

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis.
Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et
de la Vie



جامعة مستغانم - عبد الحميد بن
باديس

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Mlle AGHA Nour El Houda

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Production Végétale

Thème

Traitement biologique des eaux usées par les Macrophytes et
effet de leur réutilisation sur la culture de l'aubergine (*Solanum
Melongena L.*).

Soutenue publiquement le 08/10/2023

Devant le jury :

Président	Dr. GHELAMALLAH Amine	MCA	U. Mostaganem
Encadreur	Dr. BENABDELMOUMENE Djilali	MCA	U. Mostaganem
Examineur	Dr. ARBAOUI Mohammed	MCA	U. Mostaganem
Co encadreur	Doctorant BENGUENNOUNA Nouredine	Doctorant U. Mostaganem	

*Thème réalisé au Laboratoire de physiologie animale appliquée (LPAA).
Promotion 2022/2023.*

Remerciements

C'est avec un réel plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail et toutes les personnes qui sont

Présentes autour de nous en ce moment.

Nous tenons à exprimer d'abord tout nous sincère remerciement et notre grand

Respect au Dr. BENABDELMOUMENE Djilali pour nous avoir encadré, orienté pour toute sa Patience et ses précieux conseils qu'il nous a donnés.

Nous exprimons notre sincère gratitude au Dr. GHELAMALLAH Amine et nous le remercions pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

Nous exprimons notre sincère gratitude au Dr. ARBAOUI Mohamed et nous le remercions pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner.

Nos sincères remerciements au Doctorant BENGUENNOUNA Nourredine pour son aide scientifique précieuse, tous les conseils qu'il nous a donnés, et les efforts, la bienveillance et le soutien que nous avons reçus pendant les moments les plus Difficiles de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel de l'altier pour leurs aides, soutiens et les bons moments passés qui ne pourront que rester inoubliables pour nous.

Enfin, on tient à remercier l'ensemble des enseignants du département des sciences agronomie qui ont participé à notre formation.

Dédicaces

Ce mémoire est dédié à ma mère et à mon père Pour leur amour, leur soutien et leur présence à mes côtés durant tout le parcours de ma vie.

Il est aussi dédié à mes frères et à ma sœur Rama.

À ma tante ZOUBIDA qui m'a encouragé tout au long de la réalisation de ce travail.

À ma très chère Cousine Karima.

À mes chères coupines Hidayette, Imene, Mouna, Afaf.

J'exprime ici ma profonde gratitude et ma reconnaissance à toutes.

Mes enseignantes et tous mes enseignants du primaire, secondaire

Et Universitaire pour le savoir qu'ils m'ont inculqué. Je le dédie aussi à toute ma famille, à toutes mes amies et tous les étudiants de ma promotion.

ملخص

الجزائر تواجه زيادة مستمرة في ندرة المياه، وهي ظاهرة تضخمت بسبب الطلب المتزايد ونقصها بسبب التغيرات المناخية. وقد فرضت لمعالجة مياه الصرف الصحي ومن هنا، تركّز هذه الدراسة على استغلال النباتات الكبيرة، هذه الحالة الحرجة الحاجة الملحة لتطبيق حالاً وخاصة القصب، كنظام لمعالجة مياه الصرف الصحي بهدف دعم إنتاج النباتات. الجهاز التجريبي يعتمد على ثالث خزانات، حيث يحتوي كل منها على 100 لتر من الحصى مغطى بطبقة من التربة بسمك 40 سم تتكون من الطمي والطين والرمل. تعتبر هذه الخزانات وسطاً لتعتبر هذه الخزانات وسطاً لنمو السواقي الصغيرة من القصب، بكثافة قصوى.

نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية وأداء التنقية لنظام القصب كانت ملحوظة. إذ تظهر النتائج قدرة إزالة فعالة للغاية للحمولة العضوية، بمعدلات تقليل معتبرة: 97.33% للمواد العالقة (MES)، 83.05% للطلب الكيميائي على الأوكسجين (DCO)، 96.5% للطلب البيولوجي على الأوكسجين (DBO5)، ومعدل pH ثابت عند 7.75. وتتوافق هذه القيم بشكل كامل مع معايير الري التي وضعتها منظمة الصحة العالمية واللوائح الوطنية الحالية.

القصب، وتبرز تحسناً كبيراً في تطور محاصيل النتائج المحصلة تؤكد على فعالية الشاملة لجهاز معالجة مياه الصرف الصحي القائم على البانجان. وبالتالي، تسلط هذه الدراسة الضوء على المزايا الكبيرة الاستخدام النباتات الكبيرة، وخاصة القصب، في معالجة مياه الصرف الصحي ودمجها بفعالية في إنتاج النباتات.

الكلمات المفتاحية: مياه صرف صحي، معالجة بيولوجية، قصب، بانجان، نبات كبير.

Résumé

L'Algérie fait face à une augmentation constante de la rareté de l'eau, un phénomène amplifié par une demande croissante et des pénuries dues aux variations climatiques. Cette situation critique a imposé la nécessité impérieuse de mettre en place des solutions pour le traitement des eaux usées. C'est dans ce contexte que cette étude se concentre sur l'exploitation des plantes macrophytes, en particulier les roseaux, en tant que système de traitement des eaux usées destiné à soutenir la production végétale.

Le dispositif expérimental repose sur trois bacs, chacun contenant 100 litres de gravier recouvert d'une couche de sol de 40 cm d'épaisseur, composé de limon, d'argile et de sable. Ces bacs servent de milieu de croissance pour de jeunes pousses de roseaux, avec une densité maximale.

Les résultats des analyses physico-chimiques et des performances épuratoires du système de roseaux sont remarquables. Ils démontrent une capacité d'élimination particulièrement efficace de la charge organique, avec des taux de réduction significatifs : 97,33 % pour les matières en suspension (MES), 83,05 % pour la demande chimique en oxygène (DCO), 96,5 % pour la demande biologique en oxygène (DBO5), et un pH stable à 7,75. Ces valeurs s'inscrivent en totale conformité avec les normes d'irrigation établies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la réglementation nationale en vigueur.

Les résultats obtenus attestent de l'efficacité globale du dispositif de traitement des eaux usées à base de roseaux, et mettent en lumière une amélioration substantielle du développement des cultures d'aubergines. Ainsi, cette étude souligne les avantages considérables de l'utilisation des plantes macrophytes, spécifiquement les roseaux, dans le traitement des eaux usées et leur intégration bénéfique à la production végétale.

Mots-clés : eaux usée , traitement biologique , roseaux, aubergine, , Macrophyte.

Abstrat

Algeria is facing a constant increase in water scarcity, a phenomenon exacerbated by growing demand and shortages due to climate variations. This critical situation has imposed the urgent need to implement solutions for wastewater treatment. It is in this context that this study focuses on the exploitation of macrophyte plants, particularly reeds, as a wastewater treatment system aimed at supporting plant production.

The experimental setup relies on three tanks, each containing 100 liters of gravel covered with a 40 cm thick layer of soil composed of silt, clay, and sand. These tanks serve as a growing medium for young reed shoots, at maximum density.

The results of physico-chemical analyses and the purifying performance of the reed system are remarkable. They demonstrate a particularly effective removal capacity of organic load, with significant reduction rates: 97.33% for suspended solids (MES), 83.05% for chemical oxygen demand (COD), 96.5% for biochemical oxygen demand (BOD5), and a stable pH at 7.75. These values are in complete compliance with irrigation standards established by the World Health Organization (WHO) and current national regulations.

The results obtained confirm the overall effectiveness of the reed-based wastewater treatment system, and highlight a substantial improvement in the development of eggplant crops. Thus, this study underscores the considerable advantages of using macrophyte plants, specifically reeds, in wastewater treatment and their beneficial integration into plant production.

Keywords: wastewater, biological treatment, reeds, eggplant, macrophyte.

Liste des Figures

Figure 01 : <i>Le roseau commun « Phragmite Australis »</i>	14
Figure 02 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical.....	18
Figure 03 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement Eaux décantées.....	19
Figure 04 : Thrips (A), Mouches blanches (B), <i>Helicoverpaarmigera</i> (C) sur tomates, <i>Phytophthora capsici</i> (D), <i>Leveillulataurica</i> (E) sur des feuilles de solanacées et <i>Meloidogynespp</i> (F) sur les racines de plantes de tomates.....	32
Figure 05 : Les plantes d'aubergine irriguée par eau traitée par azolla	37
Figure 06 : Les plantes d'aubergine irriguée par eau puit.....	38
Figure 07 : Les plantes d'aubergine irriguée par eau épurée.....	38
Figure 08 : Couche de Gravier	40
Figure 09 : Couche de Sol	41
Figure 10 : <i>Phragmites australs</i> (roseau) utilisé	42
Figure 11 : Variation du pH	51
Figure 12 : Variation de MES	52
Figure 13 : Variation de DCO.....	53
Figure 14 : Variation de DBO5	54
Figure 15 : variation de ph du sol.....	55
Figure 16 : Evolution du taux de la matière Sèche dans le sol en fonction de la qualité d'eau d'irrigation	56
Figure 17 : Evolution du taux de la matière Minérale dans le sol en fonction de la qualité d'eau d'irrigation	57

Figure 18 : Evolution du taux de la matière organique dans le sol en fonction de la qualité d'eau d'irrigation.....	57
Figure 19 : Valeur de rétention d'eau du sol irrigué avec trois sources différente.....	59
Figure 20 : la teneur en chlorophylle.....	61
Figure 21 : Evolution progressive de la hauteur des plantes au fil du temps	63
Figure 22 : Evolution progressive de la Nombre de feuille au fil du temps	63
Figure 23 : Évolution de la taille des feuilles au fil du temps.....	65
Figure 24 : Évolution du nombre de nœud pour chaque source d'eau.....	66
Figure 25 : Les valeurs de nombre de fruits récoltés pour chaque source d'eau	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : paramètres morphologiques mesurés à différents intervalles de temps pour les plantes d'aubergines irriguées par trois sources d'eau	49
Tableau 02 : Norme d'interprétation pour la matière organique	59

LISTE DES ABRÉVIATIONS

EUT	Eaux usées traité
MES	Matières en suspension
O.M.S	Organisation Mondiale de la Santé
FAO	Food and Agriculture Organization
DBO	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
REUE	Réutilisation des eaux usées traitées
ONA	Office National de l'Assainissement
WHO	World Health Organization
OMS	Organisation mondiale de la Santé
UNEP	United Nations Environment Programme
JORA	Journal officiel de la république algérienne
MM	Matière minérale.
MS	Matière Sèche
MO	Matière Organique
PH	potentiel hydrogène
STEP	Station d'épuration
CH4	Methane
CO2	Carbon dioxide

SOMMAIRE

Sommaire

Partie bibliographique

Introduction	02
---------------------------	----

Chapitre I : Eaux usées

1. Définition des eaux usées.....	05
2. Types d'eaux usées en général.....	05
2.1. Eaux usées domestiques	05
2.2. Eaux usées industrielles	05
2.3. Eaux usées agricoles.....	06
2.4. Eaux pluviales et Ruissellement.....	06
3. Réutilisation des eaux usées traitées(REUT).....	06
4. Objectifs de la Réutilisation des Eaux usées en Algérie.....	07
5. Types de Réutilisation des Eaux usées.....	07
6. Risques de réutilisation des eaux usées.....	08
7. Impacts du rejet des eaux usées au milieu récepteur.....	09
7.1. Impacts environnementaux	09
7.2. Impacts sanitaires	10
8. Épuration des eaux usées	10

Chapitre II : Traitement des Eaux usées

Historique	13
1. Types de plantes utilisées	13
2. Phragmites australis (roseau)	14
3. Avantages/Inconvénients.....	15
4. Principe de l'épuration par Macrophyte	15
5. Types des filtres plantés	16

5.1. Filtres planté sa Écoulement vertical.....	17
5.2. Filtres à Écoulement horizontal	18
5.3. Systèmes Hybrides	19
6. Rôle des Marophytes.....	19
7. Rôle des Micro-Organismes	20
8. Principales caractéristiques de L'épuration par les plantes	20
9. Plantations des macrophytes.....	21
10. Évacuationdesboues	22
11. Définition d'azolla.....	22
12. Avantage d'azolla dans l'irrigation des cultures agricoles.....	23

Chapitre III : L'aubergine

Origine et Historique.....	24
1. Définition.....	24
2. Variétés de L'aubergine	25
3. Importance économique de L'aubergine.....	26
4. Importance nutritionnelle et médicinale de l'aubergine	27
5. Classification botanique	28
6. Caractéristiques botaniques	28
7. Cycle Végétatif	29
8. Besoins de la culture de l'aubergine	30
9. Technique Cultural.....	31
10. Maladies et Ravageurs de L'aubergine	31
11. Lutte contre les maladies et les ravageurs	33

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectif	35
2. Zone d'étude.....	35
3. Station d'épuration	35
4. Matériel végétal.....	36
5. Description du dispositif expérimental.....	39
6. Rôles des différentes composantes du dispositif.....	39
6.1. Gravier	39
6.2. Sol.....	40
6.3. Micro-organismes.....	41
6.4. Macrophyte	41
7. Etapes de réalisation de l'expérience	42
8. Analyse physico-chimiques de l'eau	43
8.1. Détermination du pH	43
8.2. Mesure des matières en suspension(MES)	43
8.3. Demande chimique Enoxigène (DCO).....	44
8.4. Demande biochimique Enoxigène (DBO5).....	45
9. Analyses physico-chimiques du Sol.....	46
9.1. Détermination de la Teneur en matière sèche	46
9.2. Détermination de la teneur en matière minérale	46
9.3. Détermination le pH du sol.....	47
10. Etude Morpho-physiologique	48

10.1. Mesure de la rétention d'eau.....	48
10.2. Dosage de chlorophylle.....	49
11. Paramètre morphologique.....	49

Résultats et discussion

1. Analyses physico-chimiques de l'eau.....	51
1.1. Détermination du pH de l'eau... ..	51
1.2. Matière en suspension(Mes)	52
1.3. Demande chimique en oxygènes DCO.....	53
1.4. Demande Biochimique en Oxygène(DBO5)	54
2. Analyse physico-chimiques du sol.....	55
2.1. Détermination du PH du Sol.....	55
2.2. Détermination de la Teneur en matière sèche	55
2.3. Détermination du la Teneur en Matière Minérale	56
2.4. Détermination du la Teneur en Matière Organique.....	57
3. Etude morpho - physiologique.....	59
3.1. Mesure de la rétention d'eau.....	59
3.2. Dosage de chlorophylle	60
4. Paramètre morphologique.....	62
Discussion.....	68
Conclusion	71
Références bibliographiques	

Introduction

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses et vitales sur Terre. Cependant, sa disponibilité n'est pas répartie de manière égale dans le monde et de nombreuses régions connaissent une pénurie d'eau croissante. Selon les estimations, plus de 2 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à une eau potable suffisante, tandis que près de la moitié de la population mondiale n'a pas accès à des services d'assainissement de base. (UNESCO, 2019).

L'agriculture est la principale utilisatrice d'eau douce dans le monde, représentant environ 70 % de la consommation totale d'eau douce. En raison de l'augmentation de la population mondiale et de l'expansion des terres agricoles, la demande d'eau pour l'irrigation continue de croître. Cela a conduit à une pression accrue sur les ressources en eau dans de nombreuses régions, ce qui a conduit à une réduction des débits d'eau de surface et à une diminution des niveaux d'eau souterraine. (FAO, 2020).

Cependant, la rareté de l'eau est un problème majeur à travers le monde, affectant des millions de personnes et ayant des conséquences graves sur l'environnement. Les changements climatiques aggravent la rareté de l'eau en raison de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations (GIEC). La demande en eau devrait augmenter de 50 % d'ici 2050 en raison de la croissance de la population, de l'urbanisation et de l'augmentation des besoins en eau pour l'agriculture et l'industrie (UNESCO, 2017).

L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole est de plus en plus reconnue comme une option bénéfique dans de nombreux pays. Cette pratique pourrait répondre aux besoins croissants en eau de l'agriculture tout en réduisant la pression sur les ressources limitées en eau douce. De plus, les eaux usées traitées peuvent également contenir de l'azote, du phosphore, du potassium et d'autres nutriments bénéfiques pour les cultures. Les eaux usées peuvent également contenir des polluants chimiques tels que des métaux lourds, des produits pharmaceutiques, des pesticides et d'autres substances toxiques provenant d'activités industrielles, agricoles et domestiques. Si ces polluants ne sont pas efficacement éliminés ou réduits par le traitement des eaux usées, ils peuvent s'accumuler dans le sol, contaminer les cultures et s'infiltrer dans les eaux souterraines, ce qui peut nuire à la santé humaine et à l'environnement. (FAO, 2017)

Le traitement des eaux usées est donc essentiel avant leur utilisation en agriculture pour garantir la qualité de l'eau et protéger la santé publique.

Parmi les différentes méthodes de traitement, l'utilisation de roseaux en tant que plante épuratrice est de plus en plus courante en raison de son efficacité et de son coût relativement faible.

En effet, les roseaux peuvent éliminer les contaminants de l'eau en les absorbant ou en les transformant en substances inoffensives (**Vymazal**, 2011).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'utilisation des roseaux comme un moyen de traitement biologique et leur réutilisation dans le domaine agricole.

L'étude portera sur l'élimination des polluants, les mécanismes de purification, l'évaluation de la qualité de l'eau traitée et l'efficacité globale du système de roseaux.

Les résultats de cette étude aideront à évaluer la faisabilité et l'efficacité de cette méthode de traitement des eaux usées et éclaireront les décisions concernant son utilisation pour l'irrigation agricole.

Chapitre 01

1 Définition des eaux usées

Une eau usée ou résiduaire est une eau issue des activités anthropiques (domestiques, industrielles, agricoles) qui a été dégradée après usage. Le rejet direct de ces eaux dans le milieu naturel représente la forme de pollution la plus dommageable pour l'ensemble des écosystèmes. Ces eaux transportent des concentrations élevées en matières polluantes (azote, phosphore, matière organique, métaux lourds, bactéries pathogènes...), ce qui détériore la qualité des eaux pour les milieux récepteurs (rivières, lac,...) (**Bensalah, 2021**).

2 Types des eaux usées en général

"Il existe généralement trois types d'eaux usées : les eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles et les eaux usées agricoles. Les eaux usées domestiques proviennent des activités quotidiennes des ménages, y compris les toilettes, les douches, les lavabos et les machines à laver. Les eaux usées industrielles sont générées par les activités industrielles et commerciales et contiennent souvent des produits chimiques et des substances toxiques. Les eaux usées agricoles sont produites par les activités agricoles, telles que l'irrigation et l'élevage" (**UNESCO, 2019**).

2.1 Eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement (**Benkaddour, 2018**) :

Les eaux-vannes, qui correspondent aux eaux de toilette

Les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

2.2 Eaux usées industrielles

Elles proviennent essentiellement des usines et des installations industrielles. Elles peuvent contenir différents éléments traces métalliques (As, Pb, Cr, etc.), chimiques (solvants, colorants.) et organiques (hydrocarbures.), (**Benkaddour, 2018**) avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent

plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration (**Metahri**, 2012)

2.3 Eaux usées agricoles

Elles proviennent du lessivage des terres cultivées chargées d'engrais et de pesticides. L'utilisation extensive de ces produits est à l'origine de la présence des nitrates, des phosphates et des éléments traces métalliques (Zn, Cu, Pb, etc.) dans ces eaux (**Benkaddour**, 2018)

2.4 Eaux pluviales et ruissellement

Les eaux pluviales et le ruissellement sont les fortes pluies, les eaux pluviales ou d'inondation qui ne sont pas trempées dans le sol et qui s'écoulent au-dessus de la rue ou des surfaces ouvertes. C'est l'une des principales sources de pollution de l'eau, car de nombreux polluants toxiques tels que les plastiques, les pesticides, les herbicides, les huiles, les produits chimiques, les métaux lourds et même divers agents pathogènes sont emportés par les eaux de ruissellement des rues, des sites industriels, des chantiers de construction et divers autres endroits. Les eaux de ruissellement s'écoulent généralement soit directement, soit par des drains canalisés qui finissent par se déverser dans les cours d'eau naturels à proximité tels que les étangs, les rivières, les ruisseaux et les lacs sans aucun traitement. Cette eau polluée nuit non seulement à la vie aquatique, mais constitue également une menace pour l'ensemble de l'environnement, car toutes les formes de vie sont directement ou indirectement connectées aux cours d'eau naturels pour leur survie. (**Shah et Maulin.**, 2021)

3 Réutilisation des eaux usées traitées (REUT)

La réutilisation des eaux usées épurées « REUE » est une action volontaire et planifiée pour produire plus d'eau pour différents usages. Aujourd'hui, la stratégie nationale de développement durable de l'Algérie s'incarne notamment à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions, à savoir : sociale, économique et environnementale.

L'intérêt manifesté en Algérie pour la réutilisation des eaux usées agricoles découle d'une forte augmentation de la demande en eau, la population algérienne connaissant une forte croissance démographique ces dernières années.

Comme de nombreux pays du bassin méditerranéen, l'Algérie souffre de graves pénuries d'eau. La situation du pays se caractérise par une demande en eau croissante, alors que le

ressources en eau pour l'irrigation se raréfient en permanence. D'autre part, la production d'eaux usées augmente et sa réutilisation est la première réponse à la situation de pénurie d'eau pour l'irrigation.

L'Algérie disposait de 200 stations d'épuration d'une capacité de production de 500 millions de m³/an. Les capacités de production de ces stations devraient atteindre 1 milliard de m³/an à l'horizon 2032, réutiliser les eaux épurées pour l'irrigation de 24.000 hectares de terres agricoles d'ici à 2024 et atteindre, à l'horizon 2030, quelque 400.000 hectares, dont 16.000 hectares dans les hauts plateaux. (ONA.2022}

4 Objectifs de la réutilisation des Eaux usées en Algérie

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est d'économiser de grandes quantités d'eau potable et de répondre ainsi aux besoins de la population AEP, réduisant potentiellement la pression de mobilisation exercée sur la nappe phréatique sans que les agriculteurs soient défavorisés. D'autre part, il permet la protection de l'environnement au premier degré, de plus, la production de quantités supplémentaires d'eau pour différents usages comblera le manque d'eau et se mobilisera pour répondre à la demande croissante de sources d'eau alternatives pour l'eau d'irrigation, puisque l'eau reste la principale source de production agricole porteuse de développement.

De plus, le traitement des eaux usées produit des boues biologiques riches en azote et en phosphore. Leur réutilisation peut constituer un apport non négligeable d'amendements de sol. Par conséquent, l'utilisation des eaux usées traitées est nécessaire afin de répondre à tous les besoins en eau du pays tout en maintenant une eau de haute qualité et en la distribuant à l'approvisionnement en eau potable. Elle doit devenir partie intégrante des stratégies des décideurs politiques dans le cadre de la mobilisation de toutes les ressources disponibles. (BOUZIDI, 2020)

5 Types de Réutilisation des Eaux usées

La réutilisation des eaux usées consiste à traiter et à utiliser les eaux usées traitées pour des applications diverses plutôt que de les rejeter directement dans l'environnement. Voici quelques types courants de réutilisation des eaux usées :

- **Réutilisation agricole** : Les eaux usées traitées peuvent être utilisées pour l'irrigation des cultures agricoles. Elles peuvent fournir des nutriments supplémentaires aux

plantes et contribuer à la conservation de l'eau. Cependant, il est important de s'assurer que les eaux usées sont traitées de manière appropriée pour éliminer les contaminants et les pathogènes.

- **Réutilisation industrielle** : Les eaux usées traitées peuvent être utilisées dans divers processus industriels, tels que le refroidissement des équipements, le lavage ou la production d'énergie. Cette réutilisation peut contribuer à la conservation des ressources en eau douce et réduire la demande en eau provenant des sources naturelles.
- **Réutilisation urbaine non potable** : Les eaux usées traitées peuvent être utilisées à des fins non potables dans les zones urbaines, telles que l'irrigation des espaces verts, le lavage des véhicules, le remplissage des réservoirs d'eau pour les systèmes de lutte contre les incendies, etc. Cette pratique contribue à la préservation des ressources en eau potable. (WHO, 2006)
- **Réutilisation potable** : Dans certains cas, les eaux usées peuvent être traitées de manière avancée pour répondre aux normes de qualité de l'eau potable. Cette pratique est plus complexe et nécessite des technologies de traitement avancées, telles que l'osmose inverse ou l'ultrafiltration, pour éliminer efficacement les contaminants et les pathogènes. La réutilisation potable est moins répandue que les autres formes de réutilisation, mais elle gagne en importance dans certaines régions confrontées à des pénuries d'eau. (Zhang *et al.*, 2018)

6 Risques de réutilisation des eaux usées

Même les eaux usées qui ont subi un certain traitement contiennent des agents pathogènes et des polluants, qui peuvent présenter des risques pour la santé. Le type et l'étendue de ces risques dépendent de nombreux facteurs, tels que le niveau de traitement, la manière dont les eaux usées sont utilisées, les types et les concentrations de contaminants dans les eaux usées, le niveau d'exposition humaine ainsi que la pertinence du risque régional. Dans les pays à revenu intermédiaire et élevé, par exemple, où les réseaux d'égouts desservent les zones domestiques et industrielles, les risques pathogènes sont largement contrôlés et la discussion

se concentre sur les métaux lourds ou d'autres contaminants chimiques, tels que ceux provenant des produits pharmaceutiques et de soins personnels.

Pour protéger la santé publique sans décourager inutilement l'utilisation des eaux usées, une qualité de l'eau adaptée des normes doivent être élaborée pour protéger la santé publique, et ces normes doivent faire partie intégrante pilier de tout système de réutilisation. Dans l'ensemble, cependant, pour de nombreux pays du monde, le principal défi reste comment passer de l'utilisation non planifiée d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées à une réutilisation sûre de l'eau. Ainsi, de nombreux pays s'inquiètent de l'augmentation de la résistance aux antibiotiques causée par les contaminants dans l'eau, la majorité des pays s'inquiètent des agents pathogènes tels que les bactéries ou les virus dans les eaux usées - ce qui a été mis en évidence lors de la pandémie de coronavirus. La gestion des risques est un élément important de l'utilisation des eaux usées. Cela est particulièrement vrai pour l'agriculture, qui représente la plus grande utilisation d'eaux usées dans le monde. Les Directives de l'OMS pour l'utilisation sûre des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture (OMS, 2006) recommandent une approche à barrières multiples pour protéger la santé publique. (Garcia-Cuerva, 2016)

7 Impacts du rejet des eaux usées au milieu récepteur

Le rejet direct des eaux usées au milieu naturel a un impact négatif sur plusieurs plans :

7.1 Impacts environnementaux

Pollution de l'eau : Les eaux usées contiennent des polluants tels que les matières organiques, les nutriments (azote et phosphore), les produits chimiques, les métaux lourds, les microplastiques, les substances toxiques, etc. Lorsqu'elles sont rejetées dans un milieu récepteur sans traitement adéquat, elles peuvent entraîner une pollution de l'eau, affectant la qualité de l'eau et la vie aquatique (UNEP, 2017)

Eutrophisation : Les nutriments présents dans les eaux usées, tels que l'azote et le phosphore, peuvent provoquer une eutrophisation excessive des plans d'eau récepteurs. Cela favorise la croissance excessive d'algues et d'autres plantes aquatiques, entraînant une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau et la formation de zones mortes où la vie aquatique ne peut pas survivre (WHO, 2018)

Altération de l'écosystème : Les polluants présents dans les eaux usées peuvent perturber l'équilibre écologique des écosystèmes aquatiques. Ils peuvent entraîner la mort ou la diminution des populations de poissons, d'invertébrés et d'autres organismes aquatiques, perturbant ainsi la chaîne alimentaire et la biodiversité (**Qadir et al.**, 2010)

7.2 Impacts sanitaires

Les eaux usées sont le siège du transport, de la croissance et du développement de plusieurs maladies et agents pathogènes appelés Maladies à Transmission hydrique (MTH) (Fièvre entérique, Choléra, Leptospirose) dues à la pollution biologique bactérienne, virale et zoo parasitaires.

L'irrigation directe à partir de ces eaux usées affecte la santé humaine, le cas échéant des maladies digestives (diarrhées aiguës, choléras...) (**Metahri**, 2012)

8 Épuration des eaux usées

Les eaux usées se composent jusqu'à 99 % d'eau, le reste étant constitué de solide, de matières dissoutes et de particules, de micro-organismes, de nutriments, de métaux lourds et de micropolluants, bien que la composition exacte diffère évidemment selon la source. Les eaux usées domestiques et municipales sont susceptibles de contenir des charges bactériennes élevées, tandis que les activités industrielles peuvent produire des eaux usées caractérisées par un large éventail de polluants.

Le traitement des eaux usées n'est pas un processus en une seule étape et consiste en plusieurs étapes distinctes et séquentielles. Etapes qui reposent sur une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques pour éliminer les contaminants. Il existe plusieurs niveaux de traitement des eaux usées, dont le choix dépend du type de contaminants, de la charge polluante et des exigences de rejet, ainsi que de l'utilisation finale prévue de l'effluent. Un traitement adapté pour produire des effluents d'une qualité qui répond aux besoins des utilisations finales prévues est appelé traitement « adapté à l'usage ». Le nombre de technologies de traitement est vaste et comprend des processus physiques, chimiques et naturels. L'objectif du traitement des eaux usées est que l'eau ou l'effluent traité soit suffisamment propre pour être réutilisé en toute sécurité ou pour être renvoyé dans le cycle de l'eau avec un impact minimal sur l'environnement. (**Qadir et al.**, 2020)

➤ **Traitement Préliminaire**

Le prétraitement consiste en trois étapes principales qui éliminent les éléments de l'eau qui interféreraient avec les étapes de traitement ultérieures. Toutes les stations d'épuration n'ont pas nécessairement les trois, généralement il n'y a que le dégrillage, et les autres sont le dessablage et le déshuilage.

- **Dégrillage et tamisage** : Le dégrillage et le tamisage éliminent les déchets insolubles tels que les brindilles, les plastiques, les serviettes hygiéniques, etc. de l'eau. En effet, ces déchets ne peuvent pas être éliminés par des traitements biologiques ou physico-chimiques et doivent donc être éliminés par voie mécanique. À cet effet, les eaux usées sont passées à travers un ou plusieurs maillages de plus en plus serrés. Ceux-ci sont généralement équipés d'un système de nettoyage automatique pour éviter le colmatage et éviter la panne de la pompe (lorsqu'il y a un système de pompage) (**Tammar**, 2021).
- **Dessablage** : Le dessablage permet, par décantation, de retirer les sables mélangés dans les eaux par ruissellement ou amenés par l'érosion des canalisations. Ce matériau, s'il n'était pas enlevé, se déposerait plus loin, gênant le fonctionnement de la station et provoquant une usure plus rapide des éléments mécaniques comme les pompes. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, la dégradation de celles-ci provoquant des odeurs et une instabilité mécanique du matériau (**Tammar**, 2021).
- **Dégraissage** : C'est généralement le principe de la « flottation par air dissous » qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations. Leur élimination est essentielle également pour limiter les problèmes de rejets de particules graisseuses, les difficultés de décantation ou les perturbations des échanges gazeux. (**Tammar**, 2021).

➤ **Traitement primaire**

Cette étape initiale est conçue pour éliminer les matières brutes, en suspension et solides flottants provenant des eaux usées brutes. Il comprend Dégrillage pour piéger les corps

solides et la sédimentation par gravité pour éliminer les matières en suspension. Ce physique la séparation solide/liquide est un processus mécanique, bien que des produits chimiques peuvent parfois être utilisés pour accélérer le processus de mise en œuvre. Cette phase du traitement réduit la DBO des eaux usées entrantes de 20 à 30 % et le total des solides en suspension de près de 50 à 60 % (**Kesari et al., 2021**)

➤ **Traitement secondaire**

Cette étape permet d'éliminer la matière organique dissoute qui échappe au traitement primaire. Les microbes consomment la matière organique comme nourriture, et la convertissent en dioxyde de carbone, de l'eau et de l'énergie pour leur propre croissance. Décantation supplémentaire pour éliminer davantage de suspension solide suit ensuite le processus biologique. Près de 85% des matières en suspension et de la demande biologique en oxygène (DBO) peuvent être éliminés avec un traitement secondaire. Ce processus élimine également les polluants carbonés qui se déposent vers le bas dans le décanteur secondaire, séparant ainsi boues biologiques de l'eau claire. Cette boue peut être alimentée comme co-substrat avec d'autres déchets dans un biogaz-usine pour obtenir du biogaz, un mélange de CH₄ et de CO₂. Il génère de la chaleur et de l'électricité pour une distribution ultérieure d'énergie. L'eau claire restante est ensuite traitée pour nitrification ou dénitrification pour l'élimination du carbone et l'azote. De plus, l'eau passe par un bassin de décantation pour le traitement au chlore. À ce stade, l'eau peut encore contenir plusieurs types de contaminations microbiennes, chimiques et métalliques. Donc, rendre l'eau réutilisable, par exemple pour l'irrigation, doit passer par filtration puis dans une cuve de désinfection. Ici, l'hypochlorite de sodium est utilisé pour désinfecter les eaux usées. Après ce processus, l'eau traitée est considérée comme sûre à utiliser à des fins d'irrigation. Les déchets solides générés au cours des processus de traitement primaire et secondaire sont traités ultérieurement dans le réservoir d'épaississement par gravité sous un apport continu d'air. Les déchets solides sont ensuite acheminés vers une cuve de déshydratation centrifuge et enfin vers une cuve de stabilisation à la chaux. Les déchets solides traités sont obtenus à ce stade et peuvent être transformés ultérieurement pour plusieurs utilisations telles que la mise en décharge, les engrais et la construction.

Outre le procédé de traitement des eaux usées par boues activées, il existe plusieurs autres méthodes développées et utilisées dans des réacteurs à grande échelle telles que les bassins (aérobie, anaérobie, facultatif et de maturation), les filtres à ruissellement, les traitements anaérobies comme les anaérobies à flux ascendant. Réacteurs à couverture de boues (UASB),

zones humides artificielles, piles à combustible microbiennes et réacteurs méthanogènes (**Kesari et al ., 2021**).

➤ **Traitement tertiaire**

Dans une situation où la plus haute qualité de traitement des eaux usées est requise avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement, une étape de traitement supplémentaire est utilisée. Il s'effectue par ozonation, par un traitement aux UV ou pour des petites capacités de station d'épuration par une filtration sur sable. Cela élimine la suspension organique restante. Le traitement tertiaire inclut un ou plusieurs des processus suivants (**Pouliot et de la Noüe, 1985**) :

- Désinfection par le chlore ou l'ozone pour éliminer les germes pathogènes ;
- Neutralisation des métaux en solution dans l'eau en faisant varier le pH de l'eau dans certaines plages, on obtient une décantation de ces polluants. (**Mouloudji et Haroun, 2022**)

➤ **Traitement des boues**

Est une étape essentielle dans le processus de traitement des eaux usées. Il vise à réduire la fraction organique des boues, ce qui permet de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination. De plus, le traitement des boues vise également à réduire leur volume total afin de réduire les coûts liés à leur évacuation, notamment par le processus de déshydratation.

La réduction de la fraction organique des boues peut être réalisée par différentes méthodes, telles que la digestion anaérobie, le compostage, la méthanisation, ou encore l'incinération. Ces procédés permettent de stabiliser les boues en dégradant les composés organiques et en réduisant les risques de propagation de pathogènes.

La déshydratation des boues vise à réduire leur teneur en eau, ce qui permet de diminuer leur volume et de faciliter leur transport et leur élimination. Les méthodes de déshydratation couramment utilisées incluent la centrifugation, la filtration sous pression, la filtration par membrane, la dessiccation, ou encore l'utilisation de produits chimiques pour favoriser la floculation et la séparation de l'eau.

Il est important de souligner que le choix des méthodes de traitement des boues dépend des caractéristiques spécifiques des boues produites, des exigences réglementaires, des contraintes budgétaires et des objectifs environnementaux. Un traitement adéquat des boues est essentiel

pour garantir la protection de l'environnement, la santé publique et la durabilité des installations de traitement des eaux usées (**Belaid**, 2013).

Chapitre 02

Historique

Les roseaux (*Phragmites australis*) ont été utilisés comme plante de traitement des eaux usées depuis les années 1950. Cette méthode de traitement, appelée système de traitement par les plantes (STP) ou traitement par lagunage, utilise les propriétés naturelles des macrophytes pour éliminer les polluants de l'eau (Vymazal, 2022).

L'utilisation des roseaux dans le traitement des eaux usées a commencé en Europe, où cette méthode est devenue populaire en raison de son coût relativement faible et de son efficacité dans l'élimination des nutriments et des matières organiques. Depuis lors, cette technique a été adoptée dans de nombreuses régions du monde, y compris en Amérique du Nord, en Asie et en Afrique (Vymazal, 2022).

Les systèmes de traitement par les plantes utilisant les roseaux peuvent être de différentes tailles, allant des petits systèmes domestiques aux grandes installations municipales. Les eaux usées sont dirigées vers des bassins de lagunage peu profonds remplis de gravier et de sables, sur lesquels poussent les roseaux. Les polluants sont ensuite éliminés de l'eau par les processus biologiques naturels qui se produisent dans les racines et les tiges des roseaux ainsi que dans le substrat du lagunage (Vymazal, 2022). En plus de leur capacité à éliminer les polluants, les systèmes de traitement par les plantes ont également d'autres avantages, notamment une faible consommation d'énergie, une maintenance réduite et une empreinte écologique faible (Vymazal, 2022).

1 Types de plantes utilisées

Les plantes macrophytes sont utilisées dans différents types de systèmes de traitement des eaux usées pour éliminer les polluants de l'eau. Voici quelques exemples des types de plantes utilisées dans le traitement par macrophyte :

- Les roseaux (*Phragmites australis*) : cette plante est la plus largement utilisée dans les systèmes de traitement par les plantes. Elle peut être utilisée pour éliminer différents types de polluants, y compris les matières organiques et les nutriments (Vymazal, 2022)
- Les joncs (*Juncus spp.*) : ces plantes sont également utilisées pour le traitement des eaux usées, en particulier dans les systèmes de traitement des eaux usées domestiques et communautaires.

- Les scirpes (*Scirpus* spp.) : ces plantes sont souvent utilisées dans les systèmes de traitement des eaux usées qui nécessitent une filtration plus fine pour éliminer les polluants.
- Les nénuphars (*Nymphaea* spp.) : ces plantes sont utilisées pour éliminer les nutriments de l'eau, en particulier l'azote et le phosphore.
- Les salicornes (*Salicornia* spp.) : ces plantes sont utilisées pour le traitement des eaux usées salées, car elles sont capables de tolérer des niveaux élevés de sel.

Il existe de nombreuses autres espèces de plantes macrophytes qui peuvent être utilisées dans le traitement des eaux usées en fonction des conditions spécifiques du site et des types de polluants présents. (Vymazal, 2022)

2 Phragmites australis (roseau)

Définition

Phragmites australis, également connus sous le nom de roseau commun ou roseau des marais est une plante herbacée vivace de la famille des Poaceae, qui est couramment utilisée dans le traitement des eaux usées en raison de sa capacité à filtrer les polluants. Les tiges hautes et épaisses de Phragmites australis peuvent atteindre jusqu'à 5 mètres de hauteur, tandis que les feuilles sont longues, étroites et pointues (Li et al., 2021).

Les roseaux peuvent être utilisés dans les systèmes de traitement des eaux usées, tels que les marais filtrants, où ils agissent comme un filtre biologique en éliminant les matières organiques et les nutriments de l'eau (Li et al., 2021).



Figure 1 : Roseau commun « Phragmite Australis » (Rajaonarivelo, 2013).

3 Avantages / Inconvénients

Les avantages et inconvénients de l'utilisation de *Phragmites australis* dans les systèmes de traitement des eaux usées peuvent varier en fonction des spécificités du site et de la conception du système. Cependant, voici quelques points généraux à considérer :

- **Avantages :** Les *Phragmites australis* ont une croissance rapide et peuvent former des communautés denses, ce qui les rend efficaces pour traiter de grandes quantités d'eau. Ils peuvent tolérer une gamme de conditions environnementales, y compris les sols salins et les températures extrêmes. Les plantes ont la capacité d'absorber les nutriments et les matières organiques des eaux usées, aidant ainsi à réduire la charge polluante de l'eau. Les systèmes de traitement à base de *Phragmites australis* peuvent être relativement peu coûteux et faciles à entretenir, comparés aux systèmes de traitement des eaux usées traditionnels. (Hoffmann et Schwarz, 2021)
- **Inconvénients :** Les *Phragmites australis* peuvent être considérés comme une espèce envahissante dans certaines régions, car leur croissance rapide peut les amener à dominer les écosystèmes locaux. Il peut être difficile de contrôler la quantité d'eau traitée par les *Phragmites australis*, ce qui peut entraîner des problèmes de débordement ou de sous-utilisation. Les systèmes de traitement à base de *Phragmites australis* peuvent ne pas être aussi efficaces pour éliminer certains polluants spécifiques, tels que les métaux lourds. La maintenance des systèmes de traitement à base de *Phragmites australis* peut nécessiter une expertise spécifique en matière de plantes et de sols (Hoffmann et Schwarz, 2021)

4 Principe de l'épuration par Macrophyte

Le principe de l'épuration par macrophytes à base de roseau est basé sur l'utilisation de ces plantes aquatiques pour éliminer les polluants des eaux usées. Les roseaux ont la capacité

D'absorber les nutriments tels que l'azote et le phosphore, ainsi que les matières organiques, de l'eau.

Lorsque les eaux usées sont introduites dans un système de traitement par macrophyte à base de roseaux, elles sont d'abord acheminées vers un bassin où les solides se déposent et les matières en suspension sont piégées. Ensuite, l'eau est dirigée vers des lits de roseau où les racines des plantes absorbent les nutriments et les matières organiques, réduisant ainsi la charge polluante de l'eau.

Les roseaux peuvent être cultivés dans des marais filtrants, qui sont des zones humides artificielles conçues pour traiter les eaux usées municipales et industrielles. Ce système de traitement des eaux usées peut être une alternative rentable aux systèmes de traitement des eaux usées traditionnels, en particulier dans les zones rurales (Vymazal, 2021)

5 Types des filtres plantés

De façon générale, il existe deux types de filtres plantés : les filtres plantés de macrophytes à écoulement horizontal, et les filtres plantés de macrophytes à percolation verticale. Ils diffèrent par leur mode d'alimentation, par le sens d'écoulement de l'effluent dans le marais artificiel, et par les conditions aérobies de traitement.

Les lits plantés à écoulement superficiel horizontal ou vertical constituent des marais artificiels, dans lesquels les plantes enracinées se développent dans des graviers, sables rapportés, ou (sol) en place. Ils sont alimentés en continu sur la surface par un flux d'eau homogène, dont le niveau, légèrement inférieur à la surface du lit, est maintenu constant. Ces lits plantés sont constitués d'un ou de plusieurs bassins en série dont l'épuration est rendue possible grâce aux micro-organismes fixés sur des supports minéraux et racinaires des plantes en anoxie. L'effluent circule à travers des gabions latéraux à chaque extrémité du filtre « Roth Zone Method », principe pour écoulement à dominante horizontal développé par **Kickuth**.

Les lits plantés de macrophytes à percolation verticale sont des marais artificiels constitués des massifs filtrants rapportés en graviers ou sables. Ils sont traversés par l'effluent et assurent sa dégradation en matières organiques, et sa nitrification grâce aux bactéries fixées aux matériaux minéraux et aux racines des plantes aérobies. Ils sont dénommés des filtres verticaux, et leur fonctionnement est semblable à celui des lits infiltration-percolation sur sable, des filtres enterrés, et d'autres dispositifs d'épandage utilisés en assainissement collectif

et non collectif. Le système peut avoir deux étages contenant des filtres disposés en séries et en parallèle. L'effluent est alors alimenté en surface par bûchées de façon alternées, et collecté à l'aide d'un drain au fond du bassin « Max Planck Process » (Mampuya, 2020)

5.1 Filtres plantés à Écoulement vertical

Les filtres plantés à écoulement vertical (FPEV) sont des systèmes de traitement des eaux usées qui utilisent des plantes aquatiques et des micro-organismes pour éliminer les contaminants des eaux usées. Voici une description détaillée des FPEV :

Les FPEV se composent généralement de deux étages de traitement, qui permettent d'effectuer différents processus d'épuration en conditions aérobies. Le premier étage est destiné à la rétention physique des matières en suspension présentes dans les eaux usées. Ces matières sont piégées à la surface du filtre grâce à la filtration physique du substrat de gravier ou de sable. Le premier étage permet également le stockage et la minéralisation des boues par stabilisation des matières organiques.

Le deuxième étage est destiné à la dégradation biologique des matières dissoutes dans les eaux usées. Ce processus est assuré par la biomasse bactérienne aérobie qui est fixée sur le support non saturé des FPEV. Les plantes aquatiques qui sont plantées sur le lit de gravier ou de sable absorbent les nutriments qui sont produits lors de la dégradation des matières organiques, ce qui favorise leur croissance.

Les FPEV sont efficaces pour éliminer les matières organiques, les nutriments (azote et phosphore) et les pathogènes des eaux usées. Ils sont également faciles à entretenir et nécessitent peu d'énergie, ce qui en fait une option écologique et économique pour le traitement des eaux usées (Kaur *et al.*, 2021)

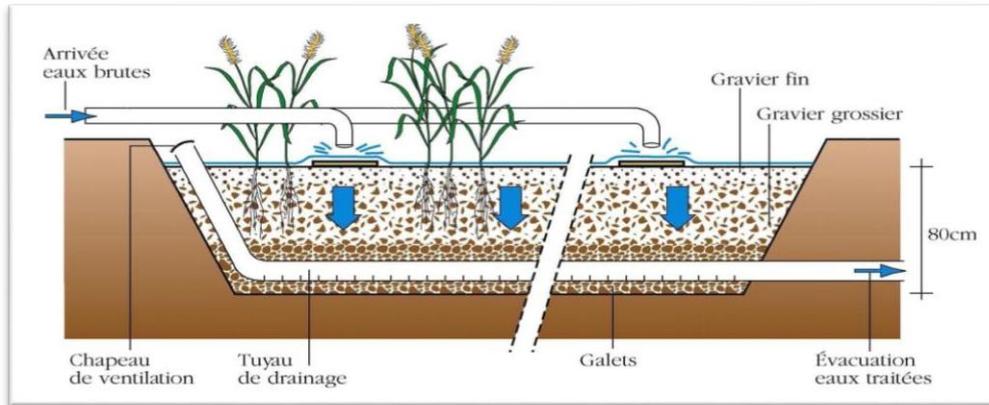


Figure 2 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical (Boutin *et al.*, 2004)

5.2 Filtres à écoulement horizontal

Les filtres horizontaux ne sont pas alimentés par la surface, comme les filtres verticaux. Les eaux usées décantées entrent, via un gabion d'alimentation, directement dans le massif filtrant. Il est donc nécessaire de débarrasser l'effluent, au préalable, des matières en suspension, soit par l'intermédiaire d'un décanteur placé en amont, soit par un premier étage de filtration verticale.

Les matières dissoutes sont dégradées dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support. Le niveau d'eau dans un filtre horizontal est normalement constant. L'aération est limitée par l'absence d'un mouvement de la ligne de saturation et se fait de manière très faible par une diffusion gazeuse. L'apport d'oxygène est faible par rapport à la demande totale. La pénurie en oxygène limite la dégradation de la pollution carbonée et azotée, oxydation du carbone organique et de l'ammonium, et par voie de conséquence limite la croissance bactérienne hétérotrophe et autotrophe (Poulet *et al.*, 2004).

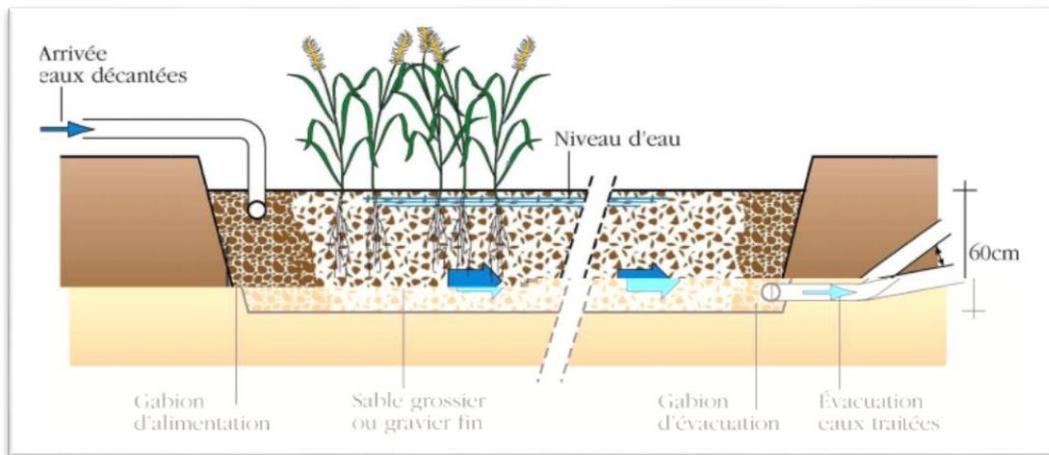


Figure 3 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement Eaux décantées (Boutin *et al.*, 2004)

5.3 Systèmes Hybrides

Les systèmes hybrides sont des dispositifs de traitement des eaux usées qui combinent les avantages des filtres plantés à écoulement vertical et horizontal. Ils permettent une bonne nitrification dans les filtres verticaux bien oxygénés, suivie d'une dénitrification dans les filtres horizontaux par des bactéries dénitrifiantes en conditions d'anoxie. Les rendements de la dénitrification ne sont cependant pas très élevés, car les bactéries ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifiées correctement (**Hu et al.**, 2021)

6 Rôle des macrophytes

Les macrophytes, en particulier les plantes aquatiques telles que les roseaux, ont plusieurs rôles importants dans le processus d'épuration des eaux usées :

Croissance des racines et des rhizomes : Les racines et les rhizomes des macrophytes fournissent un support physique pour les bactéries bénéfiques qui aident à décomposer les matières organiques présentes dans les eaux usées.

Couverture végétale : les macrophytes offrent une couverture végétale qui permet de réduire l'érosion des sols et de protéger les berges des cours d'eau. Cette couverture végétale favorise également la régulation de la température et la filtration de l'eau.

Une faible quantité d'oxygène : les racines des macrophytes libèrent de l'oxygène dans le sol, créant ainsi une zone de faible teneur en oxygène qui favorise la croissance des bactéries anaérobies qui décomposent les matières organiques.

Développement racinaire : les racines des macrophytes permettent de stabiliser les sols et de retenir les sédiments, ce qui améliore la qualité de l'eau en réduisant la turbidité.

Le rôle du métabolisme des plantes : les macrophytes ont un métabolisme qui leur permet de traiter les nutriments tels que l'azote et le phosphore. Ils peuvent absorber et accumuler ces nutriments, ce qui réduit la quantité de nutriments disponibles pour les algues et autres plantes aquatiques qui pourraient proliférer et causer des problèmes de qualité de l'eau. (Hossain et Strezov, 2018).

7 Rôle des Micro-Organismes

La biomasse bactérienne est constituée de micro-organismes qui évoluent dans des milieux non saturés. Elle a pour supports les rhizomes des macrophytes, les graviers et parfois les sables. Son rôle principal est d'assurer la dégradation biologique de la fraction carbonée et la nitrification de la matière organique, en fonction des conditions d'oxygénation, de température et du pH du milieu. (Mampuya, 2020)

8 Principales caractéristiques de L'épuration par les plantes

L'épuration des lits plantés est une méthode de traitement des eaux usées qui utilise des macrophytes (plantes aquatiques) pour filtrer et éliminer les contaminants de l'eau. Cette méthode a pour principales caractéristiques :

- Nature aérobie : Le traitement est basé sur la croissance des bactéries aérobies qui se développent autour des racines des macrophytes et dégradent les polluants organiques.
- Présence de substrat : Les macrophytes sont plantées dans un substrat, qui peut être du sable, de la tourbe, du gravier ou un mélange de ceux-ci. Le substrat permet une rétention de l'eau et fournit également une surface de croissance pour les bactéries aérobies.
- Diversité de macrophytes : La sélection des macrophytes dépend de la température de l'eau, de la qualité de l'eau, de la profondeur, de la vitesse de l'eau et d'autres conditions environnementales.
- Aération du substrat : Le substrat doit être suffisamment aéré pour permettre la croissance des bactéries aérobies.

- Composition du substrat : La composition du substrat peut avoir une incidence sur l'efficacité du traitement. Les substrats contenant de la tourbe ont été trouvés pour être plus efficaces que les substrats contenant uniquement du sable ou du gravier.
- Temps de rétention hydraulique : Les lits plantés nécessitent un temps de rétention hydraulique suffisamment long pour permettre la croissance des bactéries et la filtration des contaminants.
- Température : La température de l'eau peut avoir une incidence sur l'efficacité du traitement. Les lits plantés fonctionnent mieux dans les eaux plus chaudes. (Babatunde *et al.*, 2020)

9 Plantations des macrophytes

La plantation de macrophytes phragmites australis (roseau) se fait généralement en suivant les étapes suivantes :

- **Préparation du sol** : le sol doit être préparé en enlevant les débris et les mauvaises herbes. Le sol doit être nivelé et ameubli pour favoriser la croissance des racines.
- **Creusement des tranchées** : des tranchées de 20 à 30 cm de profondeur sont creusées dans le sol selon la taille et la forme du lit de plantation. Les tranchées doivent être espacées d'environ 50 à 80 cm.
- **Ajout de substrat** : un substrat est ajouté dans les tranchées pour améliorer la qualité du sol et faciliter la croissance des racines des macrophytes. Le substrat peut être composé de sable, de gravier, d'argile expansée ou de compost.
- **Plantation des macrophytes**: les plants de phragmites australis sont plantés dans les tranchées en veillant à ce que les racines soient bien recouvertes de substrat. Les plants doivent être espacés d'environ 20 à 30 cm.
- **Arrosage** : après la plantation, les macrophytes sont arrosées abondamment pour assurer une bonne reprise des plants.
- **Entretien** : les macrophytes nécessitent un entretien régulier pour assurer leur bonne croissance et leur efficacité dans le traitement des eaux usées. L'entretien peut inclure la taille des tiges et des feuilles, l'ajout de nutriments, la surveillance des maladies et des ravageurs, et le nettoyage régulier du système de traitement. (Mays *et al.*, 1997).

10 Évacuation des boues

L'évacuation des boues est une étape importante dans le processus d'épuration des eaux usées par filtre vertical. Selon les normes, cette évacuation doit être effectuée régulièrement, tous les dix ans environ. Les boues récupérées contiennent en moyenne entre 20 % et 30 % d'humidité et jusqu'à 60 % de matière volatile.

Pour évacuer les boues du filtre vertical, il est recommandé d'utiliser une rétrocaveuse équipée d'un godet large et pointu pour éviter d'endommager le lit filtrant et les racines des macrophytes. Les rhizomes des plantes peuvent en effet se régénérer assez rapidement dans la couche de matière filtrante (Bouzit, 2012).

Il est important de noter que la qualité de l'évacuation des boues a un impact significatif sur la performance et la durabilité du filtre vertical. Une évacuation inadéquate peut entraîner la prolifération de bactéries pathogènes, la réduction de l'efficacité de l'épuration et des dommages aux plantes et aux racines.

11 Définition d'Azolla

L'Azolla est une usine aquatique flottante qui est souvent utilisée pour traiter les eaux usées. Elle appartient à la famille des fougères et est connue pour sa capacité à purifier l'eau en absorbant divers polluants et nutriments. L'Azolla est efficace dans le traitement des eaux usées en raison de ses propriétés spécifiques. Elle possède de petites feuilles qui sont recouvertes de poils microscopiques, appelés trichomes. Ces trichomes abritent une symbiose avec une cyanobactérie spécifique, appelée *Anabaena azollas*.

Cette symbiose permet à l'Azolla de fixer l'azote atmosphérique et de le convertir en formes utilisables par la plante. Cela signifie que l'Azolla est capable de réduire la concentration d'azote dans l'eau, ce qui est bénéfique pour le traitement des eaux usées, car une teneur élevée en azote peut causer des problèmes environnementaux tels que l'eutrophisation.

En plus de sa capacité à fixer l'azote, l'Azolla est également capable d'absorber d'autres nutriments, tels que le phosphore et le potassium, ainsi que divers polluants organiques et inorganiques présents dans les eaux usées. Il agit en tant que plante filtrante, captant et conservant ces substances nocives.

L'utilisation d'Azolla pour le traitement des eaux usées offre de nombreux avantages. Tout d'abord, elle est une plante à croissance rapide, ce qui signifie qu'elle peut rapidement

Coloniser les surfaces d'eau et commencer à traiter les polluants. De plus, elle peut être cultivée de manière relativement facile et peu coûteuse, ce qui en fait une option attrayante pour les systèmes de traitement des eaux usées à petite échelle (**Watanabe et al.**, 2016)

12 Avantage d'Azolla dans l'irrigation des cultures agricoles

Enrichissement en nutriments : l'Azolla est capable d'accumuler des nutriments tels que l'azote, le phosphore, le potassium et d'autres micronutriments. Lorsqu'elle est appliquée à l'eau d'irrigation, l'Azolla se décompose et libère ses nutriments, contribuant ainsi à améliorer la fertilité du sol.

Réduction de l'évaporation : lorsqu'elle est utilisée comme couverture flottante sur les plans d'eau utilisés pour l'irrigation, l'Azolla peut réduire l'évaporation de l'eau en formant une couche protectrice à la surface. Cela permet de conserver l'eau d'irrigation et de réduire les besoins en eau.

Suppression des mauvaises herbes : l'Azolla peut également aider à supprimer la croissance des mauvaises herbes en empêchant la lumière du soleil d'atteindre le fond de l'eau. Cela réduit la concurrence des mauvaises herbes avec les cultures irriguées et permet d'économiser des efforts de désherbage supplémentaires.

Amélioration de la qualité du sol : lorsque l'Azolla se décompose, elle libère des substances organiques dans le sol, ce qui peut améliorer la structure du sol, l'activité microbienne et la rétention d'eau. Cela favorise un environnement favorable à la croissance des plantes et peut améliorer la qualité du sol dans son ensemble (**Kumari et al.**, 2018)

Chapitre 03

Origine et Historique

L'aubergine, également connue sous le nom botanique *Solanum Melongena*, est originaire d'Asie, où elle est cultivée depuis des milliers d'années. Les premières traces de sa culture remontent à environ 4 000 avant J.C. en Inde, où elle était considérée comme un légume de luxe et cultivée pour ses propriétés médicinales. L'aubergine a ensuite été introduite en Chine au cours du VI^e siècle, où elle a rapidement gagné en popularité en tant qu'ingrédient culinaire.

Au fil des siècles, l'aubergine a été introduite dans de nombreuses autres régions du monde, notamment au Moyen-Orient, en Afrique et en Europe. En Europe, elle a été introduite par les Arabes au XI^e siècle et était considérée comme un légume exotique et rare. Elle a été cultivée dans les jardins royaux et est devenue populaire parmi l'aristocratie. Au XVIII^e siècle, elle a commencé à être cultivée commercialement en Europe, notamment en Espagne et en Italie, où elle est devenue un ingrédient clé de la cuisine régionale.

Aux États-Unis, l'aubergine a été introduite par les colons européens au XVIII^e siècle, mais n'a pas été largement cultivée jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Aujourd'hui, l'aubergine est cultivée dans le monde entier, avec des variétés allant de petits fruits ronds et violets à des fruits longs et minces, de couleur violette, blanche ou verte.

En plus d'être un ingrédient culinaire populaire, l'aubergine est également utilisée dans la médecine traditionnelle pour ses propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes et antivirales. Elle contient également des niveaux élevés de nutriments tels que les fibres, les vitamines B, les minéraux et les antioxydants.

En conclusion, l'aubergine a une longue histoire de culture et d'utilisation culinaire à travers le monde, ainsi que des propriétés médicinales reconnues. Sa popularité continue de croître en tant qu'ingrédient culinaire et ingrédient de santé, et elle est largement disponible dans les marchés du monde entier (**Wahab et al.**, 2019)

1 Définition

L'aubergine, également appelée "eggplant" en anglais, est une plante potagère appartenant à la famille des Solanacées et au genre *Solanum melongena*. Elle est cultivée dans de nombreuses régions du monde. La plante a des feuilles ovales et allongées, des fleurs en forme d'étoile de

couleur pourpre, et des fruits globuleux à allonger. Les fruits ont une peau lisse et brillante, de couleur violette à noir, et contiennent une pulpe blanche et spongieuse avec des graines.

L'aubergine est une plante annuelle, qui nécessite une température moyenne d'environ 25°C pour bien se développer. Elle est cultivée dans une grande variété de sols, mais préfère les sols bien drainés et riches en matière organique. Elle est généralement plantée à partir de graines ou de plants, et nécessite un arrosage régulier ainsi qu'une fertilisation adaptée pour produire une récolte abondante (FAO, 2017)

2 Variétés de L'aubergine

Il existe de nombreuses variétés d'aubergines cultivées dans le monde entier, chacune avec ses propres caractéristiques de forme, de couleur, de goût et de texture. Voici quelques-unes des variétés les plus courantes :

- 2.1 "Black Beauty" : une variété populaire aux États-Unis, avec des fruits ovales de couleur violet foncé presque noire.
- 2.2 "Japanese" : une variété allongée originaire du Japon, avec des fruits minces et de couleur pourpre foncé.
- 2.3 "Rosa Bianca" : une variété italienne avec des fruits de taille moyenne, ovales et blancs striés de violet.
- 2.4 "Long Purple" : une variété asiatique avec des fruits de grande taille, allongés et de couleur pourpre foncé.
- 2.5 "Listada de Gandia" : une variété espagnole avec des fruits de taille moyenne, ovales et violet clair avec des rayures blanches (Baker Creek Heirloom Seeds. 2022).

Cependant, les variétés d'aubergines peuvent varier selon les régions et les cultures. Ainsi, il existe plusieurs variétés d'aubergines cultivées en Algérie, adaptées aux différentes conditions climatiques et agricoles du pays. Parmi les variétés les plus populaires, on peut citer : "**Baladi**", "**Menza**", "**Beldi**", "**Nagami**" et "**Zerzara**".

La variété "**Baladi**" est une aubergine de petite taille, ronde et de couleur violette foncée, très appréciée en Algérie pour sa saveur sucrée. La variété "**Menza**", quant à elle, est une

Aubergine allongée, de couleur violet foncé et très prisée pour sa chair ferme et son goût prononcé. La variété "**Beldi**" est une aubergine de petite taille, ovale et de couleur verte, cultivée dans la région de Tlemcen. La variété "**Nagami**" est une aubergine de taille moyenne, de forme ovale et de couleur violettefoncée, très appréciée pour sa chair douce et peu fibreuse. Enfin, la variété "**Zerzara**" est une aubergine de grande taille, allongée et de couleur violet foncé, souvent utilisée pour la préparation de la moussaka (**Benbelkacem**, 2018).

3 Importance économique de L'aubergine

L'aubergine est une culture importante dans le monde entier, avec une production annuelle totale de plus de 51 millions de tonnes en 2020, selon les données de la FAO. Elle est cultivée dans de nombreux pays, notamment en Inde, en Chine, en Turquie, en Égypte, en Iran et en Espagne.

En plus de son importance pour l'alimentation humaine, l'aubergine joue un rôle économique important dans de nombreux pays. Elle est une source de revenus pour les agriculteurs, les producteurs, les exportateurs et les transformateurs, créant des emplois et stimulant les économies locales.

L'exportation d'aubergines est également une activité économique importante dans certains pays. Par exemple, selon les données de l'Agence pour la Promotion des Exportations agricoles et alimentaires d'Espagne, l'Espagne a exporté plus de 290 000 tonnes d'aubergines en 2020, pour une valeur de plus de 225 millions d'euros.

En outre, l'aubergine est également utilisée dans la production de médicaments et de produits cosmétiques, offrant ainsi de nouvelles opportunités économiques. (**FAO**, 2021).

4 Importance nutritionnelle et médicinale de l'aubergine

À l'exception de l'importance nutritionnelle et agricole de l'aubergine, elle présente également de nombreux avantages thérapeutiques, et diverses recherches montrent que les extraits d'aubergines ont de superbes effets curatifs sur différents troubles comme les brûlures, les verrues, les infections inflammatoires, la gastrite, la stomatite et l'arthrite (Im *et al.*, 2016). L'aubergine produit un large choix de divers métabolites secondaires ainsi que d'autres composés tels que les glycol-alcaloïdes, les composés antioxydants et les vitamines qui ont joué un rôle important dans le maintien d'une bonne santé. Par exemple, un composé phénolique important de l'acide chlorogénique (acide 5-O-caféoyl-quinique; CGA), trouvé dans la peau des fruits (Prohens *et al.*, 2013).

Les aubergines sont la riche source de composés anthocyanes, en plus de leurs fonctions colorantes. L'anthocyanine joue un rôle important contre le diabète (Casati *et al.*, 2016). Les aubergines sont une riche source de nutriments riches et leur contenu est important principalement pour la croissance du corps, la réparation des substances usées et la protection. L'aubergine contient un ensemble complet de minéraux, de vitamines, de fibres nutritionnelles, de protéines, d'antioxydants et de plusieurs composés phytochimiques réparateurs (Merzoug et kherbi, 2021)

5 Classification botanique

Suivant la classification de **Cronquist** (1988), nous avons la systématique suivante :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Embranchement Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : Solanum

Espèce : *Solanum melongena* L

6 Caractéristiques botaniques

L'aubergine (*Solanum melongena*) est une plante herbacée vivace cultivée comme une plante annuelle, appartenant à la famille des Solanacées. Elle peut mesurer jusqu'à un mètre de hauteur, mais la plupart des cultivars sont plus petits. Les feuilles d'aubergine sont grandes, lobées et peuvent mesurer jusqu'à 30 cm de longueur. Elles sont de couleur vert foncé et ont une texture légèrement veloutée, les fleurs de l'aubergine sont de couleur blanche ou violette et ont une forme en trompette. Elles apparaissent à l'aisselle des feuilles et sont souvent solitaires, les fruits d'aubergine sont des baies qui peuvent atteindre plusieurs centimètres de longueur. Ils ont une forme ovale ou allongée et peuvent être de différentes couleurs, selon la variété cultivée. Les aubergines peuvent être violettes, blanches, vertes ou noires, les graines d'aubergine sont petites, plates et de couleur brun foncé. (**Aubert et Desbrosses**, 2013).

L'aubergine a besoin d'un climat chaud pour se développer et est sensible au froid. Elle préfère les sols bien drainés et riches en matière organique.

7 Cycle Végétatif

Le cycle végétatif de l'aubergine est un processus complexe qui peut varier en fonction de nombreux facteurs tels que les conditions climatiques, le type de sol, le choix des semences et les pratiques culturales utilisées. En général, le cycle de l'aubergine est divisé en quatre stades: la germination, la croissance végétative, la floraison et la fructification.

- **Germination** : la germination de l'aubergine commence lorsque la graine est placée dans le sol et que les conditions appropriées sont réunies. Cela peut prendre environ 7 à 14 jours, en fonction de la température, de l'humidité et de la qualité de la graine. Au cours de cette phase, la graine absorbe de l'eau et de l'air, et commence à germer en développant une radicule, qui deviendra plus tard la racine de la plante.
- **Croissance végétative** : après la germination, la plante entre dans la phase de croissance végétative. Au cours de cette phase, la plante produit des feuilles et des tiges, et développe son système racinaire. La croissance végétative dépend de nombreux facteurs, tels que la température, l'humidité et la disponibilité des nutriments.
- **Floraison**: lorsque la plante a atteint une taille suffisante, elle commence à produire des fleurs. La floraison de l'aubergine peut prendre de quelques semaines à quelques mois, selon les conditions environnementales. La pollinisation des fleurs est essentielle pour la production de fruits.
- **Fructification** : une fois que la fleur est pollinisée, elle se transforme en fruit. La fructification peut prendre de 4 à 6 semaines, selon les variétés et les conditions climatiques. Les fruits peuvent être récoltés lorsqu'ils atteignent leur taille et leur couleur finale, généralement environ 60 à 80 jours après la plantation.

En général, le cycle complet de l'aubergine, du semis à la récolte, peut prendre entre 90 et 150 jours en fonction de la variété et des conditions climatiques. Les variétés précoces peuvent produire des fruits dans les 60 à 70 jours suivant le semis, tandis que les variétés tardives peuvent prendre jusqu'à 150 jours pour produire des fruits mûrs.

Il est important de noter que les conditions environnementales, telles que la température, la lumière, l'humidité et les conditions du sol, peuvent influencer le cycle de l'aubergine. De plus, les différentes variétés d'aubergine peuvent avoir des cycles de croissance légèrement différents (FAO, 2012)

8 Besoins de la culture de l'aubergine

Les besoins de la culture de l'aubergine peuvent varier en fonction des conditions locales et des préférences variétales. Cependant, voici quelques facteurs importants à prendre en compte pour une culture d'aubergine réussie :

Climat : l'aubergine est une plante qui préfère les climats chauds et ensoleillés. Elle nécessite une température moyenne d'environ 25-30 °C pendant la saison de croissance. Les gelées et les températures extrêmes peuvent endommager les plants d'aubergine, il est donc préférable de les cultiver pendant les saisons chaudes.

Lumière : l'aubergine a besoin d'une exposition directe au soleil pendant au moins 6 à 8 heures par jour. Choisissez un emplacement dans votre jardin où les plants d'aubergine pourront bénéficier de cette lumière directe du soleil.

Sol : le sol pour la culture de l'aubergine doit être bien drainé, fertile et riche en matière organique. Un pH du sol de 6 à 7 est considéré comme idéal. Avant la plantation, préparez le sol en ajoutant du compost ou du fumier bien décomposé pour améliorer la fertilité.

Arrosage : l'aubergine a besoin d'un arrosage régulier pour maintenir le sol humide mais pas détrempé. Évitez les excès d'eau qui pourraient provoquer le pourrissement des racines. Un système d'irrigation goutte à goutte peut être bénéfique pour une distribution uniforme de l'eau.

Fertilisation : fournissez des nutriments adéquats aux plants d'aubergine en utilisant un engrais équilibré. Un apport supplémentaire d'engrais riche en potassium peut favoriser la formation de fruits sains. Suivez les recommandations spécifiques de fertilisation en fonction de l'analyse du sol et des besoins de la plante.

Protection contre les ravageurs et les maladies : surveillez attentivement les plants d'aubergine pour détecter les signes d'attaques de ravageurs tels que les pucerons, les aleurodes et les vers. Utilisez des méthodes de lutte intégrée des ravageurs, telles que l'utilisation d'insecticides naturels ou de pièges, si nécessaire. La rotation des cultures et l'élimination des plantes infectées peuvent aider à prévenir les maladies fongiques telles que le mildiou ou la pourriture des fruits. (FAO, 2013)

9 Technique culturale

La culture de l'aubergine peut varier en fonction des pratiques culturales locales, des conditions environnementales et des variétés cultivées. Voici quelques-unes des techniques les plus courantes

Préparation du sol : le sol doit être préparé en amont de la plantation en appliquant des amendements organiques et minéraux pour améliorer la fertilité et la structure du sol. Une étude récente a montré que l'utilisation de biochar, un matériau carboné dérivé de la biomasse, peut améliorer la croissance de l'aubergine en réduisant l'acidité du sol et en améliorant la disponibilité des nutriments (**Rahman et al.**, 2021)

Plantation : Les plants d'aubergine peuvent être cultivés à partir de graines ou de plants. La plantation doit être effectuée à une profondeur de 2 à 3 cm et à une distance de 60 à 80 cm entre les rangs. Une étude récente a montré que l'utilisation de plants de haute qualité peut améliorer la croissance et le rendement de l'aubergine (**Sohrabi et al.**, 2021).

Irrigation : L'aubergine a besoin d'un arrosage régulier pour assurer une croissance optimale des plantes et une production de fruits de qualité. L'irrigation peut être effectuée par goutte-à-goutte, par aspersion ou par submersion. Une étude récente a montré que l'irrigation par goutte-à-goutte peut améliorer le rendement de l'aubergine en réduisant les pertes d'eau et en fournissant une quantité d'eau précise et suffisante (**Ahmed et al.**, 2021).

Fertilisation : L'aubergine a besoin d'un apport régulier en nutriments pour une croissance optimale et une production de fruits de qualité. Les engrais peuvent être appliqués de manière foliaire ou par le sol. Une étude récente a montré que l'application d'engrais organiques peut améliorer la qualité et la quantité de la production de fruits d'aubergine (**Zhang et al.**, 2021).

10 Maladies et Ravageurs de L'aubergine

L'aubergine est une culture vulnérable à de nombreuses maladies et ravageuse en Algérie. Voici quelques-uns des problèmes les plus courants :

- **Les tripes** (*Thrips palmi* (K.) et *Frankliniella occidentalis* (P.) : les adultes et les larves attaquent les feuilles et rongent les fruits. Les dégâts se manifestent par une perte de 100 % des fruits à la suite de la transmission du virus.
- **Mouche blanche** (*Bemisia tabaci* (G.) *Trialeurodes vaporariorum* (W.) : elles attaquent les feuilles entraînant la baisse de la photosynthèse du fait de la

Présence de fumagine qui se nourrit de miellat. Cela entraîne la dépréciation de la qualité des fruits à cause de la fumagine.

- **Noctuelles** (*Helicoverpa armigera* (H.) et *Darabalisalis* (Wlk.) qui mangent les feuilles et perforent les fruits.
- **Champignons**, dont *Phytophthora capsici* (L.), attaquent les feuilles et les tiges des plantes. Ces champignons sont responsables de maladies comme le mildiou. Le développement de leur mycélium dans les fruits réduit la production.
- **Oïdium** causé par *Leveillulataurica* (G.) engendre les mêmes conséquences que le mildiou.
- **Nématodes à galles** comme *Meloidogynespp* (G.) provoquent des déformations de la racine réduisant les capacités d'absorption au niveau racinaire engendrant une baisse de rendement en fruits. (Sabdou, 2021)

Il existe de nombreuses autres maladies et ravageurs pouvant affecter la culture de l'aubergine en Algérie. La prévention et le contrôle de ces problèmes peuvent inclure des pratiques culturales appropriées, l'utilisation de variétés résistantes, la rotation des cultures et l'utilisation de pesticides ou de biopesticides. (Bouallegue *et al.*, 2021)

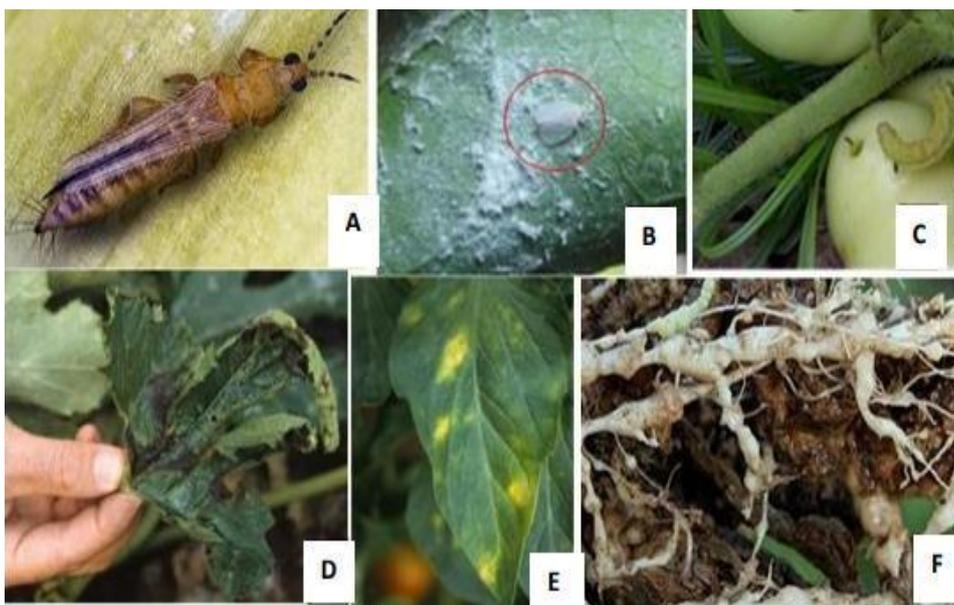


Figure 4 : Thrips (A), Mouches blanches (B), *Helicoverpaarmigera* (C) sur tomates, *Phytophthora capsici*(D), *Leveillulataurica* (E) sur des feuilles de solanacées et *Meloidogynespp* (F) sur les racines de plantes de tomates. Source : (Sall et Edbo, 2017 ; Tendeng, 2017 ; INRA, 2021)

11 Lutte contre les maladies et les ravageurs

Lutte biologique :

En Algérie, la lutte biologique est de plus en plus utilisée pour la protection de l'aubergine contre les maladies et les ravageurs. Elle consiste à utiliser des organismes vivants tels que des prédateurs, des parasites ou des micro-organismes pour contrôler les ravageurs et les maladies. La lutte biologique est considérée comme une alternative plus durable et respectueuse de l'environnement par rapport à la lutte chimique.

Parmi les méthodes de lutte biologique utilisées en Algérie pour lutter contre les maladies et ravageuses de l'aubergine, on peut citer :

L'utilisation de prédateurs tels que la coccinelle *Harmonia axyridis* pour contrôler les pucerons. Des études ont montré que cette coccinelle peut réduire efficacement les populations de pucerons dans les cultures d'aubergine en Algérie (**Bouharroud et al.**, 2020).

Utilisation de parasitoïdes : les parasitoïdes tels que les guêpes parasitent les larves de certains ravageurs de l'aubergine tels que la teigne de l'aubergine et la noctuelle des moissons. Les parasitoïdes peuvent être introduits dans les cultures pour contrôler les populations de ravageurs.

L'utilisation de nématodes entomopathogènes pour lutter contre les ravageurs souterrains tels que les larves de charançons et les larves de noctuelles. Les nématodes infectent les larves et les tuent. Cette méthode est considérée comme efficace et respectueuse de l'environnement (**Boutekrabort et al.**, 2018).

Utilisation de pièges à phéromones : les pièges à phéromones sont des dispositifs qui attirent les ravageurs mâles en utilisant des phéromones sexuelles synthétiques. Les mâles sont capturés dans les pièges, ce qui réduit les populations de ravageurs et empêche la reproduction.

L'utilisation de biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* pour contrôler les larves de noctuelles. Cette bactérie produit des toxines qui sont mortelles pour les larves de noctuelles. Cette méthode est considérée comme sûre et respectueuse de l'environnement (**Fazouane et al.**, 2019).

Cependant, la lutte biologique en Algérie est encore relativement nouvelle et nécessite des efforts supplémentaires pour être développée et adoptée plus largement.

Lutte chimique

La lutte chimique est une méthode courante de lutte contre les maladies des aubergines et les insectes nuisibles. Cependant, il convient de souligner qu'une utilisation excessive et inappropriée des pesticides peut avoir des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

Les insecticides couramment utilisés pour la protection des aubergines en Algérie comprennent la deltaméthrine, le chlorpyrifos et d'autres insecticides pour lutter contre les pucerons et les tripses ; des fongicides tels que le mancozèbe et le propiconazole pour lutter contre la moisissure grise, l'oïdium et d'autres maladies fongiques. Cependant, il est important de suivre de bonnes pratiques de contrôle chimique, telles que l'utilisation appropriée des pesticides, le respect des dosages recommandés et l'utilisation de produits approuvés pour éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement (**Boukhalfa et al.**, 2020)

Matériels et méthodes

1 Objectif

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité des roseaux comme système de traitement des eaux usées et leur réutilisation dans la production végétale. Plus spécifiquement, l'étude se concentrait sur la capacité des roseaux à réduire les paramètres de DCO (Demande Chimique en Oxygène) et de DBO5 (Demande Biologique en Oxygène) et MES (Matière en Suspension), qui sont des indicateurs importants de la pollution organique des eaux.

2 Zone d'étude

Dans cette étude, nous avons travaillé dans une ferme située à Hassi Mamèche, une commune de la wilaya de Mostaganem en Algérie. Les températures dans cette zone varient selon la période de la journée. Pendant la journée, la température atteint au mois de 19 °C, tandis que pendant la nuit, elle descend à une ambiance de 8 °C. Il est à noter que les valeurs extrêmes ne sont pas réglementées, avec une température maximale de 29 °C et une température minimale de -6 °C. En ce qui concerne la vitesse de l'évent, dans cette zone d'étude, elle varie entre 7 km/h et 14 km/h.

3 Station d'épuration

La station d'épuration de Mostaganem, située à la Salamandre, est une installation majeure visant à mettre un terme définitif à la pollution côtière causée par le rejet libre des eaux usées depuis de nombreuses années. Cette station a été construite pour un coût de 3,5 milliards de dinars et son objectif est de dépolluer les eaux usées domestiques des régions ouest et sud de Mostaganem, notamment les localités de Stidia, Hassi Mameche, Ouréah, Mazagran, Mostaganem, Kheireddine, Sayada et Ain Boudinar. Elle traitera environ 650 000 mètres cubed'eau provenant des ménages de 350 000 personnes.

La station utilise une technologie de traitement biologique des eaux usées et filtrera les eaux malsaines à travers ses bassins, avec une capacité de traitement évaluée à 56 000 mètres cubes par jour. Les eaux usées des localités mentionnées seront acheminées vers la station d'épuration par le biais de stations de relevage déjà installées. Cette nouvelle station, en complément des autres unités de traitement de Sidi Ali, Sidi Lakhdar et Khadra déjà en service, contribuera à la lutte contre la pollution marine du littoral de Mostaganem. Elle permettra d'atteindre un taux de satisfaction d'environ 85 % en matière de traitement des eaux usées dans toute la wilaya (ONA **Mostaganem**,).

4 Matériel végétal

Cette partie expérimentale évalue les effets de différentes sources d'irrigation sur la croissance des plantes d'aubergine Variété (Phanter). Trois groupes de plantes ont été formés, chacun recevant une source d'eau distincte : de l'eau traitée par azolla, de l'eau de puits et de l'eau épuré. Les plantes ont été placées dans un environnement de culture uniforme afin de minimiser les variations externes.

Les échantillons d'aubergines utilisés dans cette étude ont été obtenus à partir de jeunes plants provenant de pépinières locales.

Choix des pots : des pots de taille appropriée ont été utilisés, équipés de trous de drainage au fond pour éviter l'accumulation d'eau.

Substrat adapté : un mélange de terreau riche en nutriments a été préparé pour favoriser une croissance optimale des plants d'aubergines.

Transplantation : les plants d'aubergines ont été transplantés dans les pots contenant le substrat préparé.

Environnement de culture : les pots contenant les plants d'aubergines ont été placés dans un environnement de culture approprié, dans une ferme. Les conditions climatiques et environnementales spécifiques de la région, telles que l'ensoleillement, la température et l'humidité, ont été prises en compte pour assurer le bon développement des plants d'aubergines.

Irrigation : trois sources d'eau différentes ont été utilisées pour l'irrigation des plantes d'aubergines : eau épurée, eau traitée par azolla et eau de puits. L'irrigation a été effectuée à un volume d'environ 1/2 litre pour chaque pot. La fréquence d'irrigation variait selon les mois, avec une irrigation tous les 2 jours en avril et mai, et une

Irrigation quotidienne en juin et juillet. L'irrigation régulière et appropriée est essentielle pour maintenir une bonne hydratation des plantes.

Le premier groupe a été irrigué avec de l'eau traitée par azolla, obtenue en enrichissant l'eau d'irrigation avec un composé d'azolla. Les plantes de ce groupe ont été régulièrement arrosées avec cette eau traitée.



Figure 5 : Plantes d'aubergine irriguée par eau traitée par azolla (Photo originale, 2023).

Le deuxième groupe a été irrigué avec de l'eau provenant d'un puits local. Les plantes de ce groupe ont été arrosées de manière régulière avec cette eau souterraine.



Figure 6 : Plantes d'aubergine irriguée par eau puit (Photo Originale ,2023)

Le troisième groupe a été irrigué avec de l'eau épurée, obtenue d'une station d'épuration de Mostaganem. Les plantes de ce groupe ont été arrosées de manière régulière avec cette eau épurée.



Figure 7 : Plantes d'aubergine irriguée par eau épurée (Photo Originale, 2023)

Les mesures de croissance, telles que la hauteur des plantes, le nombre de feuilles, la masse fraîche et sèche, ont été régulièrement enregistrées pour chaque groupe. Ces mesures ont permis d'évaluer les effets des différentes sources d'irrigation sur la croissance des plantes d'aubergine.

5 Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de trois bacs identiques en plastique de forme cylindrique d'une capacité de 80 litres. Les dimensions sont les suivantes : H = 70 cm et d=35 cm. Chaque bac est doté d'un robinet de vidange en sa partie inférieure précédé d'un tissu permettant le passage de l'eau à travers les orifices très fins du tissu afin d'éviter lebourrage par le sol.

La partie supérieure du bac est la plus ouverte afin de renfermer le plus grand nombre de tiges de la plante utilisée dans l'expérience. Chaque bac comprend deux couches superposées de milieux granulaires. La couche de bas est constituée de gravier d'une hauteur de 10 cm sur laquelle est posée la seconde qui est constituée de sable pris dans un quai et qui est d'une hauteur de 40 cm. De jeunes tiges de *Phragmites australis* (roseaux) sont plantées dans le sol d'une densité maximale pour une optimisation dans l'opération épuration.

6 Rôles des différentes composantes du dispositif

6.1 . Gravier

Le gravier est utilisé pour éviter l'entassement du sol au fond des bacs laquelle peut produire des conditions d'asphyxie des racines par excès d'eau, perturber le développement et le fonctionnement physiologique normal des plantes (Tiglyene *et al.*, 2005), Le gravier sert comme support pour le développement des micro-organismes aérobies (Ghestem, 2004) et facilite aussi le drainage en cas de vidange.



Figure 8 : Couche de Gravier (Photo Originale, 2023)

6.2 Sol

Le sol joue un rôle crucial dans le traitement des eaux usées par des roseaux. Les lits de roseau sont des systèmes de traitement des eaux usées construits avec des couches de sol, de gravier et de sable qui agissent comme filtres pour éliminer les contaminants des eaux usées. Le sol dans les lits de roseaux fournit un environnement idéal pour la croissance des plantes de roseaux et des micro-organismes bénéfiques qui décomposent les matières organiques et les nutriments.

Les plantes de roseaux dans les lits de roseaux absorbent l'eau des eaux usées et fournissent un environnement propice à la croissance des micro-organismes bénéfiques dans le sol. Les micro-organismes décomposent les matières organiques et les nutriments, éliminant ainsi les contaminants des eaux usées. Le sol fournit également une source de nutriments pour les plantes, qui à leur tour fournissent une source de nourriture pour les micro-organismes bénéfiques dans le sol (Brix, 1993).



Figure 9 : Couche de Sol (Photo Original ,2023)

6.3 Micro-organismes

Les micro-organismes bénéfiques dans les lits de roseau sont essentiels pour éliminer les contaminants des eaux usées, notamment les matières organiques et l'azote. Les micro-organismes nitrifiants et dénitrifiants jouent un rôle important dans la conversion de l'azote ammoniacal en nitrates, qui peuvent ensuite être absorbés par les plantes de roseau. La santé des micro-organismes dépend de nombreux facteurs, notamment le pH et l'oxygène dissous dans le sol des lits de roseaux (Meng *et al.* , 2021)

6.4 Macrophytes

- **Absorption des nutriments** : les macrophytes jouent un rôle clé dans l'élimination des nutriments tels que l'azote et le phosphore des eaux usées. Les racines des macrophytes fournissent un environnement favorable à une grande variété de microorganismes, qui fixent, transforment ou assimilent les nutriments présents dans l'eau.
- **Filtration mécanique** : les tissus végétaux des macrophytes, tels que les feuilles, les tiges et les racines, agissent comme un filtre naturel pour retenir les particules en suspension et les matières organiques présentes dans les eaux usées. Cela permet de réduire la turbidité de l'eau et d'éliminer les substances indésirables.
- **Dégradation biologique** : les macrophytes hébergent une diversité de microorganismes bénéfiques dans leurs racines, qui participent à la dégradation biologique des contaminants organiques présents dans les eaux usées. Ces

microorganismes décomposent les substances nocives, contribuant ainsi à la purification de l'eau.

- **Oxygénation** : les macrophytes contribuent à l'oxygénation de l'eau par le biais de la photosynthèse. Pendant ce processus, les macrophytes produisent de l'oxygène, ce qui est bénéfique pour les microorganismes aérobies responsables de la dégradation des contaminants organiques.



Figure 10 : *Phragmites australis* (roseau) (Photo Original ,2023).

7 Étapes de réalisation de l'expérience

Le *Phragmites australis* (roseau) qui sert à l'expérience a été planté sous forme de Jeunes tiges dans les trois bacs destinés à l'expérience et a été irrigué par une eau usée brute. Après croissance, et par souci de mettre le végétal en conditions contrôlées et adéquates à L'expérience, le milieu (sol) doit subir une opération de lessivage par les eaux usées objet de L'expérience répétée trois fois.

L'étape suivante est de mettre le sol en saturation pour assurer une lame d'eau d'une épaisseur entre 20 et 30 cm. Afin de mettre le végétal dans une situation similaire à celle qu'il avait dans la nature.

La saturation des bacs est effectuée en calculant le volume des pores de sol qui représente le volume d'eau usée nécessaire. Pour effectuer un essai, on suit les étapes suivantes :

➤ **1ère étape**

Faire une analyse de l'eau usée servant à l'expérience qui porte sur la Demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES), et le métal en question.

➤ **2ème étape**

Verser l'eau usée dans les trois bacs jusqu'à saturation, puis créer une lame d'eau de hauteur variant entre 20 et 30 cm dans le 1er bac et déterminer un temps défini.

Après expiration du temps dans le 1er bac, l'eau est transférée dans le deuxième pour y rester le même temps et pareillement pour le troisième bac. Le temps de séjour est le temps où l'eau est restée dans le 1er, le 2ème et le 3ème bac.

➤ **3ème étape**

Faire une analyse de l'eau sortante du troisième bac portant sur la DCO, les MES et le métal en question.

➤ Le même traitement est répété pour un temps de séjours variant en croissance.

8 Analyses physico-chimiques de l'eau

8.1 Détermination du pH

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Pour la mesure de potentiel d'hydrogène en premier lieu le bécher, le barreau magnétique et l'électrode sont rincé avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon. Puis remplir le bécher de mesure avec l'échantillon et immerger l'électrode avec les précautions habituelles et agiter. Afin lire directement le pH lorsque la valeur stabilisée (Tening *et al.*, 2013)

8.2 Mesure des matières en suspension (MES)

- **Principe**

Le MES (matière en suspension) est un paramètre mesuré dans le traitement des eaux usées qui permet de quantifier la quantité de matières solides en suspension dans l'eau. Le principe de mesure de MES repose sur la filtration d'un échantillon d'eau à travers un filtre

Préalablement pesé. Le filtre retient les matières solides en suspension dans l'eau, qui sont ensuite séchées et pesées. La différence de poids entre le filtre avant et après filtration donne la quantité de matières solides en suspension, exprimée en mg/L ou en g/L. La mesure de MES est importante dans le traitement des eaux usées, car elle permet d'évaluer l'efficacité du traitement pour éliminer les matières en suspension et ainsi réduire la turbidité de l'eau traitée.

- **Mode Opératoire**

Tout d'abord, il est nécessaire d'attendre que les échantillons atteignent la température ambiante. Ensuite, le contenu du flacon est homogénéisé par agitation. L'intégralité de l'échantillon est introduite dans le pot de la centrifugeuse, avec un volume de 200 ml. La centrifugation est ensuite effectuée pendant environ 20 minutes.

Après la centrifugation, l'eausurnageant est éliminée et le culot déposé est recueilli dans une capsule préalablement séchée à 105 °C et pesée. Le pot de centrifugation est rincé deux fois avec de l'eau distillée, et les eaux d'entraînement sont recueillies dans la capsule. La capsule avec son contenu est ensuite séchée à 105 °C, puis laissée à refroidir dans un dessiccateur. Une pesée est effectuée, et ce processus est répété jusqu'à obtenir un poids constant, avec une différence maximale de 0,5 mg entre deux pesées consécutives.

- **Exposition de résultat**

Le calcul de la teneur en MES se fait à partir de l'expression suivante :

$$[\text{MES}] = (\text{M2} - \text{M1}) \cdot 1000 / \text{V}$$

[MES]: est la teneur en MES en mg/l.

M2 : est la masse de la capsule contenant l'échantillon après l'étuvage à 105°C.

M1: est la masse de la capsule vide (en mg).

VE : volume de l'échantillon introduire dans les pots de la centrifugeuse (en ml).

8.3 Demande chimique En oxygène (DCO)

- **Principe :**

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) est un paramètre couramment utilisé dans le traitement des eaux usées pour évaluer la quantité de matières organiques présentes dans l'eau. Le principe de la DCO est basé sur l'oxydation de toutes les matières organiques

Présentes dans l'eau, par un oxydant forte comme l'acide sulfurique en présence de sulfate de potassium.

- **Mode opératoire**

Dans un tube de réaction, introduire 10 ml d'échantillon. Ajouter 5 ml de la solution de dichromate de potassium (0.04 mol/l). Ajouter, lentement et avec précaution, 15 ml de la solution d'acide sulfurique contenant le sulfate d'argent, en agitant soigneusement le tube. Mettre 1 à 2 gouttes d'acide sulfurique sur le col rodé du tube pour le lubrifier et relier le réfrigérant au tube de réaction. s'assurer que la réfrigérante tourne facilement dans le rodage du tube . Placer le tube dans le bloc chauffant et porter à ébullition ($150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) pendant 2 heures. Arrêter le chauffage. Retirer les tubes avec leurs réfrigérants. Les laisser refroidir, puis rincer avec précaution le réfrigérant en recueillant les eaux de lavage dans le tube de réaction. Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml , rincer et diluer avec environ 75 mL d'eau. Ajouter 2 à 3 gouttes de ferroïne et titrer avec la solution de sulfate de fer et d'ammonium (Rodier, 2009).

- **Exposition de résultat**

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$8000 (V_0 - V_1) T / V$$

V_0 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml)

8.4 Demande biochimique En oxygène (DBO5)

- **Principe**

Mesure de l'oxygène consommé en cinq jours par un échantillon dilué avec une eau saturée en oxygéné, ensemencée avec des germes, puis placé dans une enceinte thermostatée à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

- **Mode opératoire**

Flacons en verre à bouchon rodé de 150 ou 250 ml et enceintes thermostatée à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

9 Analyses physico-chimiques du Sol

9.1 Détermination de la Teneur en matière sèche

Principe : La méthode de séchage au four élimine l'humidité du sol par évaporation, permettant ainsi de mesurer la quantité de matière sèche présente.

- **Mode opératoire**

Pour la détermination de la teneur en matière organique dans le sol, la méthode de combustion à haute température est souvent utilisée. Les étapes typiques de cette méthode sont les suivantes : tout d'abord, préchauffez un four à une température spécifique, généralement entre 105° C et 110° C. Ensuite, préparez des capsules propres et pesez-les pour obtenir leur poids initial. Prélevez ensuite un échantillon représentatif de sol et pesez-le avec précision. Placez cet échantillon de sol dans la capsule et notez son poids total. Ensuite, placez la capsule contenant l'échantillon de sol dans le four préchauffé et laissez-la incuber pendant une durée spécifique, généralement 24 heures. Après l'incubation, retirez la capsule du four, laissez-la refroidir dans un dessiccateur pour atteindre la température ambiante, puis pesez-la à nouveau pour obtenir son poids final.

Calcul :

$$\left[\frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right] \times 100 = \% \text{ de matière sèche}$$

M0 : masse de la capsule vide (g).

M1 : masse de la capsule contenant la prise d'essai (g).

M2 : masse de la capsule après évaporation (g).

9.2 Détermination de la teneur en matière minérale

- **Principe :**

Le principe de cette méthode est de brûler l'échantillon de sol à haute température (550 °C) pendant une période définie (2 heures) pour éliminer toute la matière organique. Ce processus d'incinération permet de ne laisser que les cendres minérales, qui représentent la matière inorganique ou minérale du sol.

- **Mode opératoire**

La mesure de la matière minérale du sol, également connue sous le nom de teneur en cendres, peut être réalisée en suivant la méthode de l'AFNOR de 1994. Les étapes de base de cette méthode consistent à préparer l'échantillon en prélevant un échantillon représentatif de sol et en notant son poids initial. Si vous souhaitez exprimer la teneur en cendres sur une base sèche, vous devez d'abord sécher l'échantillon à une température spécifique et noter son poids sec.

Ensuite, l'échantillon est placé dans un four à moufle préchauffé à une température de 550 °C et est incinéré pendant 2 heures à cette température. Après l'incinération, l'échantillon est retiré du four et laissé refroidir à température ambiante dans un dessiccateur. Une fois refroidi, l'échantillon incinéré, également appelé résidu ou cendres, est pesé. Ces étapes permettent de mesurer la teneur en matière minérale du sol, fournissant des informations sur les éléments minéraux présents dans le sol.

Calcul :

$$\text{MM (g)} = (\text{Poids du creuset contenant les cendres} - \text{poids du creuset vide})$$

- **Calcul de la matière sèche en % :**

$$\text{MM (\%)} = (\text{MM (g)} / \text{M1} - \text{M2}) \times 100$$

Avec :

M1 : Masse totale du creuset contenant la prise d'essai (en gramme).

M2 : Masse totale du creuset et les minéraux bruts (en grammes)

- **Calcul de La Matière Organique en % :**

$$\text{Matière organique (\%)} = [(\text{Matière sèche} - \text{Matière minérale}) / \text{Matière sèche}] \times 100$$

9.3 Détermination le pH du sol

Méthode du pH-mètre : Utilise un pH-mètre avec une électrode spécifique pour mesurer le pH du sol. L'électrode est insérée dans le sol préalablement mélangé avec de l'eau distillée ou une solution tampon. Les résultats sont généralement exprimés sur une échelle de 0 à 14, où 7 est neutre, en dessous de 7 est acide et au-dessus de 7 est alcalin. (Nelson *et al.*, 1982)

10 Etude morpho-physiologique

10.1 Mesure de la rétention d'eau

- **Principe :**

Dans le domaine de l'agriculture se réfère à la capacité d'un sol à retenir et à fournir de l'eau disponible aux plantes.

- **Mode opératoire**

Tout d'abord, des échantillons de sol représentatifs sont collectés à partir de chaque source. Les récipients d'échantillons sont étiquetés pour les différencier, et leur masse initiale est enregistrée avec précision. Ensuite, les échantillons de sol sont saturés en ajoutant suffisamment d'eau épurée dans chaque récipient. Les échantillons sont laissés à reposer dans l'eau pendant une période spécifiée, généralement de 30 minutes à plusieurs heures, afin de permettre l'absorption d'eau maximale par le sol. Pour la mesure de la rétention d'eau, un appareil de filtration est préparé en plaçant un entonnoir équipé d'un papier filtre ou d'un tissu non tissé dans un bécher gradué ou un cylindre gradué. Les échantillons saturés sont versés délicatement dans l'entonnoir, permettant à l'eau de s'écouler à travers le filtre.

Il est important de collecter tout le liquide filtré. Après la filtration, chaque bécher gradué ou cylindre gradué contenant l'eau filtrée est pesée avec précision, et leur masse est enregistrée (M1). Cette mesure permet de déterminer la quantité d'eau retenue par le sol après la saturation.

- **Calcul de la rétention d'eau :**

$$\text{Rétention d'eau (\%)} = [(M1 - M0) / M0] \times 100$$

où :

M0 est la masse initiale de l'échantillon de sol.

M1 est la masse de l'eau filtre

10.2 Dosage de chlorophylle

- **Principe**

La teneur en chlorophylle dans les feuilles d'aubergines consiste à mesurer la quantité de chlorophylle présente dans les feuilles à l'aide d'un spectrophotomètre, en utilisant la méthode décrite par Arnon (1949). Cette méthode implique l'extraction de la chlorophylle des feuilles à l'aide d'un solvant organique (acétone) et la mesure de l'absorbance de l'extrait à des longueurs d'onde spécifiques. La quantité de chlorophylle est ensuite calculée à partir de l'absorbance mesurée.

- **Mode opératoire**

Pour calculer la teneur en chlorophylle à partir des densités optiques mesurées à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Chlorophylle a} = 12,25 \times D_{663} - 2,79 \times D_{645}$$

$$\text{Chlorophylle b} = 22,90 \times D_{645} - 4,68 \times D_{663}$$

Chlorophylle totale = Chlorophylle a + Chlorophylle b

11 Paramètres morphologique

Dans le cadre de cette étude, des paramètres morphologiques ont été mesurés à différents intervalles de temps pour évaluer la croissance et le développement des plantes d'aubergines irriguées par trois sources d'eau différentes. Les mesures ont été effectuées aux intervalles suivants : 1 jour, 30 jours, 45 jours, 75 jours et 90 jours. Les paramètres étudiés et les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : paramètres morphologiques mesurés à différents intervalles de temps pour les plantes d'aubergines irriguées par trois sources d'eau.

Paramètres	Méthode de mesure
Hauteur de la plante	Mesure avec un ruban à mesurer
Nombre de fleurs	Comptage manuel
Taille de feuille	Mesure avec un pied à coulisse
Nombre de nœuds	Comptage manuel
Poids de fruit	Utilisation d'une balance
Taille de fruit	Mesure avec un ruban à mesurer

Ces mesures permettent d'évaluer la croissance, la vigueur et la productivité des plantes d'aubergines irriguées par les différentes sources d'eau tout au long de l'étude. Les résultats obtenus pour chaque paramètre à chaque intervalle de temps peuvent être utilisés pour analyser les différences de croissance et de développement entre les groupes d'irrigation. Ces informations sont essentielles pour comprendre l'impact des différentes sources d'eau sur la performance des plantes et pour guider les décisions en matière d'irrigation dans la culture des aubergines

Conclusion générale

Conclusion

L'étude présentée dans ce mémoire est scindée en deux volets essentiels. Tout d'abord, nous avons développé un dispositif expérimental dédié à l'épuration des eaux usées. Ensuite, nous avons démontré l'efficacité du système basé sur des plantes aquatiques pour le traitement de ces eaux. Enfin, nous avons évalué l'impact de l'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation agricole.

Les résultats des analyses physico-chimiques, effectuées à l'aide de différentes techniques, ont révélé des valeurs de DCO de 94,4 mg/l, MES de 7,4 mg/l et DBO5 de 14 mg/l, confirmant ainsi l'efficacité du traitement des eaux usées. L'irrigation avec les eaux usées traitées a également eu un impact positif sur la culture de l'aubergine, améliorant sa croissance et son développement par rapport à l'irrigation à l'eau de puits. De plus, l'utilisation de l'eau traitée par la plante azolla a également montré des résultats encourageants.

Dans le sol, l'irrigation par les eaux usées traitées a entraîné, tout d'abord, l'enrichissement du sol en ammonium et en nitrate, ce qui explique que les eaux usées issues du traitement biologique sont riches en éléments minéraux nécessaires à la croissance et le développement de l'aubergine.

Les résultats obtenus permettent de confirmer la performance globale des systèmes à macrophytes et mettent en évidence l'efficacité du dispositif conçu pour le traitement des rejets d'eaux usées, en particulier ceux provenant des zones industrielles.

Le traitement par filtres plantés de *Phragmites australis* (roseaux) se présente ainsi comme une technologie fiable, simple à exploiter, efficace et adaptable à différents environnements, tout en étant capable d'assimiler les métaux lourds. Cette approche de traitement offre une solution économique nécessitant peu d'entretien, s'inscrivant ainsi dans une démarche de développement durable.

En perspective, il serait intéressant de poursuivre les recherches en complétant les analyses sur le sol et les plantes afin de mieux quantifier le mode d'élimination des polluants. Cela permettrait de développer davantage l'utilisation de lits plantés des macrophytes en aval des unités polluantes, avant le rejet direct dans les cours d'eau, contribuant ainsi à une gestion durable des ressources en eau.

Références bibliographiques

Aissaoui Moncef, Tlidjane El-hadj, 2020, Quelle culture choisir et pour quel système.

Arnon, D.I. (1949). Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta Vulgaris. Plant Physiology, 24, 1-15.

Aubert, C., Desbrosses, P. (2013). Le Potager Fait de la Résistance. Actes Sud.

Babatunde, A.O., Zhao, Y.Q., Zhao, X.H., Zhang, P., et Lu, S.L. (2020). Constructed Wetlands for Water Pollution Control: A Review of Developments, Challenges, and Perspectives. Environmental Science and Pollution Research, 27(11), 11918-11939. doi:10.1007/s11356-019-07663-0.

BENKADOUR B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chellif (Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Perpignan Via Domitien, 190p.

BENSALAH Farhate. (2021). Contribution à la valorisation d'une boue biologique dans l'épuration des eaux chargées en colorants industriels. Thèse de doctorat. UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM, 106p

Bouallegue, M., Lahbib, Y Grissa, K. L. (2021). A review of the main pests and diseases of the eggplant in Tunisia: Identification and control measures. Tunisian Journal of Plant Protection, 16(1), 49-68.

Boukhalfa, F., Gharzouli, R, Chouiter, A. (2020). Evaluation de la sensibilité aux pesticides des populations de thrips (*Frankliniella occidentalis*) collectées sur aubergine en Algérie. Phytoprotection, 101(3), 111-11.

C

Casati, L ; Pagani , F ; Braga, PC ; Scalzo, RL ;Sibilia, V, (2016). Nasunin, a new player in the field of osteoblast protection against oxidative stress. *J. Funct. Foods.* 23: 474-484

d'irrigation doit on opter s'il s'agit des eaux usées épurées?, thèse master, Université

Daigger, G. T., & McGuire, M. J. (2014). Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. American Society of Civil Engineers.

De Silva, S. S., & Davy, F. B. (2017). Water reuse in aquaculture: A review. Food and Agriculture Organization of the United Nations

Dillon, P., Pavelic, P., & Page, D. (2009). Artificial recharge of groundwater: Hydrogeology and engineering. IWA Publishing.

FAO. (2012). Growing eggplant.

FAO. (2017). Eggplant: Production, Importance, and Marketing in the Asia-Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2021). Eggplant (*Solanum melongena*)

FAO.(2020).Food and Agriculture Organization.

Garcia-Cuerva L., et al., Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the US, *Resources, Conservation and Recycling*, **2016**.

H

- Hamouda, M. A., & El-Taweel, G. E. (2018).** Wastewater reuse for irrigation: A review. *Journal of Advanced Research*, 9, 1-17.
- Hillel, D. (1998)** Energy of Water into Soil. In: *Environmental Soil Physics*, 1st Edition, Academic Press, San Diego, CA, 385-426.
- Hoffmann, H., Schwarz, K. (2021).** *Phragmites australis* for wastewater treatment in constructed wetlands: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 14569-14583
- Hossain, M. A., et Strezov, V. (2018).** A review on the application of different types of phytoremediation technologies for the treatment of industrial wastewater. *Journal of environmental management*, 217, 499-511.
- Hu, Z., Chen, L., Yang, Z., Hu, Z., & Zhu, S. (2021).** The potential use of *Azolla* for wastewater treatment: a review. *Journal of Environmental Management*, 238, 116-125.
- Im K, Lee JY, Byeon H, Hwang KW, Kang W, Whang WK, Min H, (2016):** In Vitro antioxidative and anti-inflammatory activities of the ethanol extract of eggplant (*Solanum melongena*) stalks in macrophage RAW 264.7 cells. *Food Agr Immunol.*, 27: 758-771.
- Kaur, S., Kaur, M., et Singh, A. (2021).** Vertical flow constructed wetlands for sewage treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105288
- Kesari, K. K., Soni, R., Jamal, Q. M. S., Tripathi, P., Lal, J. A., Jha, N. K., ... & Ruokolainen, J. (2021).** Wastewater treatment and reuse: a review of its applications and health implications. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 1-28.
- KHERBI Dhaouia et MERZOUG Zahia. 2021.** Réponse de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) à la salinité. Mémoire de master. Université de Tissemsilt

Kumari, S., Bhatnagar, A., & Sreekrishnan, T. R. (2018). Utilization of Azolla for sustainable agricultural practices and environmental management - a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 326-338.

Li, W., Zhao, Y., Zhao, Y., Ma, W., Zhang, J., et Peng, C. (2021). A review of constructed wetland for wastewater treatment: Efficiency, pollutant removal, and influencing factors. *Chemosphere*, 281, 130774.

Mampuya Kinda Fidele. Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes : « Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge /Angla ». Génie civil. Université Côte d'Azur, 2020. Français.

Marie Sabdou EDBO.2021. Effets des amendements organiques sur les traits fonctionnels de l'aubergine douce (*Solanum melongena* L.) Haute Casamance, Sénégal. Mémoire de Master. Université Assane Seck de Ziguincho.

Mays, D., et Middlebrooks, E. J. (1997). Wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 35(5), 11-17

Meng, H., Shang, Y., Cheng, Y., Wang, K., Yu, J., Cao, P., Fan, S., Li, Y., Cui, J. 2021. *Biochemical and Biophysical Research Communications* . 551:93-99 (Journal).

METAHRI M.S. (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de TiziOuzou. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 137p.

Metcalf & Eddy, et al. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. McGraw Hill Education, 2014

MOULOUDJI Sarah-Hind et HAROUN Dehia . (2022). Traitement des eaux usées industrielles – Cas de la station de NAFTAL. Mémoire de master. Université a. Mira deBejaia,126p.

Nelson, D.W. and Sommer, L.E. (1982) Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, 2nd Edition. ASA-SSSA, Madison, 595-579.

OMS (2006). Organisation Mondiale de la Santé.

ONA (2022). Office National de l'Assainissement Algérie.

Polprasert, C., & Mara, D. D. (2016). Water Pollution Control in the Asia-Pacific Region. IWA Publishing.

Prohens J, Whitaker BD, Plazas M, Vilanova S, Hurtado M, Blasco M, Gramazio P, Stommel JR,(2013).Genetic diversity in morphological characters and phenolic acids content resulting from an interspecific cross between eggplant, *Solanum melongena*, and its wild ancestor (*S. incanum*). *Ann Appl Biol.*, 162: 242-257.

Qadir M, Drechsel P, Jiménez Cisneros B, et al., Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source, *Natural Resources Forum.* 2020; 44:40–51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>, (2020).

- Rafika, K., Tarik, H., Ph, K.R., 2017.** Etude de l'application d'un traitement tertiaire complémentaire sur les eaux usées épurées de la station de lagunage aéré de Ouargla en vue de réutilisation agricole en milieu aride. *Systèmes Agric. Environ. SAGREN* 01, 88-94.
- Rodier, J. (2009).** L'Analyse de l'Eau: Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, Eau de Mer (9^e éd., pp. 100-110).
- Shah, Maulin P., ed. Biological Treatment of Industrial Wastewater. Vol. 5. Royal Society of Chemistry, 2021.**
- Tammar Sihem.(2021).** Traitements et analyses physico-chimique des eaux usées de station de STEP Mostaganem. Mémoire de master. Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem.
- Tening, A.S., et al. (2013)** Phosphorus Fixing Capacity of Volcanic Soil in the Slope of Mount Cameroon. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 4, 166-174.
- Troll W, Lindsley J.** A photometric method for the determination of proline. *J Biol Chem.* 1955 Aug;215(2):655-60. PMID: 13242563.
- UNEP (2017).** United Nations Environment Programme.
- UNESCO, (2019).** United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- Vymazal, J. (2021).** Use of macrophytes for wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 787, 147440.
- Vymazal, J. (2022).** Use of macrophytes for wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 804, 150195.
- Wahab, A. A., Al-Mehdawi, B. F., Al-Kazaz, M. S., Al-Naseri, A. M. (2019).** Review on Solanum melongena L. (Eggplant). *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(6), 85-98.
- Watanabe, I., Sato, Y., & Sugawara, M. (2016).** Evaluation of *Azolla filiculoides* as a biological nitrogen removal agent in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 74, 70-77.
- World Health Organization. (2006).** Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Volume 2 - Wastewater Use in Agriculture. World Health Organization.

