	30
<b>PH</b>	-	6-9	6-9
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Mg/l	200	400
<b>DCO</b>	"	200	250

MES	"	300	350
Huiles et graisses	"	5	10

## c – Levurerie :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	35
PH	-	5,5-8,5	6,5-8,5
DBO <sub>5</sub>	Mg/l	100	120
DCO	"	7000	8000
MES	"	30	50

## d-Brasserie :

PARAMETRES	UNITE PARAMETRES	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5-8,5	9-10,5
DBO <sub>5</sub>	g/t de malt produit	250	300
DCO	"	700	750
MES	"	250	300

**PH** : Potentiel d'hydrogène

**DBO** : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**MES** : Matière en suspension

**e\_ Corps Gras :**

<b>PARAMETRES</b>	<b>PARAMETRES</b>	<b>VALEURS LIMITES</b>	<b>TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS</b>
<b>Température</b>	°C	30	30
<b>PH</b>	-	5,5-8,5	6-9
<b>DBO<sub>5</sub></b>	g/t	200	250
<b>DCO</b>	"	700	800
<b>MES</b>	"	150	200

## ملخص :

مياه الصرف الصحي هي مواد صلبة وسوائل محمولة بالماء تُصرف في شبكات الصرف الصحي، وتُمثل نفايات الحياة المجتمعية. تشمل مياه الصرف الصحي المواد الصلبة العضوية الذائبة والمعلقة، وهي مواد قابلة للتحلل البيولوجي أو التحلل الحيوي. معالجة مياه الصرف الصحي هي عملية تُزال فيها المواد الصلبة الموجودة في مياه الصرف جزئيًا، وتُحوّل جزئيًا عن طريق التحلل من مواد صلبة عضوية شديدة التعقيد وقابلة للتحلل إلى مواد صلبة عضوية معدنية أو مستقرة نسبيًا. تُزيل المعالجة الأولية والثانوية غالبية الطلبي البيولوجي البيوكيميائي والمواد الصلبة العالقة الموجودة في مياه الصرف. ومع ذلك، فقد ثبت في عدد متزايد من الحالات أن هذا المستوى من المعالجة غير كافٍ لحماية المياه المُستقبلة أو لتوفير مياه قابلة لإعادة الاستخدام لإعادة التدوير. لذلك، أُضيفت خطوات معالجة إضافية إلى محطات معالجة مياه الصرف الصحي لإزالة المزيد من المواد العضوية والصلبة، أو لإزالة المغذيات و/أو المواد السامة. شهدت السنوات الأخيرة تطورات جديدة في مجال معالجة المياه. وبرزت بدائل لأنظمة معالجة المياه التقليدية والتقليدية. وأصبحت معالجات مياه الصرف الصحي المتقدمة مجالًا يحظى باهتمام عالمي، حيث يسعى الأفراد والمجتمعات والصناعات والدول جاهدين لإيجاد سبل للحفاظ على الموارد الأساسية متاحة وصالحة للاستخدام. وتمنح تكنولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي المتقدمة، إلى جانب مبادرات الحد من مياه الصرف الصحي وإعادة تدويرها، أملًا في إبطاء، وربما وقف، فقدان الحثي للمياه الصالحة للاستخدام.

### Abstract:

Wastewater consists of solids and waterborne liquids discharged into sewer systems, representing the by-products of community life. It contains dissolved and suspended organic solids that are biodegradable or subject to biological decomposition. Wastewater treatment is a process in which solids present in wastewater are partially removed and partially transformed through degradation from complex biodegradable organic matter into relatively stable or mineralized organic substances. Primary and secondary treatment removes most of the biochemical oxygen demand (BOD) and suspended solids present in wastewater. However, an increasing number of cases have shown that this level of treatment is insufficient to protect receiving water bodies or to provide water suitable for reuse and recycling. Therefore, additional treatment steps have been incorporated into wastewater treatment plants to further eliminate organic matter and solids or to remove nutrients and/or toxic substances. Recent years have witnessed new developments in water treatment. Alternatives to conventional treatment systems have emerged. Advanced wastewater treatment has become a globally recognized field, with individuals, communities, industries, and nations striving to keep essential water resources accessible and suitable for use. Advanced wastewater treatment technologies, combined with initiatives for wastewater reduction and recycling, offer hope for slowing down—or even halting—the inevitable loss of usable water resources.

### Résumé :

Les eaux usées sont des matières solides et des liquides transportés par l'eau et déversés dans les réseaux d'assainissement. Elles représentent les déchets issus de la vie communautaire. Les eaux usées comprennent des matières solides organiques dissoutes et en suspension, qui sont biodégradables ou susceptibles de l'être. Le traitement des eaux usées est un processus au cours duquel les matières solides présentes dans les eaux usées sont partiellement éliminées et partiellement transformées, par dégradation, de substances organiques complexes biodégradables en substances organiques minéralisées ou relativement stables. Le traitement primaire et secondaire élimine la majorité de la demande biologique biochimique en oxygène (DBO) et des matières solides en suspension contenues dans les eaux usées. Toutefois, il a été démontré dans un nombre croissant de cas que ce niveau de traitement est insuffisant pour protéger les milieux aquatiques récepteurs ou pour fournir une eau réutilisable pour le recyclage. Par conséquent, des étapes de traitement supplémentaires ont été ajoutées aux stations d'épuration afin d'éliminer davantage de matières organiques et solides, ou encore pour retirer les nutriments et/ou les substances toxiques. Ces dernières années ont vu l'émergence de nouvelles avancées dans le domaine du traitement de l'eau. Des alternatives aux systèmes de traitement conventionnels ont vu le jour. Le traitement avancé des eaux usées est devenu un domaine d'intérêt mondial, les individus, les communautés, les industries et les États s'efforçant de préserver l'accessibilité et la qualité des ressources essentielles. La technologie de traitement avancé des eaux usées, associée aux initiatives de réduction et de recyclage, offre un espoir de ralentir, voire d'arrêter, la perte inévitable des ressources en eau utilisables.