



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: CONCEPTION DES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

THEME :

**BIO-SOLAR PURIFICATION: SOLUTIONS INNOVANTES
POUR LE RECYCLAGE DE L'EAU ET DES NUTRIMENTS**

Présenté par :

TABATOUCH Rajaa

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms

Grade

Qualité

Mr. HACHEMI Abdelkader
Mme. HADJ SADOK Nabila
Mr. AMIRI Djamel
Mme. DERNOUNI Fouzia
Mr. ZAIBAK Issam

M.C.B
M.A.A
M.A.A
M.A.A
M.A.A

Président
Examineur
Examineur
Examineur
Promoteur

Session octobre2023

Dédicace :

je dédie ce travail

À ma famille qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

*Une mention spéciale va à mes chers parents, que je ne
remercierai jamais assez car leur amour, leur gentillesse et
leur présence à mes côtés sont ma source de force.*

À ma chère sœur Safaa

À mes amis et à tous ceux qui m'aiment et m'aident

*Je vous remercie de tout mon cœur et je vous souhaite tout
le bonheur du monde.*

Rajaa

Remerciement :

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné cette ambition, cette force, cette volonté et ce courage pour accomplir cet humble travail qui a été fait avec amour, passion et honnêteté.

Ensuite, je tiens à remercier mes chers parents, qui m'ont donné corps et âme pour ma réussite, qui m'ont aidé moralement et financièrement, et qui m'ont toujours encouragé à donner le meilleur de moi-même. Et ma chère sœur aussi

Toute ma gratitude à mon superviseur M. ZAIBAK pour les conseils, la confiance et la patience qui ont façonné une grande thèse et sans lesquels il n'aurait pas été possible de mettre en œuvre ce travail jusqu'au bon débouché.

Peut-être trouvera-t-il dans ces mémoires un hommage vivant à sa haute personnalité.

Je remercie également les membres du jury qui m'honoreront en évaluant et évaluant mon travail.

Et aussi toute ma gratitude à tous les professeurs de l'ENSH qui m'ont éclairé, guidé et aidé tout au long de ma formation.

Sans oublier mes amis qui m'ont beaucoup encouragé, et toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à l'élaboration de ce travail.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو تحديد ووصف طريقة التنقية البيولوجية باستخدام الطاقة الشمسية. لقد قدمنا في البداية لمحة عامة عن العلاجات التقليدية، ثم قمنا بوصف هذه التكنولوجيا المبتكرة وتصميمها وطريقة عملها. كما قدمنا أمثلة. ونتائج البحث

الكلمات المفتاحية: شبكة الصرف الصحي – المعالجة البيولوجية – الطاقة الشمسية الحيوية

Abstract:

The objective of this work is to identify and describe a biological purification method using solar energy. We first provide an overview of conventional treatments, then describe this innovative technology, its design and operation. We have also provided examples. And the search results.

Keywords: sanitation network - biological treatment - binocular energy.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'identifier et de décrire une méthode d'épuration biologique utilisant l'énergie solaire. Nous donnons d'abord un aperçu des traitements conventionnels, puis décrivons cette technologie innovante, sa conception et son fonctionnement. Nous avons également fourni des exemples. Et les résultats de la recherche.

Mots clés : réseau d'assainissement - traitement biologique - énergie bio solaire.

Table des matières :

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1: HISTORIQUE ET SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES.....1

INTRODUCTION.....2

**I.1 L'HISTOIRE DU TRAITEMENT DES EAUX USEES : DE L'EVACUATION A LA
DEPOLLUTION :**.....2

I.2 EPURATION DES EAUX USEES:.....3

 I.2.1 Origine des eaux usées:.....3

 I.2.2 CARACTERISTIQUE DE L'EFFLUENT ENTRANT EN STATION D'EPURATION:.....4

 I.2.2.1 Paramètres Organoleptiques:.....4

 I.2.2.2 Paramètres Physiques:5

 I.2.2.3 Paramètres Chimiques:6

 I.2.3 LES PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES:7

 I.2.3.1 Les procédés biologiques extensifs:.....7

 I.2.3.2 Les procédés intensifs:.....8

 I.2.4 LE CHOIX DE PROCEDE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES:9

CONCLUSION:.....9

INTRODUCTION :.....2

PRTIE 2:.....1

LA TECHNOLOGIE DU "BIO-SOLAR PURIFICATION".....1

II.1 APERÇU SUR LE PROCEDE « BIO-SOLAR PURIFICATION » :.....4

II.2 DESCRIPTION DU PROCEDE "BIO-SOLAR-PURIFICATION " :.....6

II.3 FONCTIONNEMENT DU PROCEDE « BIO-SOLAR-PURIFICATION » :.....10

II.4 LES CARACTERISTIQUES DE PROCEDE « BIO-SOLAR-PURIFICATION » :.....13

II.5 AVANTAGES ETLES INCONVENIENTS DU PROCEDE« BIO-SOLAR-PURIFICATION » :.....14

 II.5.1 AVANTAGES :.....14

 II.5.2 INCONVENIENTS :14

II.6 OUVRAGES ANNEXES :.....15

 II.6.1 LE PRETRAITEMENT :15

 II.6.2 DISPOSITIF DE SEPARATION DE LA BIOMASSE ET DE L'EAU PURE :16

 II.6.3 BASSIN INTERMEDIAIRE :17

II.7 RESULTATS ET DISCUSSION.....17

CONCLUSION :.....20

CONCLUSION GENERALE

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des tableaux :

TABLEAU II.1: LES CONTROLES DE L'UTILISATION DE L'EAU TRAITEE.(SOHIER, 2017) ----- 18
TABLEAU II.2: LES RESULTATS DU SYSTEME BIO-SOLAR-PURIFICATION.(SOHIER, 2017)----- 19

Liste des figures :

FIGURE II.1: BIO SOLAR PURIFICATION PILOT(SOUTH OF FRANCE).(BIOSOL WATER RECYCLING, [SANS DATE]) -----5
FIGURE II.2: PROCESSUS DE PURIFICATION DES EAUX USEES BIO-SOLAIRE.(SOHIER;LAURENT, 2017). -----8

Introduction générale

Qui dit augmentation fulgurante de la population dit augmentation fulgurante de la consommation d'eau et de la pollution ! Le défi consiste donc à développer des technologies de traitement des eaux usées efficaces et abordables pour tous, afin d'éviter le rejet d'eaux polluées dans la nature.(BIOROCK, [sans date]).

Face à ces évolutions, L entreprise **HELIO PUR TECHNOLOGIES** a présenté un projet de traitement des eaux sales grâce à la bioénergie solaire, spécialement conçu pour les petits groupes de population et l'eau vive.

Ce système combine des procédés biologiques (culture d'algues) avec la technologie solaire pour réutiliser jusqu'à 80 % de l'eau traitée et récupérer et valoriser les gaz hivernaux et autres déchets organiques générés lors du traitement.(Works, [sans date]).

Notre travail de recherche bibliographique sur la station d'épuration de procédé bio solar purification (description, conception ,fonctionnement), est selon le plan suivant :

1^{ère} partie : historique et recherche bibliographique.

2^{ème} partie : caractérisation du procédé bio solar purification : principe, conception et l` exploitation.

PARTIE 1:
historique et
synthèses
bibliographiques

Introduction

Les eaux usées, quelle que soit leur origine, sont généralement chargées d'éléments indésirables qui, selon leurs quantités et leur composition, présentent un réel danger pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs. L'élimination de ces éléments toxiques nécessite de concevoir une série de traitements. Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu des eaux usées depuis leur source jusqu'à la manière dont elles sont purifiées.

I.1 L'histoire du traitement des eaux usées : de l'évacuation à la dépollution :

Depuis l'Antiquité, les civilisations anciennes se sont concentrées sur l'évacuation des eaux usées des villes pour accélérer la propagation des épidémies. Sur tous les continents, nous avons assisté à la naissance des premiers systèmes d'assainissement. Ainsi, l'Empire romain, l'Égypte et même les villes de Harappa (aujourd'hui le Pakistan) étaient déjà équipés de canalisations, de toilettes et de systèmes d'égouts au III^e siècle avant JC. En raison des guerres et des difficultés politiques rencontrées par l'Empire romain, ces œuvres furent abandonnées dès le III^e siècle après JC.

Au Moyen Âge, toutes ces structures furent complètement abandonnées. La plupart des maisons n'ont pas de fosses, Pas d'égouts, donc tout est jeté à la rue.

Cela a conduit à la propagation de la puanteur, de la peste, de la fièvre typhoïde et de nombreuses épidémies. Cette situation perdura jusqu'au XVIII^e siècle...

Il faudra attendre la terrible épidémie de 1854 à Londres pour que John Snow découvre l'origine du choléra. Cette découverte amène à réfléchir à l'évacuation des eaux usées de la ville et à la construction de canalisations enterrées. Petit à petit, à mesure que l'urbanisation se développe, les villes développent leurs propres systèmes d'égouts unitaires : toute l'eau y est mélangée. Cette histoire, c'est l'histoire de la première ville équipée... En Europe, tout n'avance pas de la même manière : la situation des grandes villes est très différente de celle des petites villes, mais aussi d'un pays à l'autre. En France par exemple, seulement 12 % de la population avait accès à l'assainissement en... en 1960.

Au XXe siècle, la science a fait d'énormes progrès, et grâce au développement de la microbiologie, nous avons pris conscience de la pollution des milieux naturels. Dès 1914, des scientifiques anglais ont mis au point un système de puisard dans lequel les bactéries existantes traitaient les eaux usées grâce à leur capacité à se décomposer. Aujourd'hui encore, nos stations d'épuration fonctionnent sur ce principe : maintenir les boues dans le puisard et activer les bactéries naturellement présentes dans ces boues grâce à l'oxygène pour dégrader le carbone, l'azote et le phosphore. C'est également le cas de nos petites gares.

Le traitement des eaux usées est donc une réalité très récente, datant de moins de 100 ans!. Malgré les difficultés, nous sommes aujourd'hui un exemple de propreté moderne et les chercheurs travaillent chaque jour pour améliorer nos systèmes de contrôle de la pollution de l'eau. (Station, 2022)

1.2 Epuration des eaux usées:

1.2.1 Origine des eaux usées:

Selon l'activité ayant conduit à la pollution de l'eau, il existe quatre « familles » d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux agricoles, les eaux de pluie et les eaux de ruissellement.

+ Les eaux usées domestiques:

Comme son nom l'indique, il s'agit d'une eau contaminée par toutes les activités domestiques, c'est-à-dire à la maison. Nous pouvons distinguer:

- ***Eaux grises*** : eau de douche et de cuisine. Ils sont généralement chargés de graisses, de tensioactifs (savons, détergents), de solvants, de résidus alimentaires, etc.
- ***Eaux noires*** : Il s'agit de l'eau des toilettes. Il est composé d'excréments, d'urine et de papier.

Dans un projet d'assainissement de quartier, il est aisé d'estimer la contamination de cette eau domestique une fois la population connue. Il existe en effet des graphiques qui montrent la pollution quotidienne de chaque personne.

+ Les eaux usées industrielles:

Il s'agit évidemment d'eau polluée par les industries.

Leurs caractéristiques sont très variables, car la pollution qui en résulte dépend de l'activité de la plante :

- Aliments agricoles
- Métallurgie
- Papeterie
- Pétrochimie
- filature et Tissage...etc.

Ainsi, on peut retrouver des hydrocarbures, des composés organiques, des lipides, des micropolluants, des métaux lourds, etc.

Les eaux agricoles:

C'est de l'eau issue de son utilisation en agriculture. Ce n'est pas la première eau à laquelle on pense quand on parle d'assainissement, même si elle représente une large majorité en effet, 70 % de l'eau issue du milieu naturel est consommée à des fins agricoles selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

A titre d'exemple d'eaux usées agricoles, on peut citer :

- Eau laitière blanche
- Eau fumier
- Eaux de drainage.... etc.

Eaux de pluie et ruissellement de surface:

L'eau de pluie contient des impuretés. En effet, ils peuvent être contaminés par la pollution de l'air (ex : pluies acides). De plus, dès qu'ils entrent en contact avec les surfaces et les sols, ils s'enfuient en emportant avec eux tout ce qu'ils rencontrent. Ils peuvent donc détériorer la qualité des cours d'eau.(maji solutions, 2020).

1.2.2 Caractéristique de l'effluent entrant en station d'épuration:

1.2.2.1 Paramètres Organoleptiques:

La couleur:

On observe que l'eau pure sous lumière transmise à une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car Les longueurs d'onde courtes sont mal absorbées tandis

que les longueurs d'onde longues sont mal absorbées Les longueurs d'onde (rouges) sont absorbées très rapidement.

La coloration de l'eau est dite vraie lorsqu'elle est due uniquement aux substances présentes dans la solution. On dit clairement que les matériaux suspendus ajoutent leur propre couleur.

 **Odeur:**

Les eaux usées industrielles ont une odeur. Toute odeur est due à une pollution résultant de la présence de matières organiques en décomposition.

1.2.2.2 Paramètres Physiques:

 **La température:**

Il est important de connaître la température exacte de l'eau car elle joue un rôle important dans la dissolution des sels. Notamment les gaz, dans la dissociation des sels dissous et donc dans la conductivité électrique, dans la détermination du pH, connaître l'origine de l'eau et des mélanges possibles, etc.

 **La turbidité:**

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, c'est de loin le paramètre de pollution qui indique la présence de matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie en fonction des matières en suspension (MES) présentes dans l'eau.

 **La matière en suspension (MES):**

Elle est exprimée en mg par litre. Ce sont des substances non dissoutes d'un diamètre supérieur à 1 micromètre trouvées dans l'eau. Dans le milieu récepteur, les MES peuvent perturber l'écosystème en réduisant la clarté de l'eau, ainsi que les substances volatiles photosynthétiques des plantes. De plus, ces MES peuvent être de nature organique et provoquer des perturbations liées aux molécules organiques.

 **Les matières décan tables et non décan tables:**

On distingue des fractions qui se stabilisent dans un certain temps (deux heures) selon les conditions opératoires, et des matières non dégradables restent dans l'eau et seront ainsi orientées vers des processus biologiques.

1.2.2.3 Paramètres Chimiques:

+ Le potentiel Hydrogène (pH):

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H_3O^+ (noté H^+ pour simplifier). De manière à faciliter cette expression ; on utilise le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion H^+ : c'est le pH.

+ La Demande Chimique en L'Oxygène(DCO):

La demande chimique en oxygène est importante car elle permet la vie animale et conditionne les réactions biologiques qui se produisent dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de divers facteurs, tels que la température, la pression et la force ionique du milieu.

La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O₂ l.

+ La Demande Biochimique en Oxygène (DBO):

La demande biochimique en oxygène doit permettre d'évaluer la charge environnementale en matières putréfactives, leur capacité d'auto-épuration et d'en déduire la charge maximale acceptable, notamment au niveau du prétraitement des stations d'épuration.

+ L'azote:

L'azote présent dans l'eau peut être de nature organique ou minérale.

L'azote organique est principalement constitué de composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés et de l'urée. Le plus souvent, ces produits se retrouvent en très faibles concentrations. L'azote minéral (ammoniac, nitrate et nitrite) constitue la majorité de l'azote total.

+ Le Phosphore:

Le phosphore peut exister dans l'eau en solution ou en suspension, sous forme minérale ou organique. Les composés phosphorés qui répondent aux tests spectrophotométriques, sans hydrolyse ni minéralisation, sont considérés comme des

orthophosphates. L'hydrolyse en milieu acide révèle du phosphore biodégradable et minéralisé et du phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphate, phosphore hydrolysable et phosphore organique. Selon les cas, la teneur en phosphate peut être exprimée en mg/L PO₄ ou P₂O₅ 1 mg/L PO₄ = 0,747 mg/L P₂O₅ = 0,326 mg/L P.

Paramètres Bactériologiques:

Les bactéries se trouvent partout dans la nature. Seules quelques dizaines d'espèces sont adaptées à l'homme : la plupart sont inoffensives, voire bénéfiques, étant des symbiotes et faisant partie de la flore cutanée, digestive, buccale et reproductive ; certains sont pathogènes.(SAADI.M, LAHMAR.F, 2018).

1.2.3 Les procédés d'épuration des eaux usées:

1.2.3.1 Les procédés biologiques extensifs:

Les traitements extensifs sont souvent préférés pour assurer l'épuration des eaux usées dans les petites et moyennes communautés. La raison en est la simplicité de sa gestion et ses coûts d'exploitation modestes. Parmi ces processus on distingue :

L'épandage:

Il s'agit du procédé le plus ancien et il consiste à rejeter les eaux usées directement sur un sol perméable, où se forment des agrégats qui servent de supports aux micro-organismes, ces derniers décomposant la matière organique. Ce processus peut être dangereux car l'eau qui s'infiltré dans le sol peut contaminer la nappe phréatique.

Le lagunage

Il existe deux principaux types de lacs :

- Lac naturel.
- Lac aérien.

Les lagunes naturelles sont un procédé de traitement des eaux usées basé sur Un écosystème composé principalement d'algues, de bactéries aérobies et anaérobies.

Le rayonnement solaire est utilisé comme source d'énergie pour produire de l'oxygène grâce à la photosynthèse réalisée par des algues microscopiques.

Ce type de lagunage est principalement caractérisé par un temps de séjour très élevé des déchets liquides, et des mécanismes de fonctionnement biologiques liés à la température et aux saisons.

Dans le lac aéré, un plus grand pourcentage d'oxygène nécessaire pour s'adapter à la matière organique est fourni par les bactéries en fermentant la surface grâce à l'atmosphère mécanique.

1.2.3.2 Les procédés intensifs:

Le lit bactérien:

Ce traitement dépend du principe de l'infiltration à travers la Terre. Le lit bactérien lui-même est affiché sous forme de colonne circulaire jusqu'à 4 à 5 mètres à sa hauteur.

L'eau à traiter à la surface du film biologique qui multiplie le soutien contient une forte concentration de bactéries et de champignons.

Ces organismes absorbent la matière organique des déchets liquides

Le disque biologique:

Dans le processus de disque, le support se compose régulièrement de disques parallèles sur un axe horizontal, tourne à basse vitesse et s'immerge dans la moitié de sa longueur. Ce mouvement exhorte l'oxygène de la culture pendant la période d'indulgence.

Les performances de ce processus sont liées à:

- La profondeur des perturbations des comprimés (généralement des mètres);
- Vitesse de rotation de la colonne qui devrait être parfaite pour permettre la ventilation et installer les bonnes bactéries;
- La température qui devrait varier entre 15 et 29 ° C.

Epuration biologique par les boues activées:

Le processus de "boues de stimulant" est appelé traitement des eaux usées ainsi appelé. C'est un moyen de purifier les cultures libres. Dans le secteur du traitement de

l'eau (c'est-à-dire les différents stades de purification d'une station spécifique), les boues stimulantes font partie des traitements secondaires.

Ce traitement vise à éliminer les matières organiques biodégradables (solides, colloïdales ou dissoutes) présentes dans les eaux usées par les bactéries, en présence d'oxygène dissous.(BOUCHENAFAM, 2021).

1.1 le choix de procédé de traitement des eaux usées:

Lors du choix des méthodes de traitement biologique, il existe de nombreuses options différentes. Plusieurs aspects doivent donc être pris en compte pour choisir la solution optimale.

Au cœur du processus de traitement biologique des eaux usées se trouvent trois considérations générales et deux considérations spécifiques au traitement biologique.

Les considérations générales comprennent :

- L'espace occupé ou l'espace occupé par le système sur site ;
- Coûts de construction, combien d'argent sera nécessaire pour construire le système ;
- Les coûts d'exploitation, qui sont les coûts associés à l'utilisation quotidienne du système

Les considérations spécifiques sont le temps de rétention hydraulique (HRT) et le temps de rétention des boues (SRT). (Tech, 2019a).

conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons identifié les facteurs physiques et chimiques qui caractérisent les eaux usées et leur impact sur le milieu récepteur lors de leur rejet. Connaître la qualité des eaux usées à traiter est essentiel dans un projet de conception de station d'épuration ainsi que pour le choix approprié du procédé d'épuration et ainsi le respect des normes de rejet.

PRTIE 2:

La technologie du "Bio-Solar Purification"

Introduction :

La technologie du "**Bio-Solar Purification**" est une technologie nouvelle et innovante permettant de traiter les eaux usées de diverses substances nocives et polluants.

Dans ce chapitre, nous fournirons un bref aperçu de cette technologie, la décrirons et expliquerons son mécanisme de fonctionnement et ses composants les plus importants.

II.1 La problématique:

Pour initier le traitement des matières organiques particulières, des composés dissous et des contaminants microbiens, il est connu de réaliser un traitement à l'aide d'organismes photosynthétiques :

- Soit selon une pratique à grande échelle en milieu ouvert, avec un traitement réalisé en étang ouvert (lac) ou en sol de percolation cultivé (phytoremédiation) ;
- Soit selon une pratique intensive en système fermé (photo-bio-raffinage à l'intérieur d'un réacteur fermé exposé au rayonnement solaire ou artificiel)

Dans le traitement en étang ouvert (lac, étang ou réservoir), les eaux usées sont traitées par l'action du soleil et des organismes photosynthétiques qui décomposent les particules et assimilent les composés dissous. Cependant, ce traitement permet une influence limitée du soleil et des micro-organismes photosynthétiques en raison de la profondeur, de la turbidité, de la faible pénétration du rayonnement solaire et de la faible solubilité de l'oxygène gazeux dans les eaux de surface. Ce traitement nécessite de laisser l'eau exposée au soleil pendant plusieurs jours, avec de grandes surfaces pour traiter de grandes quantités d'eaux usées. Cette dernière est considérée comme sensible à la recontamination microbienne par les animaux (poissons, oiseaux, mammifères) qui colonisent ces milieux, comme les transformateurs naturels. Cela implique la nécessité de retraiter l'eau traitée afin qu'elle puisse être réutilisée sans aucun risque pour la santé. De plus, ces systèmes largement ouverts ne permettent pas la récupération et le recyclage d'une partie importante des nutriments qui sont éliminés sous forme de gaz à effet de serre.

Quant au traitement en système fermé, notamment dans un photo-bio-réacteur tubulaire, il est connu que des micro-organismes photosynthétiques sélectionnés (notamment des micro-

algues) sont utilisés pour traiter des polluants dissous tels que des nutriments (NH₄, NO₃, PO₄, etc.) qui sont intégrés dans un système fermé. Ensuite, la biomasse est séparée de l'eau.

Un tel procédé présente plusieurs inconvénients :

- ❖ Il exploite uniquement les capacités photosynthétiques des micro-algues sélectionnées, c'est-à-dire leur capacité à fixer certains polluants, sans exploiter les capacités de développement et de production d'oxygène des micro-algues. Ainsi, ce système s'applique en priorité au traitement des nutriments tels que le CO₂, NO₃, NH₄, PO₄ et SO₄, avant leur rejet dans les milieux aquatiques naturels et ne permet en aucun cas une réutilisation ou un recyclage des eaux en fin de traitement.
- ❖ Des temps de séjour courts et une exposition au soleil ou à la lumière artificielle à des concentrations cellulaires élevées réduisent les autres effets solaires. En effet, introduire de grandes quantités de biomasse dans le photobioréacteur rend difficile la pénétration des rayons lumineux en raison de leur forte densité et de leur forte turbidité.
- ❖ L'utilisation de micro-algues cultivées et sélectionnées, qui nécessite un travail minutieux en laboratoire, est difficile à appliquer et à extrapoler à des applications à grande échelle.
- ❖ Ce procédé nécessite l'utilisation d'un réacteur constitué de tubes de petit diamètre, en matériau solide, ce qui limite le fonctionnement d'un tel procédé au traitement de petites quantités d'eau, ce qui conduit à l'impossibilité d'extrapoler le système à de grandes quantités d'eau qui sont compatibles avec les besoins des sociétés, des industries et des exploitations agricoles.
- ❖ Extraction et réinjection en continu des micro-algues avant le photo-bio-réacteur, entraînant la destruction de nombreux individus et une augmentation des concentrations de composés organiques dissous, ce qui nécessite des traitements supplémentaires sur l'eau avant rejet notamment pour désinfecter l'eau.
- ❖ La présence de coudes dans les réacteurs constitués de tubes rigides de petit diamètre. Ces courbures favorisent la contamination et le dépôt de microalgues sur la face interne des tubes. Cette contamination rapide est très difficile à éliminer dans les canalisations de petit diamètre et nécessite des arrêts réguliers pour un nettoyage complet de l'installation.

- ❖ Le fait que la biomasse produite soit systématiquement réutilisée pour réensemencer les eaux usées introduites dans le réacteur. Il en résulte que les nutriments captés par cette biomasse ne peuvent être recyclés et valorisés sous forme de biomasse ou en faible fraction.

Ces procédés ne sont donc pas largement applicables, tant sur le plan technique qu'économique, sans compter qu'ils sont certes adaptés au prétraitement des nutriments dissous, mais ils ne conviennent pas au traitement des métaux, des xénobiotiques et des micro-organismes contaminés. De plus, ils ne s'appliquent pas à la réutilisation ou au recyclage des eaux usées et des nutriments, puisqu'ils n'éliminent pas les contaminants microbiens du type microflore fécale ou bactéries conformationnelles.

La présente invention vise à résoudre tout ou partie des inconvénients ci-dessus, en proposant un procédé d'épuration bio-solaire des eaux usées, pour traiter à la fois les matières organiques moléculaires et dissoutes, les composés dissous (tels que les nutriments azotés et phosphorés), et les contaminants microbiens (pathogènes, micro-organismes), et micro-organismes révélateurs d'une contamination fécale, qui est exploité de préférence avec un réacteur solaire techniquement et économiquement adapté au traitement et au recyclage de grandes quantités d'eaux usées.

Elle vise également à fournir un procédé dans lequel les micro-organismes photosynthétiques nécessaires au traitement des eaux usées se développent par exposition au rayonnement solaire, notamment ultraviolet, (Sohier, 2017).

II.2 Aperçu sur le procédé « Bio-Solar Purification » :

Suite à la mise en place d'une démarche de financement participatif fin 2015, Helio Pur Technologie a installé une unité de recyclage des eaux usées à la station d'épuration de Meyrargues (13) d'une capacité de 3 500 EH exploitée par la Société des Eaux de Marseille (SEM). « L'unité recycle une partie des eaux de la station d'épuration, soit 20 mètres cubes par jour, ce qui nous permettra de réaliser des tests dans le but de valider l'épuration et les performances environnementales de notre technologie au niveau européen », explique Laurent Sohir, le PDG de l'entreprise. Helio Power a développé un procédé de purification des eaux usées pour les réutiliser via biosynthèse solaire (PBS). Sous l'action combinée du soleil et du dioxyde de carbone, les polluants sont décomposés par les micro-algues. « C'est le seul appareil de traitement des eaux usées à avoir un bilan carbone positif », explique Laurent

Suher, à propos des tests de vérification des performances réalisés. Un programme de vérification des technologies environnementales (VTE) permettrait à une startup de faire valider ses allégations par un organisme externe, facilitant ainsi la commercialisation de la technologie. Les démarches nécessaires seront entreprises pour obtenir une autorisation de réutilisation des eaux usées traitées du site de Miragos. Helio Pur a déjà installé un pilote de 50 m³/jour en Espagne dans le cadre du projet « *Life Biosol Water Recycling* ». Et en Arabie Saoudite, la première usine de recyclage des eaux de lavage a été créée dans une grande usine laitière. Outre les secteurs agricoles et domestiques ruraux qui manquent d'eau, Helio Power s'occupe désormais également du traitement des lixiviats dans les décharges. Après avoir levé 250 000 € grâce au financement participatif, l'augmentation de capital est désormais bouclée. Il fermera fin juin.(environnement magazine, 2016).



Figure II.1: Bio Solar Purification pilot(south of france).(biosol water recycling, [sans date])

Ce procédé s'inscrit donc dans le domaine technique du traitement avancé, rapide et intensif des eaux usées, en particulier l'élimination des composés dissous et des contaminants microbiens qui n'ont pas été traités par les techniques classiques d'épuration biologique.

Le projet vise à développer une station pilote de traitement des eaux usées qui vise à :

- Aidez à économiser l'eau douce grâce à la réutilisation et au recyclage.
- Traiter quotidiennement 50 mètres cubes d'eaux usées.
- Besoins énergétiques réduits à 0,1 kWh/m³ (cela permet d'économiser 95 % d'énergie par rapport à la technologie d'osmose inverse – actuellement la méthode la plus populaire pour le traitement de l'eau à grande échelle).

Une large diffusion de cette nouvelle mesure permettra aux petites collectivités de se conformer à la réglementation européenne sur l'eau. Les stations d'épuration mises en place dans le cadre de ce nouveau projet ciblent le marché des communautés locales et des petites villes comptant entre 10 et 10 000 habitants.(LIFE Publication / Environment Policy & Governance LIFE Projects 2013, 2014).

II.3 Description du procédé "Bio-Solar-Purification ":

La présente invention concerne un procédé de bio-épuration solaire des eaux usées dans le but de recycler l'eau extraite et les nutriments présents dans les eaux usées qui ont été récupérés sous forme de biomasse recyclable.

Le procédé vise notamment à réduire la teneur en matières particulaires et organiques dissoutes (substances, composés organiques et micropolluants émergents tels que pesticides et substances médicamenteuses), en composés minéraux et organométalliques dissous, en contaminants microbiens (compatibilité, bactéries fécales ou pathogènes) et des composés organiques dissous à effet nutritionnel (CO₂, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, SO₄, etc.), ainsi que dans le but d'extraire les nutriments minéraux dissous des matières organiques présentes dans les eaux usées.

À la fin du processus de traitement, nous pouvons obtenir une eau pure conforme aux normes et contrôles pour ses usages, comme l'irrigation, l'arrosage des zones agricoles et des espaces verts ou la recharge des nappes phréatiques.

Le processus susmentionné est réalisé à travers un processus biologique, qui est un système de purification solaire composé de :

- Un réacteur tubulaire fermé constitué d'un ensemble de tubes transparents qui permettent d'exposer l'eau contenant des micro-organismes à la lumière pour la photosynthèse.
- Réservoirs reliés au réacteur au niveau des canalisations d'entrée et de sortie.
- Un dispositif d'alimentation en eaux usées qui assure la dilution et le contact des composés microbiens et polluants d'une part avec le mélange de polyculture en constante évolution en apportant les nutriments présents dans l'eau. D'autre part, avec l'oxygène produit par les micro-organismes qui réalisent le processus de photosynthèse dans l'eau au stade photosynthétique.
- Au moins un dispositif d'injection et de dissolution d'air enrichi en dioxyde de carbone gazeux en phase légère dans les eaux usées pour augmenter la concentration en dioxyde de carbone dissous dans l'eau et non enrichi en phase sombre pour aérer l'eau dans le réacteur.
- Au moins un dispositif de transport des eaux usées dans les tubes du réacteur.
- Au moins un dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux excédentaire issu de la photosynthèse en phase lumineuse.
- Au moins un dispositif d'élimination du dioxyde de carbone gazeux en excès résultant de la minéralisation de la matière organique en phase sombre.
- Au moins un dispositif d'évacuation de l'eau pure en sortie du réacteur, permettant de récupérer l'eau après avoir été traitée dans le réacteur. Il est préférable que le débit d'eau sortant du réacteur soit égal au débit d'eau entrant dans le réacteur en phase légère.

Ce système de filtration solaire ne comprend donc aucun dispositif permettant d'inoculer ou de réinoculer les eaux usées avec des micro-organismes photosynthétiques cultivés à l'extérieur ou récupérés en sortie du système ; Il comprend uniquement les micro-organismes ajoutés au mélange de polyculture au début du système.

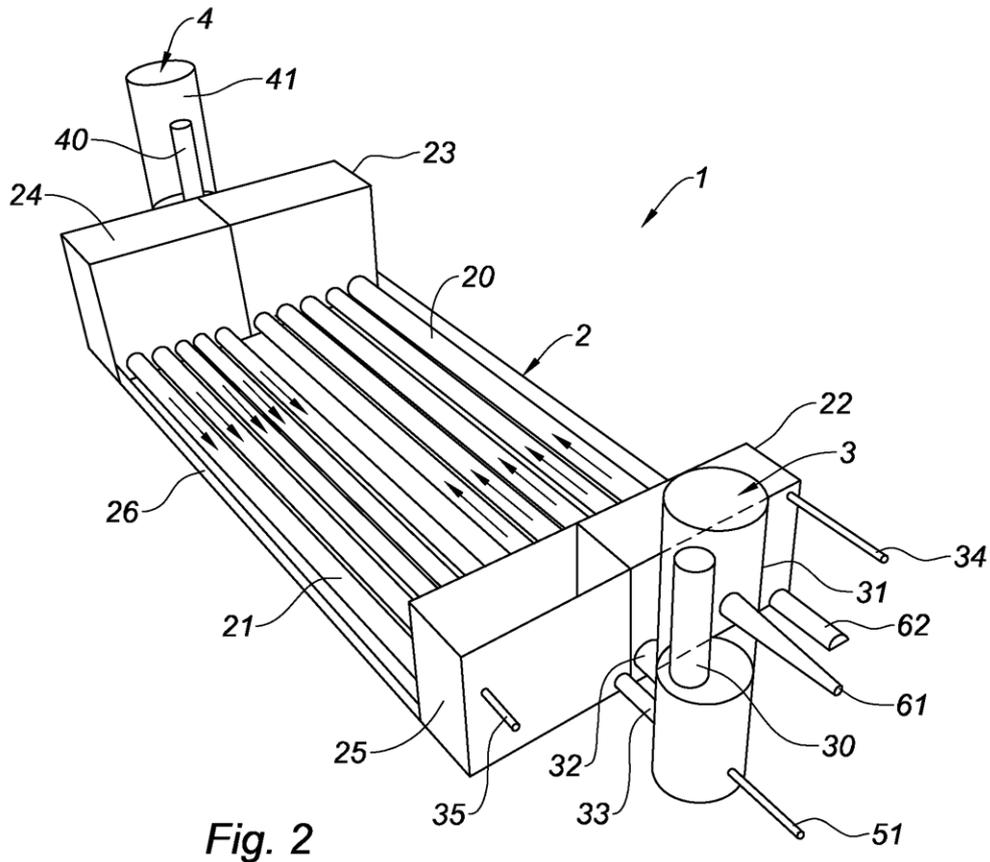


Figure II.1: Processus de purification des eaux usées bio-solaire. (Sohier; Laurent, 2017).

❖ Le document ci-dessus représente les composants de station de traitement du procédé « Bio-Solar-Purification » :

Avec :

- 3 :Le dispositif de déplacement vers l'aval est du type dispositif de levage d'eau.
- 4 :Un dispositif de déplacement amont assure le déplacement ou la circulation de l'eau entre le réservoir de réception amont 23 et le réservoir d'alimentation amont 24.
- 20 :une série de plusieurs tubes appelés tubes sortants
- 21 :Une série de plusieurs tubes appelés tubes de retour
- 22 : un réservoir d'alimentation aval
- 23 :un récepteur en aval de réservoir

- 24 :réservoir supérieur d'alimentation
 - 25 :réservoir inférieur de réception
- ✓ Les réservoirs d'alimentation 22 et 24 peuvent être ouverts et ont pour fonction d'alimenter en eau les tuyaux correspondants, et les réservoirs de réception 23 et 25 sont ouvrants et ont pour fonction de recevoir et de collecter l'eau des tuyaux correspondants.
- ✓ Les conduites 20, 21 sont constituées d'un matériau lisse ou transparent (plastique ou polymère), caractérisé par une longueur s'étendant de 5 à 500 mètres, un diamètre s'étendant de 5 à 20 cm, sans aucun joint intermédiaire, et sont dilatées linéairement sans coudes ni les articulations.
- 26 :un réservoir étanche
- ✓ Il a plusieurs fonctions. :
- Remplissage d'eau en cas de fuite nécessitant le remplacement des canalisations 20, 21.
 - Refroidissement des tubes 20, 21 avec de l'eau renversée ou pulvérisée.
 - Récupérer l'eau de pluie en saison des pluies avec peu d'ensoleillement, notamment pour reconstituer les réserves d'eau douce pour divers usages en saison sèche.
- 30 :La colonne montante d'eau aval.
 - 31 : Le réservoir à l'intérieur duquel se trouve le tuyau de relevage d'eau 30 est disposé verticalement.
 - 32 : Une conduite de sortie de l'eau du réservoir 31.
 - 33 :Le tuyau d'arrivée avale l'eau provenant du réservoir de réception 25.
 - 34 :Tube de remplissage du réacteur 2 en continu ou par intermittence.
 - 40 : La colonne pour faire monter l'eau en amont.
 - 41 :Réservoirà l'intérieur duquel la colonne montante d'eau amont 40 est disposée verticalement.
 - 51 : Premier dispositif d'injection d'air et de dioxyde de carbone gazeux dans le fond du réservoir 31.

- ✓ Les dispositifs d'injection 51 fournissent de l'air naturel (c'est-à-dire non enrichi en CO₂) ou enrichi en CO₂, et du CO₂ spécialement enrichi provenant de l'unité de prétraitement UPR ou de gaz de combustion mélangés à l'air ambiant et à l'air enrichi en CO₂.
- ✓ Ces dispositifs d'injection 51 peuvent fonctionner sous pression ou sous vide. Par exemple, de l'air enrichi en dioxyde de carbone sous pression peut être introduit dans l'eau à l'aide d'un diffuseur pour réduire la taille des bulles et améliorer les échanges gazeux entre l'air d'entrée et l'eau traitée.
 - 62: Un tube pour éliminer l'oxygène gazeux O₂ produit par les microplantes photosynthétiques.(Sohier, 2017).

II.4 Fonctionnement du procédé « Bio-Solar-Purification » :

Le processus de purification bio solaire des eaux usées se déroule en deux étapes :

- ❖ La période de démarrage initiale au cours de laquelle les étapes suivantes sont réalisées :
 - Remplissage du réacteur avec des eaux usées via un dispositif d'alimentation en eaux usées.
 - Introduire dans le réacteur un mélange de culture multi-espèces contenant un grand nombre d'espèces, dont divers types de micro-organismes photosynthétiques, tels que des microalgues et des organismes aérobies.
 - Mouvement des eaux usées dans le réacteur.
 - Exposition à la photo-irradiation dans le réacteur et injection et dissolution d'air enrichi en dioxyde de carbone dans les eaux usées, afin d'accélérer le développement des micro-organismes photosynthétiques.
 - Évacuation de l'oxygène gazeux produit par la photosynthèse dans le réacteur pour maintenir le taux d'oxygène à l'intérieur du réacteur dans une plage prédéterminée.
 - Au stade sombre, de l'air non enrichi en dioxyde de carbone gazeux est injecté et dissous dans les eaux usées, afin d'augmenter la concentration d'oxygène dissous dans l'eau et d'accélérer la croissance des bactéries organiques aérobies car la période d'initiation initiale est maintenue jusqu'à ce que la des concentrations

prédéterminées d'éléments nutritifs azotés et phosphorés dans l'eau potable jusqu'à des seuils prédéterminés.

❖ La période de traitement des eaux usées, qui débute lorsque les concentrations des éléments nutritifs azotés et phosphorés précités atteignent des seuils prédéterminés, au cours de laquelle sont mises en œuvre les étapes suivantes :

- Mouvement des eaux usées dans le réacteur.
- Alimentation continue ou séquentielle des eaux usées à l'entrée du réacteur.
- Injecter et dissoudre de l'air riche en dioxyde de carbone dans les eaux usées, afin d'augmenter la concentration d'oxygène et de dioxyde de carbone dans l'eau et d'intensifier le processus de photosynthèse.
- Exposition au rayonnement lumineux dans le réacteur de traitement de matières organiques particulières, de composés minéraux, de minéraux organiques dissous dus au rayonnement combiné, de micro-organismes et d'oxygène résultant de l'injection d'air et de la production de photosynthèse.
- Évacuation continue de l'oxygène gazeux en excès dissous dans l'eau du réacteur.
- Rejet d'eau pure et de biomasse nutritive issue de la photolyse des matières organiques contenues dans le réacteur en sortie de réacteur.
- En phase sombre, l'alimentation en eaux usées est coupée à l'entrée du réacteur.
- Injecter et dissoudre de l'air non enrichi en dioxyde de carbone dans les eaux usées, afin d'augmenter la concentration d'oxygène dissous dans l'eau et d'intensifier la décomposition et la minéralisation des molécules et des matières organiques dissoutes.
- Évacuation continue du dioxyde de carbone excédentaire dans le réacteur.

Ainsi, cette méthode permet de réaliser le traitement des matières organiques particulières et des composés dissous ainsi que des contaminants microbiens (composants, bactéries fécales ou pathogènes), grâce au phénomène de traitement à grande échelle que l'on observe naturellement dans les milieux aquatiques de surface (photosynthèse). , stabilisation de la biosynthèse, photolyse oxydative, photo-catalyse oxydative en phase claire, photolyse hétérogène et minéralisation en phase claire et sombre), évitant la perte d'eau par évaporation, grâce à :

- L'exposition au rayonnement lumineux dans le réacteur fermé, pour mettre en œuvre les cinq phénomènes naturels mentionnés ci-dessus avec le développement de micro-organismes photosynthétiques. Ces micro-organismes photosynthétiques sont ajoutés au mélange de polyculture une seule fois dans la phase initiale du réacteur, puis ces organismes photosynthétiques Micro-organismes de photosynthèse Les micro-organismes se développent grâce à l'apport continu de nutriments provenant des eaux usées et de l'air riche en dioxyde de carbone.
- Une source d'alimentation qui permet de remplir le réacteur et ainsi de maintenir un approvisionnement continu en eaux usées, l'alimentation est coupée en phase sombre et le débit d'entrée en phase claire détermine le débit d'eau ainsi que le temps d'alimentation en eau. Résidence des eaux usées dans le réacteur.
- Contrôle du mouvement des eaux usées dans le réacteur, ce qui conduit à améliorer l'exposition des eaux à traiter au rayonnement lumineux en photophase.
- Injection d'air enrichi en CO₂ dans la phase légère pour favoriser la croissance de la microflore photosynthétique ainsi que de la microflore hétérotrophe aérobie dans les eaux usées.
- Injection de l'air non enrichi en dioxyde de carbone dans la phase sombre pour favoriser le développement de bactéries aérobies hétérotrophes.
- Évacuation de l'oxygène gazeux excédentaire issu de la photosynthèse et accumulé dans le réacteur photo-phase.
- L'évacuation du dioxyde de carbone gazeux excédentaire résultant de la minéralisation des matières organiques accumulées dans le réacteur en phase sombre.
- Rejet d'eau pure. Ce rejet s'effectue de manière continue ou séquentielle en phase légère, au même rythme que l'alimentation en eau à l'entrée du réacteur.
- Évacuation de la biomasse des micro-algues présentes dans l'eau pure, qui contient des composés en décomposition et des polluants microbiens tués par le soleil et l'oxygène dissous.

De là, une fois éliminés les composés dissous et les micro-organismes dangereux, l'eau obtenue est d'une qualité chimique et sanitaire compatible avec une utilisation dans l'irrigation agricole, l'irrigation des espaces agricoles et verts et la recharge des eaux souterraines. Assainissement urbain, réseaux de lutte contre l'incendie, ainsi que eau pour les installations sanitaires et le nettoyage des sols des habitations.(Sohier, 2017).

II.5 Les caractéristiques de procédé « Bio-Solar-Purification » :

La technologie de traitement des eaux usées « Bio-Solar-Purification » se caractérise par:

- Durant la phase légère de la période de traitement des eaux usées entre le soutirage des eaux usées et le rejet de l'eau pure, qui s'effectue de manière continue ou séquentielle et selon le débit prédéterminé, la durée d'eau restant à l'intérieur du réacteur est comprise entre 1 et 12 heures, notamment entre 2 et 10 heures.
- Durant la phase légère de la période de traitement des eaux usées, l'eau pure et la biomasse sont évacuées en sortie du réacteur par trop-plein.
- Le mélange de culture polyspécifique comprend également au moins l'un des groupes de micro-organismes suivants : champignons microscopiques, levures, bactériophages et protozoaires, qui favorisent également l'activité hétérotrophe dans les phases claire et sombre.
- Le procédé comprend une étape de séparation de la biomasse et de l'eau purifiée évacuée en sortie du réacteur afin de récupérer cette biomasse de microalgues pour la valoriser.
- Le procédé comprend une étape de récupération des gaz riches en CO₂ produits par l'unité de prétraitement permettant de stabiliser la valeur des gaz riches en CO₂ résultants en les injectant dans le réacteur pour améliorer le traitement des composés dissous et des contaminants microbiens dans le réacteur.
- Le processus d'épuration solaire est réalisé par un système d'épuration solaire du type comprenant un réacteur tubulaire fermé comprenant un ensemble de tubes et réservoirs transparents reliés au réacteur en entrée et en sortie.
- Le dégazeur est équipé d'un dispositif de récupération de l'oxygène gazeux dégazé, de sorte que l'excès d'oxygène gazeux généré par la microflore puisse être récupéré pour le prétraitement du système de traitement solaire.
- Les tubes sont constitués d'une matière plastique transparente, souple ou flexible. (Sohier, 2017).

II.6 Avantages et les inconvénients du procédé « Bio-Solar-Purification » :

II.6.1 Avantages :

- Pendant la phase sombre de la période de traitement des eaux usées, le mouvement des eaux usées dans le réacteur est maintenu pour améliorer l'aération de l'eau et ainsi augmenter l'activité hétérogène.
- L'étape d'évacuation de l'oxygène gazeux consiste en une évacuation régulée (c'est-à-dire à débit d'évacuation contrôlé) pour réguler la concentration en oxygène dissous dans l'eau traitée, pour contrôler le traitement des eaux usées.
- Avantagusement, le procédé comprend une étape de transfert de l'oxygène gazeux évacué du réacteur (et récupéré dans le réacteur) vers l'unité de prétraitement ; La valorisation de ce gaz riche en oxygène récupéré dans le réacteur est ensuite valorisée en l'injectant dans une unité de prétraitement où les matières organiques sont oxydées et converties en dioxyde de carbone.
- L'évacuateur d'oxygène gazeux consiste en un évacuateur contrôlé pour réguler la concentration d'oxygène dissous dans l'eau traitée.
- Assurer une dissolution optimale du dioxyde de carbone dans l'eau en circulation dans le dispositif inférieur en disposant un dispositif d'injection d'air et de dioxyde de carbone gazeux dans la cage d'ascenseur inférieure.
- Assurer une libération optimale des gaz et un drainage de l'eau en circulation dans le dispositif supérieur en plaçant le dispositif d'injection d'air enrichi dans la cage d'ascenseur supérieure et de préférence en bas de la cage d'ascenseur supérieure,
- Simplicité de conception et de fonctionnement au sein du système, il n'est pas nécessaire de replanter de l'eau de manière continue ou intermittente. (Sohier, 2017)

II.6.2 Inconvénients :

- Le plus gros inconvénient du processus « Bio-Solar-Purification » est peut-être son coût relativement élevé. Les plus importants sont les coûts d'exploitation et de maintenance liés à l'énergie nécessaire et aux réactifs chimiques nécessaires au fonctionnement du système.
- Ils ont une chimie complexe spécifique à des contaminants spécifiques, ces variables doivent donc être soigneusement sélectionnées pour traiter efficacement les eaux usées en question. Une chimie aussi complexe nécessiterait probablement des ingénieurs hautement qualifiés pour concevoir correctement le système. (Tech, 2019b).

- Ne convient pas au traitement de grandes quantités.
- Il peut être nécessaire d'envisager l'élimination du peroxyde résiduel.(KEFKAF, YAHIAOUI, 2020).

II.7 Ouvrages annexes :

II.7.1 Le prétraitement :

Le procédé comprend au moins une étape de prétraitement des matières solides ou organiques des eaux usées, qui consiste à séparer tout ou partie des matières solides ou organiques en excès dans les eaux usées, avant de les faire passer au réacteur. Cette étape vise donc à réduire la concentration de matières organiques particulières en dessous d'une valeur favorisant la pénétration du rayonnement solaire dans l'eau traitée à l'intérieur du réacteur.(Sohier, 2017).Il élimine les matériaux bruts susceptibles d'endommager les composants mécaniques ou de perturber l'efficacité des étapes de traitement ultérieures.

Les principales opérations de prétraitements sont :

- Le dégrillage.
- Le dessablage.
- Le déshuilage-dégraissage.(LOBIYED Asma, 2017).

❖ Ledégrillage :

L'opération de dégrillage permet :

- Protéger la station de l'arrivée d'objets volumineux pouvant provoquer un blocage dans les différentes unités de l'installation.
- Éliminer les matières encombrantes charriées par l'eau brute, qui peuvent compromettre l'efficacité des traitements ultérieurs.

En fonction de la distance entre les barres on peut distinguer :

- **Le dégrillage fin** : écartement de 3 à 10 mm
- **Le dégrillage moyen** : écartement de 10 à 45 mm
- **Le dégrillage grossier** : écartement de 50 à 100 mm

Il existe deux types de grilles :

- **Grilles manuelles** : elles sont constituées de barres inclinées horizontalement selon un angle de 60 à 80 degrés. Le rejet est éliminé à l'aide d'un râteau. Ces réseaux sont généralement utilisés pour les petites stations. La superficie de ces grilles doit être calculée à grande échelle pour éviter de devoir effectuer de fréquentes interventions de nettoyage.
- **Grilles mécaniques** : elles sont destinées aux grandes installations, ou aux eaux brutes chargées en matières grossières. Le fonctionnement automatisé du réseau évite le colmatage rapide des canalisations.(LOBIYED Asma, 2017).

❖ **Le Dessablages déshuilages :**

Il s'agit d'un processus de réduction des graisses et des huiles existantes, émulsionné par simple dépôt physique en surface.

En traitement biologique, les huiles et graisses présentent de nombreux inconvénients, tels que : une mauvaise diffusion de l'oxygène dans la masse bactérienne, le blocage des pompes et des canalisations, et l'acidification du milieu dans le digesteur anaérobie.

- **Dégraisseur et déssableur séparés** :
Cette disposition est recommandée lorsque l'eau brute est inhabituellement chargée en graisses et en huiles.
- **Déssableur dégraisseur combinés** :

Le débit d'air requis pour chaque travail varie, ce qui entraîne une efficacité globale moyenne.

Le processus d'évaluation des graisses et du dégraissage se déroule dans une zone calme, où les boues décantables glissent le long des parois inclinées de la structure et sont renvoyées vers la zone d'aération.(LOBIYED Asma, 2017).

II.7.2 Dispositif de séparation de la biomasse et de l'eau pure :

Ce dispositif est placé en dessous du système d'épuration solaire (et donc en dessous du réacteur) en le reliant au dispositif d'évacuation du système d'épuration solaire.

Ainsi, le séparateur assure la séparation de l'eau et de la biomasse contenant des éléments décomposés ainsi que des contaminants microbiens tués par l'action combinée de la lumière solaire et de l'oxygène dissous. Après séparation de la biomasse, l'eau obtenue peut être réutilisée pour d'autres usages ou recyclée pour le même usage.

Le séparateur DS peut mettre en œuvre différentes techniques de séparation de la biomasse, en fonction de la qualité de l'eau requise en fin de traitement ; Ces techniques de séparation peuvent être envisagées individuellement ou en combinaison, telles que : flottation aérobie, clarification, filtration sur sable, zéolite, pouzzolane, charbon actif, techniques membranaires, centrifugation et cyclone aqueux

II.7.3 Bassin intermédiaire :

Le système comprend également un bassin intermédiaire, notamment un bassin de clarification, un bassin de sédimentation ou un bassin lagunaire, disposé entre l'unité de prétraitement et le système d'épuration biosolaire (et donc entre l'unité de prétraitement et le réacteur).

Le système est alimenté en eaux usées via un puisard intermédiaire dont la taille est estimée à au moins 1,5 à 2 fois la capacité totale du système pour prendre en compte les différents processus dans les phases claires et sombres.

- ✚ Le système peut comprendre une unité de traitement de biomasse UTB (BIOM) au niveau du port de séparation DS qui détruit, récupère et/ou recycle cette biomasse ; Cette biomasse peut effectivement être stockée, valorisée ou éliminée selon les contaminants qu'elle contient.
- ✚ Il peut également inclure un finisseur de traitement d'eau UFI au niveau du port de séparation DS qui peut mettre en œuvre diverses technologies seules ou en combinaison, telles que : l'ozone, le chlore, la filtration sur charbon actif, les médias zéolitiques et la pouzzolane.(Sohier, 2017).

II.8 Résultats et discussion

En France, la réglementation définit quatre catégories d'utilisation des eaux traitées (Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation des eaux issues du traitement des eaux usées urbaines pour l'irrigation des cultures ou des espaces verts), pour indiquer la qualité des eaux usées, la quantité d'eaux usées traitées est déterminé (a, b, c, d) dans le tableau comme suit(Sohier, 2017) :

Tableau II.1: Les Contrôles de l'utilisation de l'eau traitée.(Sohier, 2017)

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/L)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/L)	< 60			
Escherichia coli (UFC/100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spoires de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2

Dans ce tableau, les eaux traitées sont classées au niveau de qualité qui correspond au classement des paramètres les plus négatifs, et les réductions sont mesurées entre l'eau brute (eaux usées) à l'entrée de la station d'épuration, et les eaux usées traitées. (Eau pure) en sortie de station d'épuration.

La catégorie aux normes associées la plus exigeante (Classe A) est destinée à l'irrigation des cultures maraîchères non traitées et à l'arrosage des espaces verts ouverts au grand public (golfs par exemple). La catégorie aux normes associées les moins exigeantes (catégorie D) cible l'irrigation des forêts en activité avec un accès public contrôlé.

L'objectif du procédé selon l'invention est d'obtenir, en sortie du réacteur (c'est-à-dire à la fin du procédé), de l'eau pure entrant dans les catégories A, B ou C mentionnées ci-dessus.

Une campagne d'essais réalisée avec le système bio solar purification sur des eaux usées domestiques dessablées et égouttées a donné des résultats résumés dans le tableau ci-dessous.

Dans ce tableau, la colonne « Entrée » correspond aux mesures des paramètres de l'eau entrant dans le système (avant que le processus ne soit effectué) et la colonne « Sortie » correspond aux mesures des paramètres de l'eau sortant du système (suite). Exécution du processus). La colonne Réduction indique la réduction (en log ou en pourcentage) des paramètres entre la colonne Entrée et la colonne Sortie.(Sohier, 2017).

Tableau II.2:Les résultats du système Bio-Solar-Purification.(Sohier, 2017)

Paramètres	Entrée	Sortie	Abattement
Escherichia Coli (Nombre le Plus Probable NPP/100ml) - NF EN ISO 9308-3	2,2E+07	< 60	5,7 log(99,998 %)
Entérocoques fécaux (Nombre le Plus Probable NPP/100ml) - NF EN ISO 7899-1	4,3E+06	< 60	4,7 log
Carbone Organique Total (mg/L) - NF EN 1484	210	7,8	96 %

Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (mg/L) - NF EN 1899-1	500	< 3	> 99 %
Demande Chimique en Oxygène (mg/L) - ISO 15705	1050	32	97 %
Matières en suspension (mg/L) - NF EN 872	450	17	94 %
Phosphore Total (mg P/L) - NF EN ISO 6878	10,65	1,75	83 %
Orthophosphates (PO ₄) - NF EN ISO 6878	19	< 1,8	> 90 %
Ammonium (mgNH ₄ /L) - NF T 90-015-2	53	< 0,9	> 98 %
Azote Global (mg N/L) - NF EN 25663	67	22	66 %

Dans ce tableau, des diminutions significatives des teneurs de différents paramètres sont observées, de sorte que l'eau résultante peut être classée dans la classe A préalablement définie par la réglementation française ; Catégorie A : Eau autorisée pour l'irrigation des cultures horticoles, fruitières et maraîchères non transformée par un traitement thermique industriel approprié.(Sohier, 2017).

Conclusion :

La technologie solaire d'épuration des eaux usées est une technologie moderne qui a prouvé son efficacité dans le traitement des eaux usées et sa supériorité sur diverses technologies traditionnelles qui nécessitent un triple traitement pour éliminer les substances nocives. Contrairement à cette technologie qui s'appuyait sur l'énergie solaire pour éliminer ces polluants et obtenir de l'eau pure qui peut être utilisé pour faire pousser des cultures ou des espaces verts

conclusion générale

Avec la forte augmentation de la population et donc l'augmentation de la pollution de l'environnement, notamment des eaux usées, l'élimination de ces déchets biologiques et de ces bactéries nécessite encore une solution. Cette solution implique le développement et la formulation d'une approche systémique pour planifier et concevoir des systèmes de traitement biologique efficaces. Malgré l'utilisation de systèmes de traitement conventionnels, il demeure nécessaire de mieux développer ces systèmes, notamment leur conception et leur installation, afin de réduire la contamination biologique des eaux réutilisables. Dans ce travail, nous avons présenté une nouvelle technologie en cours de développement, qui est le traitement biologique solaire.

Dans une première partie, nous avons donné un aperçu des eaux sales, de leurs types, et des types de traitements pour traiter ces eaux,

Dans la deuxième partie, nous avons défini la technologie innovante centrée sur le traitement biologique des eaux usées et l'avons soigneusement décrite ainsi que les composants nécessaires.

Enfin, cette technologie apportera un développement majeur dans le domaine des traitements biologiques grâce à son efficacité dans le traitement et l'élimination des eaux sales.

les références bibliographiques

- BIOROCK, [sans date]. Quelles sont les différentes méthodes de traitement des eaux usées ? *BIOROCK S.à.r.l.* [en ligne]. [Consulté le 29 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://biorock.fr/blogs/2021/8/methodes-traitement-eaux-usees>
- BIOSOL WATER RECYCLING, [sans date]. HELIO PUR TECHNOLOGIES | LIFE Project BioSol Water Recycling. [en ligne]. [Consulté le 16 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <http://www.life-biosol.eu/gallery/helio-pur-technologies/>
- BOUCHENAFAMA, 2021. *Vérification des Dimensions de la station d'épuration de la ville de Mostaganem durant la saison estivale* [en ligne]. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE. Mostaganem. [Consulté le 6 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/20267/M%C3%A9moire%20du%2011072021.pdf?sequence=1&isAllowed=y> ABDEL Hamid Ibn Badis University
- ENVIRONNEMENT MAGAZINE, 2016. Purification bio-solaire : un nouveau pilote pour Helio Pur Technologie. [en ligne]. 25 mai 2016. [Consulté le 8 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.environnement-magazine.fr/eau/article/2016/05/25/47492/purification-biosolaire-nouveau-pilote-pour-helio-pur-technologie>
- KEFKAF, saïda et YAHIAOUI, karima, 2020. *Valorisation des procédés d'oxydation avancée. Application du procédé Photo-Fenton pour l'élimination des polluants émergents.* MEMOIRE DE MASTER. BLIDA. UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB
- LIFE PUBLICATION / ENVIRONMENT POLICY & GOVERNANCE LIFE PROJECTS 2013, 2014. *proyectos_life+_2013_env_tcm30-87669.pdf*. [en ligne]. 2014. [Consulté le 14 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/ministerio/servicios/ayudas-subsvenciones/proyectos_life+_%202013_env_tcm30-87669.pdf
- LOBIYED ASMA, 2017. *Proposition et dimensionnement d'une STEP pour Ghazaouet ainsi que les possibilités de réutilisation de ses eaux.* [en ligne]. Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme Master en Hydraulique. TELEMCCEN. [Consulté le 15 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11882/1/Ms.Hyd.Lobiyed.pdf> Université ABOU BEKR BELKAID
- MAJI SOLUTIONS, 2020. Les types d'eaux usées : définitions et caractéristiques - Maji solutions. [en ligne]. 15 novembre 2020. [Consulté le 5 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://maji-solutions.com/fr/les-eaux-usees-definition/>
- SAADI.M et LAHMAR.F, 2018. *Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de GUELMA (N-EST ALGERIE)*. MEMOIRE DE MASTER. ANNABA. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR
- SOHIER, Laurent, 2017. Procédé de purification bio-solaire d'eaux usées en vue du recyclage des eaux [en ligne]. WO2017103479A1. 22 juin 2017. [Consulté le 8 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://patents.google.com/patent/WO2017103479A1/frPCTFR2016053428>

- SOHIER;LAURENT, 2017. WO2017103479A1.pdf. [en ligne]. 22 juin 2017. [Consulté le 8 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://patentimages.storage.googleapis.com/67/07/97/f4c644dec34868/WO2017103479A1.pdf>
- STATION, Micro, 2022. L'histoire du traitement des eaux usées : de l'évacuation à la dépollution. *Micro Station* [en ligne]. 27 juin 2022. [Consulté le 4 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://ma-micro-station.fr/lhistoire-du-traitement-des-eaux-usees-de-levacuation-a-la-depollution.html>
- TECH, Genesis Water, 2019a. Comment choisir le procédé de traitement des eaux usées biologiques adapté à votre application. *Genesis Water Technologies* [en ligne]. 6 juin 2019. [Consulté le 7 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://fr.genesiswatertech.com/article-de-ce-blog/comment-choisir-le-proc%C3%A9d%C3%A9-de-traitement-biologique-appropri%C3%A9-pour-votre-application/>
- TECH, Genesis Water, 2019b. Avantages et inconvénients du procédé d'oxydation avancée. *Genesis Water Technologies* [en ligne]. 20 juin 2019. [Consulté le 15 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://fr.genesiswatertech.com/article-de-ce-blog/avantages-et-inconv%C3%A9nients-du-proc%C3%A9d%C3%A9-d%27oxydation-avanc%C3%A9/>
- WORKS, Eenda, [sans date]. Bio-Solar Purification, un nuevo, eficiente y competitivo sistema de depuración de aguas residuales para pequeñas poblaciones. [en ligne]. [Consulté le 29 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/bio-solar-purification-un-nuevo-eficiente-y-competitivo-sistema-de-depuracion-de-agua-IYJQh>