

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master en :

Microbiologie Appliquée

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

Étude bactériologique et physicochimique de la bio-purification des eaux usées par les plantes

Présenté par :

- **GUERFA Adala**
- **TALEB Radhwa**

Membres de jury :

- | | | | |
|------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| • Président : | Mr. ROUIBI Abdelhakim | MCA | Université de Guelma |
| • Examinateur : | Mr. MOKHTARI Abdelhamid | MCB | Université de Guelma |
| • Encadreur : | Mr. MERZOUG Abdelghani | MCB | Université de Guelma |
| • Co-Encadreur : | Mlle. KIRAT Hassina | Doctorante | Université de Skikda |

Juin 2024

Remerciement

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donné la force pour continuer, ainsi que le courage pour dépasser toutes les difficultés.

La réalisation de cette mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toutes nos reconnaissances.

*Nous tenons à présenter nos humbles remerciements aux membres du jury, Mr. **ROUIBI Abdelhakim** et Mr. **MOKHTARI Abdelhamid**, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce modeste travail.*

*Notre plus grande gratitude va à notre encadreur, Monsieur **MERZOUG Abdelghani**, pour sa grande disponibilité et pour la confiance qu'il nous a accordée tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous le remercions pour ses connaissances dont il nous a fait bénéficier.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre Co-Encadreur, **Dr.Kirat Hasna**, qui nous a guidés tout au long de ce travail avec ses conseils éclairés dans l'orientation dans les manipulations bactériologiques, ses nombreuses idées, ainsi que pour son soutien moral.*

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

♥À mes très chers parents ♥

Ma belle-mère Halima et mon père Abdelhak, la plus belle chose au monde, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chères sœurs :

Soumia, Selma, Amira et Ansar

Pour ses soutiens moraux et leurs conseils précieux tout au long de mes études

À mes chers frères :

Ahmed, Walid et Mohammed

À mes beaux petits enfants :

Razan, Abdelhay, Noursine, Yaakoub ,Yazen et Lyliane.

Adala





Dédicace

Avec un grand amour et gratitude, je dédie ce modeste travail à :

Mon rayon d'espoir et la lumière de ma vie, mes parents « Maissoun » et « Hamid », Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À l'homme de ma vie, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, ma source de joie et de bonheur, Que Dieu te garde et te donne longue vie.

♥ *Mon grand-père* ♥

Et au final, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment et à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Radhwa

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
01	Paramètres microbiologiques dans les eaux usées	11
02	Les types de substrat utilisé	40
03	Paramètres physicochimiques recherchés	41
04	Méthodes d'ensemencement sur gélose pour la recherche des germes pathogènes	52
05	Résultats des anaérobies sulfito-réductrices (ASR)	62
06	Résultats des germes pathogènes	63

Liste des figures

N° Fig.	Titres	Page
01	Filière d'épuration des eaux usées par un lit bactérien	17
02	Schéma de l'épuration des eaux usées par disques biologiques	18
03	Filière d'épuration des eaux usées par boues activées	20
04	Schéma du traitement biologique par lagunage	21
05	Principes de l'épuration dans un bassin à macrophytes	25
06	Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement verticale	29
07	Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement Horizontal	30
08	Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride	31
09	Photos satellite de la station d'épuration de Guelma	33
10	Un dégrilleur	34
11	Déssableur – Déshuileur	35
12	Décanteur primaire	36
13	Site de prélèvement	37
14	Systématique de la cassette à feuilles étroites <i>Typha angustifolia</i>	38
15	Systématique des roseaux communs <i>Phragmites australis</i>	39
16	Composition du dispositif expérimental	40
17	Dispositif expérimental	41
18	Recherche et dénombrement des germes totaux	45
19	Recherche et dénombrement des coliformes	48
20	Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfito- réducteurs	51
21	Variation de la température	53
22	Variation du potentiel d'oxydo-réduction	54
23	Variation de pH	54
24	Variation de la conductivité électrique	55

25	Variation de l'oxygène dessous	55
26	Variation de la salinité	56
27	Variation des matières en suspension (MES)	57
28	Variation de la DBO ₅	58
29	Variation de la demande chimique en oxygène (DCO)	59
30	Variation du rapport DCO/DBO ₅	59
31	Variation des germes totaux GT	61
32	Variation des coliformes totaux CT	61
33	Variation des coliformes fécaux CF	62

Liste des Abréviations

ASR	Anaérobies Sulfito-réducteurs.
Ag	Plomb
Al	Aluminium
Cd	Cadmium
CE	Conductivité électrique
CF	Coliformes fécaux
CO₂	Dioxyde de carbone
Cr	Chrome
CT	Coliformes totaux
Cu	Cuivre
DBO₅	Demande Biologique de l'Oxygène (5 jours).
DCO	Demande Chimique de l'Oxygène
Fe	Fer
Hg	Mercure
M	Mixte
MES	Matière en suspension
NH₄⁺	Ammonium
Ni	Nickel
NO₃⁻	Nitrate
O₂	Oxygène dissous.
P	Phosphore
Ph	Phragmites australis
SF	Streptocoque fécaux
SR 1	Station de relevage 1

SR 2	Station de relevage 2
SS	Gélose Salmonella Shigella
STEP	Station d'épuration.
T	Température
Tém	Témoin
TGEA	Glucose-Tryptone-Extrait de levure
Ty	<i>Typha angustifolia</i>
UFC	Unité Formant Colonie
WC	Water-closet
Zn	Zinc

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

	Introduction	1
Chapitre I.	Généralités sur les eaux usées	3
1.	Définition des eaux usées	3
2.	Origine des eaux usées	3
2.1.	Eaux usées domestiques	3
2.2.	Eaux usées industrielles	4
2.3.	Eaux usées agricoles	4
2.4.	Eaux usées pluviales	5
3.	Caractéristiques des eaux usées	5
3.1.	Paramètres physico-chimiques	5
3.2.	Paramètres organoleptiques	9
3.3.	Paramètres bactériologiques	10
4.	Principaux polluants des eaux usées	11
4.1.	Pollution selon le type de polluant	11
4.2.	Les polluants la plus dominants	13
5.	Risques de la pollution par eaux usées	14
5.1.	Risque sur la santé humaine	14
5.2.	Risque sur l'environnement	15
5.2.1.	Impacts sur le sol	15
5.2.2.	Impacts sur les eaux souterraines	16
5.2.3.	Impacts sur les eaux superficielles	16
6.	Procédés d'épuration des eaux usées	16

6.1.	Objectif du traitement des eaux usées	16
6.2.	Techniques intensives	16
6.2.1.	Lits bactériens	16
6.2.2.	Disques biologiques	18
6.2.3.	Boues activées	19
6.3.	Techniques extensives	21
6.3.1.	Lagunage	21
6.3.2.	Types de lagunage	22
6.4	Possibilités de réutilisation des eaux usées traitées	23
Chapitre II.	La phyto-épuration des eaux usées	24
1.	Généralité sur la phyto-épuration	24
1.1.	Définition	24
1.2.	Historique	24
1.3.	Principe de la phyto-épuration	24
1.4.	Paramètres influençant la phyto-épuration	26
1.4.1.	Aération de substrat	26
1.4.2.	Température	26
1.4.3.	Oxygène dissous	26
1.4.4.	Pollution microbiologique	26
1.4.5.	Constitution du filtre	27
1.3.6.	Effets des plantes dans le système de phyto-épuration	27
1.4.7.	Durée de traitement	28
2.	Type de filtre planté	28
2.1.	Filtres plantés à écoulement vertical	28
2.2.	Filtres plantés à écoulement horizontal	29
2.3.	Filtres plantés à écoulement hybride	30
3.	Avantages et inconvénients de la phyto-épuration	31

Chapitre III.	Matériel et méthodes	33
1.	Présentation de la station d'épuration de Guelma	33
1.1.	Principe du fonctionnement de la station d'épuration de Guelma	33
1.1.1.	Prétraitement	34
1.1.2.	Traitements primaire (décantation primaire)	35
1.1.3.	Traitements secondaire ou traitement biologique	36
1.1.4.	Traitements tertiaires	37
1.2.	Prélèvement des échantillons	37
2.	Matériel biologique	38
3.	Dispositif expérimental	39
3.1.	Etude physicochimique	41
3.2.	Etude bactériologique	42
3.2.1.	Matériels utilisés	42
3.2.2.	Méthodes d'analyses bactériologiques	43
Chapitre IV.	Résultats et discussion	53
1.	Résultats des analyses physico-chimiques	53
1.1.	Température C°	53
1.2.	Potentiel d'oxydo-réduction	53
1.3.	pH	54
1.4.	Conductivité électrique	54
1.5.	Oxygène dissous	55
1.6.	Salinité	56
1.7.	Matières en suspension (MES)	57
1.8.	Demande Biologique en Oxygène DBO ₅	57
1.9.	Demande Chimique en Oxygène DCO	58
1.10.	Le Rapport DCO/DBO ₅	59
2.	Résultats des analyses bactériologiques	60

2.1.	Germes totaux	60
2.2.	Coliformes totaux (CT)	61
2.3.	Les coliformes fécaux	61
2.4.	Streptocoque fécaux (SF)	62
2.5.	Bactéries Anaérobies sulfito-réductrices	62
2.6.	Germes pathogènes	63
	Conclusion	64

Références bibliographiques

Résumé

Abstract

الملخص

Annexes

Introduction

Introduction

Introduction

L'eau est un élément biologique important en tant que support de vie et facteur du développement des pays, elle est considérée comme un vecteur privilégié de l'activité humaine (**Gueroui, 2014**). Les ressources actuelles sont affectées par plusieurs facteurs comme les changements climatiques, la demande croissante de la population, le manque des ouvrages d'immobilisation des ressources hydriques ainsi que le phénomène de pollution des eaux souterraines et superficielles par différentes activités humaines (**Hartani, 2004**).

Les eaux usées regroupent les eaux résiduaires domestiques (les eaux de vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). Elles constituent donc un effluent pollué et sont rejetées dans un émissaire d'égout vers le milieu naturel. Cette pollution peut avoir des conséquences sur la santé de l'homme, soit par l'ingestion directe des végétaux et animaux contaminés, soit par la consommation de l'eau (**Tiglyene et al., 2005**).

Les traitements des eaux usées sont les processus appliqués dans le but de diminuer la quantité des polluants pour atteindre la norme de rejet des effluents dans le milieu naturel ou de réutiliser des eaux. Plusieurs techniques coûteuses peuvent être utilisées dans l'épuration des eaux usées, mais aujourd'hui nous avons besoin de techniques économiquement compétitives et pouvant préserver les caractéristiques des écosystèmes, comme l'application de la technique simple de la phyto-épuration (**Benameur, 2010**).

La phyto-épuration est un système de traitement des eaux usées en utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces dernières consomment les composés polluants dissous dans l'eau (azote et phosphore) qui constituent pour elles des éléments nutritifs. Par ailleurs, elles servent de supports à de nombreux organismes microscopiques (algues et bactéries) qui font le gros du travail. Ces plantes sont des microphytes ou des macrophytes. Cette technologie est souvent appelée lagunage à microphytes ou lagunage aéré et à macrophytes ou filtres plantes (**Tiglyene et al., 2005**).

La wilaya de Guelma est exposée à l'instar des autres régions du pays au problème de la pollution hydrique, liée à l'activité humaine, en particulier à l'utilisation domestique. L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux épurées issues de la station d'épuration de la ville de Guelma, afin de savoir s'il y a un

Introduction

pouvoir phytoépuratoire des macrophytes aquatiques des eaux usées. Pour cela nous avons choisi d'utiliser deux types de macrophytes de genres différents qui ont un pouvoir épurateur selon la littérature, la massette à feuilles étroites *Typha angustifolia* et le roseau commun *Phragmites australis*. Ces deux espèces ont été plantées dans des bacs en plastique séparément et ensemble pour déterminer la présence ou non de l'effet synergique, comme un deuxième objectif de cette étude.

❖ Notre travail est subdivisé en quatre chapitres, à savoir :

- Dans le premier chapitre, nous allons présenter une synthèse bibliographique sur les eaux usées.
- Le deuxième chapitre présente les divers procédés de phytoépuration.
- Le troisième chapitre concerne le matériel et la méthode employés lors de notre étude.
- Dans le dernier chapitre, nous allons exposer les résultats de notre étude ainsi que leur interprétation.
- À la fin, une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralité sur les eaux usées

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

L'eau est le dissolvant universel, elle est utilisée et ensuite rejetée, contenant souvent des polluants en suspension, flottants et dissous. Suite à la croissance et à l'expansion des secteurs industriels, l'assimilation de ces polluants par des processus naturels d'épuration dans les rivières et les lacs ne peut pas suffire pour éviter l'accroissement de la pollution. La qualité de l'eau constitue donc aujourd'hui un enjeu environnemental primordial (**Rodriguez Garcia, 2004**).

1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des eaux qui ont été utilisées à des fins domestiques, industrielles ou agricoles, et qui sont donc considérées comme des déchets pollués. Elles sont rejetées dans un système d'égouts (**Ramade, 2000**). Ces eaux sont chargées de polluants, qu'ils soient solubles ou non, provenant principalement de l'activité humaine (**Rejsek, 2002**). Selon **Bachi (2010)**, les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargés de matières minérales et/ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère毒ique.

2. Origine des eaux usées

Les eaux usées résultent de la pollution tant physicochimique que bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité, du fait des activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles (**Richard, 1996**). Ces eaux proviennent de quatre sources principales :

- Les eaux domestiques.
- Les eaux industrielles.
- Les eaux agricoles.
- Les eaux pluviales

2.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques incluent les eaux provenant des activités ménagères telles que les toilettes, la lessive et la cuisine, ainsi que les eaux contenant les urines et les matières fécales, dans le système de collecte des eaux usées appelé « tout à l'égout ». En général, ces

eaux sont riches en matières organiques, en graisses et en produits d'entretien ménagers. Elles sont facilement biodégradables (**Baumont et al., 2004**).

2.2. Eaux usées industrielles

Les eaux industrielles usées sont toutes les eaux usées provenant de locaux utilisés à des fins commerciales ou industrielles, à l'exception des eaux ménagères usées et des eaux de ruissellement (**Delarras et al., 2010**).

Cette définition s'applique aux rejets des usines, ainsi qu'aux rejets d'activités artisanales ou commerciales telles que les blanchisseries, les restaurants, les laboratoires d'analyses médicales, etc. (**Edline, 1979**). Les rejets industriels peuvent donc être traités de trois manières différentes (**Baumont et al., 2004**) :

- Ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- Ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.
- Ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

2.3. Eaux usées agricoles

Les eaux agricoles provenant de terres cultivées contenant des engrains riches en nitrates et en phosphates, qu'ils soient sous forme ionique ou en quantité suffisante pour ne pas être retenus par le sol et assimilés par les nappes phréatiques les plus proches et les cours d'eau ou les réservoirs d'eau (**Metahri, 2012**).

Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Les nitrates et les phosphates utilisés comme engrains sont apportés aux eaux de surface par le lessivage des sols perméables. Ces substances minérales favorisent la croissance excessive des algues (phénomène d'eutrophisation), ce qui réduit la quantité d'oxygène dans les cours d'eau et met en danger la vie des poissons et des animaux aquatiques.
- Apport des pesticides chlorés ou phosphorés, de désherbants et d'insecticides.
- En région viticole, apport de sulfates de cuivre, de composés arsenicaux destinés à la protection des vignes (**Richard, 1996**).

2.4. Eaux usées pluviale

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées : Les déchets solides ou liquides déposés sur ces surfaces par temps sec sont emportés dans le système d'assainissement lors des premières précipitations.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs : Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui entraîne l'accumulation de matières qui se déposent. Lorsqu'il pleut, le débit d'eau plus important permet de remettre en suspension ces dépôts (**Rodríguez Gracia, 2004**).

3. Caractéristiques des eaux usées

La composition des eaux usées est très variable selon leurs origines (industrielle, domestique, etc.), elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, chimiques, biologiques et des micro-organismes, en fonction de leurs caractéristiques physiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent (**Laabassi, 2016**).

3.1. Paramètres physicochimiques

Une eau usée peut contenir une multitude de paramètres physico-chimiques. Notamment :

- **Température (T°)** : La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle impacte directement le comportement des différentes substances contenues dans l'eau et a une grande influence sur l'activité biologique (**Roux, 1987**). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, etc. (**Rodier, 2005**).
- **pH** : Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau , c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (**Castany et**

Margot, 1977). Son rôle est essentiel pour la croissance des micro-organismes, cette croissance sera directement affectée lorsque le PH est inférieur à 5 ou supérieur à 8 (**Hamadani, 2002**). Le pH des eaux usées urbaines seul est Habituellement varie entre 7 et 7,5. Un pH différent est l'indice d'une pollution industrielle (**HCEFLCD, 2006**).

- **Conductivité électrique (CE) :** La conductivité est liée à la présence d'ions en solution, elle dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration (**De Villers et al., 2005**). Selon **Rejsek (2002)**, la température et la viscosité influent également sur la conductivité puisque la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La conductivité des eaux s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (**Detay, 1993**).
- **Potentiel d'oxydo-réduction :** Le potentiel d'oxydo-réduction, ou potentiel rédox, est une mesure qui indique le degré auquel une substance peut oxyder ou réduire une autre substance. Une mesure de potentiel rédox négatif indique qu'une substance est un agent réducteur. Plus la mesure est basse, plus elle est antioxydante [01].
- **Matière en suspension (MES) :** Les matières en suspension sont les particules minérales ou organiques présentes dans les eaux usées. Elles incluent les matières décantables et les colloïdes, mais pas les matières dissoutes (**Cauchi et Vignoles, 2011**). Son rejet dans le milieu naturel réduit la visibilité de ce milieu et empêche la pénétration de la lumière, ce qui réduit l'oxygène dissous et nuit ainsi au développement de la vie aquatique (**Rejsek, 2002**). Les matières en suspension dans l'eau sont déterminées par filtration ou centrifugation. La méthode par centrifugation est surtout réservée aux eaux contenant trop de matières colloïdales. (**Rodier et al., 2009**).
- **Demande Biologique de l'Oxygène (DBO₅) :** La demande biologique de l'oxygène représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder complètement les substances biochimiques oxydables présentes dans l'eau et qui constituent leur source de carbone (**De Villers et al., 2005**). Cet indicateur est le principal paramètre qui permet de mesurer la charge de pollution organique présente dans l'eau, qui provient principalement des sanitaires et des cuisines sous forme de protéines, de lipides (graisses), de glucides, d'urée et de produits du métabolisme (**Karaali et al., 2008**). En effet, à 20° C et dans l'obscurité, la dégradation des matières organiques

commence immédiatement. Elle est exprimée en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours (**Chaoui, 2007**).

- **Demande Chimique de l'Oxygène (DCO) :** La demande chimique en oxygène est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder principalement les composés organiques présents dans l'eau à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/L. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine (**Suschka et Ferreira, 1986**). Généralement, la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO	Pour les eaux usées urbaines ;
DCO = 1 à 10 fois DBO	Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;
DCO > 2.5 fois DBO	Pour les eaux usées industrielles.

- **Biodégradabilité :** La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que : K=DCO/DBO₅ (**Boujamaa, 2011**).

- Si k < 1,5 : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables.
- Si 1,5 < K < 2,5 : les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si 2,5 < K < 3 : les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si K > 3 : les matières oxydables sont non biodégradables.

- **Oxygène Dissous (O₂) :** La présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton. Il est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse (**Mouchara, 2009**). La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu (**Rejsek, 2002**). La mesure de l'oxygène dissous (mg/L ou en % saturation) est importante car elle permet de fournir des informations concernant la dégradation de substances organiques,

l'origine de l'eau, la mobilisation potentielle de certains métaux, etc. (**Thierrin et al., 2003**).

- **Ammonium (NH₄⁺)** : L'azote ammoniacal constitue l'apport essentiel de l'azote dans les effluents de station d'épuration (**Roland, 2010**). L'ion ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal (**Detay, 1993**). Leur présence dans l'eau traduit généralement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il résulte de la première étape de la dégradation de matière organique azotée par les bactéries ammonifiantes : on parle d'ammonisation. En dehors de la pollution organique, l'ammoniac peut provenir des rejets industriels, des engrains, des eaux des pluies. Il est étroitement lié avec le taux de pH de l'eau, plus que le milieu basique, révélé毒ique. Plus le milieu est basique, plus il devient毒ique sur la faune aquatique (**Hamli, 2015**).
- **Nitrate (NO₃⁻)** : La présence naturelle de nitrates dans les eaux est principalement due à l'écoulement des eaux sur le sol qui forme le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates.

Différentes sources peuvent expliquer l'augmentation de la concentration des nitrates :

- **Agricole** : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage.
- **Urbaine** : des rejets des stations d'épurations (transformation de la matière organique en nitrates).
- **Industrielle** : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés (**Rejsek, 2002**).
- **Nitrite (NO₂⁻)** : Les nitrites jouent un rôle essentiel dans le processus de métabolisation des composés azotés. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte, car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (**Rejsek, 2002**).

- **Phosphore (P)** : Le phosphore est principalement présent dans les eaux naturelles et les eaux usées sous les deux formes suivantes : Le phosphore organique (résidu de matière vivante), le phosphore minéral est principalement composé de phosphates (PO_4), qui représentent entre 50 et 90% du phosphore total présent dans les eaux usées urbaines (SEQ-EAU, 2003). Leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets domestiques (matières fécales et détergents), agricoles (engrais, pesticides) et industriels (Savary, 2010). Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquences sanitaires, mais elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière : phénomène d'eutrophisation (OMS, 2000).

3.2. Paramètres Organoleptiques

Les paramètres organoleptiques correspondent à l'appréciation de la qualité de l'eau par les sens, essentiellement la vue, le goût et l'odorat. Contrairement à tous les autres paramètres appréciant la qualité d'une eau, les paramètres organoleptiques s'étudient lors du prélèvement de l'échantillon ou, faute de mieux, dans le délai le plus court possible. Certaines odeurs peuvent disparaître pendant le transport, la couleur peut être modifiée (apparition ou disparition dans le temps) (Rejsek, 2002).

- **Turbidité** : C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de substances en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (Rodier *et al.*, 1996). La turbidité élevée de l'eau limite la pénétration du rayonnement solaire nécessaire à la vie aquatique (photosynthèse). Elle est exprimée en NTU (Nephelométrice Turbidity Unit) (Rodier, 2009).
- **Couleur** : Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair, car les longueurs d'onde courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement (Rejsek, 2002). La coloration de l'eau est considérée comme vraie ou réelle lorsqu'elle est causée uniquement par les substances dissoutes. Elle est qualifiée d'apparente lorsque les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (Rodier *et al.*, 2009).

- **Odeur** : En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaires. Les eaux usées ont une odeur de moisI qui n'est normalement pas gênante, mais après un délai de 3 ou 4 heures, tout l'oxygène dissous présent dans les eaux d'égout est épuisé et il commence à se dégager une mauvaise odeur due au sulfure d'hydrogène produit par les micro-organismes anaérobies (**Rodier et al., 2009**).

3.3. Paramètres bactériologiques

Ils proviennent essentiellement des matières fécales qui contiennent majoritairement une flore anaérobie (10⁹-10¹⁰ bactéries/g fèces) détruite à l'air et une flore aérobie – anaérobie facultative (10⁶ – 10⁷ bactéries/g fèces). La présence de ces microorganismes dans les eaux usées et les boues résiduaires nécessite des règles sanitaires lors de leur traitement et de leur élimination (**Rejsek, 2002**).

Les microorganismes constituant l'échantillon d'eau peuvent fournir des informations sur les dangers associés à l'utilisation de certains types d'eaux (**Baumont et al., 2004**).

- **Germes totaux** : Ce paramètre permet de mesurer les conditions sanitaires de la distribution et le résiduel de désinfection. Une concentration extrêmement élevée de germes totaux peut causer des problèmes d'ordre organoleptique, par contre une faible valeur est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (**Potelon et Zysman, 1998 in Nani et al., 2021**).
- **Coliformes totaux** : Les bactéries coliformes se trouvent dans les matières fécales, mais se développent également dans les milieux naturels. Les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes, cependant l'absence de ces derniers ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas un risque pathogène (**Potelon et Zysman, 1998 in Nani et al., 2021**).
- **Coliformes fécaux** : Ils sont capables de se développer à 44°C et permettent d'estimer le risque épidémiologique dans l'eau et devraient en toute logique tenir compte de la présence plus ou moins importante des germes pathogènes (**Potelon et Zysman, 1998 in Nani et al., 2021**).

- **Streptocoques fécaux** : Ce groupe n'est pas généralement perçu comme un agent pathogène, toute fois leur recherche associée à celle des coliformes fécaux consiste en un bon indice de contamination fécale, car les streptocoques étaient un meilleur témoin que les coliformes fécaux pour des pathologies infectieuses (**Potelon et Zysman, 1998 in Nani et al., 2021**).

Tableau 01 : Paramètres microbiologiques dans les eaux usées (**Grosclaude, 1999 ; Ouali, 2001 ; Rejsek, 2002**).

Microorganismes	Gram	Respiration	Genre
Coliforme	-	Anaérobiose facultative	<i>Escherichia, citrobacter, Serratia Enterobacter, Klebsiella, Yersinia,</i>
Streptocoque fécaux	+	Aéro-Anaérobiose facultatifs	<i>Streptococcus, Entérococcus, Lacto coccus</i>
Bactéries sulfito-réductrices	+	Anaérobiose stricte	<i>Clostridium</i>
Staphylocoques	-	Aéro-Anaérobiose facultatifs	<i>Staphylococcus</i>
Shigelles	-	Anaérobiose facultative	<i>Shigella</i>
Salmonelles	-	Anaérobiose facultative	<i>Salmonella</i>

4. Principaux polluants des eaux usées

4.1. Pollution selon le type de polluant

Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

- a. **Pollution physique** : On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe trois types de pollutions : mécanique, thermique, radioactive (**Ben Ali, 2014**).
- **Pollution mécanique** : Elle est causée par les déchets et les particules solides transportés par les eaux usées industrielles et les eaux de ruissellement. Ces polluants peuvent être des éléments grossiers, du sable ou des matières en suspension MES (**Galaf et Ghannam, 2003**).
- **Pollution thermique** : Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries,

aciéries...), l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution (**Galaf et Ghannam, 2003**).

- **Pollution radioactive** : La contamination des eaux par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, car elle a un effet direct sur les organismes aquatiques en raison de la toxicité intrinsèque de ces éléments et de leurs propriétés cancérogènes (**Galaf et Ghannam, 2003**).
- b. **Pollution chimique** : La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eau, par exemple : les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet毒ique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories : organique (hydrocarbures, pesticides, détergents.) et minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) (**Pesson et al., 1976**)..
- **Pollution organique** : Ce sont les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, bateaux, sucreries...) et par les effluents domestiques. La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures (**Pesson et al., 1976**).
- **Les détergents** : Ce sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluents urbains et industriels.
- **Les pesticides** : Les pesticides constituent un problème majeur pour l'environnement. Ce sont des produits utilisés généralement en agriculture. Les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :
 - Stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires.
 - Rupture de l'équilibre naturel.

- **Les hydrocarbures** : Ils proviennent des industries pétrolières et des transports, ce sont des

substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables leur densité inférieure à l'eau les fait surnager. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère (**Mayet, 1994**).

- **Pollution minérale :** La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou un trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral, ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs (**Mayet, 1994**).
- **Les éléments minéraux nutritifs :** provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques, ils sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire de la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques (**Mayet, 1994**).
- c. **Pollution biologique :** La pollution biologique se réfère à l'introduction d'espèces étrangères ou d'organismes génétiquement modifiés dans un environnement, ainsi qu'aux changements environnementaux qui entraînent une altération des populations. Les agents polluants biologiques sont des êtres vivants tels que des animaux, des plantes, des champignons, des moisissures, etc. (**Rejsek, 2002**).

4.2. Les polluants les plus dominants

- a. **Matières en suspensions (MES) :** Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (**Devillers et al., 2005**).
- b. **Substances nutritives :** Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables, que ce soit dans les eaux usées épurées ou brutes (**Belaid, 2010**).

Le rejet de composés azotés et phosphorés peut provoquer un développement exagéré de végétaux dans les eaux de surface (eutrophisation) (**Rodier et al., 2009**).

L'eutrophisation est « l'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs », notamment des composés de l'azote et /ou du phosphore, provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures, entraînant une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau en question (**Delarras et al., 2010**).

- c. **Métaux lourds** : Les métaux lourds sont les substances les plus dangereuses présentes dans les eaux usées, en particulier dans les boues où ils s'accumulent lors des différentes étapes du traitement. Leur origine est principalement industrielle, mais aussi diffuse (corrosion des tuyaux). Les métaux les plus couramment retrouvés dans les eaux usées sont le fer (Fe), l'aluminium (Al), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le plomb (Ag), le mercure (Hg) et le nickel (Ni) (**Rodier et al., 2009**).
- d. **Pollution microbiologique** : Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Ces organismes peuvent être classés en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (**Belaid, 2010**).

5. Risques de la pollution par eaux usées

5.1. Risque sur la santé humaine

La plupart des microorganismes pathogènes qui se trouvent dans la nature peuvent être transmis directement par l'eau et/ou indirectement. On peut distinguer deux groupes de maladies selon leur origine.

- a. **Maladies d'origine bactérienne** : Les maladies d'origine bactérienne sont causées par des bactéries pathogènes qui envahissent l'organisme et déclenchent des réactions immunitaires. Elles peuvent affecter divers systèmes du corps et varier en gravité, allant des infections bénignes aux maladies potentiellement mortelles (**Roland, 2010**).
- **Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes** : dues à des salmonelles ; *salmonella typhi* et *paratyphi A, B, et C*, elles sont caractérisées par la fièvre céphalées, la diarrhée, les douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (**Roland, 2010**).
- **Gastroentérite aiguë et diarrhées** : causées par *Escherichia coli*, qui est une bactérie saprophyte du tube digestif de l'homme et des animaux qu'elle envahit dès les premières heures de la vie, elle se multiplie par milliards dans la matière fécale. Leur extrême

abondance et leur résistance dans l'eau sont telles que ces bactéries qui ont été retenues comme germe test des contaminations par matière fécale des eaux (**Roland, 2010**).

b. Les maladies d'origine parasitaire : Les maladies d'origine parasitaire sont des infections causées par des parasites tels que les vers, les protozoaires ou les arthropodes. Ces parasites peuvent affecter divers organes du corps humain, provoquant une gamme de symptômes allant de légers à graves (**Roland, 2010**).

- La dysenterie amibienne causée par l'amibe *Entamoeba histolytica*.
- Les crampes abdominales, nausées et diarrhées causées par *Giardia Lamblia*.
- Hépatite A (hépatite infectieuse) provoquée par un virus de la famille des *Picornaviridae* (**Roland, 2010**).

5.2. Risque sur l'environnement

Notre environnement est confronté à de nombreux défis à la suite de la décharge des eaux usées de nos industries quotidiennes. Elles sont associées à une urbanisation rapide, une augmentation de la croissance démographique, de l'industrialisation et de nombreux autres facteurs. Cela touche la biodiversité (le sol, les impacts sur les eaux superficielles et les eaux souterraines) (**Ramade, 2000**).

5.2.1. Impacts sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs. Puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes présents au niveau du sol sont (**Sahnoun, 2015**) :

- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol.
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.
- L'accumulation de nutriments.
- La salinisation.

5.2.2. Impacts sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constitutions de l'eau usée est possible par l'infiltration de ces dernières (**Sahnoun, 2015**).

5.2.3. Impacts sur les eaux superficielles

Il arrive que ces déchets soient déversés directement dans le milieu naturel. La présence excessive de phosphates favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui diminue la qualité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer à terme la mort des poissons et des autres organismes aquatiques qui y vivent (**Rodier *et al.*, 1996**).

6. Procède d'épuration des eaux usées

6.1. Définition de l'épuration

L'épuration consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers afin d'obtenir une eau épurée, conforme aux normes de rejets. L'épuration des eaux usées a pour objectif de rejeter dans le milieu naturel des eaux d'une qualité suffisante pour altérer le moins possible le milieu récepteur (**Bachi, 2010**). Il s'agit donc d'éviter une pollution par la dépollution et non de produire de l'eau potable (**Chocat, 1997**).

6.2. Techniques intensives

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. Trois grands types de procédés sont utilisés : les lits bactériens, les disques biologiques et les boues activées (**Koller, 2009**).

6.2.1. Lits bactériens

Le lit bactérien est une méthode où les microorganismes se développent sur un support poreux (naturel ou en plastique) qui est régulièrement arrosé avec l'effluent à traiter (**Fig. 01**), préalablement décanté. Les microorganismes fixés forment un biofilm et éliminent les matières organiques. Le biofilm se développe jusqu'à former deux couches : aérobie et

anaérobiose. Dans la couche anaérobiose, les mécanismes internes et la libération de gaz entraînent des détachements locaux du biofilm, laissant ainsi de nouvelles zones disponibles pour la colonisation. Le mélange d'eau traitée et de biofilm récupéré à la sortie du lit bactérien est séparé par décantation (**Degrémont, 2005**).

Cette méthode nécessite moins de surveillance et moins d'énergie (pas d'insufflation d'air) qu'une méthode à boues activées. Son efficacité de purification est inférieure et dépend des caractéristiques du matériau poreux utilisé. L'un des principaux problèmes des lits bactériens est l'obstruction du matériau filtrant due à un développement excessif du biofilm microbien (**Pasquini, 2013**).

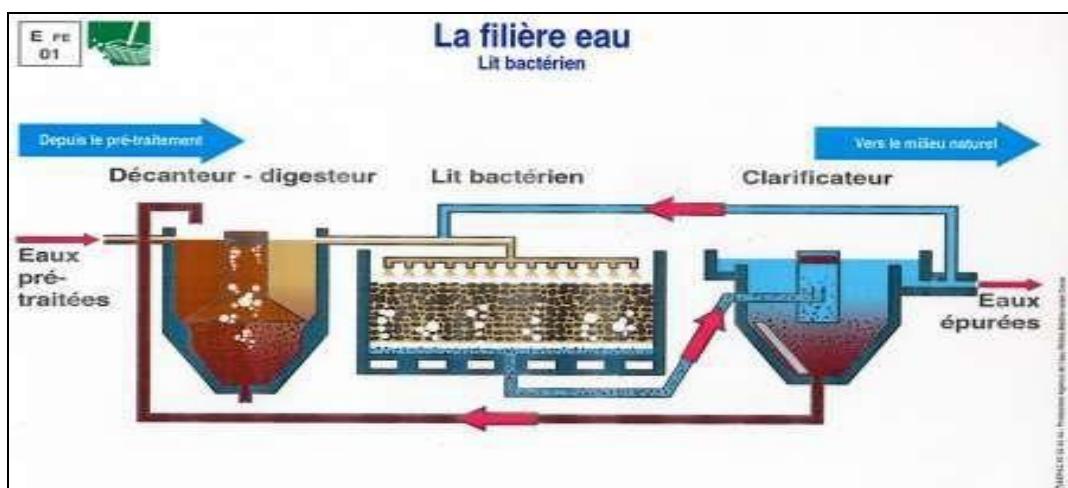


Figure 01 : Filière d'épuration des eaux usées par un lit bactérien (**Boujema, 2011**).

a. Avantages et inconvénients du procédé à lit bactérien

➤ Avantages :

- Faible consommation d'énergie.
- Fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- Peut être installé en amont d'une station à boue activée afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire.
- Bonne décantabilité des boues.
- Les boues bien épaissies par le décanteur-digesteur.

- Plus faible sensibilité aux variations de charges et aux toxiques que les boues activées (**Dhaoudi, 2008**)

➤ **Inconvénients :**

- Coûts d'investissement assez élevés.
- Nécessité de prétraitements efficaces.
- Sensibilité au colmatage et au froid.
- Source de développement d'insectes (en cas de conception et/ou d'exploitation défectueuse).
- Très sensible au gel, car il faut que le haut et le bas du lit soient largement ouverts afin de permettre une aération naturelle suffisante (**Dhaoudi, 2008**).

6.2.2. Disques biologiques

Le procédé à disques biologiques consiste à utiliser des disques en polystyrène expansé comme support solide pour la croissance du film bactérien. Ces disques sont fixés sur un axe et peuvent pivoter. Ce dispositif est partiellement immergé dans un bassin alimenté par les eaux usées traitées préalablement (**Fig. 02**). Les bactéries éliminent la matière organique en la dégradant grâce à l'oxygène de l'air. Lorsque le biofilm atteint une certaine épaisseur, il se détache et est entraîné vers le décanteur secondaire. Bien que ce procédé semble simple, il a rencontré des problèmes mécaniques et a été abandonné en France à partir de 1975. D'autres systèmes à biofilm ont ensuite été développés (**Pasquini, 2013**).

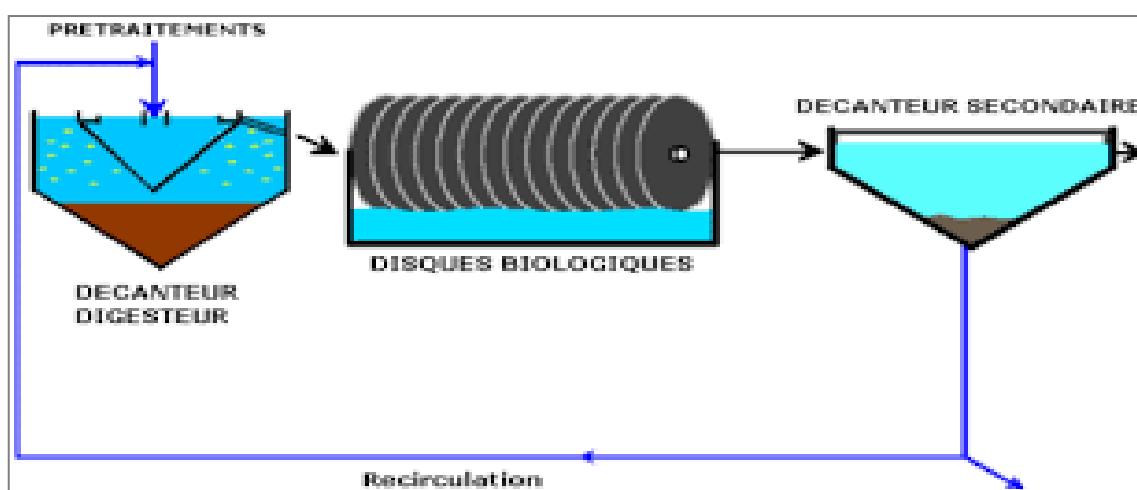


Figure 02 : Schéma de l'épuration des eaux usées par disques biologiques (**Pasquini, 2013**).

a. Avantages et inconvénients du procédé à disque biologique

➤ Avantages :

- Résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment).
- L'exploitation de ce procédé est relativement simple, ne nécessitant pas de recyclage.
- Généralement adaptés pour les petites collectivités.
- Faibles consommations d'énergie (**Perera et Baudot, 2001**).

➤ Inconvénients :

- Très sensible à la quantité des eaux à traiter.
- La sensibilité au gel et aux huiles et graisses.
- Coûts d'investissement assez élevés.
- Ce procédé pose des problèmes dans la construction (**Perera et Baudot, 2001**).

6.2.3. Boues activées

Le procédé des boues activées repose sur l'amplification des processus d'autoépuration présents dans la nature. En effet, il permet la dégradation et la transformation de la matière organique par les bactéries aérobies dans un espace restreint, grâce à un apport en oxygène assuré par un brassage de la solution mixte (**Pasquini, 2013**).

Ce procédé se compose de deux bassins principaux (**Fig. 03**). Le premier est un bassin d'aération, où les agrégats bactériens sont maintenus en suspension dans l'eau grâce à un brassage continu de la solution (**Metcalf et Eddy, 2003**).

Les microorganismes se développent et consomment la pollution organique des effluents en la transformant en dioxyde de carbone et en eau. Le deuxième bassin, appelé décanteur secondaire ou clarificateur, permet ensuite la séparation des solides et des liquides. Une partie des boues décantées est renvoyée dans le bassin d'aération, ce qui augmente la concentration

de biomasse dans le réacteur biologique et améliore le taux de purification des eaux (**Pasquini, 2013**).

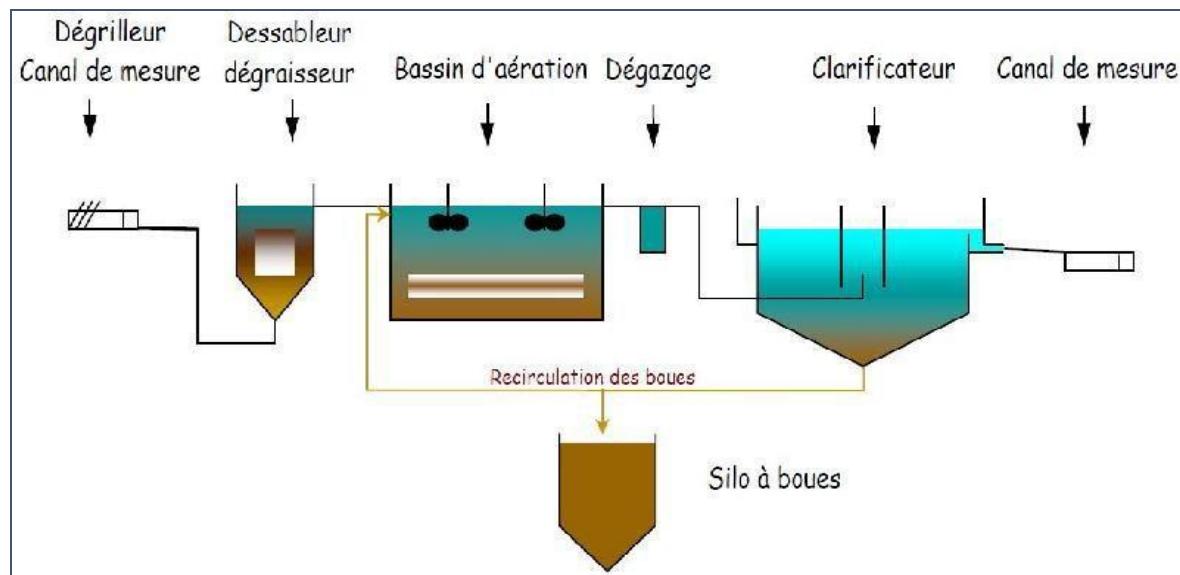


Figure 03 : Filière d'épuration des eaux usées par boues activées (Pasquini, 2013).

a. Avantages et inconvénients du procédé à boues activées

➤ Avantages :

- Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites).
- Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification).
- Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles.
- Facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.
- Boues légèrement stabilisées.
- Très grande résistance aux variations de température.
- Oxydation poussée des matières organiques (**Perera et Baudot, 2001**)

➤ Inconvénients

- Coûts d'investissement assez importants.
- Consommation énergétique importante.
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière.
- Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser.
- Forte production de boues qu'il faut concentrer.
- Nécessité d'une aération et d'un brassage forcé (**Perera et Baudot, 2001**).

6.3. Techniques extensives

6.3.1. Lagunage

Le lagunage est un procédé d'épuration des eaux usées qui consiste en un lent écoulement de l'eau dans un ou plusieurs réservoirs peu profonds (la profondeur des lagunes varie de 0,5 à 1,5 m) où prolifèrent des bactéries et autres organismes vivants au détriment des matières organiques et des sels minéraux contenus dans les eaux (**Fig. 04**). L'apport d'oxygène se fait par échange avec l'atmosphère ou par photosynthèse des algues de surface qui se forment et fournissent de l'oxygène nécessaire au développement des bactéries qui vont dégrader cette matière organique selon les processus de fermentation aérobie (**Valiron, 1983**). La matière polluante, soustraite aux eaux usées, se retrouve en grande partie dans la végétation et les sédiments accumulés, et en faible partie dans l'atmosphère sous forme de méthane et d'azote gazeux (**Degremont, 1978**).

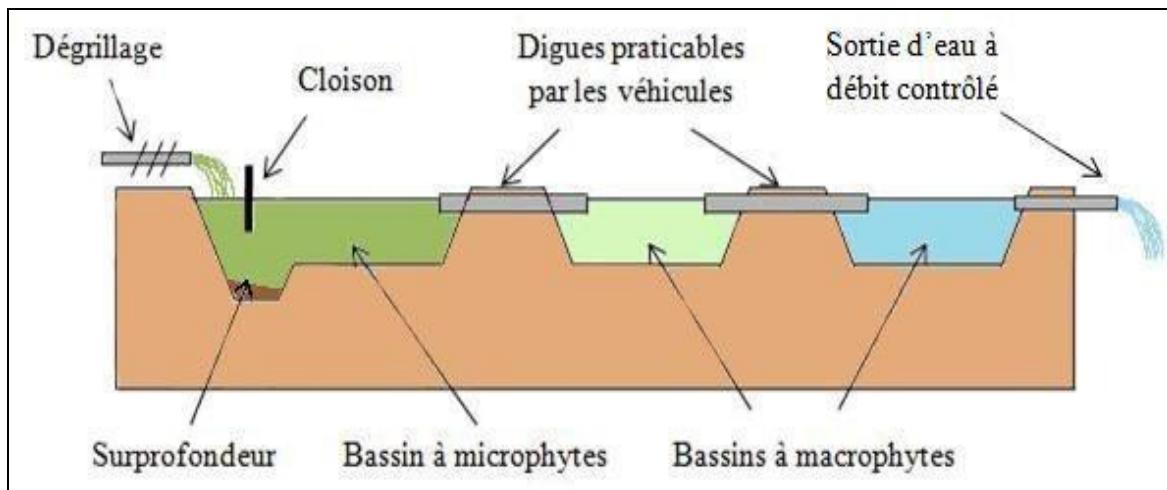


Figure 04 : Schéma du traitement biologique par lagunage (**Karaali et al., 2008**).

6.3.2. Types de lagunage

- ❖ **Lagunage naturel :** Le lagunage naturel peut être utilisé pour traiter complètement les effluents ou pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée en tant que traitement tertiaire. Les étangs de stabilisation sont des lagunes naturelles qui sont classées en fonction des filières de développement des bactéries en trois catégories : anaérobies, aérobies ou facultatifs (mixtes) (**Koller, 2009**). Le lagunage naturel peut être utilisé pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée en tant que traitement complet des effluents ou en tant que traitement tertiaire (**Degremont, 1978**).
- ❖ **Lagunage aéré :** Les lagunes aérées sont de grands bassins qui fonctionnent de manière similaire au procédé à boues activées à faible charge. Elles utilisent un processus d'épuration biologique bactérienne similaire à celui qui se produit naturellement dans les étangs. Pour maintenir des conditions aérobies favorables aux bactéries épuratrices, de l'oxygène est apporté de l'extérieur par insufflation d'air ou oxygénation à l'aide d'aérateurs de surface. Bien que cela ne soit pas théoriquement nécessaire, il est souvent pratiqué de récupérer l'eau traitée et parfois les boues biologiques en tête de lagune. Cela permet d'améliorer le mélange complet et de mieux répartir la biomasse. En raison de la concentration relativement élevée en matières en suspension, il est rare de pouvoir rejeter directement l'effluent traité sans une décantation finale (**Koller, 2009**).

- **Avantages et Inconvénients du lagunage :**

➤ **Avantages :**

- Bonne élimination de la pollution bactériologique.
- Efficace sur des effluents peu concentrés.
- Bonne réactivité à des variations de charges polluantes.
- Très faible consommation énergétique. Bonne intégration paysagère.
- Exploitation simple (**UNISCO ,2008**).

➤ **Inconvénients :**

- Performances épuratrices faibles.
- Sensible aux effluents concentrés.
- Besoin en surface important.
- Entretien des berges des bassins.
- Curage tous les 10ans.
- Possibilité d'altération du traitement au cours du temps.
- Pas de maîtrise humaine du processus.
- Dimensionnement et construction (**UNISCO ,2008**).

6.4. Possibilités de réutilisation des eaux usées traitées

Dans le monde, environ 70% de la demande en eau dans l'agriculture, 20% dans l'industrie et 10% dans les usages domestiques est couverte par la réutilisation des eaux usées épurées. Cette méthode d'irrigation est principalement utilisée dans les pays connus pour leur agriculture, où les ressources en eau sont limitées, tels que le bassin méditerranéen et le Sud des États-Unis (**Ecosse, 2001**).

Le recyclage des eaux usées, pour de nouveaux usages, après traitement, peut s'avérer une ressource en eau dite « non conventionnelle », en complément de la mobilisation des eaux de surface et souterraine (**AFD, 2011**). En fonction des exigences de qualité des utilisateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies (**Boutin et al., 2009**) :

- Les usages non potables, concernant principalement les secteurs agricole, industriel et urbain.
- Les usages potables qui peuvent, après un traitement poussé, être « directs », ou « indirects » à la suite d'un passage dans le milieu naturel.

a. Usages non potables :

- L'irrigation agricole : cultures céralières, arbres fruitiers, forêts, protection contre le gel.
- Les utilisations industrielles : eaux de refroidissement, eaux de procédés, générateurs de vapeurs, nettoyage des équipements, protection contre les incendies.
- Les utilisations urbaines : entretien de voirie, lavage des WC (chasse) et des voitures, nettoyage des édifices publics ornamentaux, irrigation des parcs, cimetières, jardins publics.
- Les usages récréatifs : lacs et bassins artificiels, soutien au débit d'étiage des cours d'eau, entretien des habitats naturels et des zones humides, production de neige, pêcheries.
- La recharge de nappe : lutte contre l'intrusion d'eau de mer ou d'eau saumâtre dans le cas d'une surexploitation de l'aquifère, réapprovisionnement des nappes en situation critique, stockage de l'eau traitée en prévision de futures utilisations.

b. Usages potables :

- La production indirecte d'eau potable : augmentation de la disponibilité en eau, mode de production souvent lié à la recharge de nappe.
- La production directe d'eau potable : l'usine de Windhoek (Namibie) est l'exemple le plus connu de production d'eau potable à partir d'eaux usées traitées mais, cette pratique est peu répandue.

Chapitre II :

La phyto-épuration des eaux usées

Chapitre II : La phyto-épuration des eaux usées

1. Généralité sur la phyto-épuration

1.1. Définition

La phytoépuration est un procédé naturel de filtration ou de dépollution des eaux usées, par les plantes. Il s'agit plus précisément d'assainir les eaux usées par les bactéries cachées dans le système racinaire des plantes qui sont dites épuratrices (**Bonnin, 1977**). Ces dernières sont des microphytes et/ou des macrophytes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétaux, de façon à en favoriser l'épuration naturelle, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore (**Medjdoub, 2014**).

1.2. Historique

La phyto-épuration, connue naguère sous le vocable de « lagunage ». Il s'adresse autant aux particuliers qu'aux petites collectivités. Ce système est assez répandu aux Pays-Bas ou en Belgique, depuis une trentaine d'années, et dans quelques régions françaises. Ce n'est pas le cas en Haute-Normandie, qui, pourtant, dès la fin des années 1970 (**AREHN, 2002**).

Le premier système mis en exploitation date de 1974 (**Grison, 1999**). Exporté vers des pays européens (notamment le Danemark et le Royaume Uni), le système a fait l'objet de nombreuses critiques de la part de scientifiques qui ont contesté le dimensionnement et l'aptitude des roseaux à augmenter la perméabilité des sols en place utilisés comme substrat (**Brix, 1987**). Ce genre de procédé d'épuration est de plus en plus utilisé à travers le monde, à titre d'exemple, plus de 2000 stations d'épuration à filtres plantés fonctionnent en France. L'utilisation des végétaux aquatiques pour le traitement des eaux usées est relativement ancienne. En France, les coûts d'investissement ont diminué entre 1991 et 2006, et plus de six cent cinquante (650) communes françaises ont été équipées de ce procédé (**Audic et Esser, 2006**).

1.3. Principe de la phyto-épuration

Ce système d'épuration repose sur la capacité purificatrice des plantes aquatiques : les algues, les hydrophytes (plantes aquatiques libres) et les hélophytes (plantes des bords de

l'eau). Les eaux usées restent simplement dans une série de bassins ouverts peuplés de ces plantes (**Figure 05**). Le roseau (ou phragmite) et d'autres plantes vigoureuses ont été largement utilisés à cet effet sous le nom de "macrophytes". Ces plantes consomment les composés polluants dissous dans l'eau (l'azote et le phosphore) qui leur servent de nutriments (**AREHN, 2002**). Les macrophytes, et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites australis*), ont la particularité de former un système racinaire et un réseau de galeries qui drainent, apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que le macrofaune du sol, jouent un rôle dans la dégradation et la minéralisation de la matière organique, qui devient assimilable par les plantes (**Medjdoub, 2014**).

Les fonctions attribuées à chacune des composantes, se résument comme suit :

- Le substrat de gravier et de galet joue le rôle de filtration, captant les matières solides présentes dans les eaux (**Boutin, 1987**).
- Les végétaux développent la faculté de transférer l'oxygène vers le système racinaire, où se développe un métabolisme assurant l'assimilation de certaines substances nutritives (N. P).
- Les micro-organismes colonisant les racines, complètent le mécanisme de dégradation de la matière organique par les différents processus d'oxydation et de réduction (**Benslimane et al. 2013**)

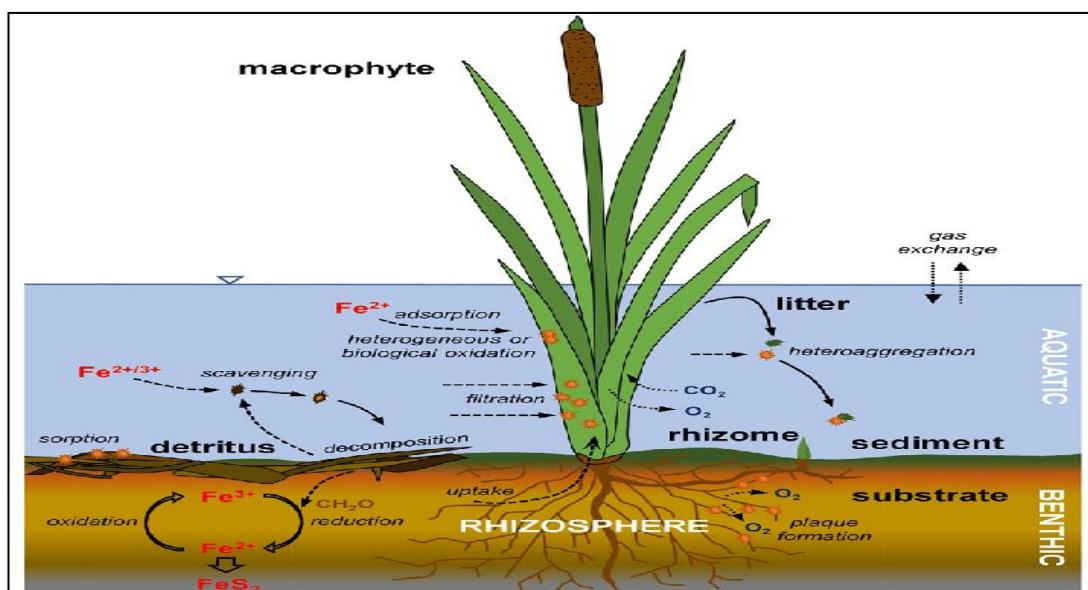


Figure 05 : Principes de l'épuration dans un bassin à macrophytes (**Benslimane et al. 2013**).

1.4. Paramètres influençant la phyto-épuration

1.4.1. Aération de substrat

Qui est considéré comme le paramètre le plus crucial parmi ceux-ci, car il pose une limite. En effet, l'élimination des matières organiques et la nitrification sont deux réactions qui requièrent une grande quantité d'oxygène (**Poulet et al., 2004**).

1.4.2. Température

Elle a une influence déterminante sur l'activité biologique des micro-organismes et sur la réserve d'oxygène pour le processus d'autoépuration. Pour l'ensemble des micro-organismes responsables des biodégradations, la zone de température favorable se situe entre 4 et 25°C en aérobiose, et entre 10 et 65 °C en anaérobiose (**Poulet et al., 2004**).

1.4.3. Oxygène dissous

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est primordiale, il contribue à maintenir différents aspects de la qualité de l'eau, y compris son goût, et il est vital pour la survie de nombreux organismes aquatiques. L'oxygène dissous dans l'eau peut être issu de diverses sources :

- De la dissolution de l'oxygène de l'air par la diffusion à travers la surface.
- De l'apport d'un affluent plus oxygéné, surtout dans le cas des rivières, et parfois même, d'une aération artificielle.
- De la biosynthèse pour les plantes vertes aquatiques qui, sous l'effet de la lumière solaire, utilisent le CO₂ dissous dans l'eau grâce à leur fonction chlorophyllienne dans le cas du lagunage (**Poulet et al., 2004**).

1.4.4. Pollution microbiologique

En général, le rejet urbain crée des conditions très favorables à la propagation de certains germes pathogènes et organismes vivants. Parmi ceux-ci, on peut mentionner les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments assurent une quantité constante de germes nécessaires à la dégradation biologique.

Les micro-organismes ont un rôle essentiel à jouer dans tous les systèmes de traitement des eaux usées à partir des plantes. Qu'ils soient aérobies ou anaérobies, ce sont eux qui consomment la partie carbonée des eaux usées pour la transformer principalement en CO₂ pour les bactéries aérobies et aussi en méthane pour les bactéries anaérobies. Lorsqu'il est possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (**Medjdoub, 2014**).

1.4.5. Constitution du filtre

La durée de vie et les performances épuratoires des filtres dépendent en grande partie de la qualité des matériaux. De par sa granulométrie, le matériau de remplissage a un rôle évident de filtration des matières en suspension et de la partie organique associée présentes dans les eaux usées, d'où le nom de filtres. Son efficacité dans ce rôle dépend en grande partie de la texture du matériau que l'on approche par sa granulométrie et qui interviendra notamment sur les caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique en milieu saturé ou non). Les graviers et les sables utilisés doivent être roulés, lavés et, à fin d'éviter d'éventuelles contaminations de la nappe souterraine, les bassins de phyto-épuration doivent être imperméabilisés, en utilisant des géomembranes synthétiques ou de la bentonite. Cependant, il est déconseillé de couler un radier en ciment pour une question de coût de réalisation et de problèmes d'étanchéité. L'utilisation d'un sol argileux est la possibilité la plus économique, qui nécessite cependant une très faible perméabilité (K < 10⁻⁸ m/s) et avec une profondeur de nappe à plus de 1m sous la base du lit du bassin (**Carleton et al., 2001**).

1.4.6. Effets des plantes dans le système de phyto-épuration

Les plantes jouent un rôle crucial dans la phytoépuration en effectuant divers processus essentiels. Elles absorbent le carbone, les nutriments et les éléments traces, les intégrant dans leurs tissus pour les éliminer de l'eau. De plus, elles facilitent le transfert de gaz entre l'atmosphère et les sédiments, contribuant ainsi à l'équilibre des écosystèmes. Les plantes créent des sites oxygénés dans le substrat en libérant de l'oxygène à partir de leurs surfaces supérieures, ce qui favorise la vie microbienne. Les systèmes racinaires et les tiges des plantes offrent des sites pour l'attachement des microorganismes qui participent à l'épuration. Lorsqu'elles meurent et pourrissent, les plantes créent du détritus, qui contribue à l'épuration

naturelle. Enfin, le développement racinaire des plantes permet de limiter le colmatage des filtres en formant des pores tubulaires le long des racines (**Kleche, 2013**).

1.4.7. Durée de traitement

Le temps de séjour est crucial en phytoépuration, influençant l'efficacité du traitement. Il doit être supérieur au temps nécessaire à l'épuration. Les eaux doivent séjournner dans les bassins assez longtemps, avec des variations saisonnières. En hiver, le temps de séjour est plus long qu'en été, impactant directement l'efficacité du traitement. Une pente longitudinale adéquate est essentielle, car une pente élevée réduit le temps de séjour et diminue l'efficacité du traitement. Un temps de séjour minimum recommandé est de 24 heures (**Astebol *et al.*, 2004**).

2. Type de filtre planté

Il existe des systèmes utilisés dans le traitement des eaux usées par phytoépuration, classés suivant le sens de l'écoulement, elles diffèrent selon le mode d'alimentation et les conditions de traitement aérobie (**Lienard *et al.*, 2005**) :

- Les filtres plantés à écoulement vertical
- Les filtres plantés à écoulement horizontal
- Les filtres plantés à écoulement hybride

2.1. Filtres plantés à écoulement vertical

Ce sont des bassins remplis de gravier et contenant une couche supérieure de sable dans laquelle sont plantées des plantes aquatiques (**Fig. 06**). L'eau traitée est collectée par un réseau de canalisations de drainage en aval ou par d'autres méthodes, y compris l'aération des canaux à partir de la surface directement ou à l'aide de pompes ou à travers des plantes, où elle吸 l'oxygène de l'air au fond du bassin et le distribue par les racines. La dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support non saturé (**Aba Aaki, 2012**).

Le bassin est alimenté par intermittence afin que les espaces entre le milieu sableux ou graveleux pendant la période de repos retournent et se remplissent d'air, et donc l'oxygène nécessaire au processus de nitrification est disponible. Une petite partie du nitrate est convertie en azote gazeux anaérobie, ce qui conduit à une diminution des odeurs. Ce système

nécessite un repos régulier afin de décomposer la matière organique fixée dans le média filtrant. Le filtre planté de roseaux est généralement composé de deux étages : le premier retient les particules solides et débute le traitement, le second affine l'épuration. (**Boutin et al., 1997**).

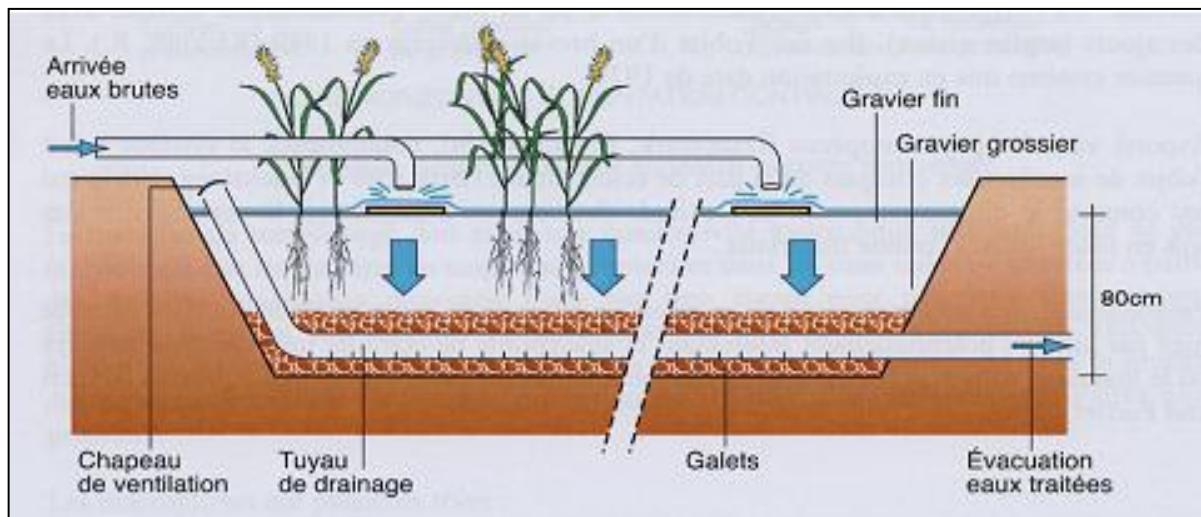


Figure 06 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical (**Boutin et al., 1997**).

2.2. Filtres plantés à écoulement horizontal

Un filtre planté à écoulement horizontal sous surface est un grand canal rempli de gravier et de sable sur lequel la végétation aquatique est plantée (**Fig. 07**). Comme l'eau usée coule horizontalement à travers le canal, le matériau filtrant filtre les particules et les micro-organismes dégradent la matière organique. Le niveau d'eau dans un filtre planté à écoulement sous surface est maintenu de 5 à 15 cm en dessous de la surface pour assurer un écoulement souterrain. Le lit devrait être large et peu profond, de sorte que le chemin d'écoulement de l'eau soit maximisé. Une zone d'admission devrait être utilisée pour distribuer également l'écoulement. Les filtres horizontaux nécessitent un prétraitement des eaux, par exemple par un filtre vertical, des fosses septiques ou un petit bassin de lagunage pour ne pas risquer de se colmater (**Tilley et al., 2008**).

Ces filtres sont généralement intégrés dans un ensemble de dispositifs d'épuration pouvant être utilisés pour l'épuration des eaux domestiques à l'échelle d'une famille ou d'une communauté et pouvant remplacer les puisards ou les fosses septiques (**OMS, 1989**).

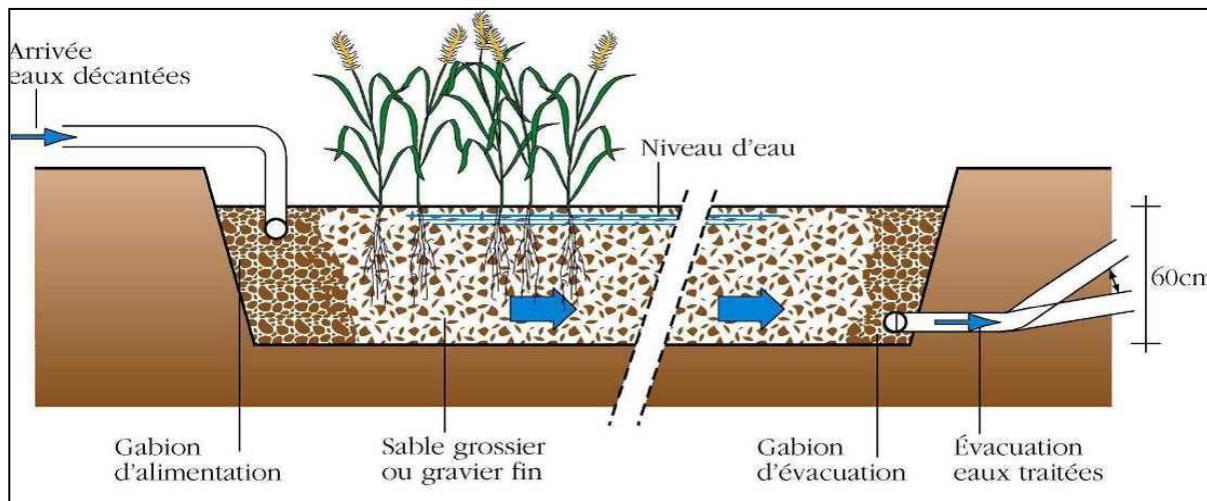


Figure 07 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement Horizontal (**Poulet et al., 2004**).

2.3. Filtres plantés à écoulement hybride

Les systèmes mixtes sont en fait l'association en série de filtres verticaux et de filtres horizontaux (**Fig. 08**). Généralement, cette association est constituée de deux étages consécutifs de filtres verticaux en parallèle suivis de deux ou trois étages de filtres horizontaux en série. L'intérêt d'une telle association est d'obtenir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres horizontaux où l'on trouve les conditions d'anoxie nécessaires à cette réaction. Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés, car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matières organiques pour se développer et dénitrifier correctement. Or, en sortie des filtres verticaux, la majeure partie de la matière organique a été dégradée, elle n'est donc plus disponible pour les bactéries (**Masi et Martinuzzi, 2007**).

Dans ce type de système (mixte), l'élimination des matières organiques (DBO₅ et DCO) et des matières en suspension est très élevée et stable au cours des années d'exploitation. Cependant, l'enlèvement d'éléments nutritifs (azote et phosphore) est généralement faible et ne dépasse pas 50% des eaux usées. Le système mixte construit des zones humides combinées (phénomène de nitrification et de dénitrification) afin d'obtenir un effet de traitement plus élevé, en particulier pour l'azote (**Molle, 2003**).

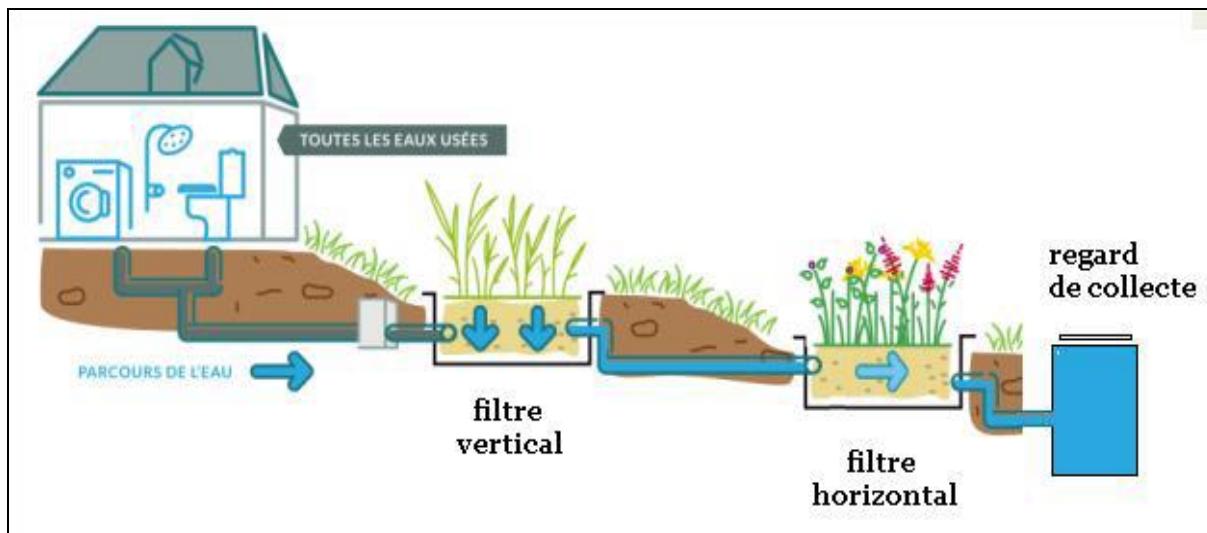


Figure 08 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride (Gagnon, 2012).

3. Avantages et inconvénients de la phyto-épuration

➤ **Avantage :**

- Coût de fonctionnement plus faible que les autres steps.
- Pas de production de déchets et pas de consommation d'énergie.
- La durabilité de la structure et la simplicité de mise en œuvre et d'entretien.
- Création des espaces verts et bonne intégration dans le paysage.
- Une diversifiée et haute qualité environnementale.
- Elle possède une excellente élimination de la pollution microbiologique (Bonnin, 1977).

➤ **Inconvénients :**

- Adapté aux petites collectivités (capacité inférieure à de 2000 habitant).
- L'impossibilité de l'installation dans les zones sensibles (les zones inondables...).
- Il faut assurer une pente naturelle suffisante entre l'entrée et la sortie de la station pour que l'eau puisse couler.
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.
- En cas de mauvais fonctionnement, le risque d'odeurs pourrait apparaître.
- Risque de présence d'insectes ou de rongeurs.
- Nécessité d'un dessableur en tête sur réseau unitaire (Perera et Baudot, 2001).

Chapitre III :

Matériel et méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Description générale de la station d'épuration de wilaya Guelma

La station d'épuration des eaux de Guelma est située sur la route nationale N°21, pont Héliopolis près d'Oued Seybouse (**Fig. 09**). Elle est fonctionnelle depuis le 18 février 2008 à raison d'un traitement d'environ 32000 m³/jour au temps sec et 43000 m³/jour au temps de pluie.

La station est située sur un terrain agricole de 7,8 hectares et a une capacité de traitement de 200 000 équivalents/habitant. Elle utilise le procédé de culture libre (boue activée) pour l'épuration. Les eaux usées urbaines de la ville de Guelma sont collectées sur deux bassins versants grâce à un réseau d'assainissement existant. La STEP est alimentée par deux conduites de refoulement :

- **SR1** : alimentée par Oued El Maiz, avec un débit de 1575 m³/h.
- **SR2** : alimentée par Oued Skhoun, avec un débit de 1125 m³/h (**Tabet, 2014**).



Figure 09 : Photos satellite de la station d'épuration de Guelma (**Google Maps, 2022**).

1.1. Principe du fonctionnement de la station d'épuration

L'épuration des eaux usées dans la STEP de la ville de Guelma consiste en un prétraitement (dégrillage, dessablage et déshuileage), un traitement primaire par décantation,

des traitements biologiques secondaires par boues activées et un traitement tertiaire par chloration.

1.1.1. Prétraitement

La première étape du traitement consiste à éliminer tous les éléments des effluents qui pourraient perturber le fonctionnement des installations et dont la taille varie entre 0,1 et 50 mm. Cela se fait par un prétraitement comprenant plusieurs opérations physiques ou mécaniques. Le but est d'extraire et d'éliminer les particules solides en suspension ou flottantes dans l'eau, qui pourraient entraver les traitements ultérieurs. Ces particules comprennent les déchets volumineux (dégrillage), les sables et graviers (dessablage) et les graisses (déshuilage) (**Koller, 2009**).

➤ **Le dégrillage** : Il consiste à retenir les gros déchets solides au moyen de grilles à barreaux verticaux dont l'écartement varie entre 3 et 100 mm en fonction de l'efficacité voulue. Sont ainsi éliminés les bois, plastiques, papiers, bouteilles, feuilles qui sont susceptibles de provoquer des dégâts aux conduites et machines des différentes unités de l'installation. Ces éléments sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères. Le tamisage, qui utilise des grilles dont l'espacement est plus réduit, peut compléter cette phase de prétraitement. Cependant, il génère beaucoup plus de déchets (**Koller, 2009**).



Figure 10 : Un dégrilleur (Photo prise par Guerfa).

➤ **Le dessablage** : le dessablage a pour but d'extraire des eaux les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et

conduites à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de surcharger les stades de traitement suivants. Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie supérieure à 200 Um. Une granulométrie inférieure sera du ressort de la décantation (**Koller, 2009**).

- **Le dégraissage** : il vise à éliminer la présence de graisses dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. Le dégraissage s'effectue par flottation, car les huiles et les graisses, en principe, et car leurs densités sont inférieures à celle de l'eau. L'injection d'air au fond de l'ouvrage facilite la remontée en surface des corps gras qui sont ensuite raclés à la surface, puis stockés pour être éliminés (mise en décharge ou incinération). Les graisses peuvent aussi faire l'objet d'un traitement biologique spécifique au sein de la station d'épuration. D'nombreuses stations utilisent des dessaleurs-dégrasseurs combinés. Le temps de séjour dans ce type d'ouvrage est de 5 à 12 min (**Koller, 2009**).



Figure 11 : Dessableur – Déshuileur (Photo prise par Taleb).

1.1.2. Traitement primaire

Le traitement primaire a pour objectif l'élimination de MES. Il fait appel à différents procédés physiques ou chimiques. Les matières décantables se déposent au fond, flottent à la surface par différence de densité ou après adjonction de produits agglomérant la matière et accélérant leur flottation ou leur sédimentation.

Les boues primaires sont collectées à l'aide d'un système de raclage. Ce traitement élimine environ 50 à 55% des substances en suspension. La décantation devient encore plus efficace lorsqu'elle est précédée d'une floculation. La coagulation-flocculation permet d'éliminer jusqu'à 90% des substances en suspension. Cette technique consiste à ajouter un réactif qui provoque l'agglomération des particules en suspension, accélérant ainsi leur sédimentation au fond de la structure. Les amas de solides ainsi formés sont appelés (flocs). L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'améliorer le rendement de la décantation. Ce type de structure est composé de lamelles parallèles inclinées, ce qui augmente la surface de sédimentation et accélère le processus de dépôt des particules. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70% des matières en suspension (**Koller, 2009**).



Figure 12 : Décanteur primaire (Photo prise par Taleb).

1.1.3. Traitement secondaire : (élimination de la charge carbonée)

Le traitement secondaire est une méthode de purification biologique. Cette méthode permet de se débarrasser de la plupart des agents polluants présents dans les eaux usées, notamment la pollution carbonée biodégradable. Elle consiste à mettre en contact les eaux usées avec une biomasse épuratrice, qui est en réalité un écosystème simple composé uniquement de micro-organismes sélectionnés. La dégradation de la matière organique se fait par digestion aérobie grâce aux bactéries, à condition de contrôler le taux d'oxygène dissous dans l'eau et la concentration de la biomasse, avec un temps de contact entre les eaux usées et la biomasse d'environ 6 à 10 heures. Ce traitement permet de produire de la biomasse (bous) et du CO₂ (**Koller, 2009**).

1.1.4. Traitement tertiaire :(élimination de l'azote et du phosphore)

Après le processus de traitement secondaire, les eaux usées contiennent toujours différents composés azotés provenant des excréments humains et animaux, ainsi que du phosphore provenant des détergents utilisés dans les lessives et l'agriculture. Bien que ces substances ne soient pas directement dangereuses, elles ont un effet néfaste sur l'environnement aquatique en favorisant, par exemple, une prolifération excessive d'algues vertes (**Koller, 2009**).

1.2. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques et bactériologiques de l'eau (**Mimeche, 2014**).

Les prélèvements ont été réalisés en février 2024 à partir de la station d'épuration de Guelma, dans des flacons en verre stérilisés à 180°C pendant 20 minutes. Les échantillons ont été soigneusement étiquetés, conservés à 4°C et transportés au laboratoire dans une glacière. Il est possible que la concentration initiale de germes dans l'eau subisse des modifications dans le flacon après le prélèvement. C'est pourquoi toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible. (**Rodier *et al.*, 2009**).



Figure 13 : Site de prélèvement (Photos prise par Guerfa).

2. Matériel biologique

Notre étude est basée sur deux types de plante : la massette à feuilles étroites *Typha angustifolia* et le roseau commun *Phragmites australis* qui appartiennent à la systématique suivante :

1-*Typha angustifolia*

- **Règne** : *Plantae*
- **Sous règne** : *Tracheobionta*
- **Division** : *Magnoliofita*
- **Classe** : *Liliopsida*
- **Sous classe** : *Commelinidao*
- **Ordre** : *Tyhalles*
- **Famille** : *Tyhaceae*
- **Genre** : *Typha*
- **Espèce** : *Typha angustifolia*



Figure 14 : Systématique de la massette à feuilles étroites *Typha angustifolia*.

- ❖ **Description** : Cette espèce atteint régulièrement 3m de haut. Elle forme de grandes touffes de feuilles mesurant jusqu'à 2 cm de large (**Lazarine et Lazarine, 2011**). La hauteur de la tige varie entre 100 à 270 cm et la taille de la feuille entre 6 à 25 mm. Sans aucun parfum ni nectar, elles se décrivent comme étant linéaires, avec des épis staminés et une floraison estivale. Ces plantes produisent beaucoup de biomasse et leurs longues tiges assurent l'oxygénéation du substrat (**Gagnon, 2012**).
- ❖ **Habitat** : Elles proviennent des régions tempérées et chaudes des deux hémisphères et on les retrouve particulièrement en Europe, en Asie et en Amérique. Elles colonisent les marais et les rivages saturés en eau douce (**Gagnon, 2012**).

2- *Phragmites australis*

- **Règne** : *Plantae*
- **Sous-règne** : *Tracheobionta*
- **Division** : *Magnoliophyta*
- **Classe** : *Liliopsida*
- **Sous-classe** : *Commelinidae*
- **Ordre** : *Cyperales*
- **Famille** : *Poaceae*
- **Genre** : *Phragmites*
- **Espèce** : *Phragmites australis*



Figure 15 : Systématique du roseau commun *Phragmites australis*.

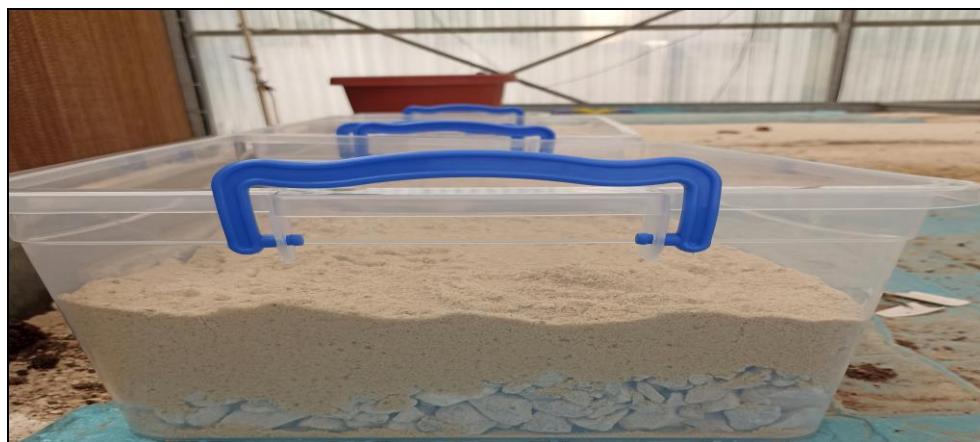
- ❖ **Description** : Le roseau commun est haut de 3m. Son inflorescence est violette en été, puis jaune doré à l'automne. Elle peut mesurer jusqu'à 40cm. Son inflorescence est une panicule plumeuse de couleur rouge à brun. La tige non ramifiée porte des feuilles longues et planes (**Gagnon, 2012**).
- ❖ **Habitat** : C'est une plante qui résiste aux milieux les plus argileux et rocaillieux, facile à planter en milieux marécageux (**Fauteux, 2002**). Le roseau commun, pour sa part est presque complètement cosmopolite (**Gagnon, 2012**).

3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental mis en œuvre est constitué de quatre bacs identiques en plastique achetés dans un magasin d'ustensiles ménagers. Les dimensions de chaque bac sont: 40cm de longueur, 25cm de largeur et 15cm de profondeur. Ces derniers sont remplis par une succession verticale de trois couches, deux composées de gravier (grossier et petit) et le troisième est constitué de sable, puis nous avons rajouté de l'eau prélevée du bassin de finition de la STEP de la wilaya de Guelma (**Tab. 02**).

Tableau 02 : Les types de substrat utilisé.

Couches	Substrat	Épaisseur de la couche
1 ^{ière} couche	Gravier Grossier	3cm
2 ^{ième} couche	Gravier Petit	3cm
3 ^{ième} couche	Sable	4cm

**Figure 16 : Composition du dispositif expérimental (Photo prise par Guerfa).**

Le premier bac a été planté avec la massette à feuilles étroites (*Typha angustifolia*) codée par « Ty », le deuxième avec les roseaux communs (*Phragmites australis*) codés par « Ph », le troisième avec les deux plantes ensemble codées par « M » (Mixte), et le quatrième codé « Tém » (Témoin), qui ne contient pas de plantes, mais des couches de graviers, de sable et de l'eau (Fig. 15).

Au cours de cette expérience, nous avons rempli les quatre bacs mentionnés précédemment avec de l'eau provenant du bassin de finition à la STEP et les avons laissés pendant 21 jours, un délai adéquat pour permettre aux plantes de mener leur action épuratrice. Passé ce délai, nous avons récupéré l'eau des quatre bacs et utilisé cette eau pour réaliser les analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Université du 8 mai 1945 de Guelma (SNV-STU).

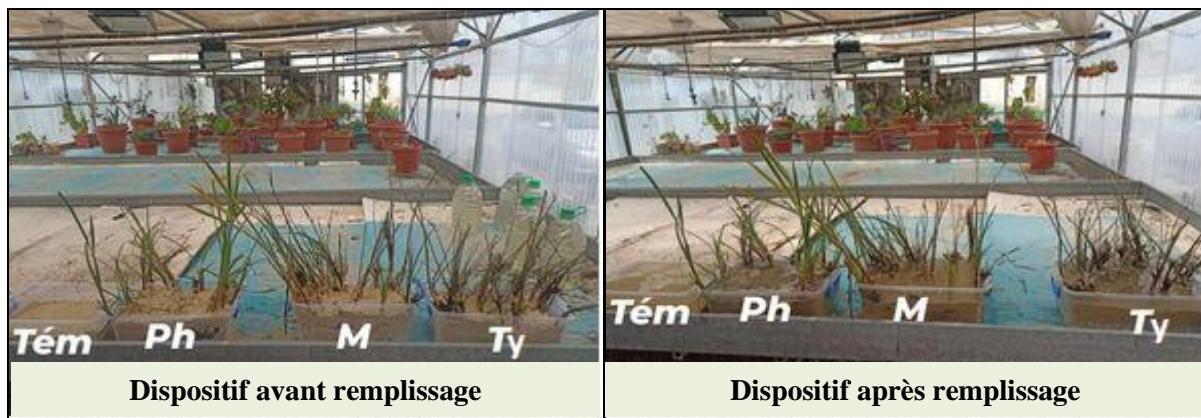


Figure 17 : Dispositif expérimental. **Ty** : Bac avec *Typha angustifolia* ;
M : Bac avec *Phragmites australis*+ *Typha angustifolia*
Ph : Bac avec *Phragmites australis* ; **Tém** : Témoin (Photos prise par Taleb).

3.1. Étude physicochimique

L'analyse de la qualité physico-chimique des eaux usées repose sur la mesure de certains paramètres qui sont considérés comme des critères fondamentaux qui nous permettent de déterminer si ces eaux sont polluées ou non. Ces analyses permettent de détecter la présence de substances chimiques, de minéraux et de polluants, offrant des informations sur la composition et la pureté de l'eau. Chaque paramètre est déterminé par une limite de qualité, qui fixe une valeur dans un intervalle à ne pas dépasser (**Rodier et al., 2009**).

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au niveau des laboratoires pédagogiques de notre faculté SNV-STU de l'université 8 mai 1945, Guelma.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques physicochimiques étudiées dans notre recherche.

Tableau 03 : Paramètres physicochimiques recherchés.

Indicateurs	Références
Température	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829
Potentiel d'hydrogène	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829
Potentiel oxydo-réduction	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829
Conductivité électrique	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829
Oxygène dissous	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829

Total des solides dissous	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829
Salinité	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA H19829
Matière en suspension	Filtration par membrane
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	Thermo réacteur AL 125 Aqualitic
Demande Biologique en Oxygène (DBO)	Méthode aux oxitops

3.2. Étude bactériologique

3.2.1. Matériels utilisés

- ✓ **Verreries** : Il est important de bien nettoyer, rincer, sécher et stériliser la verrerie avant chaque utilisation, soit au four Pasteur à 180°C pendant 30 minutes, soit dans un autoclave à 120°C pendant 15 minutes.
- ✓ **Appareillages et outils :**
 - Bec Bunsen
 - Bain-marie
 - Etuves réglées à 37 °C
 - Autoclave
 - Boites de Pétri stériles
 - Microscope optique marque (OPTIKA)
- ✓ **Milieux de cultures** : Les milieux de culture solides et liquides sélectifs utilisés pour les analyses de l'eau sont décrits de la manière suivante :
 - Gélose TGEA : (Glucose-Tryptone-Extrait de levure) est un milieu développé pour la recherche et le dénombrement des bactéries aérobies mésophiles.
 - Gélose S.S : (Gélose Salmonella-Shigella) est un milieu sélectif pour l'isolement de *Salmonella* et *Shigella*.
 - Gélose Chapman : est un milieu sélectif pour l'isolement des *Staphylococcus*.

- Gélose Mac Conkey : est un milieu sélectif pour l'isolement et l'identification des bacilles Gram négatifs.
- Gélose glucosée Viande Foie : est un milieu utilisé pour le dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies dans les eaux.
- Bouillon de BCPL : (Bromo-Cresol Pourpre Lactose) utilisé pour la détection des coliformes.
- Bouillon Schubert : utilisé pour confirmer la présence de coliformes.
- Bouillon de Roth : utilisé pour la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux.
- Bouillon EVA LITSKY : utilisé pour confirmer la présence des entérocoques.

✓ **Réactifs utilisés :**

- Kovax.
- Huile de paraphine.

3.2.2. Méthodes d'analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser. En raison de la diversité des espèces bactériennes, virales et parasitaires, des germes test vont être analysés qui représenteront par la suite l'aspect microbiologique de ces eaux (**Rejsek, 2002**). Une analyse complète de l'eau brute a été effectuée en se basant sur la recherche et le dénombrement des paramètres suivants:

- Recherche et dénombrement des germes totaux.
 - Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.
 - Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.
 - Recherche des *Clostridium* sulfito-réducteurs.
 - Recherche des salmonelles.
 - Recherche des *Staphylococcus*.
- a. **Recherche des germes totaux :** Les micro-organismes revivifiables sont définis par les normes internationales comme étant l'ensemble des bactéries, levures et moisissures qui

peuvent coloniser dans ou sur le milieu de culture spécifié dans les conditions d'essai décrites ci-dessous (**Rejsek, 2002**). On utilise le milieu de culture de la gélose glucosée tryptonée à l'extrait de levure (TGEA).

✓ **Mode opératoire :**

- À partir des échantillons à analyser, qui sont considérés comme des solutions mères, nous introduisons 9 ml d'eau stérile dans une série de tubes stériles correspondant au nombre de dilutions à utiliser (10^{-1} à la 10^{-6}). Avec une pipette stérile, nous prélevons 1 ml et nous l'ajoutons au premier tube jusqu'à ce que toutes les séries soient terminées. Il est important de souligner que la pipette doit éviter tout contact avec la paroi des tubes ou avec l'eau distillée stérile.
- Inoculer trois boîtes de pétri vides préparées à cet usage avec 1ml des différentes dilutions (10^{-2} ; 10^{-4} ; 10^{-6}). Compléter ensuite chacune des boîtes avec environ 15ml de gélose TGEA fondu dans un bain marie à 100°C puis refroidi à environ 40°C.
- Incorporer à la fin l'eau des échantillons avec la gélose, en effectuant des mouvements circulaires de va et vient en forme 8. Laisser solidifier sur la paillasse puis incuber à 37°C pendant 24 h à 48 h (**Délarras, 2008**).

✓ **Lecture :**

- Calculer le nombre de colonies formées présentes dans un millilitre d'échantillon.
- Exprimés les résultats en nombre de germes par ml (Germe/ml).

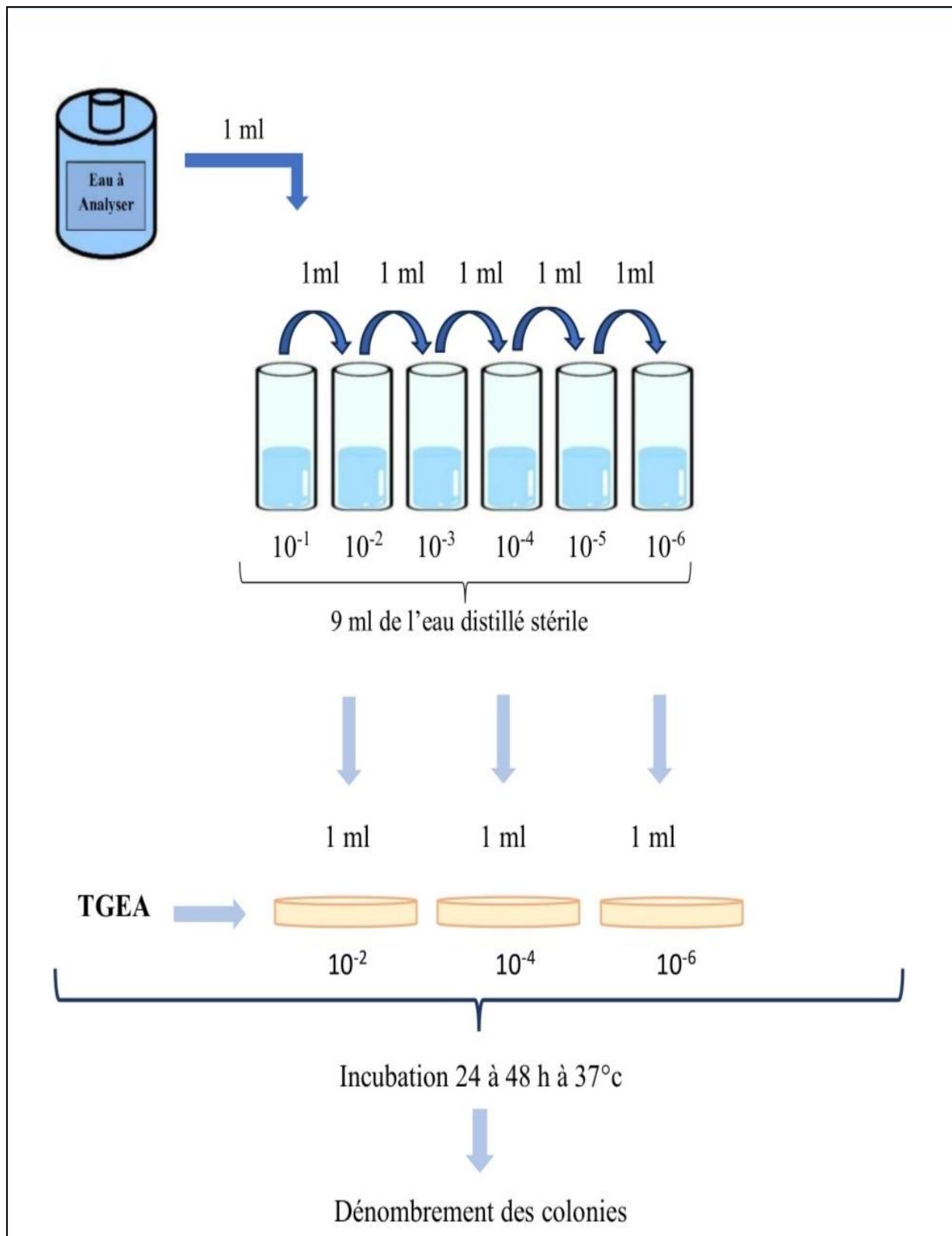


Figure 18 : Recherche et dénombrement des germes totaux.

b. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux : La recherche et le dénombrement des coliformes totaux et fécaux et l'identification d'E.Coli dans les eaux sont effectués par la méthode du nombre le plus probable (NPP) appelée aussi la colimétrie qui se fait en deux étapes consécutives :

- **Un test présomptif :** réservé à la recherche des coliformes.
- **Un test confirmatif :** appelé test de Mac Kenzie est réservé à la recherche des coliformes thermotolérants et d'Escherichia Coli (**Delarras et al., 2010**).

✓ **Mode opératoire**

• **Test présomptif :**

Après une homogénéisation parfaite de l'échantillon pour obtenir une répartition homogène des micro-organismes, nous avons effectué cinq dilutions décimales successives (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) avec trois répétitions par dilution. Les dilutions sont toujours effectuées dans des conditions aseptiques.

Tous les tubes sont munis de cloches de durham pour déceler le dégagement éventuel du gaz dans le milieu. Avant d'ensemencer les tubes, il faut vérifier qu'il n'y a pas de bulles d'air sous la cloche pour éviter de fausser les résultats.

- Prendre les tubes de BCPL (bouillon lactose au pourpre de Bromo-Cresol, simple concentration).
- À l'aide d'une pipette Pasteur stérile, prélever 1 ml d'eau à analyseur et la placer dans le premier tube de la série contenant 9 ml de BCPL, afin d'obtenir une dilution de 10^{-1} .
- Ajouter 1 ml de la dilution 10^{-1} précédente à un tube contenant 9 ml de BCPL afin d'obtenir la dilution 10^{-2} .
- Transférer 1 ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 9ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- La technique doit être appliquée à deux autres tubes de BCPL pour obtenir cinq tubes de BCPL, puis refaite pour deux autres séries (**Delarras et al., 2010**).

✓ **Lecture :** Après incubation, seront considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement de gaz (supérieur au 1/10ème de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu) (**Lebres, 2006**).
- On retient le nombre caractéristique constitué par les trois chiffres écrits dans l'ordre des dilutions croissantes en commençant par le nombre correspondant à la plus grande dilution pour laquelle tous les tubes sont positifs. Ce nombre caractéristique obtenu correspond, d'après la table de Mac Grady, au nombre de bactéries présentes (NPP) dans le prélèvement correspondant à la plus faible dilution prise en compte. Le calcul de la concentration cellulaire dans la suspension initiale se fait en tenant compte les dilutions effectuées (**Leclerc, 1982**).

• **Test confirmatif :**

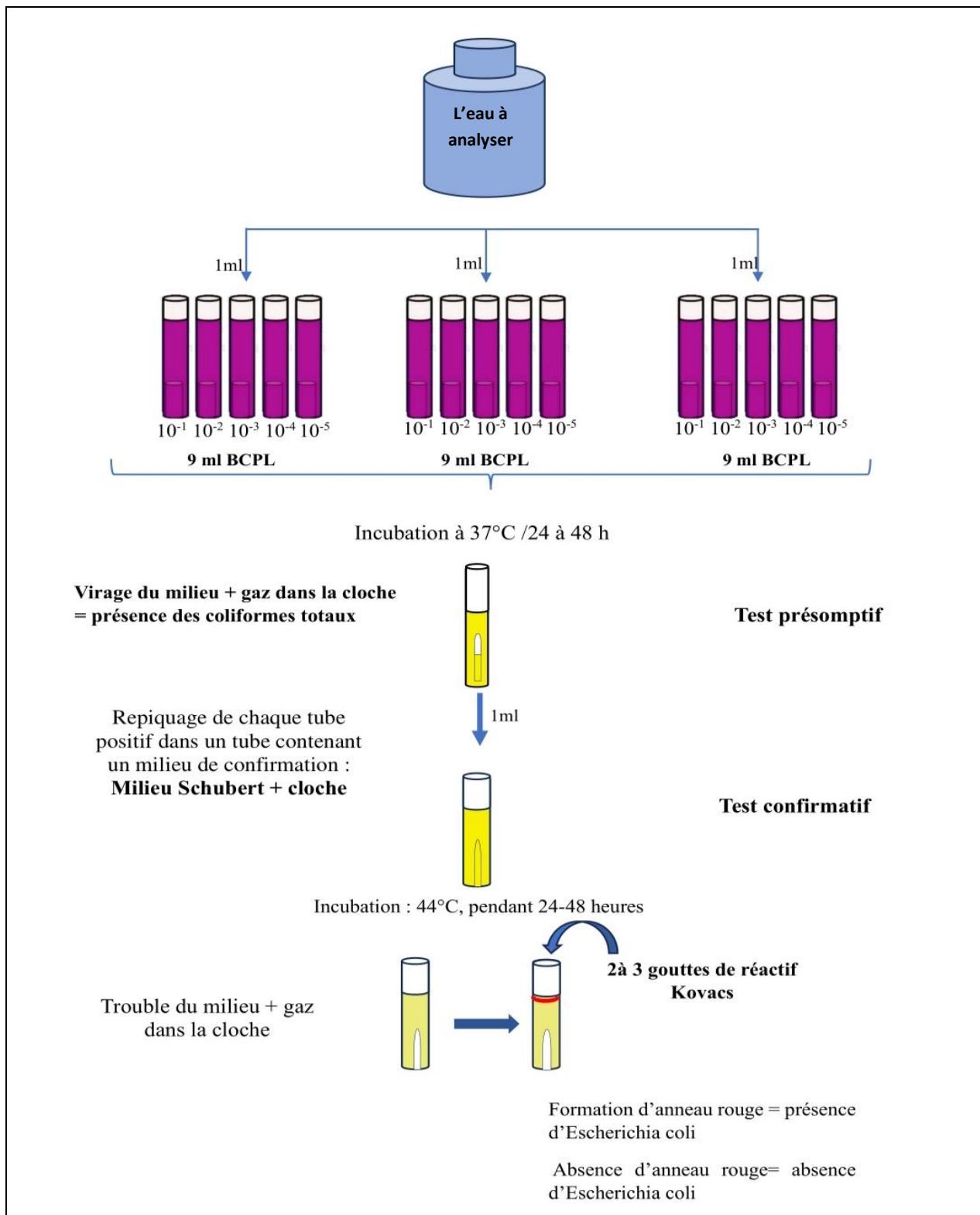
Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*.

Repiquer chaque tube de BCPL trouvé positif avec une anse bouclée ou une pipette Pasteur dans le milieu de confirmation (**Rodier et al., 2009**). Comme milieu de confirmation, on a utilisé le milieu schubert.

Éliminer toute présence d'air dans les cloches de Durham et mélanger soigneusement le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci à 37°C pendant 24 heures (**Lebres, 2006**).

✓ **Lecture :** Seront considérés comme positifs les tubes présentant :

- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs. (**Rejsek, 2002**).
- La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP de Mac Grady (**Annexe 01**).

**Figure 19 :** Recherche et dénombrement des coliformes.

c. **Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :** Les Streptocoques fécaux sont dénombrés en milieu liquide à l'aide de deux bouillons de culture (milieu de Rothe et le milieu Eva Litsky). Cette méthode fait appel à deux tests consécutifs à savoir : test de présomption suivi du test de confirmation (**Rejsek, 2002**).

✓ **Mode opératoire :**

• **Test présomptif:**

- Lorsque l'eau à analyseur est homogénéisée, il est nécessaire de porter aseptiquement 1 ml dans un tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C afin d'obtenir une dilution de 10^{-1} .
- Prélever 1ml de tube précédent 10^{-1} et mettre dans le second tube Rothe pour avoir la dilution 10^{-2} .
- Transférer 1 ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- Refaire la technique 5 fois pour avoir 5 tubes de Rothe, et refaire 2 autres séries. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures (**Rejsek, 2002**).

✓ **Lecture:** Après incubation, considérer comme positifs les tubes pour lesquels on observe un trouble dû à une croissance microbienne.

• **Test confirmatif:**

Un repiquage sera effectué sur les tubes de Rothe qui ont été détectés positifs en utilisant une pipette pasteur ou une anse bouclée dans un tube contenant le milieu Eva Litsky. Le milieu et l'inoculum doivent être bien mélangés. La période d'incubation est de 24 heures à une température de 37°C .

✓ **Lecture :**

La présence de streptocoque sur le milieu d'Eva Litsky se caractérise par l'apparition d'un trouble dû au développement bactérien, avec ou sans dépôt violet (**Rejsek, 2002**). La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP de Mac Grady.

d. Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfitoréductrices (ASR) :

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram positif, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose Viande Foie en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu en sulfure qui, en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination fécale ancienne (Rejsek, 2002). À partir de l'eau à analyser :

✓ Mode opératoire :

- Prendre environ 20 ml dans un tube stérile, qui sera ensuite chauffé à environ 80°C pendant 8 à 10 minutes, afin de détruire toutes les formes végétatives des ASR qui pourraient être présentes.
- Une fois que le tube a été chauffé, il faut le refroidir immédiatement sous l'eau du robinet. Le contenu de ce tube doit ensuite être réparti dans 4 tubes distincts et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ensuite, on ajoute environ 15 ml de gélose de viande de foie à chaque tube et on mélange bien.
- Laisser solidifier sur une paillasse pendant environ 30 minutes, puis incuber à une température de 37°C, pendant 24 à 48 heures (Razkallah, 2019).

✓ Lecture :

Toute colonie noire entourée d'un halo noir est considérée comme le résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice. Après 24 heures, il est crucial de faire une lecture, car la présence de nombreuses colonies peut provoquer une coloration noire uniforme et un dénombrement complet après 48 heures. À l'inverse, s'il y a un petit nombre de colonies dès la première lecture, de nouvelles colonies peuvent se développer dans les 24 heures. Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, poussant en masse (Razkallah, 2019).

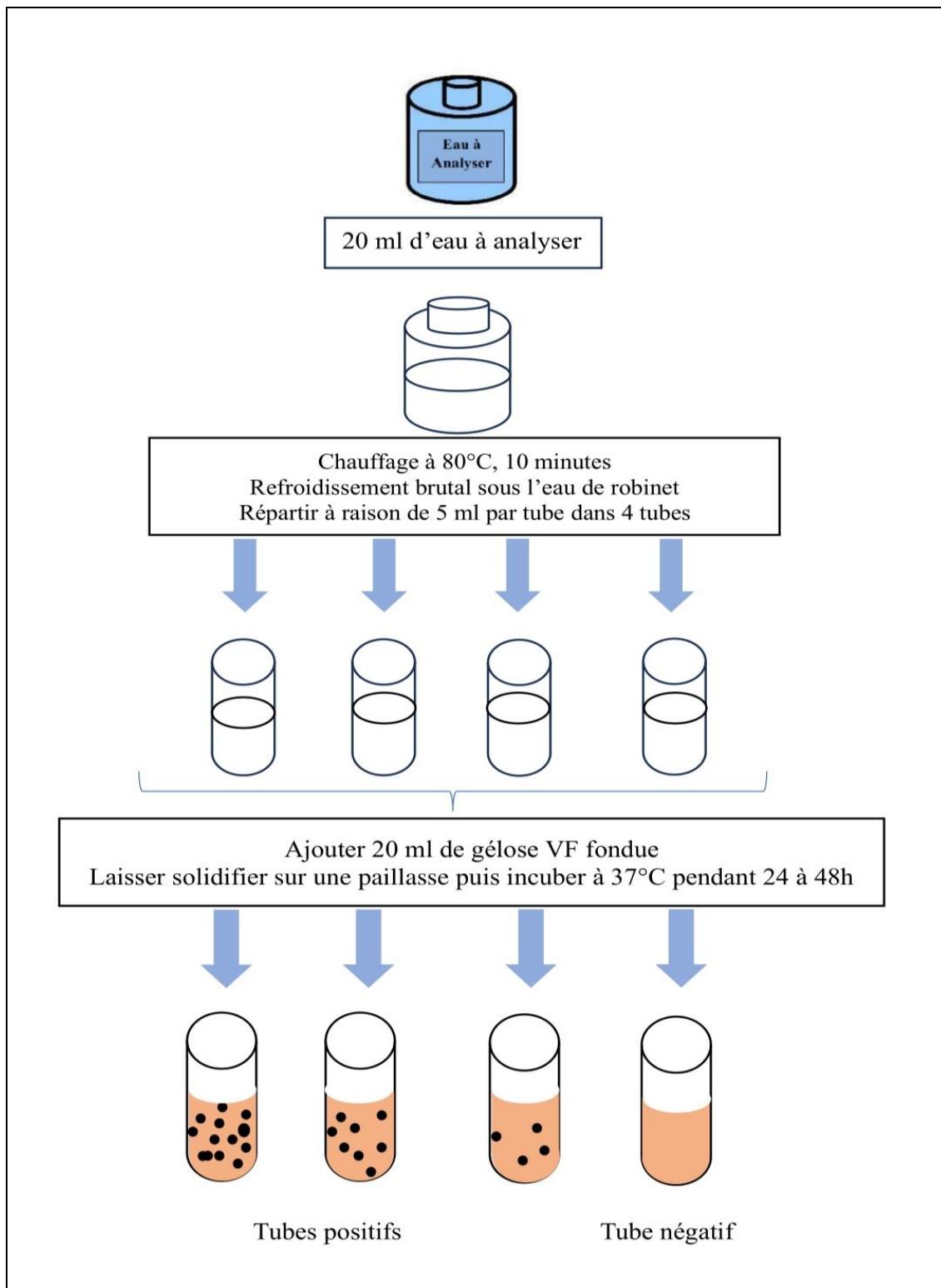


Figure 20 : Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfito- réducteurs.

e. Recherche des germes pathogènes : Il existe une grande variété de bactéries pathogènes ou potentiellement pathogènes (opportunistes) pour l'homme dans tous les types d'eaux. Celles-ci vivent ou survivent dans l'environnement, soit provenant des rejets humains, éliminées par des sujets malades ou des porteurs sains, soit étant autochtones et pouvant s'adapter à l'homme (**Rodier et al., 2009**).

✓ **Mode opératoire :**

L'ensemencement est effectué sur un milieu solide (méthode des quadrants), les milieux utilisés sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Méthodes d'ensemencement sur gélose pour la recherche des germes pathogènes (**Rodier et al., 2009**).

Bactérie	Milieu	Méthode
Staphylocoques	Chapman	Ensemencement sur la surface sous forme des quadrants. Incubation à 37°C, durant 24 à 48 h.
Shigelles	Salmonelles Shigelles (S.S)	Ensemencement sur la surface sous forme des quadrants. Incubation à 37°C, durant 24 à 48 h.
Salmonelles	Salmonelles Shigelles (S.S)	Ensemencement sur la surface sous forme des quadrants. Incubation à 37°C, durant 24 à 48 h

Chapitre IV

Résultats et discussion

Chapitre IV : Résultats et Discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques

1.1. Température C°

Les résultats illustrés dans la figure 21, montrent que les valeurs de la température sont proches les unes des autres et avoisinent 14 °C, la température maximale pour l'échantillon "Tém" avec 14,9°C et la minimale était 14,3°C pour l'échantillon "Ty" (Fig. 21).

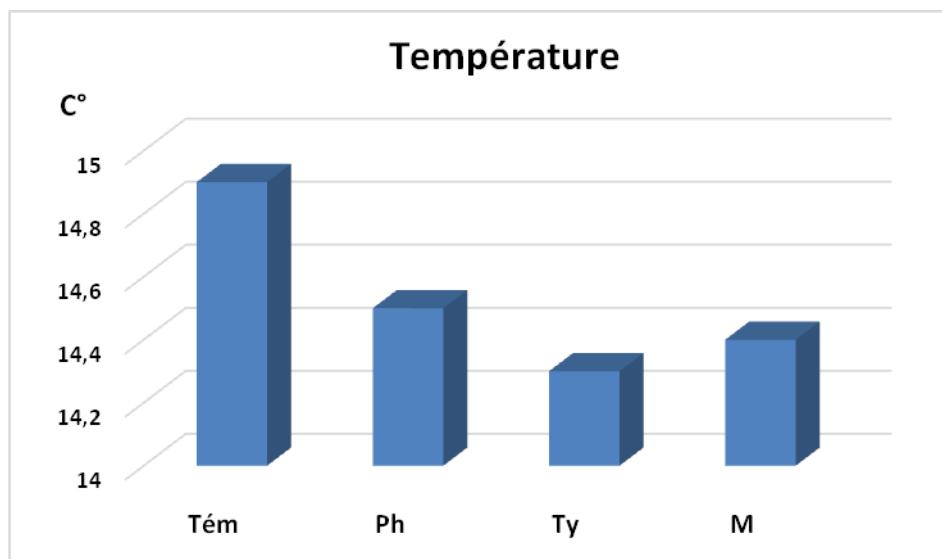


Figure 21 : Variation de la température.

1.2. Potentiel d'oxydo-réduction

Tous les résultats obtenus ont un potentiel rédox négatif, ce qui explique que l'eau usée est une eau alcaline ionisée qui contient des agents antioxydants. "Ty" avec -29,5 mv et la plus grande était -71 mv pour l'échantillon "M" (Fig. 22).

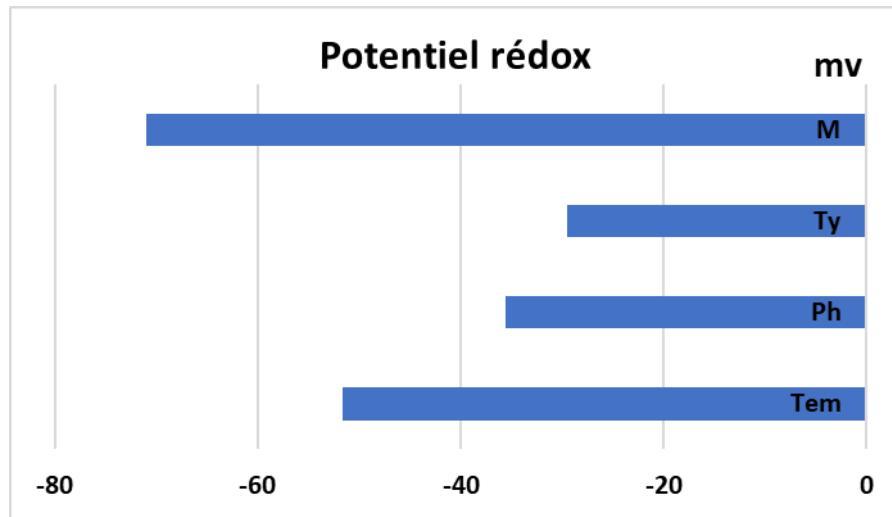


Figure 22 : Variation du potentiel d'oxydo-réduction.

1.3. pH

La valeur maximale du pH enregistrée est de 7,85, trouvée dans l'échantillon "Tém", tandis que la valeur minimale est de 6,95 pour l'échantillon "Ty" (Fig. 23). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette baisse de Ph comme l'accumulation de H⁺ due à l'activité des bactéries nitrifiantes ou l'accumulation de CO₂ résultant du métabolisme des plantes ou de la dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes (**Attionu, 1976**).

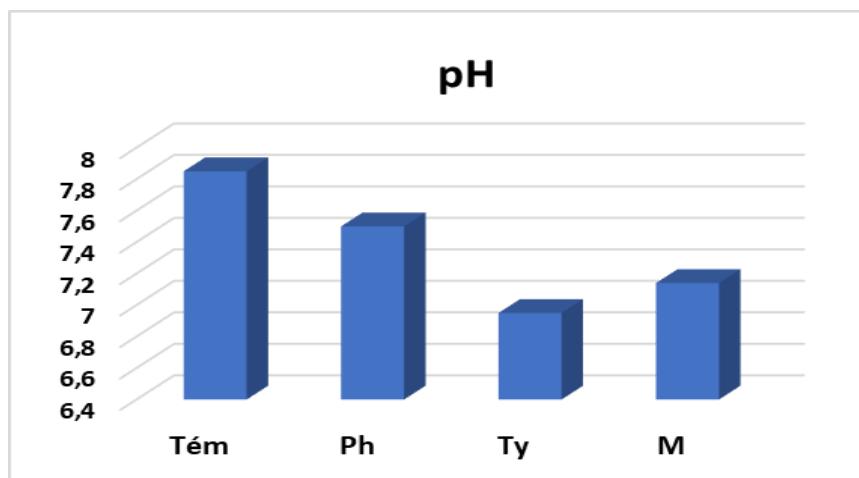


Figure 23 : Variation de pH.

1.4. Conductivité électrique

Une conductivité électrique représente des mesures de la capacité d'une solution à conduire l'électricité. C'est un indicateur de la concentration en ions dissous dans l'eau, utilisé

pour évaluer la qualité de l'eau dans divers contextes, tels que l'hydroponie, l'agriculture, les aquariums et les études environnementales.

Les valeurs enregistrées se fluctuaient entre 875 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour l'échantillon "Tém" (ce qui signifie que l'eau a une conductivité modérée, indiquant une présence modérée d'ions dissous, tels que des sels minéraux) et 1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour l'échantillon "Ty" qui signifie que l'eau a une conductivité plus élevée, indiquant une concentration plus importante d'ions dissous (**Fig. 24**). Cette valeur élevée peut indiquer une salinité accrue ou une pollution par des substances ionisées.

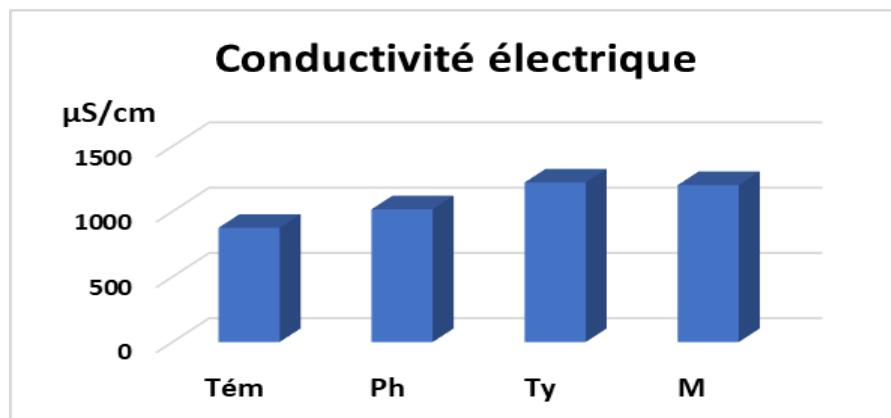


Figure 24 : Variation de la conductivité électrique.

1.5. Oxygène dissous

Les valeurs en oxygène dissous fluctuent entre une valeur maximale de 6,36% pour "Tém" et une valeur minimale de 4,66% pour "M" (**Fig. 25**). Ces valeurs représentent la concentration d'oxygène dissous dans l'eau en pourcentage de saturation, et se situent la marge des valeurs normales qui ne mettent en danger la vie des organismes aquatiques.

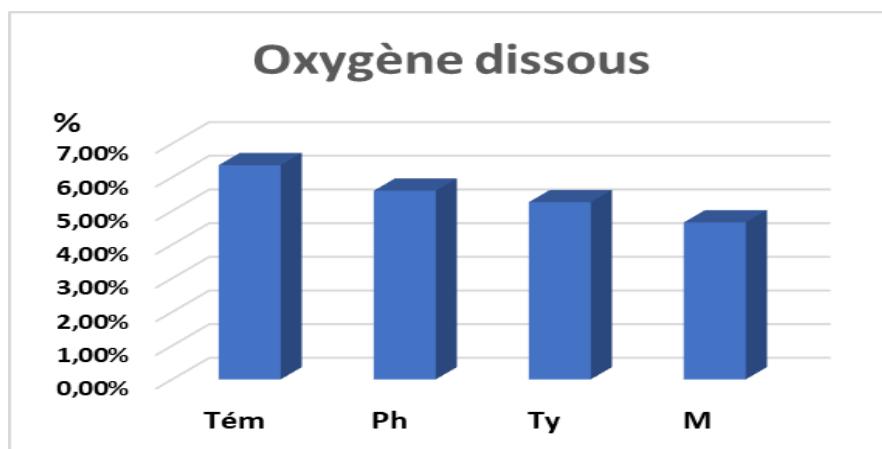


Figure 25 : Variation de l'oxygène dessous.

1.6. Salinité

Les valeurs de salinité de 0,43 g/L et 0,61 g/L représentent des valeurs minimales et maximales enregistrées respectivement dans les échantillons "Tém" et "Ty" (**Fig. 26**). Ces derniers sont des valeurs typiques pour des environnements d'eau douce, mais peuvent indiquer une certaine minéralisation naturelle ou une légère influence de sels dissous, possiblement provenant de sources géologiques ou d'activités humaines (comme l'agriculture ou l'industrie). Ces niveaux de salinité sont généralement non problématiques pour la plupart des organismes d'eau douce.

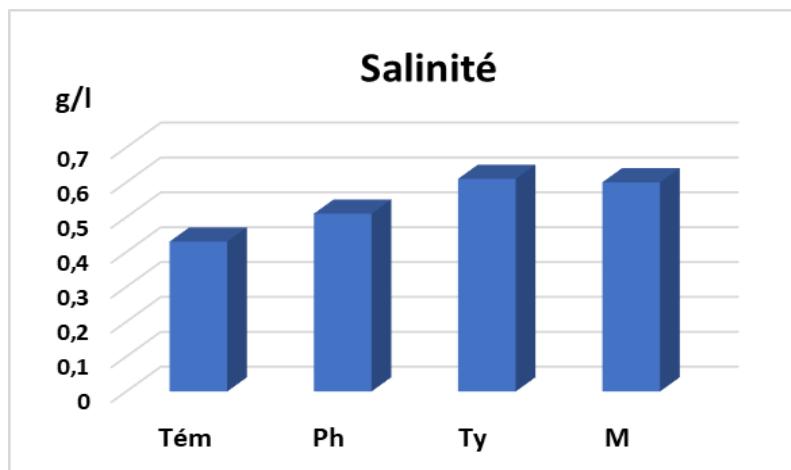


Figure 26 : Variation de la salinité.

1.7. Matières en suspension (MES)

La matière en suspension (MES) dans une eau propre telle que l'eau potable ou l'eau de surface de bonne qualité est généralement très faible. Les valeurs typiques pour ces types d'eau sont de < 1 mg/L à 5 mg/L. Dans les écosystèmes aquatiques non pollués (lacs, rivières), les niveaux de MES sont généralement bas, souvent inférieurs à 5 mg/L, permettant une bonne clarté de l'eau et une pénétration adéquate de la lumière pour soutenir la vie aquatique. Les concentrations typiques sont à l'ordre de 1 mg/L à 10 mg/L.

Les résultats obtenus de nos échantillons ont donné des valeurs qui fluctuent entre 6,45 mg/L pour l'échantillon "Ty" et 1,18 pour "Tém" (**Fig. 27**). Ces valeurs sont des valeurs plus ou moins basses, ce qui signifie que la clarté de cette l'eau est bonne.

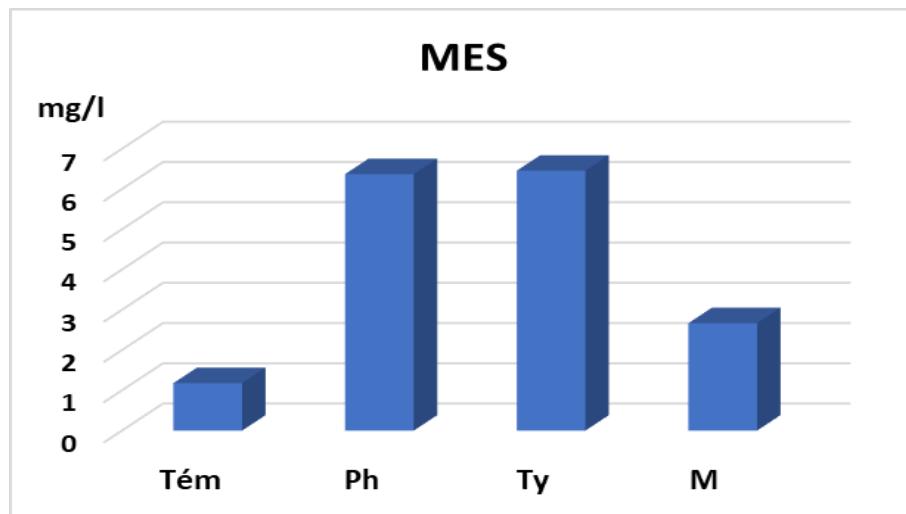


Figure 27 : Variation des matières en suspension (MES).

1.8. Demande biologique en oxygène DBO₅

Les valeurs obtenues de la demande biologique en oxygène sur 5 jours, ont montré une variation allant de 0mg/L jusqu'à 41mg/L (**Fig. 28**). En effet, l'échantillon "Tém" a enregistré 0mg/L, ce qui signifie qu'il n'y a pas de matière organique biodégradable présente dans l'échantillon, ou que l'eau est très propre. Une telle valeur pourrait être trouvée dans de l'eau très bien traitée ou dans des eaux naturelles de haute qualité. L'échantillon "Ph" nous a donné 3 mg/L ce qui indique que l'eau de bonne qualité avec peu de matière organique présente. C'est typique des eaux naturelles non polluées ou des effluents traités efficacement. L'échantillon "M" a donné 15 mg/L, ce niveau de DBO₅ indique une eau modérément polluée. Cela peut suggérer la présence de quantités significatives de matière organique, probablement due à des sources comme les eaux usées domestiques partiellement traitées, les effluents industriels légers, ou un certain degré de pollution naturelle. Enfin, la valeur maximale du dernier échantillon (41 mg/L) nous indique une forte pollution organique et pourrait être observée dans les eaux usées brutes ou les effluents industriels non traités. Une telle concentration de matière organique peut provoquer une diminution de l'oxygène dissous, affectant négativement la vie aquatique.

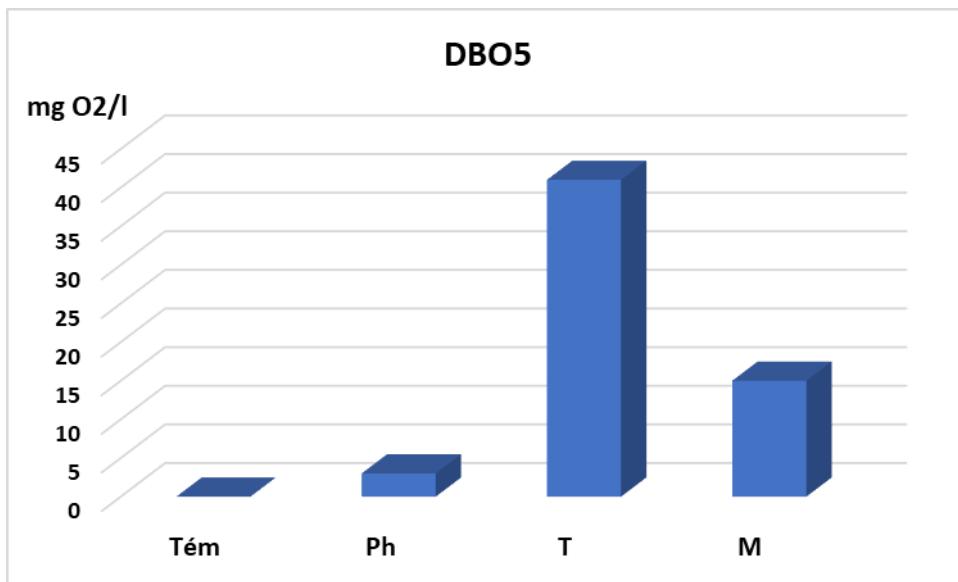


Figure 28 : Variation de la DBO₅.

1.9. Demande chimique en oxygène DCO

Les normes de rejet international de la demande chimique en oxygène (DCO) varient selon les régulations locales, mais les valeurs de DCO pour les eaux traitées avant rejet dans les milieux naturels sont souvent fixées entre 30 et 120 mg O₂/L. Nos résultats enregistrés durant la période d'étude fluctuent entre 116 mg/L O₂/L et 277 mg O₂/L (**Fig. 29**). L'échantillon témoin "Tém" a mesuré cette valeur minimale, une valeur qui indique une pollution organique modérée. Elle est typique des eaux usées domestiques traitées efficacement ou des effluents industriels avec un traitement initial. Elle indique aussi que la majorité de la matière organique a été oxydée, mais qu'il reste encore une certaine quantité de polluants. Cependant, les trois autres échantillons ont enregistré des valeurs qui indiquent une pollution organique plus élevée. Elle peut être observée dans des eaux usées domestiques ou industrielles qui ont reçu un traitement moins efficace ou qui contiennent une plus grande charge de matière organique et inorganique. Ce niveau de DCO est plus préoccupant et suggère qu'il y a encore beaucoup de matière organique et de substances chimiques dans l'eau.

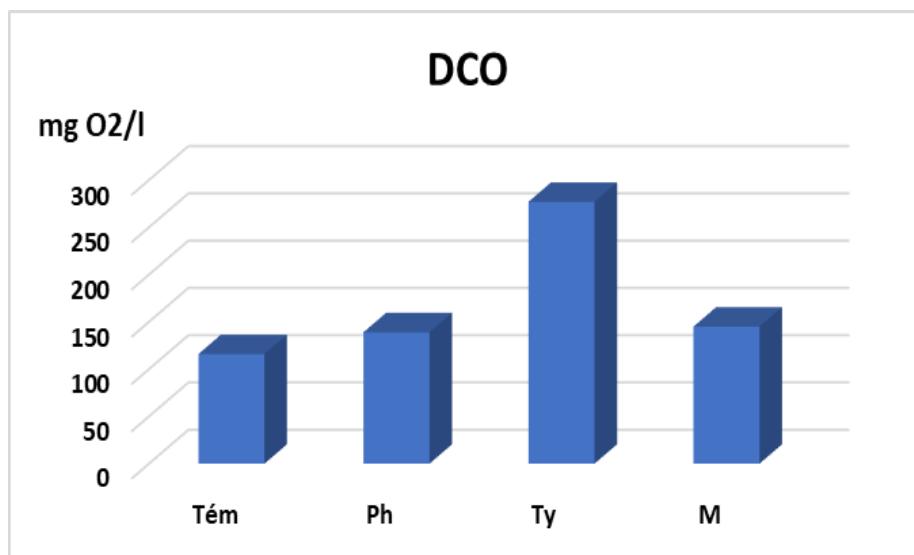


Figure 29 : Variation de la demande chimique en oxygène (DCO).

1.10. Le rapport DCO/DBO₅

Les ratios DCO/DBO₅ sont utilisés pour évaluer la nature et le traitement possible des eaux usées. Un ratio élevé de DCO/DBO₅ indique une plus grande proportion de composés chimiques qui sont plus difficiles à biodégrader, tandis qu'un ratio bas indique une plus grande proportion de matière organique biodégradable. Selon les résultats du rapport DCO/DBO₅ obtenus dans cette étude montrent que tous nos échantillons ont un rapport plus ou moins élevé, cependant, Les résultats de 6,75 ; 9,66 ; 46,33 et 1160 respectivement des échantillons "Ty" ; "M" ; "pH" et "Tém", montrent des niveaux croissants de difficulté de traitement biologique, nécessitant des approches de plus en plus avancées et spécifiques pour le traitement efficace des eaux usées concernées (**Fig. 30**).

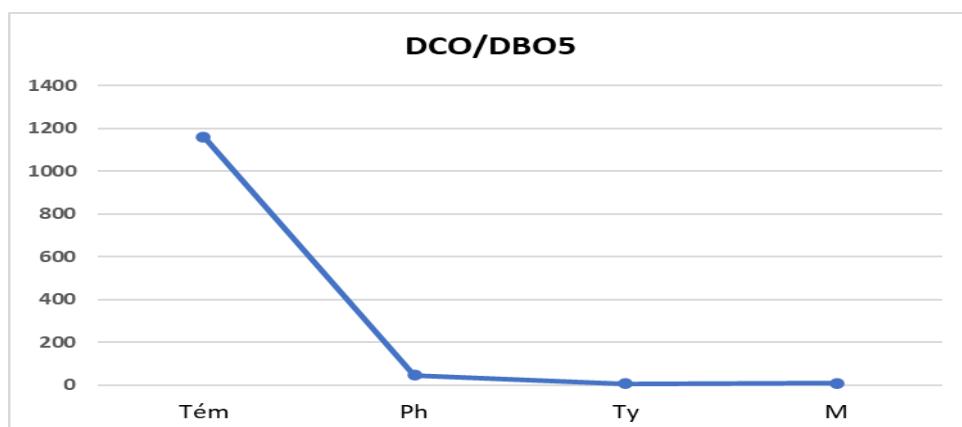


Figure 30 : Variation du rapport DCO/DBO₅.

2. Résultats des analyses bactériologiques

2.1. Germes totaux

L'analyse des germes totaux permet d'évaluer la charge microbienne d'un échantillon de manière globale, sans faire de distinction spécifique entre les différents types ou espèces de micro-organismes présents.

Les résultats obtenus dans notre étude, varient entre une valeur maximale de 70.10^2 UFC/ml pour l'échantillon "Ty" et une valeur minimale de 8.10^2 UFC/ml pour l'échantillon "Ph" (**Fig. 31**).

L'échantillon "Ty" présente une forte concentration de germes totaux, ce qui peut être expliqué par la présence de bactéries dans les racines de la plante provenant du lieu de prélèvement.

Le nombre des germes totaux est élevé dans l'échantillon "Tém", car les matières fécales provenant des excréments humains ou animaux contiennent des micro-organismes qui peuvent se trouver dans les intestins humains et animaux. Lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement, ces micro-organismes peuvent se multiplier et contaminer les eaux usées, augmentant ainsi le nombre total de germes.

La concentration totale en germes dans l'échantillon "Ph" est faible en raison de la forte capacité de la plante à purifier et à réduire les germes totaux.

Ces résultats concordent avec ceux trouvés l'année passée dans les travaux de **Athamnia et al. (2023)**, qui ont étudié la même espèce à la même période et dans des conditions de travail similaires, à l'exception des conditions climatiques. Ils ont également observé les concentrations les plus élevées dans l'échantillon de *Typha angustifolia*, avec une concentration maximale de 600.10^6 UFC/ml. Cette variation des concentrations entre les deux périodes s'explique par le manque de pluies constaté l'année dernière, ce qui a rendu l'eau plus concentrée et plus chargée en microflore.

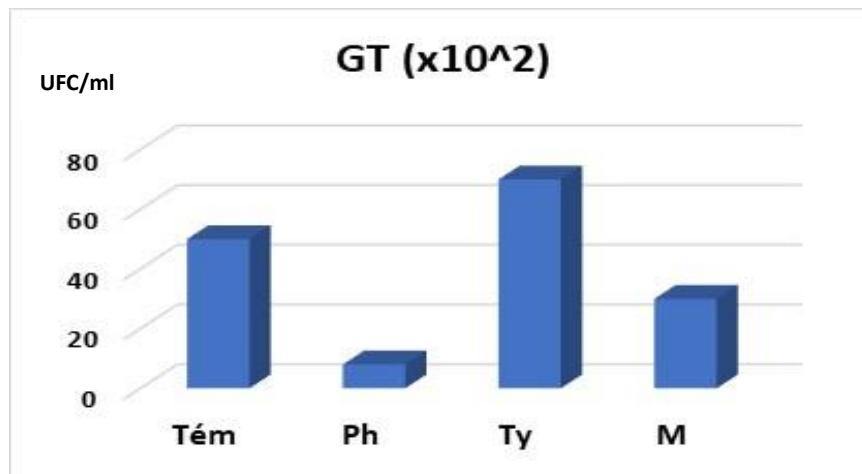


Figure 31 : Variation des germes totaux GT.

2.2. Coliformes totaux (CT)

La variation des coliformes totaux (CT) présentée dans la figure 32 démontre que la charge totale en CT a atteint 70 UFC/ ml dans l'échantillon "Ty", tandis que dans l'échantillon "Ph", la charge bactérienne a considérablement diminué jusqu'à atteindre 0 UFC/ml, Cela peut s'expliquer par la présence de l'effet épuratoire du *Phragmite australis*.

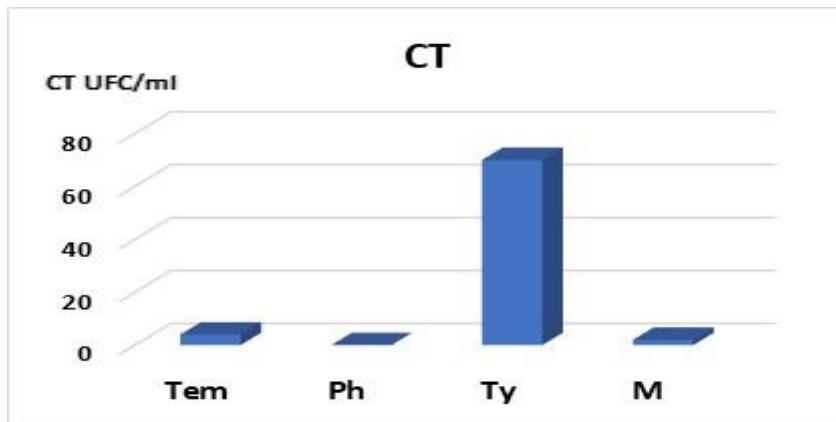


Figure 32 : Variation des coliformes totaux CT.

2.3. Les coliformes fécaux (CF)

Les résultats obtenus lors de l'étude des CF sont de l'ordre de 50 UFC/ml pour l'échantillon "Ty", de 04 UFC/ml pour l'échantillon "Tém" et de 02 UFC/ml pour l'échantillon "M" (**Fig. 33**).

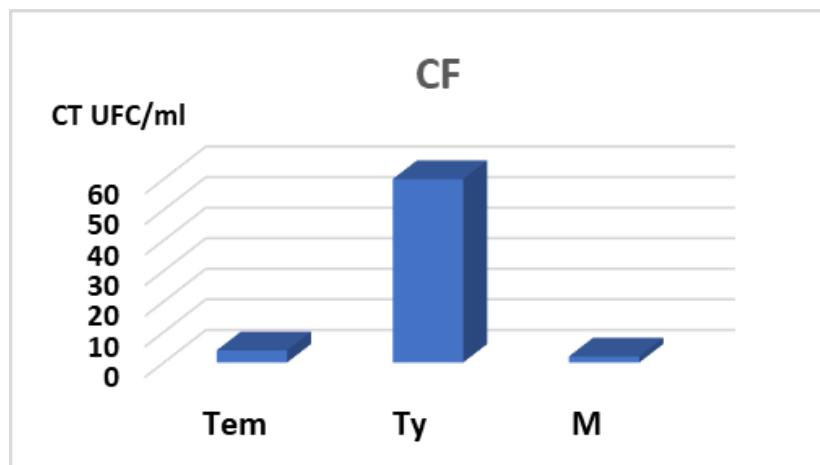


Figure 33 : Variation des coliformes fécaux CF.

2.4. Streptocoque fécaux (SF)

Les résultats obtenus pendant la période d'étude pour la recherche des SF ont révélé une absence totale de ces derniers dans tous nos échantillons.

Il est possible que l'absence de SF soit causée par les précipitations qui réduisent la teneur en micro-organismes des eaux usées en apportant une quantité d'eau supplémentaire qui se mélange avec elles.

2.5. Bactéries anaérobies sulfito-réductrices

Les résultats obtenus au cours de la période d'étude des bactéries anaérobies sulfito-réductrices montrent qu'elles étaient totalement absentes de tous nos échantillons (**Tab. 05**).

L'absence des ASR est en relation avec la saison des précipitations dont le niveau des eaux est élevé (hiver), car les pluies peuvent intervenir comme des agents de dilution de la contamination bactérienne.

Tableaux 05 : Résultats des anaérobies sulfito-réductrices (ASR).

Tubes	Anaérobies sulfito-réductrices (ASR)			
	1	2	3	4
Tém	0	0	0	0
Ph	0	0	0	0
Ty	0	0	0	0
M	0	0	0	0

2.6. Germes pathogènes

Les résultats obtenus au cours de la période d'étude pour la recherche des germes pathogènes (les staphylocoques, les salmonelles et les shigelles) ont montré qu'ils étaient totalement absents de tous nos échantillons (**Tab. 06**).

Tableau 06 : Résultats des germes pathogènes.

	Tém	Ph	Ty	M
Staphylocoques	Absence	Absence	Absence	Absence
Salmonelles	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles	Absence	Absence	Absence	Absence

Conclusion

Conclusion

Le traitement des eaux usées est devenu, de nos jours, une priorité, aussi bien pour préserver la santé humaine et l'environnement que pour produire une eau qui pourrait être utilisée en agriculture, en industrie et en d'autres activités sociales. De nombreux procédés d'épuration ont été mis au point, parmi lesquels, la phytoépuration se distingue par sa simplicité, sa fiabilité et son faible coût d'investissement et d'opération.

La phyto-épuration est un processus de traitement des eaux usées qui utilise des plantes et des micro-organismes présents dans le sol pour dégrader et éliminer les contaminants. La baisse de la charge bactérienne est l'un des mécanismes par lesquels la phyto-épuration contribue à améliorer la qualité de l'eau. Les bactéries présentes dans le sol et associées aux racines des plantes utilisent les matières organiques comme source de nutriments et d'énergie. Elles décomposent les composés organiques complexes présents dans les eaux usées en composés plus simples et moins polluants.

Selon les résultats physicochimiques et bactériologiques obtenus durant notre période d'étude, nous n'avons pu vérifier ce qui est dit et publié par les chercheurs concernant l'efficacité de la phytoépuration des eaux usées. L'analyse de l'eau usée prélevée de la STEP de la wilaya de Guelma a été réalisée avant et après la mise des plantes filtres (la massette à feuilles étroites *Typha angustifolia* et le roseau commun *Phragmites australis*). Dans les quatre échantillons, les principaux indicateurs physicochimiques tels que le pH, la température et les MES ont présenté des valeurs proches de celles de l'eau propre.

Les indicateurs bactériologiques montrent des valeurs extrêmement basses, voire nulles, des coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et ASR, avant et après la plantation des deux espèces végétales. Cela est dû, soit à la saison des précipitations dont le niveau des eaux est élevé (hiver) car les pluies peuvent intervenir comme des agents de dilution de la contamination bactérienne. Soit au « bypass » du réseau d'eaux usées qui permet de court-circuiter un réseau d'assainissement pluvial ou un court d'eau, et selon le technicien de la STEP de Guelma, cette année, on a douté d'un dysfonctionnement de ce dernier, ce qui mélange l'eau usée avec l'eau propre, dont l'absence presque totale de la charge bactérienne. Pour cette raison, nous n'avons pas réussi à atteindre l'objectif de notre recherche sur l'efficacité de la phytoépuration des eaux utilisées et aussi à la recherche d'un effet synergique à partir de l'association des deux plantes.

Conclusion

Enfin, voici quelques perspectives pour de futures recherches ou améliorations de l'étude :

- Effectuer des prélèvements pendant différentes saisons, y compris les périodes sèches et humides. Cela permettra de déterminer l'influence saisonnière sur les niveaux de contamination bactérienne et d'éviter les effets de dilution dus aux précipitations.
- Mieux contrôler les variables environnementales et techniques, comme le "bypass" des réseaux d'eaux usées. S'assurer de la stabilité et du bon fonctionnement des infrastructures de traitement des eaux usées pour éviter les contaminations croisées.
- Mener des études complémentaires pour identifier les sources précises de contamination bactérienne et les mécanismes de dilution, ce qui permettra d'ajuster les méthodes de contrôle.
- Comparer les résultats obtenus avec ceux de sites similaires ayant des conditions différentes de précipitations et de fonctionnement des réseaux d'eaux usées. Cela pourrait fournir des données complémentaires et renforcer les conclusions.
- Travailler en collaboration avec des microbiologistes et des ingénieurs en traitement des eaux pour améliorer les protocoles expérimentaux et les méthodes de mesure des indicateurs bactériologiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Aba Aaki R., (2012). *Elimination des métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Zn et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltation-percolation.* Thèse de Doctorat, Université Ibnou Zohr, Agadir, Maroc. 149p.

AFD, Agence Française de Développement. (2011). La réutilisation des eaux usées traitées (REUT). 29p.

AREHN, Agence régionale de l'Environnement de Haute-Normandie. (2002). L'épuration des eaux usées par les plantes. Publication "connaître pour agir" Rouen. France. 4 p.

Astebol S.O., Hvitved-Jabobsen T. et Simonsen O. (2004). Sustainable stormwater management at Fornebu -from an airport to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway, Science of the Total Environment, 334, pp 239-249.

Attionu R.H. (1976). Some effects of water lettuce (*Pistia stratiotes*.L.) On its habitat. Hydrobiologia 50(3), pp 245-254.

Audic J.M. et Esser D. (2006). L'épuration : Nettoyée pour protéger l'écosystème aquatique, un récit de vingt-cinq ans de recherche partenariale pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement avec. Ed Cemagref.

Bachi O. E. K. (2010). *Diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux ksar Témacin.* Mémoire présenté en vue de L'obtention du diplôme de magister. Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie. 105p.

Baumont S., Camard J., Lefranc A. et Franconi A. (2004). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS. 220p.

Benslimane M., Mostephaoui T., Thamimed A. et Cherif Z.T. (2013). Performances épuratoires et intérêt du procédé de phytotraitement des eaux usées par des végétaux macrophytes. Courrier du Savoir, N°17, pp 47-51.

Belaid E.N. (2010). *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 phytoabsorption des éléments métalliques.* Thèse de doctorat. Tunisie. 188p.

Benameur N. (2010). *Analyse des microorganismes présents dans les lits à macrophytes lors de la phytoépuration des eaux usées.* Mémoire de Magister en biologie. Université Med

Khider – Biskra. 135p.

Ben Ali M. (2014). *Evaluation de la pollution des eaux issue de la zone industrielle de Skikda.* Mémoire de Magister. Université Constantine 1. Algérie. 110p.

Bonnin J. (1977). Hydraulique urbaine : appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance. Paris. Eyrolles, 216p.

Boujema S. (2011). *Contrôle des procédures de traitement des eaux usées dans la STEP du grand Bizerte.* Mémoire de licence. Université de Carthage. Tunisie, p5.

Références bibliographiques

- Boutin C., Heduit A. et Helmer J.M. (2009).** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Rapport final. 100p.
- Boutin C., Liénard A. et Esser D. (1997).** Development of a new generation of reed-bed filters in France: first results. Water Science and Technology, 35(5), pp 315-322.
- Brix H. (1987).** Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants—the root-zone method. Water Science and Technology, 19(1-2), pp 107-118.
- Carleton J.N., Grizzard T.J., Godrej A. et Post H.E. (2001).** Factors affecting the performance of storm water treatment wetlands, Water Research, 35(6), pp 1552-1562.
- Castany G. et Margot T. (1977).** Dictionnaire français d'hydrogéologie. Bureau de recherches géologiques et minières. Service géologique national. 249 p.
- Cauchi A. et Vignoles C. (2011).** Petites installations d'assainissement. Editions Technip. 402p.
- Chaoui W. (2007).** *Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de bouchegouf (Guelma)*. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar. Annaba. 103p.
- Chocat B. (1997).** Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Paris : Tec&Doc Ed. 4ème édition. Lavoisier. 1124p.
- Daoudi H. (2008).** Traitement des eaux usées urbaines. Les procédés biologiques d'épuration. Support de cours. Université virtuelle de Tunis. 30p.
- Delarras C., Trebaol B. et Durand J. (2010).** Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation-Microorganismes-Prélèvements- Analyses. 2e édition. Lavoisier, Paris. 541p.
- Degrémont S.A (2005).** Memento Technique de l'Eau. Tom 1. 10e édition. Lavoisier, France. 1748 p.
- Degremont S.A. (1978).** Mémento technique de l'eau. 8ème édition ED. Technique et Documentation, Lavoisier. Paris, p1200.
- Detay M. (1993).** Le Forage D'eau : réalisation, entretien, réhabilitation. Edition Lavoisier, Paris. 377p.
- De Villers J., Squilbin M. et Yourassowsky C. (2005).** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. Observatoire des Données de l'Environnement. 16p.
- Ecosse, D. (2001).** *Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mémoire du DESS « Qualité et Gestion de l'Eau », Faculté des Sciences, Amiens*, p62.
- Edline F. (1979).** L'épuration biologique des eaux résiduaires : Théorie et Technologie. Technique et documentation, Paris. 306p.

Références bibliographiques

- Fauteux A. (2002).** Des roseaux contre les eaux usées. Revue de la science de Québec nouvelle édition.340p.
- Gagnon V. (2012).** *Effet de l'espèce de plante en marais filtrants artificiels selon la saison, le type de marais filtrant et la nature des polluants.* Thèse de doctorat. Spécialité Génie des procédés. Université de Montréal, Canada.
- Galaf F. et Ghannam S. (2003).** *Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin.* Mémoire d'ingénieur d'état. Université Hassan II. Maroc, p 6.
- Grison C. (1999).** Epuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes : une étude bibliographique. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse.79p.
- Grosclaude G. (1999).** L'eau : Tom1 : milieu naturel et maîtrise et Tom2 : usage et polluants versailles. Institut national de la recherche agronomique. Paris, pp 204-210.
- Gueroui Y. (2014).** *Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de l'aquifère Superficiel de la Plaine de Tam Louka (NordEst Algérien).* Thèse de doctorat. Option : Santé, Eau et Environnement. Université de Guelma. Algérie, p21.
- Hamadani A. (2002).** *Caractérisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière : aspects microbiologiques et physico-chimiques.* Thèse de doctorat. Faculté des sciences d'El Jadida, Maroc. 317p.
- Hamli A. (2015).** *Contribution à l'étude bactériologique et physico-chimique de l'eau d'une zone humide urbaine : cas de la mare de Tam Louka (Wilaya de Guelma).* Thèse de Magistère. Université d'El Tarf. Algérie 127p.
- Hartani T. (2004).** La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie. In Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée. Institut national agronomique, Algérie.12p.
- HCEFLCD, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. (2006).** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar Chafaai. Cercle d'ELBROUGE, province de Settat. 201p.
- Karaali R., Khettal M. et Reggam R. (2008).** *Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées avant et après épuration : cas de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-est Algérien).* Mémoire diplôme d'ingénieur. Université 08 mai 45. Guelma. Algérie.19-24-27 p.
- Kleche M. (2013).** *Utilisation des systèmes biologiques dans l'épuration des eaux usées cas de la région d'Annaba.* Thèse de doctorat. Université d'Annaba,135p.
- Koller E. (2009).** Traitement des pollutions industrielles, eau, air, déchets, sols, boues. 2e édition. Technique et ingénierie. Dunod, p424.
- Laabassi A. (2016).** *L'Epuration des eaux usées par le système de lagunage à Macrophytes.* Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas. Algérie. 107p.

Références bibliographiques

- Lazarin A. et Lazarin G. (2011).** Plantes aquatiques, eau pure. Éditions sang de la terre, 128p.
- Lebres E. (2006).** Cours D'hygiène Et De Microbiologie Des Eaux (Manuel De Travaux Pratiques Des Eaux). Institut Pasteur d'Algérie. 60p.
- Leclerc H. (1982).** Les coliformes, cours de microbiologie des boissons et des produits de la mer, Ins. Pas, Lille. 116p.
- Lienard A., Molle P., Boutin C. et Dodane P. (2005).** Traitement des eaux usées par marais artificiels : action des plantes et développement de la technique en France, 11, p 45.
- Masi F. et Martinuzzi N. (2007).** Constructed wetlands for the Mediterranean countries: hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation. Desalination, 215(1-3), pp 44-55.
- Mayet J. (1994).** La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur. 2ème Edition. Paris, p382.
- Meddjoub T. (2014).** *Etude, conception et dimensionnement d'une STEP par filtre plantés de réseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny.* Mémoire de fin d'étude. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemen, Algérie, 132p.
- Metahri M. S. (2012).** *Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville de tizi ouzou.* Thèse de Doctorat. Université Mouloud Mammeri. Algérie. 172p.
- Metcalf A. et Eddy I. (2003).** Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. 4th edition, Mc Graw-Hill Ed. New York, USA. 1819 p.
- Mimeche L. (2014).** *Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride-Application à la région de Biskra.* Thèse de doctorat en science hydraulique. Université Mohamed Khider. Biskra. 164p.
- Molle P. (2003).** *Filtres plantés de roseaux : Limites hydrauliques et rétention du phosphore.* Thèse de Doctorat. Spécialité Génie des Procédés, Université de Montpellier- Cemagref, France, 216 p.
- Mouchara N. (2009).** *Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est algérien).* Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar. Annaba. 141p.
- Nani H. et Touil A. (2021).** La réutilisation des eaux usées en agriculture à partir de la station d'épuration (STEP03) de la wilaya de'EL-Oued. Mémoire de fine étude. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, Algérie. 117p.
- OMS, Organisation Mondiale De La Santé. (2000).** Directive Pour La Qualité De L'eau De Boisson. Volume 2 (Critères D'hygiène). 2ème édition. 189p.
- OMS, Organisation Mondiale de la Santé. (1989).** L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Série de rapports techniques N° 778. Genève. 82 p.

Références bibliographiques

- Ouali M.S. (2001).** Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Office des publications universitaires. OPU. Algérie. 168p.
- Pasquini L. (2013).** *Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration.* Thèse Doctorat. Université de Lorraine, France, 298 p.
- Perera P. et Baudot B. (2001).** Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eq-hab). Mise en œuvre de la directive du conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Office International de l'Eau, p 12,13, 14,15,24.
- Pesson P. (1976).** Pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques, Édition bordas. Paris, p 285.
- Potelon J.L. et Zysman K. (1998).** Le guide des analyses de l'eau potable- Rapport de l'Office National de l'eau (OIEa) : Lettre du cadre territ. Voiron. France.
- Poulet J.B., Terfous A., Dap S. et Ghenaim A. (2004).** Stations d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. Courrier du Savoir. N° 05, pp 103-106.
- Ramade F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des populations : les polluants, de l'environnement à l'homme. Paris : Ediscience international. 689 p.
- Razkallah Z. (2019).** *Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau de l'Oued Seybouse et inventaire de l'odonatofaune (Guelma, Nord-Est Algérie), en vue de l'obtention du diplôme de doctorat 3^{ème} cycle en sciences biologique, option :*
Biologie et conservation des zones humides. Université Chadli Benjdid-El Taref. 244p.
- Rejsek F. (2002).** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Coll. Biologie technique. Sciences et techniques de l'environnement. Scéren (CRDP AQUITaine). Paris 360p.
- Richard C. (1996).** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Ed. Scientifiques et médicale, Elsevier. Paris. 115p.
- Rodier J. (2005).** L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Dunod technique. 1381p.
- Rodier J., Geoffray C. et Rodi L. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, bacteriologie, biologie. 10e édition. Dunod, Paris. 1384 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N. et Brunet R. (2009).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9e éd. Ed. Dunod, Paris. 1511p.
- Rodriguez Garcia A. (2004).** Étude de la congélation comme technique de traitement des eaux : applications spécifiques. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. France. 178p.
- Roland V. (2010).** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie, 3ème édition, Lavoisier, paris. 301 p.

Références bibliographiques

- Roux M. (1987).** Office international de l'eau : L'analyse biologique de l'eau. Edition technique et documentation. Lavoisier. Paris. 229p.
- Sahnoun M.E. (2015).** *Epuration des eaux usées du centre culturel islamique sidi Okba par un filtre de macrophyte.* Mémoire de master en hydraulique. Université Mohamed Khider bisekra. Algérie. 90p.
- Savary P. (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition Techni. Cités, Paris. 283p.
- SEQ-EAU, Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau des cours d'eau. (2003).** Grilles d'évaluation version 2 -21 mars. MEDD & Agences de l'eau. Version 2.
- Stottmeister U., Wiener A., Kuschk P., Kappelmeyer U., Kastner M., Bederski O., Muller R.A. et Moormann H. (2003).** Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology advances, 22(1-2), pp 93-117.
- Suschka J. et Ferreira E. (1986).** Activated sludge respirometric measurements. Water research, 20(2), pp 137-144.
- Tabet M. (2014).** *Etude physicochimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration.* Thèse de doctorat, 3^{ème} cycle en sciences biologiques option santé, eau et environnement. Université 8mai 1945. Guelma. 161p.
- Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vualazf D., Balderer W., Looser M. et Zumstein J. (2003).** Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. Édité par l'Office de l'Environnement des Forêts et du Paysage et la Société Hydrogéologique de Suisse. 91p.
- Tiglyene S., Mandi L. et Jaouad A. (2005).** Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de Phragmites australis (Cav.) Steudel. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, p 177-198.
- Tilley E., Luethi C., Morel A., Zurbruegg C. et Schertenleib R. (2008).** Compendium of sanitation systems and technologies. Duebendorf and Geneva: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).
- UNESCO, Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture. (2008).** Traitement des eaux usées par lagunage. Fiche technique. Bureau de l'UNESCO à Rabat, Bureau Multi-pays pour le Maghreb.8p.
- Valiron F. (1983).** La réutilisation des eaux usées. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, p 207.

Webographies :

[1] : <https://www.produitsaquasante.com/le-ph-et-le-potentiel-doxydro-duction#:~:text=Le%20potentiel%20d'oxydo%2Dr%C3%A9duction%2C%20ou%20potentiel%20r%C3%A9dox%2C,substance%20est%20un%20agent%20oxydant.> Consulté le 24/05/2024

Résumés

Résumé

Au cours des dernières années, plusieurs chercheurs, se sont intéressés à étudier une nouvelle technique d'épuration des eaux usées, peu couteuse par rapport aux stations d'épuration. Cette technique est basée sur l'utilisation des plantes dans la décontamination des eaux polluées, elle est connue sous le nom de la phyto-épuration. Dans notre étude, nous avons prélevé des échantillons d'eaux usées dans la station d'épuration de ville de Guelma (STEP), afin de pouvoir prouver l'efficacité d'un traitement par un filtre planté. Pour cela, nous avons effectué des analyses physico-chimiques et bactériologiques sur des échantillons d'eau où nous avons implanté deux types de plantes (*Typha angustifolia* et *Phragmites australis*) séparément dans deux bacs différents. Un troisième bac contient les deux espèces de plantes ensemble, tandis que le quatrième bac contient uniquement l'échantillon d'eaux usées. À l'issue de cette recherche et après avoir effectué toutes les analyses, nous n'avons pas réussi à atteindre l'objectif de notre recherche sur l'efficacité de la phytoépuration des eaux utilisées. Cela est dû aux précipitations saisonnières accrues et à d'autres problèmes techniques dans les installations des réseaux hydriques de la wilaya. Tout ça à conduit à la réduction de la charge microbienne dans les eaux usées en apportant une quantité d'eau supplémentaire.

Mots clés : Phyto-épuration, STEP, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques

Abstract

In recent years, several researchers have been interested in studying a new wastewater purification technique that is inexpensive compared to treatment plants. This technique is based on the use of plants in the decontamination of polluted water, it is known as phyto-purification. In our study, we took samples of wastewater from the Guelma city wastewater treatment plant (STEP) in order to prove the effectiveness of treatment by a planted filter. To do this, we carried out physicochemical and bacteriological analyses on water samples where we planted two types of plants (*Typha angustifolia* and *Phragmites australis*) separately in two different tanks. A third tank contains both plant species together, while the fourth tank contains only the wastewater sample. At the end of this research and after carrying out all the analyses, we did not succeed in achieving the objective of our research on the effectiveness of phyto-purification of the water used. This is due to increased seasonal rainfall and other technical problems in the wilaya's water network installations. All this led to the reduction of the microbial load in wastewater by providing an additional quantity of water.

Key words: Phyto-purification, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, physico-chemical and bacteriological analyzes.

ملخص

في السنوات الأخيرة، اهتم العديد من الباحثين بدراسة تقنية جديدة لتنقية مياه الصرف الصحي، وغير مكافحة مقارنة بمحطات المعالجة. تعتمد هذه التقنية على استخدام النباتات في تطهير المياه الملوثة، وتعرف بالتنقية النباتية. في دراستنا، قمنا بأخذ عينات من مياه الصرف الصحي في محطة معالجة المياه العادمة لمدينة قالمة (STEP)، لكي نتمكن من إثبات فعالية المعالجة بواسطة مرشح نباتي. للقيام بذلك، قمنا بإجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية على عينات المياه حيث قمنا بزراعة نوعين من النباتات (البوط رفيع الأوراق و قصب المكاني) بشكل منفصل في حوضين مختلفين. ويحتوي الحوض الثالث على كلا النوعين النباتيين معًا، بينما يحتوي الحوض الرابع فقط على عينة مياه الصرف الصحي. وفي نهاية هذا البحث وبعد إجراء كافة التحاليل لم ننجح في تحقيق هدف بحثنا حول فعالية التنقية النباتية للمياه المستخدمة. ويرجع ذلك إلى زيادة هطول الأمطار الموسمية ومشاكل فنية أخرى في تجهيزات شبكة المياه بالولاية. كل هذا أدى إلى تقليل الحمل الميكروبي في مياه الصرف الصحي من خلال توفير كمية إضافية من المياه.

الكلمات المفتاحية: التنقية النباتية، البوط رفيع الأوراق، قصب المكاني، التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Tables de Mac Grady (Méthode d'NPP) (*in Razkallah, 2019*).

5 tubes par dilution							
Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.0	203	1.2	400	1.3	513	8.5
001	0.2	210	0.7	401	1.7	520	5.0
002	0.4	211	0.9	402	2.0	521	7.0
010	0.2	212	1.2	403	2.5	522	9.5
011	0.4	220	0.9	410	1.7	523	12.0
012	0.6	221	1.2	411	2.0	524	15.0
020	0.4	222	1.4	412	2.5	525	17.5
021	0.6	230	1.2	420	2.0	530	8.0
030	0.6	231	1.4	421	2.5	531	11.0
100	0.2	240	1.4	422	3.0	532	14.0
101	0.4	300	0.8	430	2.5	533	17.5
102	0.6	301	1.1	431	3.0	534	20.0
103	0.8	302	1.4	432	4.0	535	25.0
110	0.4	310	1.1	440	3.5	540	13.0
111	0.6	311	1.4	441	4.0	541	17.0
112	0.8	312	1.7	450	4.0	542	25.0
120	0.6	313	2.0	451	5.0	543	30.0
121	0.8	320	1.4	500	2.5	544	35.0
122	1.0	321	1.7	501	3.0	545	45.0
130	0.8	322	2.0	502	4.0	550	25.0
131	1.0	330	1.7	503	6.0	551	35.0
140	1.1	331	2.0	504	7.5	552	60.0
200	0.5	340	2.0	510	3.5	553	90.0
201	0.7	341	2.5	511	4.5	554	160.0
202	0.9	350	2.5	512	6.0	555	180.0

Annexe 02 : Résultats physico-chimiques.

	Ty	Ph	M	Tém
Température	14.3	14.5	14. 4	14.9
pH	6.95	7.5	7.14	7.85
Potentiel rédox (mv)	-29.5	-35.6	- 71	-51.6
Conductivité (ms/cm)	1222	1017	1202	875
O₂ dissous (%)	0.526	0.56	0.466	0.636
Salinité	0.61	0.53	0.6	0.43
MES (mg/l)	6.456	6.371	2.669	1.18
DBO₅ (mg/l)	88.4	65	57.8	49
DCO (mg/l)	277	139	145	116
DCO/DBO₅	3.13	2.14	2.5	2.37

Annexes

Annexe 03 : Norme de la qualité des eaux épurées rejetées (ONA, 2015), (Jora, 2006).

Paramètres	unité	(ONA, 2015)	(JORA, 2006)
DBO5	mg/l	30	35
DCO	mg/l	80	120
MES	mg/l	30	35
NTK	mg/l	40	30
PO ₄ ⁻	mg/l	2	10
N total	mg/l	/	30
N-NO ₂	mg/l	/	/
PH	-	5.5-8.5	5.5-8.5
Température	°C	30	30

Annexe 04 : Images de l'appareillage utilisé en physico-chimie



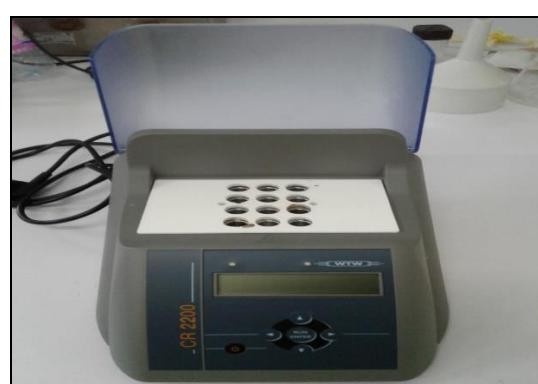
Multi-paramètre de type HANNA
H19829



Equipements utilisés pour la filtration
(Pompe à vide)



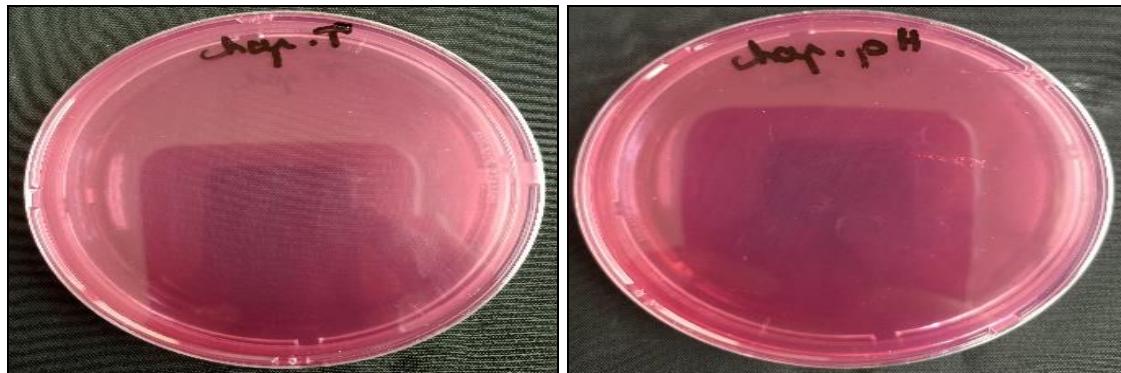
DBO-mètre



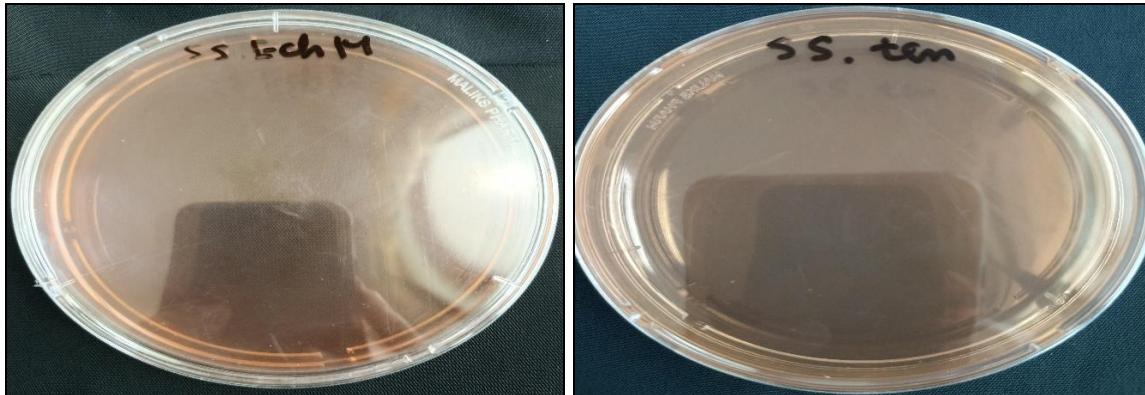
DCO-mètre

Annexes

Annexe 05 : Images de quelques milieux de cultures utilisées en bactériologie des eaux usées.



Absence des staphylococcus dans le milieu Chapman



Absence de Salmonella et de Shigella dans le milieu S.S.



Absence des ASR dans le milieu Viande-foie

Annexes



Absence des Streptocoques fécaux dans le milieu Roth



Les coliformes totaux dans le milieu BCPL