République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr.Yahia Farès de Médéa

Thèse de Mémoire

Département SNV

Spécialité : Microbiologie Appliquée.

Par

Ben Mehal Hadjer
& Imane Chenaf

Thème :

# *Contribution à la bioremédiation de l'eau résiduaire issue d'une industrie pharmaceutique contenant des polluants émergents par l'utilisation de la biomasse algale "Arthrospira Platensis"*

***Soutenu publiquement le Jeudi 23/ 06/ 2022***

***Devant le jury composé de :***

| | | |
|---|---|---|
| Mr. Eudji Amel | MAA –SM– Univ. Médéa | Président |
| Mr. Mahfoud AINAS | MCB, SNV– Univ. Médéa | Promoteur |
| **Mr. Azizi Ahmed** | **MCA–ST– Univ. Laghouat** | **Co-Promoteur** |
| Mr. HANINI Saleh | Pr –ST– Univ. Médéa | Examinatrice |

**Médéa 2021/2022**

UNIVERSITE DE MEDEA

**FACULTE DES SCIENCES**

Département : Biologie

**Année Universitaire : 2021/2022**

# Autorisation de dépôt du mémoire de Master

Je soussigné *Pr. Salah HANINI*, membre du jury de soutenance de Master, atteste que les étudiantes :

*1- Hadjer Ben Mehal*

*2- Imane Chenaf*

Qui ont présenté son (leur) mémoire de Master intitulé :

*Contribution à la bioremédiation de l'eau résiduaire issue d'une industrie pharmaceutique contenant des polluants émergents par l'utilisation de la biomasse algale "Arthrospira Platensis"*

Ont apporté les corrections mentionnées par les membres du jury sur son (leur) mémoire dont la soutenance a eu lieu le : ***Jeudi 23/ 06/ 2022***

*Signature du membre du jury*
*chargé du suivi des corrections*

*Département*

# Remerciements

*Dieu ''الله'' merci pour nous avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé.*

*Tout d'abord nous exprimons notre gratitude et nos remerciements à* ***Dr. Ahmed AZIZI (MCA) & Mahfoud AINAS (MCB)*** *nos promoteurs qui n'ont jamais cessés de nous prodiguer conseils, pour avoir dirigé ce travail et pour sons aides pendant toute la durée de réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres* ***du jury : Pr. Salah HANINI (Pr)*** *et* ***Mlle Amel EULDJI(MAA)*** *d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

***Hadjer & IMANE***

# Dédicace

Je dédié ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie très chère mère qui me donne toujours de l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

À mon cher père qui m'a encouragé tout longue de mes études.

A mes chers frères.

A mes sœurs.

À mes meilleurs amis

A tous ma famille

Et tous qui m'ont aidé à compléter ce travail En fin je remercie mon binôme Imane

HADJER

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me Sont Chères a ma vie et en particulier :

**Mes parents** Les mots ne sauraient exprimer ma Gratitude et mon Amour pour toi, Merci pour les sacrifices, le Soutien, L'affection et La confiance que tu m'as toujours Accordée. Merci de me tenir

La Main dans les moments difficiles. Puisse Dieu le Tout Puissant t'accorder santé et longue vie.

**Mes chères sœurs et frères,** merci pour tous les Encouragements et de soutien à tous les moments.

**A tous ma famille** et tous qui m'ont aidé à compléter ce travail

En fin je remercie mon binôme **Hadjer**

**IMANE**

# TABLE DES MATIERES


TABLE DES MATIÈRES *i*

ABRÉVIATIONS & NOMENCLAUTRES *iii*

LISTE DES FIGURES *iv*

LISTE DES TABLEAUX *vi*

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUES 1

**1.1 CONTAMINANTS EMERGENTS** 1

1.2. Sources de contaminants émergents 5

1. 3. Sources de contaminants émergents étudiés : Secteur pharmaceutique 6

1.4 Les polluants organiques émergents et leur classification 8

1.5.Les polluants hydrocarbures et leur dégradation 12

1.6. Élimination des contaminants organiques émergents par les microalgues 14

1.7. Notre microalgues de choix : la Spiruline 18

1.7.1 Toxicité 18

1.7.2 Reproduction 18

1.7.3 Composition chimique 19

1.7.3.1 Protéines 19

1.7.3.2 Glucides 19

1.7.3.3 Lipides 19

1.7.3.4 Vitamines 19

1.7.3 Minéraux et oligoéléments 19

1.7.3 Pigments 20

1.7.4 Usages de la Spiruline 20

1.7.5 Approche nutritionnelle 20

1.7.6 Culture de la spiruline 21

1.7.7 Distribution géographique 21

2. PRODUITS, MATERIELS & METHODES 22

**2.1. PRODUITS** 22

**2.2. MATERIEL** 22

2.3 Méthodes 22

2.3.1 Préparation de biomasse algale 22

2.3.2 Préparation de milieu de culture 23

2.3.3 Suivi de biomasse 25

2.3.3.1 Suivi analytique par spectroscopie UV-Vis 25

2.3.3.2 Suivi morphologique par microscopique optique 25

2.3.3.3 Suivi morphologique par Microscope électronique à balayage 25

2.3.3.4 Suivi spectrale par IR 25

2.3.4 Suivi de biomédiation de polluants émergents 25

3. RESULTATS & DISCUSSION 27

3.1 FAISABILITE DE BIOREMEDIATION DE POLLUANTS EMERGENTS 27

3.2 Mécanisme d'élimination des PE 29

3.2.1 Caractérisation par IR 29
3.3 Effet de la dose de biomasse 31
3.4 Effet du pH 32
3.5 Température 33
3.6 Effet de la lumière 35
3.7 Concentration de polluant 35
3.8 Effet de temps 36

**CONCLUSION GENERALE** 38
**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES** 39

# LISTE DES ABRIVIATIONS & NOMENCLATURES

| *Abréviation* | *Signification* |
|---|---|
| ADN | Acide désoxyribonucléique |
| ARN | Acide ribonucléique |
| HAP | Hydrocarbures Aromatiques polycycliques |
| HPLC | Chromatographie en phase liquide a haute performance |
| IR | Infrarouge |
| MEB | Microscopie électronique à balayage |
| PAHs | Polyaromatic hydrocarbons |
| PCB | Polychlorobiphényles |
| PCBs | Polychlorinated biphenyls |
| PCP | Produits de soins personnels |
| PEs | Polluants émergents |
| pH | Potential hydrogéne |
| R | Rendement de bioremediation |
| T | Température |
| TCE | Trichloroéthylène |
| TCE | trichloroethyleneTrichloroethylene |
| UV | Rayonnement ultraviolet |
| VMR | Volume de mélange réactionnel |

# LISTE DES NOMENCLATURES

| *Abréviation* | *Signification* |
|---|---|
| CPB4337 | biorapporteur de toxicité générale utilisé dans une variété d'essais biologiques de toxicité avec des EP |
| cytochrome P450 | Les cytochromes sont des enzymes présentes dans divers tissus et qui interviennent dans le métabolisme de substances endogènes et exogènes, notamment de nombreux médicaments. |
| ΔA | Variation de la croissance de biomasse algale |

# LISTE DES FIGURES


| N° | Titres des figures | Pages |
|---|---|---|
| | ***1. Synthèses bibliographiques*** | |
| 1.1 | Répartition du cycle de vie des (micro)-polluants émergents du point de vue des sources aux récepteurs. | 4 |
| 1.2 | Structures chimiques de polluants émergents : (A) Ampicilline, (B) Diclofinac, (C) Sulfamethoxazole, (D) Paracétamol, (E) Ibuprofene, (F) Néomycine, (G) Penicilline g sodique, (H) Trimetoprime . | 5 |
| 1.3 | Racines des contaminants émergents. | 5 |
| 1.4 | Principales causes des contaminants émergents. | 8 |
| 1.5 | Carte de visualisation du réseau de bioremédiation des polluants organiques dans les eaux usées. | 10 |
| 1.6 | Classes et catégories de polluants émergents dans les eaux usées. | 11 |
| 1 .7 | Mécanismes illustratifs d'élimination des micropolluants par les microalgues avec le processus de bioadsorption, de bioaccumulation et de dégradation intracellulaire et extracellulaire. | *17* |
| 1.8 | Cycle biologique de la Spiruline. | *19* |

***2. Matériels et Méthodes***

| Numéros | Titres des figures | Pages |
|---|---|---|
| 2.1 | Biomasse algale | 23 |
| 2.2 | Etapes de bioremédiation des polluants émergents | 26 |

***3. Résultats et discutions***

| Numéros | Titres des figures | Pages |
|---|---|---|
| 3.1 | Performance de notre biomasse a bioremédier les polluants émergents | 28 |
| 3.2 | Croissance de biomasse en présence de PEs | 28 |
| 3.3 | Spectre IR de biomasse, Ampi et biomasse +Ampicilline | 29 |
| 3.4 | Spectre IR de biomasse, Diclo et biomasse +Diclofinac | 30 |
| 3.5 | Spectre IR de biomasse, Sulfa et biomasse +Sulfa | 30 |
| 3.6 | Effet de dose biomasse sur le rendement | 31 |
| 3.7 | Effet de dose biomasse sur la croissance de biomasse | 31 |
| 3.8 | Effet de pH sur le rendement | 32 |
| 3.9 | Effet de pH sur la croissance de biomasse | 33 |
| 3.10 | Effet de température sur le rendement de bioremédiation | 34 |
| 3.11 | Effet de température sur l'accroissance de biomasse | 34 |
| 3.12 | Effet de la lumière en la croissance de biomasse algale | 35 |
| 3.13 | Effet de la concentration de polluant sur le rendement | 36 |
| 3.14 | Effet de temps de contact sur le rendement | 37 |
| 3.15 | Effet de temps de contact sur le rendement | 37 |

# LISTE DES TABLEAUX


| N° | Titre des tableaux | Pages |
|---|---|---|
| | ***1. Synthèses bibliographiques*** | |
| 1.1 | Les polluants organiques émergents et leurs techniques de bioremédiation. | 10 |
| 1.2 | Différents types de microbes avec leurs composés ciblés et leurs efficacités d'élimination respectives. | 11 |
| 1.3 | Remédiation microalgale des polluants organiques émergents dans l'eau et l'eaux usées. | 17 |
| | ***2. Matériels et Méthodes*** | |
| 2.1 | Composition chimique du milieu Zarrouk | 23 |
| 2.2 | Composition chimique de la solution A5 | 24 |
| 3.3 | Composition chimique de la solution B6 | 24 |

# INTRODUCTION GENERALE

# 1.INTRODUCTION

La pollution de l'environnement augmente de jour en jour en raison des activités anthropiques et de différents types de substances toxiques. Les contaminants tels que les polluants émergents pénètrent dans l'environnement à partir de différentes sources comme les municipalités, les hôpitaux, les industries pharmaceutiques, les industries et cosmétiques …ect. Parmi les techniques de traitement des eaux usées, la bioremédiation est l'une des techniques prometteuses, qui utilisent le mécanisme biologique inhérent de la plante et du micro-organisme pour la décontamination de divers polluants. Des microalgues ont été appliquées pour atténuer les polluants toxiques et récalcitrants dans les effluents. Les microalgues ont la capacité d'éliminer différents types de contaminants par différentes méthodes telles que la biosorption, la bioaccumulation et la biodégradation. Il a été observé que les microalgues peuvent éliminer les polluants issus des effluents cosmétiques et pharmaceutique, etc.

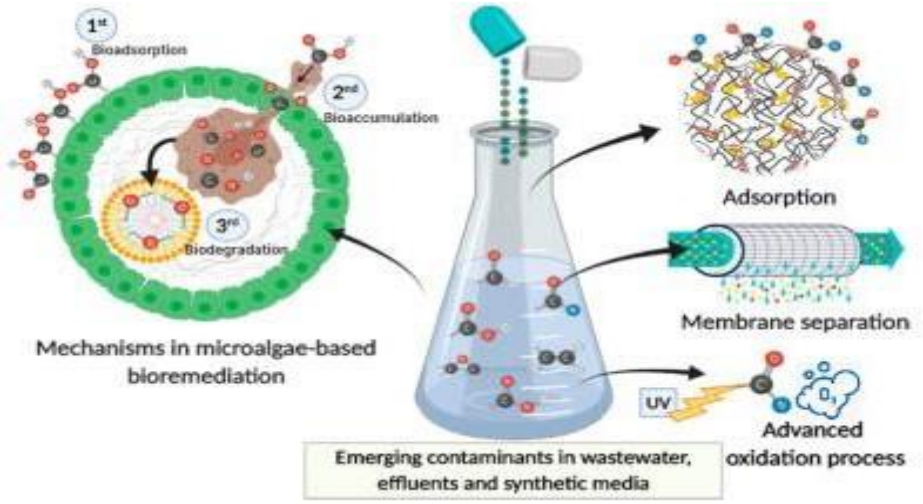
Ce travail présente une contribution à *la bioremédiation de l'eau résiduaire issue d'une industrie pharmaceutique contient des polluants émergents par l'utilisation de la biomasse algale "Arthrospira Platensis".*

Ou le manuscrit est subdivisé par trois parties :

- *1ere partie*, consacré à un rappel sur la littérature concernant ;
- *2ieme partie* décrit le matériel et les méthodes utilisées pour l'élaboration de ce travail ;
- *3ième partie*, portera sur l'exposé des résultats obtenus et aux discussions et elle est clôturée par une conclusion et perspectives.

# 1. SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES

# 1. SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES




*Les contaminants émergents dans l'eau constituent une menace environnementale croissante pour le développement durable, avec des effets néfastes sur la biosphère. Ces dernières années, les chercheurs ont de plus en plus concentré leur attention sur le domaine de la bioremédiation en tant qu'outil important pour éliminer les polluants nocifs de l'environnement.Cette partie rassemble l'application des technologies de bioremédiation à l'élimination des contaminants émergents. Il applique une analyse bibliométrique descriptive pour étudier la praticité statistique par rapport à l'applicabilité de la bioremédiation des polluants organiques émergents. Cette partie identifie des voies efficaces pour la bioremédiation de différents types de contaminants émergents et décrit le potentiel d'une approche écologique et économique pour la remédiation biologique des micropolluants par les microalgues. Des faits et des chiffres sur divers polluants dangereux, les contraintes dans leur élimination actuelle de l'eau au niveau industriel et les solutions futures prometteuses sont soigneusement présentés ici.*

## *1.1 Contaminants émergents*

L'expression « contaminant émergent » fait référence aux risques environnementaux liés à l'émergence de nouveaux contaminants aux effets incertains mais au potentiel de dommages importants (Bao et *al.*, 2015 ; Khan et *al.*, 2018b ; Naidu et *al.*, 2016). Des avancées majeures dans la reconnaissance des contaminants organiques des eaux usées industrielles comprend

également le développement de nouvelles technologies pour analyser les polluants nouveaux et émergents au cours du siècle dernier (Dsikowitzky et Schwarzbauer, 2014 ; Naidu et *al.*, 2016). La présence omniprésente de polluants émergents, ainsi que leurs répercussions néfastes sur l'environnement et la santé, devient un problème terrible (Juliano et Magrini, 2017b ; Khan et *al.*, 2021a ; Stewart et *al.*, 2014). Les polluants émergents des secteurs pharmaceutique et cosmétique, ainsi que les produits chimiques qui modifient le système endocrinien, les retardateurs de feu et les engrais, sont tous très préoccupants. Diverses formes de contaminants émergents sont déversées dans les milieux naturels, intentionnellement ou non, avec ou sans traitements réglementés, posant des risques pour la santé et affectant la situation de vie globale (Naushad, 2014 ; Rathi et *al.*, 2021a ; Wilkinson et *al.*, 2017). La figure 1 illustre les origines des polluants émergents. À ce jour, un certain nombre de techniques ont été développées pour atténuer les conséquences négatives de la destruction et de l'élimination des polluants émergents. Plusieurs recherches antérieures ou en cours se sont concentrées sur l'élimination de la pollution en utilisant une variété de méthodes de traitement, y compris des techniques chimiques, biologiques et physiques (Bilal et *al.*, 2019a ; Rathi et *al.*, 2021a).

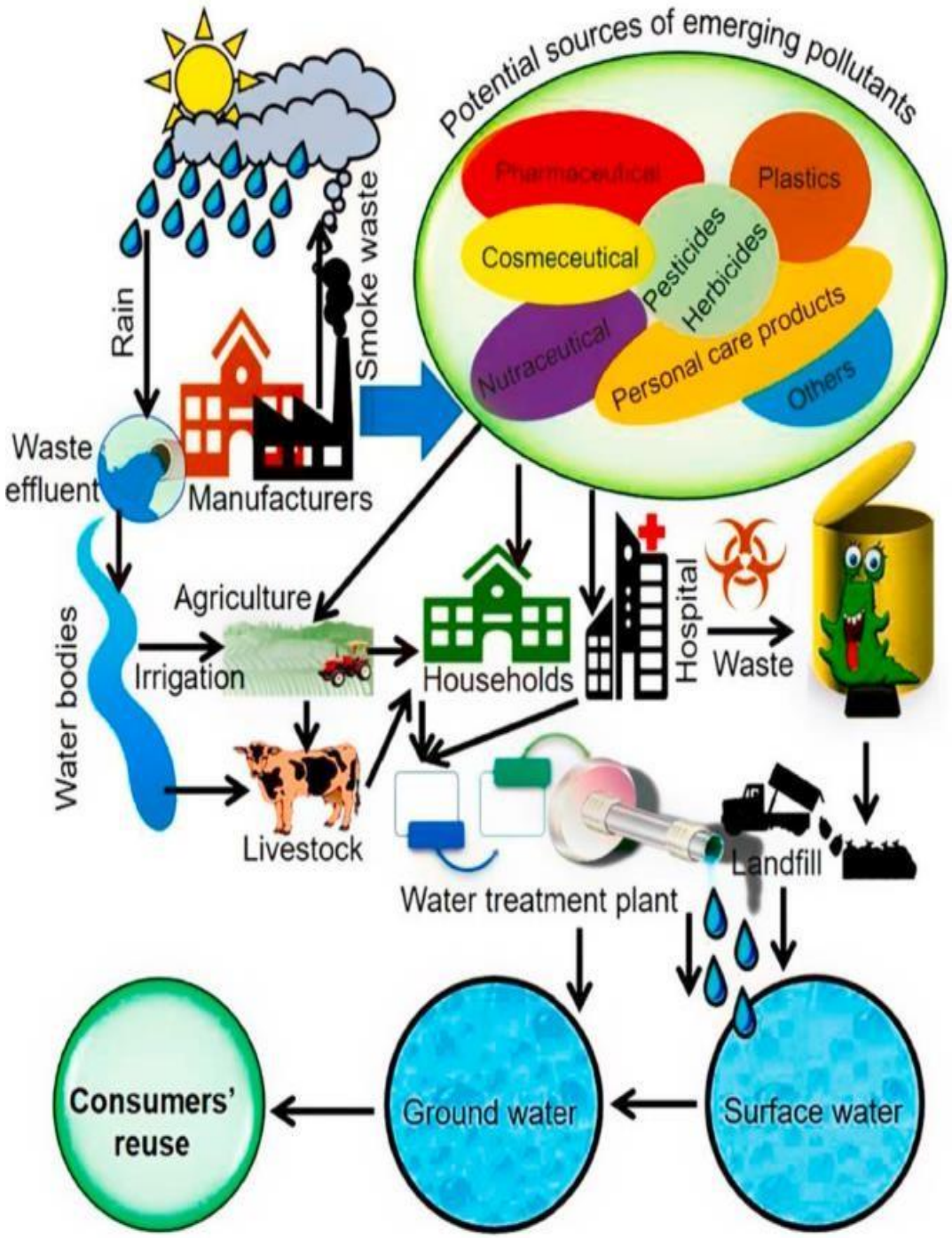



**Fig**. 1. Répartition du cycle de vie des (micro)-polluants émergents du point de vue des sources aux récepteurs. (Rasheed et *al.* (2019a).

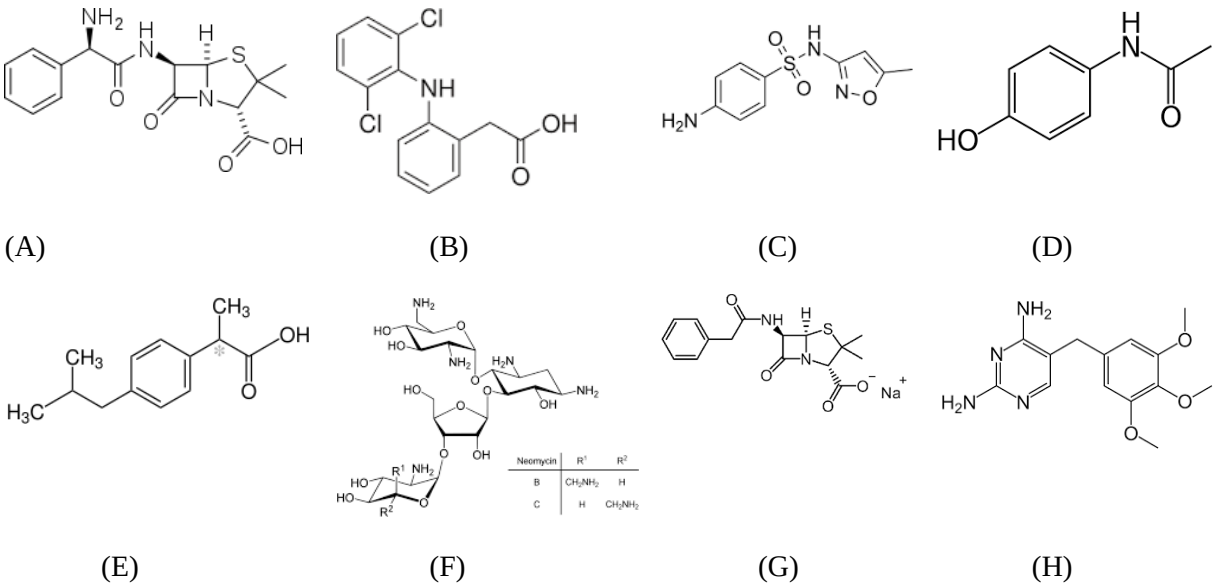



**Fig. 2.** Structures chimiques de polluants émergents de choix:
(A) Ampicilline, (B) Diclofinac, (C) Sulfamethoxazole, (D) Paracétamol,
(E) Ibuprofene, (F) Néomycine, (G) Penicilline g sodique, (H) Trimetoprime

## *1.2. Sources de contaminants émergents*

Industrie pharmaceutique, antibiotiques, pesticides, tensioactifs, retardateurs de flamme, industrie des engrais, édulcorants artificiels, hormones, composés perfluorés, drogues illégales, adhésifs pour vêtements, solvants de nettoyage, antibactériens, pommades, mousse pour coussins, cosmétiques, beauté les soins, la protection solaire, les produits de soins personnels,




**Fig.3.** Racines des contaminants émergents. (Reproduit de Rathi et *al.* (2021a), avec l'autorisation d'Elsevier B.V.copyright (2020).

les boissons et les aliments emballés sont les principales sources de polluants émergents (Rathi et *al.*, 2021a ; Richardson et Kimura, 2017). Les micropolluants émergents, tels que les produits pharmaceutiques, les perturbateurs endocriniens, les cosmétiques, les nanoparticules et les produits chimiques fluorés, constituent une menace importante pour la santé et le bien-être des humains et des organismes marins en raison de leur présence dans l'environnement (Besha et *al.*, 2020 ; Sivaranjanee et Kumar, 2021 ; Tijani et *al.*, 2016). Les principales sources de polluants émergents sont illustrées à la Fig. 4.

### *1. 3. Sources de contaminants émergents étudiés : Secteur pharmaceutique*

Les produits pharmaceutiques deviennent des contaminants de plus en plus gênants, mais ils ont été trouvés en quantités infimes dans les sources d'eau du monde entier (Chinnaiyan et *al.*, 2018 ; Patel et *al.*, 2019). Les produits pharmaceutiques sont une classe de produits chimiques largement utilisés dans la nutrition, le diagnostic, le traitement, et la prévention (Patel et *al.*, 2019 ; Rico et *al.*, 2013 ; Tran et *al.*, 2015). L'industrie pharmaceutique est un contaminant émergent critique. Parmi les autres contaminants émergents critiques figurent les médicaments illicites, les hormones, les antibiotiques et les substances de type hormonal. Ces contaminants sont importants en raison de leur présence généralisée dans les écosystèmes aquatiques, de la contamination des réserves d'eau douce et des effets néfastes potentiels sur l'environnement et la santé humaine (Cizmas et *al.*, 2015 ; Patel et *al.*, 2019 ; Sharma et *al.*, 2019). La dilution des déchets après le rejet de médicaments dans le système d'eau atténue efficacement les préoccupations environnementales (Gros et *al.*, 2010; Khan et *al.*, 2019). Une variété de médicaments sont largement administrés au bétail afin de réduire la maladie et d'améliorer l'état des animaux. Compte tenu du fait qu'environ 3000 composés sont actuellement utilisés dans les produits pharmaceutiques, seule une infime proportion de ces substances ont été évaluées sur le terrain. Scientifiques et régulateurs ont évalué même si la présence de doses de ng/L exposées à l'air pouvait avoir des répercussions néfastes sur la faune ou les humains (Khan et *al.*, 2018a ; Richardson et Kimura, 2017). Les produits pharmaceutiques pénètrent dans l'atmosphère le plus souvent par les déchets humains, le déversement de médicaments indésirables et l'utilisation de produits pharmaceutiques dans l'agriculture. Des échantillons d'eau souterraine et d'eau de surface se sont avérés contenir un large éventail de médicaments qui avaient été associés à l'évacuation des eaux usées (Naushad et *al.*, 2019 ; Stuart et *al.*, 2012 ; Tran et *al.*, 2014). Dans l'élevage intensif, les médicaments peuvent également avoir un impact indirect sur l'environnement par l'utilisation de fumier et de purines comme engrais organiques, et ils peuvent être transférés aux organismes vivants via la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Les produits

pharmaceutiques utilisés dans la pêche sont intentionnellement déversés dans les eaux de surface. La recherche scientifique a montré que les stations d'épuration conventionnelles qui reposent principalement sur des micro-organismes, en raison de leur composition chimique complexe et de leur faible capacité, ne peuvent évidemment pas tuer ces types de produits chimiques organiques et que leur taux d'élimination n'est que d'environ 10 %. Les produits pharmaceutiques les plus couramment signalés dans l'eau potable et les eaux usées comprennent : la fluoxétine, les hypolipémiants, les antiacides, la ciprofloxacine, le diclofénac, les stéroïdes, les bêtabloquants, l'acide clofibrique, les analgésiques, les antipyrétiques, les antibiotiques, anti-inflammatoires, stimulants, acide salicylique, antidépresseurs, nitroglycérine et propranolol (Naushad et *al.*, 2019 ; Snyder, 2008).

De première classe, diverses substances dont l'ibuprène, l'énalapril et l'acétaminophène ont été pour la plupart éliminées pendant le traitement. Les réactifs de seconde classe tels que les régulateurs lipidiques n'ont pas été totalement éliminés ; cependant leurs niveaux sont beaucoup plus petits que ceux des réactifs influents suivant le traitement. Contrairement aux effluents influents, les eaux usées des effluents contenaient un groupe 3 de composés, y compris les ansiolitiques, les macrolides et les antibiotiques, qui n'ont pas été détectés dans les effluents influents. Les produits pharmaceutiques de dernière classe tels que la simvastatine, la paroxétine et la sulfaméthazine n'ont jamais été détectés en quantités significatives dans les effluents d'eaux usées (Gracia-Lor et *al.*, 2012 ; Rathi et *al.*, 2021a). En 2004, des drogues illicites ont été découvertes pour la première fois dans des milieux aquatiques. Ça a été Découvert dans les eaux usées, les eaux souterraines et les eaux de surface ces dernières années. Alors que les doses dans les eaux de surface sont normalement minimes, certaines eaux usées peuvent contenir jusqu'à µg/L . La cocaïne, le 2-éthylidène-1, la benzoylecgonine, la méthadone et leurs métabolites, le 5-diméthyl-3,3-diphénylpyrrolidine ont été plus fréquemment détectés, bien qu'à des concentrations inférieures en ng/ L à celles des autres contaminants. Le triclosan est un antibiotique courant que l'on trouve dans les dentifrices et les savons pour les mains et on le trouve aussi fréquemment dans l'air. La capacité des hormones à avoir un effet androgène et œstrogénique sur la biodiversité a accru leur importance en tant que contaminant environnemental (Behera et *al.*, 2011 ; Kitamura et *al.*, 2005 ; Naushad et Alothman, 2015). 17β-estradiol, équilénine, l'équiline, l'estriol, le mestranol, l'estrone, le 17α-estradiol et la noréthindrone sont des exemples d'hormones organiques ou inorganiques qui peuvent pénétrer dans l'atmosphère par la culture et les eaux usées traitées, et qui ne sont pas encore complètement éliminés (Yang et *al.*, 2011). La photocatalyse, qui utilise le semi-conducteur TiO2 comme catalyseur, s'est également avérée

être une méthode efficace de purification de l'eau. De plus, l'efficacité de cette approche oxydative a été démontrée pour la dégradation des composés pharmaceutiques (Kanakaraju et *al.*, 2014 ; Naushad et Alothman, 2015 ; Wang et Xu, 2012). Le tableau 1 contient une liste des polluants émergents dans les produits pharmaceutiques, ainsi que des informations sur leurs caractéristiques. Dans le domaine pharmaceutique, plusieurs nouveaux polluants inquiètent les animaux, les animaux marins.

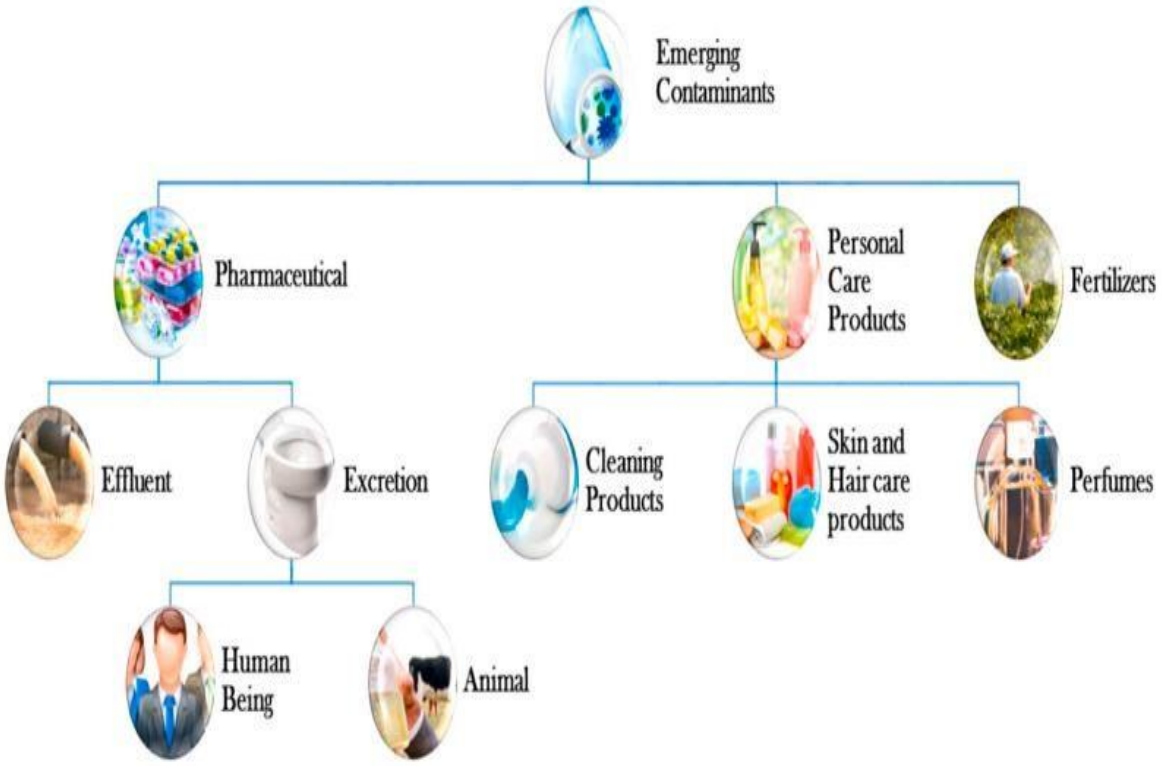



**Fig. 4.** Principales causes des contaminants émergents.
(Reproduit de Rathi et al. (2021a), B.V.copyright (2020).

### *1.4.Les polluants organiques émergents et leur classification :*

Le rapport mondial des Nations Unies sur le développement des ressources en eau 2021 a affirmé que dans le monde, 80 % de toutes les eaux usées industrielles et municipales sont directement rejetées dans les écosystèmes aquatiques sans aucun prétraitement, entraînant de graves effets néfastes sur les êtres vivants et l'environnement (Nations, 2021). Le développement de nouveaux produits dans les industries chimiques et pharmaceutiques et les applications croissantes des nanotechnologies contribuent à la variabilité des types d'eau polluants au fil du temps (Cassani et Gramatica, 2015). Les polluants organiques émergents et leurs techniques et processus de bioremédiation sont répertoriés dans le tableau 1. La figure 2 montre les classes de contaminants émergents (CE) répertoriés dans la littérature

qui couvrent les produits de soins personnels (PCP), les pesticides, les produits chimiques industriels, les benzotriazoles, les filtres UV, nanomatériaux, édulcorants artificiels, pesticides, benzothiazoles, siloxanes, sous-produits de désinfection et quelques autres (Rodriguez-Narvaez et *al.*, 2017). Ces polluants émergents sont à la fois des produits chimiques naturels et synthétiques. Ils sont considérés comme émergents non pas parce qu'ils sont nouvellement introduits dans l'environnement, mais parce que leur niveau de contamination a augmenté pour devenir préoccupant. La détection de ces polluants peut être difficile en raison de leur comportement complexe et diversifié et de leurs diverses sources de production.

Des bactéries, des champignons, des algues ou des plantes peuvent être utilisés pour la bioremédiation des polluants des eaux usées (Murali et Mehar, 2014). Les types de microbes, ainsi que leurs composés ciblés correspondants et leurs efficacités d'élimination respectives sont répertoriés dans le tableau 2. Ces microbes sont utilisés pour la dégradation des hydrocarbures, des pesticides, des composés sulfonés et autres (Varjani, 2017). Les bactéries anaérobies peuvent être utilisées pour la bioremédiation des composés chlorés par dichloration de polluants tels que les polychlorobiphényles (PCB), le trichloroéthylène (TCE) et le chloroforme. L'industrie et les produits de soins personnels (PCP) comprennent principalement des produits pharmaceutiques, des ingrédients actifs et des additifs, qui sont parmi les plus grands contributeurs aux CE dans les eaux souterraines et les systèmes de surface et ils ont généralement reçu peu d'attention (Lopez-Serna et *al.*, 2013). Les PCP jouent un rôle important dans la vie humaine moderne et leur consommation augmente à l'échelle mondiale (Daughton Et Ternes, 1999). Ces produits pénètrent régulièrement dans les systèmes aquatiques par les eaux usées urbaines, les déchets domestiques individuels et les déchets industriels. Par conséquent, les PCP sont détectés dans de grands Les quantités d'eau potable, d'eau souterraine et de ruissellement des eaux pluviales, ainsi que les eaux usées, les effluents et le tableau 2 résume également les bactéries qui ont été modifiées pour digérer les solvants ou éliminer les métaux lourds (Sharma et *al.*, 2021).

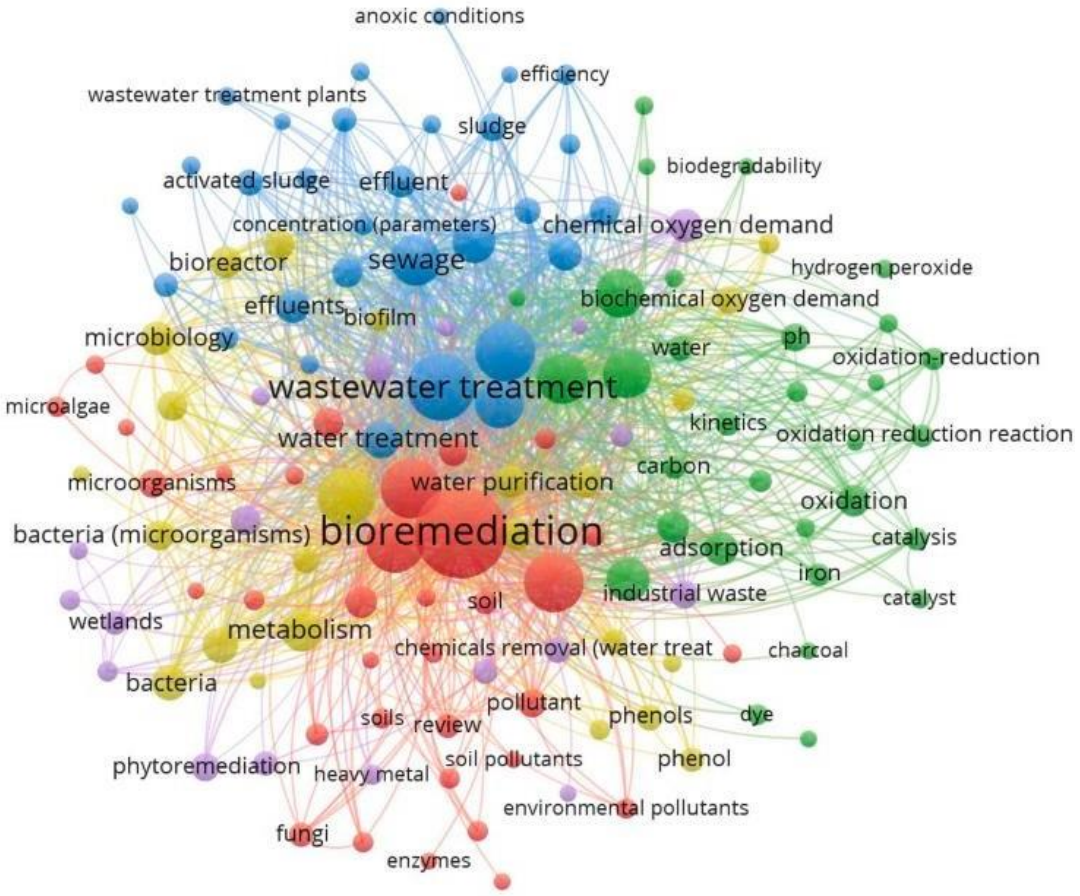



**Fig. 5.** Carte de visualisation du réseau de bioremédiation des polluants organiques dans les eaux usées.

Tableau 1

Les polluants organiques émergents et leurs techniques de bioremédiation.

| **Polluant** | **Technique de Bioremediation** | **Microbes** | **Référence** |
|---|---|---|---|
| Non-chlorinated compounds | Bioventing, Biosparging | *C.Magnetobacteruim*, *F.bacteruim* et *B.bacteruim* | (Kao et *al* ., 2008 ) |
| Polycyclic aromatic | Bioventing,Biosparging , Bioreactor , | Gram - negative bacterial strains | (Moghadam et *al* ., 2014 ) |
| hydrocarbon (PAH) | Biopiling | Bacteria :Paraburkholderiaxenovorans LB400 | (Bako et *al* ., 2021) |
| Polychlorinated biphenyl (PCB), | Bioreactor | Eurasian water milfoil Mycorrhizal Fungi | (Kiiskila et *al* ., 2015 ) |
| Trinitrotoluene ( TNT ) 1,3,5 - trinitro - 1,3,5 - triazine ( RDX ) | Phytoremediation ,Biopiling Phytoremediation | | ( Thompson and Polebitski . 2010) |
| Total petroleum hydrocarbon ( TPH ) | Phytoremediation | Aerobic bacteria | ( McIntosh et *al* ., 2017 ) |

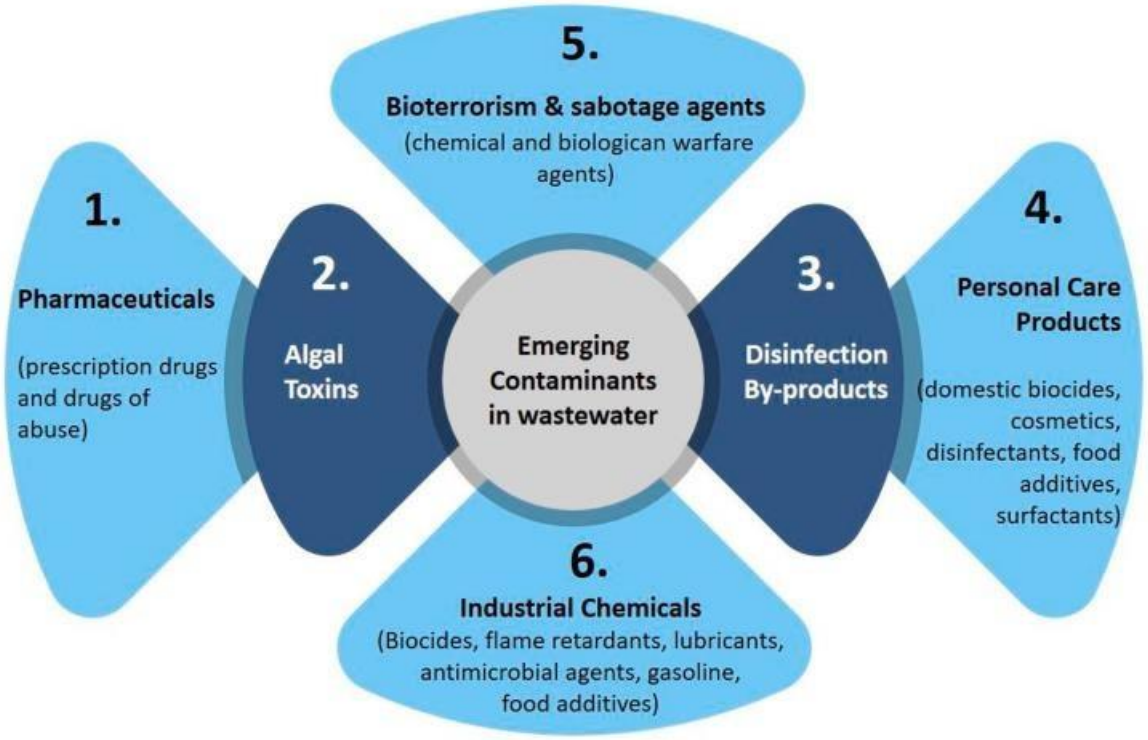



**Fig.6.** Classes et catégories de polluants émergents dans les eaux usées.

Tableau 2
Différents types de microbes avec leurs composés ciblés et leurs efficacités d'élimination respectives.

| **Micro-organimes** | **Composés ciblés** | **Efficacité d'élmination (%)** | **Références** |
|---|---|---|---|
| Ligninolytic enzymes from fungi (*Pleurotusostreatus* et *Sterenumhirsutum* ) | Toxic Environmental pollutants | 90 | Falade et *al* ., 2018 |
| Methylotrophicbacteria( Methylococcuscapsulatus , Methylomonassp . , Methylosinustrichosporium , Methylobacteriumextorquens , Methylobacillusflagellatus , Methyloteneramobilis , Methyloversatilisuniversalis ) | Chlorinated aliphatic | 95 | Russell et *al* ., 1992 |
| *Dehalococcoides spp* . , *Ochrobactrum spp* | trichloroethyleneTrichloroethylene( TCE ) 1,2 dichloroethane | 97 | Jing et *al* ., 2018 |
| *Rhodococcus spp* .et *Mycobacterium spp* . | Polychlorinated biphenyls (PCBs) Pesticides, | 95 | Haritash and Kaushik , 2009 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Hydrocarbons, Polyaromatic compounds | | |
| *Deinococcus radiodurans* | Solvents, Heavy metals, Highly radioactive nuclear waste. | 85 | Sadracian and Molace , 2009 |
| *Candida sphaerica* | Zinc compounds | 90 | Murali and Mehar , 2014 |
| *Peniphora incarnate* | Polyaromatic hydrocarbons(PAHs ) | 97.4 | Lee et *al* ., 2015 |
| *Scenesesmu ssp* . | Lead compounds | 83.5 -84.2 | Mustafa et *al* ., 2021 |
| *Pyrenoidosa* | Copper compounds | 83.14 | Mustafa et *al* ., 2021 |
| *D.olivaceus* | Phosphate compounds | 86.16 | Mustafa et *al* ., 2021 |

usines de traitement des eaux usées (Silva et al.,2011).Les PCP rejetés dans les plans d'eau comprennent des matériaux tels que des biocides, des détergents, des désinfectants, des savons et des nettoyants domestiques. Les produits pharmaceutiques et les pesticides pénètrent dans l'environnement en raison de leur utilisation dans le traitement des animaux et la lutte contre les ravageurs dans l'agriculture, tandis que l'excrétion humaine de médicaments non métabolisés et l'élimination des médicaments périmés dans les toilettes entraînent également une contamination. La présence de ces produits chimiques dans le cycle de l'eau, y compris l'eau potable, peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine, entraînant des anomalies de la reproduction, une augmentation du taux de cancer et de la résistance aux antimicrobiens (Ellis, 2006).

1.5. Les polluants hydrocarbures et leur dégradation

Les polluants liés aux hydrocarbures contiennent des produits pétroliers et leurs dérivés qui s'accumulent dans l'environnement par les marées noires et les eaux usées. Les autres sources de polluants d'hydrocarbures comprennent les effluents industriels, les composés d'hydrocarbures provenant des herbicides et des pesticides À usage agricole et pyrolyse de substances organiques (Kennish, 2017). Les hydrocarbures libérés La présence dans divers habitats affecte la santé des organismes et a un impact direct sur le cycle de vie des organismes et l'équilibre de l'écosystème (Arulazhagan et *al.*, 2017). La bioremédiation est une potentielle solution aux problèmes environnementaux causés par les hydrocarbures, qu'ils soient halogénés ou polycycliques. En raison de la nature toxique et cancérigène des HAP, ils sont classés parmi les polluants prioritaires (Sherafatmand et Ng, 2015). La

quantité de HAP dans l'environnement a augmenté en raison de l'incinération des déchets et des résidus agricoles et de la combustion des déchets forestiers (Arulazhagan et Vasudevan, 2011). Les polluants peuvent s'accumuler dans les sédiments en raison de leur hydrophobicité, car ils sont peu solubles dans l'eau. Les hydrocarbures aromatiques peuvent avoir une gamme d'effets néfastes sur micro-organismes et humains, y compris mutagènes, cancérigènes et tératogènes ou immunotoxiques effets. Les HAP ont une forte affinité toxique pour les macromolécules, notamment les protéines, l'ARN et l'ADN, ils peuvent donc entraîner des tumeurs qui affectent différents organes du corps humain, y compris la peau (Varjani, 2017). Les effets aigus comprennent une irritation des yeux et de la peau, ou des nausées, tandis que les effets chroniques comprennent des dommages aux organes internes, tels que les reins, les poumons et le foie. D'autres conséquences majeures dues à l'exposition aux polluants sont des défauts de développement de la croissance embryonnaire et un système immunitaire affaibli (Varjani et *al.*, 2017). Johnsen et *al.* ont défini les différentes méthodes par lesquelles les microbes dégradent les HAP (Johnsen et *al.*, 2005). Ces fonctions peuvent être décrites comme suit : a) la biodégradation par assimilation, qui produit du carbone et de l'énergie pour le microbe. b) Augmenter la solubilité des HAP par détoxification intracellulaire. c) Cométabolisme, où la dégradation des HAP ne nécessitent de l'énergie et génèrent du carbone pour le métabolisme des microbes. La dégradation microbienne implique souvent des réactions oxydatives. Une oxydoréductase, appelée oxygénase, intègre des atomes d'oxygène dans des substrats hydrocarbonés. Les monooxygénases intègrent un atome d'oxygène tandis que les dioxygénases ajoutent deux atomes d'oxygène aux substrats. Pour la dégradation des composés aromatiques par desmicro-organismes tels que les champignons et les bactéries, les composés oxygénés génèrent des intermédiaires tels que le protocatéchol et le catéchol (Harwood et Parales, 1996). Fuchs et *al.* étudié les procédés de conversion du benzoate pour catéchol chanter une enzyme 1,2-dioxygénase (Fuchs et *al.*, 2011). L'intermédiaire central formé est ensuite clivé à l'aide de la dioxygénase, conduisant à des intermédiaires du cycle de l'acide tricarboxylique (Harwood et Parales, 1996). Le mécanisme du métabolisme fongique des HAP en présence de « cytochrome P450 monooxygénase (Cresnar et Petric, 2011) associé à un époxyde voie hydrolase » et « système ligninolytique » suivent le même schéma (Kadri et *al.*, 2017). Les enzymes ligninolytiques peuvent dégrader et minéraliser les composés aromatiques puisque la lignine est composée de polymères aromatiques phénoliques. Une autre voie de catabolisme microbien des HAP utilise les champignons de la pourriture blanche en présence de lignine/Mn peroxydase. Dans le mécanisme de dégradation, les HAP sont convertis en

quinones, conduisant finalement à la formation de dioxyde de carbone (Giovanella et *al.*, 2020). Les micro-organismes extrêmophiles produisent également des enzymes qui peuvent être utilisées dans la dégradation des hydrocarbures (Kadri et *al.*, 2017). L'utilisation de microbes extrêmophiles pour la dégradation des hydrocarbures est une approche prometteuse pour l'avenir, car ils peuvent tolérer les conditions difficiles requises pour la purification industrielle. Pour le développement de nouveaux procédés de bioremédiation, il est fortement recommandé d'inclure des essais de toxicité afin d'évaluer l'efficacité du procédé dans

### *1.6.Élimination des contaminants organiques émergents par les microalgues*

Dans les années 1950, la technologie des algues a été proposée comme solution pour éliminer le carbone dissous et les nutriments des eaux usées pour leur assainissement (Arashiro et *al.*, 2020). La technologie des microalgues a joué un rôle majeur dans les technologies vertes. La biomasse issue de la culture de microalgues est lui-même utile et pourrait générer des revenus potentiels. De plus, la culture de microalgues dans de l'eau contaminée par des micropolluants pourrait réduire le coût de la fourniture de nutriments pour faire pousser des microalgues en utilisant les nutriments des eaux usées. En moyenne, 0,27 $ à 1,80 $ par kg peuvent être gagnés avec les précieux produits de la biomasse générés par la culture de microalgues lors du traitement des eaux usées (Vo et *al.*, 2020). Ce concept de récupération de la biomasse à partir du processus de traitement et d'obtention d'avantages économiques est la stratégie gagnant-gagnant et pourrait être appelé le concept « zéro déchet » (Xiong et *al.*, 2018). La principale motivation derrière l'utilisation des microalgues pour la remédiation des micropolluants est que leur métabolisme est plus flexible et adaptable aux conditions environnementales. Diverses espèces de microalgues ont été utilisées pour éliminer les contaminants émergents des eaux usées et l'efficacité de l'élimination des contaminants dépend de l'espèce de microalgues. Ainsi que sur le type de contaminant (Wang et *al.*, 2016). Certaines espèces de microalgues montrent une tolérance à la forte concentration de contaminants, par exemple *C. vulgaris* pourrait supporter une forte concentration de diazinon (Kurade et *al.*, 2016). Une survie similaire a été rapportée pour *C. vulgaris* dans eaux usées riches en organophosphorés (Megharaj et *al.*, 1994). Cela montre des taux de survie élevés de microalgues même dans l'environnement toxique créé par les polluants émergents. La présence de les contaminants émergents peuvent nuire à l'efficacité des microalgues (Prosenc et *al.*, 2021). Cependant, une stratégie d'adaptation peut être employée pour le traitement des eaux usées riches en contaminants. Pour une plus grande efficacité. Escapa et *al.* ont étudié l'efficacité de trois souches de microalgues, à savoir *C. sorokiniana*, *C. vulgaris* et *S. obliquus*

pour l'élimination du diclofénac des eaux usées par une stratégie d'adaptation (Escapa et *al.*, 2016). Sur les trois souches de microalgues, *S. obliquus* était signalé comme étant le plus efficace avec une efficacité de 79% d'élimination du diclofénac des eaux usées. Villar-Navarro et *al.* ont cultivé six espèces de microalgues *Nannochloropsisgaditana*, , *Pavlovalutheri*, *Isochrysisgalbana*, *Tetraselmischuii*, *Phaeodactylumtricornutum* et *Chaetoceros gracilis* en utilisant les eaux usées de l'élevage des poissons juvéniles. Il a été observé que ces espèces étaient capables d'éliminer le phosphore avec une efficacité de près de 100 % (Villar-Navarro et *al.*, 2021). Gao et *al.* ont cultivé *Chlorella Vulgaris* et *Secenedesmusobliquus* en mode discontinu, puis dans un photobioréacteur à membrane utilisant des eaux usées d'aquaculture et la productivité moyenne de la biomasse s'est avérée être de 42,6 mg L. L'azote total a été réduit à 86,1 % et le phosphate total à 82,7 % (Gao et *al.*, 2016). Les espèces de microalgues pour le traitement de divers polluants organiques émergents ainsi que leur efficacité d'élimination sont résumées dans le tableau 4. Vassallo et *al.* examiné l'élimination des hormones, des xénoestrogènes et des composés pharmaceutiques utilisant un système de couverture de boues anaérobies à haut débit (UASB-HRAP) utilisant une culture mixte de microalgues et a trouvé qu'il était très efficace avec des taux d'élimination allant de 64,8 % (ibuprofène) à 95 % % (estrone) (Vassalle et *al.*, 2020). Prosenc et *al.* Comparaison de *Chlorella vulgaris* et d'une culture mixte de microalgues et de bactéries dans une configuration à l'échelle du laboratoire pour éliminer 28 contaminants préoccupants des substances de la liste de surveillance de l'Union européenne (EU WL) qui comprennent des néonicotinoïdes, des produits pharmaceutiques et des produits de transformation sélectionnés (Prosenc et *al.*, 2021). Les auteurs ont conclu que l'efficacité d'élimination des produits pharmaceutiques et Les composés de la liste de surveillance de l'UE étaient comparables à *Chlorella vulgaris* et aux cultures mixtes d'algues et de bactéries, tandis que l'élimination du bisphénol était plus élevée avec des cultures bactériennes d'algues mixtes. Dans une autre étude, Nanda et *al.* cultivé *C. sorokiniana* pour l'élimination du micropolluant Pb(II) et la production simultanée de biocarburant (Nanda et *al.*, 2021). Les auteurs ont rapporté une réduction de 92% des niveaux de Pb (II) sur une période de 14 jours. Par conséquent, la technologie des microalgues a montré un potentiel et pourrait être une voie prometteuse solution dans l'élimination des micropolluants émergents.

Trois mécanismes majeurs, à savoir la bioadsorption, la bioaccumulation et la biodégradation, sont responsables de l'élimination des contaminants émergents des eaux usées, comme le montre la figure 3 (Sutherland et Ralph, 2019 ; Wang et *al.*, 2017 ; Xiong et *al.*, 2018). Dans le cas de la bioadsorption, les contaminants émergents sont soit adsorbés sur

la paroi cellulaire des microalgues, soit sur les substances excrétées par les microalgues (Saavedra et *al.*, 2018). La présence de groupes fonctionnels tels que carboxyle, phosphoryle et autres entraîne une charge négative sur la paroi cellulaire des microalgues (Xiong et *al.*, 2018). La structure chimique des contaminants émergents, l'hydrophobicité et les groupes fonctionnels présents dans les contaminants régissent la bioadsorption des contaminants. Les contaminants de nature hydrophobe et les charges positives sont adsorbés sur la cellule de la microalgue via des interactions électrostatiques et les contaminants à caractère hydrophile sont repoussés (Xiong et *al.*, 2017). La superficie de les microalgues disponibles pour l'adsorption jouent également un rôle important et déterminent la quantité de contaminant adsorbé (Norvill et *al.*, 2016). La bioaccumulation implique le transport de microalgues dans la cellule à travers la paroi cellulaire. Le transport des microalgues dans les cellules se produit de trois manières, à savoir la diffusion passive, la diffusion facilitée passive et l'absorption active. La diffusion passive des contaminants se produit en raison du gradient de concentration et de la diffusion des contaminants à travers les parois cellulaires d'une concentration plus élevée à une concentration plus faible. Une modification de la perméabilité de la paroi cellulaire peut également entraîner une diffusion passive accrue des contaminants. Cela peut se produire en raison de la dépolarisation ou de l'hyperpolarisation de la paroi cellulaire due aux contaminants. Liu et *al.* ont rapporté que le sulfonate d'éther polyfluoré chloré a augmenté la perméabilité des parois cellulaires des microalgues, ce qui a affecté la viabilité cellulaire (Liu et *al.*, 2018). De même, Rodea-Palomares et *al.* ont également signalé que la présence de perfluorooctano sulfonate et d'acide perfluorooctanoïque, lorsqu'ils sont exposés à la cyanobactérie Anabaena,CPB4337, entraîne l'effet toxique sur la cellule (Rodea-Palomares et *al.*, 2015). La bioaccumulation par diffusion passive facilitée implique la diffusion de contaminants émergents dans la cellule à l'aide de protéines de transport qui interviennent dans le transport des particules polaires molécules dans la cellule. Le troisième mécanisme de bioaccumulation est l'absorption active de contaminants émergents qui nécessite de l'énergie. Dans le cas d'une absorption active, les contaminants émergents se déplacent généralement d'une concentration plus faible à une concentration plus élevée. La biodégradation des contaminants émergents à l'aide de microalgues est l'une des approches les plus prometteuses pour la remédiation de contaminants. La bioadsorption et la bioaccumulation concentrent les contaminants émergents ou les éliminent de la solution aqueuse, mais le composé toxique est toujours présent. En revanche, la biodégradation transforme les contaminants complexes en contaminants plus simples et idéalement moins toxiques molécules par dégradation. La

biodégradation des microalgues implique principalement deux mécanismes, à savoir dégradation métabolique et co-métabolisme. Au cours de la dégradation métabolique, les contaminants émergents agissent comme source de carbone ou de donneur/accepteur d'électrons pour les microalgues, tandis que dans le cas de co-métabolisme les enzymes dégradent les contaminants émergents (Tiwari et *al.*, 2017). Le processus de biodégradation se produit de manière intracellulaire, extracellulaire ou une combinaison des deux.

Tableau 3
Remédiation microalgale des polluants organiques émergents dans l'eau et l'eaux usées.

| **Espèces** | **Polluant** | **Type de polluant** | %**Traitement** | **Références** |
|---|---|---|---|---|
| *Scenedesmus obliquus* | Diclofenac | Pharmaceutical | 79 | Escapa et *al* ., 2016 |
| *C. pyrenoidosa* | Cefalexin | Antibiotic | 94.9 | Guo and Chen, 2015 |
| *P.capillacea* | Bisphenol | Emerging pollutant | 97.12 | Din et *al* ., 2017 |
| *Cymbellasp* | Naproxen | Pharmaceutical | 97.1 | Ding et *al* ., 2017 |
| *C. sorokiniana* | Paracetamol | Pharmaceutical | 67 | Escapa et *al* ., 2017 |

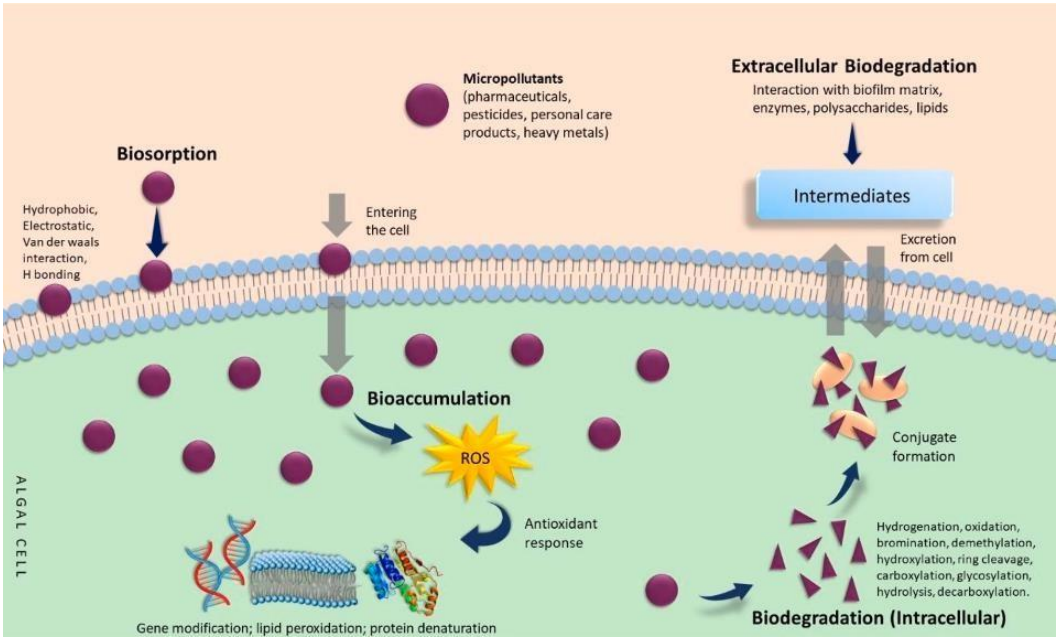



**Fig.7.** Mécanismes illustratifs d'élimination des micropolluants par les microalgues avec le processus de bioadsorption, de bioaccumulation et de dégradation intracellulaire et extracellulaire.

La dégradation dépend respectivement de la bio-absorption des contaminants dans la cellule et de l'excrétion des enzymes dans le milieu environnant. La biodégradation dépend également de la souche de microalgues, des conditions de traitement et des types de

contaminants (Maryjoseph et Ketheesan, 2020). La biodégradation n'entraîne parfois pas l'inactivation complète des contaminants émergents et produit des produits toxiques. Par exemple, dans le cas des contaminants émergents oestrogéniques Le 17α-estradiol (E2α), le 17β-estradiol (E2β) et l'estrone (E1) peuvent être convertis de l'un à l'autre Forme (Zhang et *al.*, 2014). Les auteurs ont signalé que les œstrogènes étaient dégradés en d'autres Produits ayant une activité similaire. De même, Tadros et *al.* ont constaté que la transformation de trinitrotoluène, 2,4-dinitrotoluène et 2,6-dinitrotoluène conduit à des intermédiaires hydroxylamino qui ont exercé un effet néfaste sur Selen astrumcapricornutum (Tadros et *al.*, 2000).

### *1.7.Notre microalgues de choix : la Spiruline*

#### *1.7.1.Toxicité*

La Spiruline n'est pas toxique car elle n'a pas les gènes qui assurent la synthèse des toxines de cyanobactéries [10]. Des tests d'alimentation indépendants en France, au Mexique et ~~le~~ au Japon n'ont pas montré ~~de~~ des résultats inattendus et aucun cas avéré d'intoxication par la Spiruline n'a été rapporté sur les humains, les rats, les porcs, les poulets, les poissons et les huîtres. [22]

Malgré que ce micro-organisme en termes généraux ne dépasse pas les limites de concentration en métaux recommandées par les organismes internationaux, le contrôle de la qualité optimale de l'environnement et le suivi périodique de cette culture des cyanobactéries est nécessaire pour détecter les concentrations élevées de métaux en raison de l'utilisation d'engrais et de la possibilité de pollution de l'eau [41].

#### *1.7.2. Reproduction*

La reproduction est végétative, c'est à dire asexuée, et s'effectue par scission simple, par fragmentation de filament. Le cycle biologique de la Spiruline selon Ciferri [42] passe par les étapes suivantes (Figure I.4) : un filament en maturité forme des cellules spéciales appelées nécridies, au niveau de ces cellules le trichome se fragmente. Les cellules nécrologiques se distinguent par leur forme biconcavante et le manque de pigments. Après fragmentation de filament, les cellules ou les chaînes courtes de cellules environ 2-8 cellule, les cellules fragmentées deviennent par division successive ce que n'appelle une ''hormogonie'', [42, 43]. Ces dernières sont très mobiles et donnent naissance à un nouveau trichome par fission binaire. Elles croissent en longueur et prennent la forme typiquement des filaments non ramifies. Dans les conditions expérimentales, le temps de génération maximal de la spiruline est voisin de 7 h dans le cas où les conditions sont favorables [28].

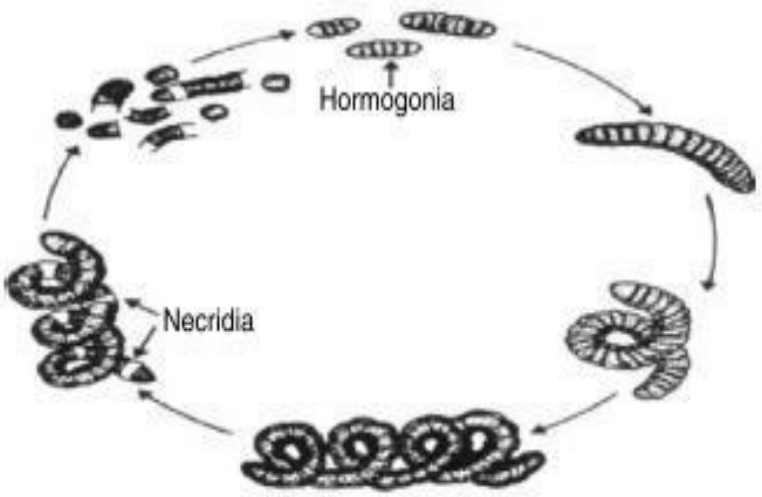



**Fig.8.** Cycle biologique de la Spiruline [42].

*1.7.3.Composition chimique*

*1.7.3.1.Protéines*

La biomasse de la Spiruline contient une teneur en protéines élevée. Elle représente 10 à 11% de la masse humide, soit 60 à 70% de sa matière sèche.

*1.7.3.2.Glucides*

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche des spirulines. L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosannes aminés (1.9% du poids sec) et des rhamnosannes aminés (9.7%) ou encore de glycogène (0.5%) .

*1.7.3.3.Lipides*

La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés. La composition des principaux acides gras révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels, incluant des oméga-3 et des oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme.

*1.7.3.4.Vitamines*

La Spiruline est une algue vitaminée. Elle est la deuxième source de vitamine B1 après la levure de bière. Elle contient aussi une concentration relativement élevée en provitamine A, vitamine B 12 et β-carotène.

*Minéraux et oligoéléments*

Les minéraux les plus intéressants chez la Spiruline sont le calcium, le magnésium, le phosphore et le potassium. Les trois premiers minéraux cités sont présents dans la Spiruline à des teneurs comparables à celles trouvées dans le lait. Les oligo-éléments présentant le plus d'intérêts dans la Spiruline sont le fer, zinc et le sélénium.

*Pigments*

La spiruline est riche en pigments responsables de sa couleur, principalement la phycocyanine et la chlorophylle. La phycocyanine représente plus de 15 % du poids frais et plus de 20 % du poids sec de l'algue [47-48]. La chlorophylle est présente en proportion de 9-15 g/kg.

*1.7.4.Usages de la Spiruline*

*Arthrospira* est le procaryote phototrophique le plus cultivé en tant que complément alimentaire, est également utilisé comme source d'aliments pour animaux et de produits chimiques fins. Il est aussi exploité comme agent thérapeutique selon Belay et ses coauteurs.

*1.7.5.Approche nutritionnelle*

La Spiruline est connue pour sa richesse en protéines, qui constituent entre 50 et 70% de son poids sec. Ces protéines ont en plus l'avantage d'être facilement assimilable par l'organisme, ce qui évite l'emploi de la cuisson qui altère les nutriments et les vitamines. Les acides aminés essentiels représentent 47% du poids total des protéines.

La digestibilité de la Spiruline est en plus accrue par l'absence de paroi cellulosique dans la cellule, remplacée par une enveloppe de muréine fragile.

L'efficacité protéique, (REP), d'un aliment est déterminée par le rapport : gain de poids de l'animal ou de l'individu par rapport au poids des protéines ingérées. La protéine de référence est souvent la lactalbumine ou bien la caséine, laquelle présente un REP de 2.5. La Spiruline seule, au cours d'expériences menées sur le rat, a un REP de 1.9, tandis qu'accompagné de riz dans une proportion égale, cette valeur s'élève à 2.4.

Les lipides totaux représentent 5.6 à 7% du poids sec de la spiruline, parfois jusqu'à 11% selon le système d'extraction utilisé. Ils se subdivisent en fraction saponifiable (83%) et en fraction insaponifiable (17%). Les acides gras font partie de la première fraction : l'acide **α**-linolénique en constitue 10 à 20% chez *Spirulina maxima* et jusqu'à 40% chez *Spirulina platensis*, soit jusqu'à 1.6-3.5% de son poids sec total. La Spiruline figure ainsi parmi les meilleures sources d'acide gras essentiel, avec quelques huiles végétales peu connues, telles que l'huile d'onagre, de bourrache, de cassis.

Rappelons que ces acides gras sont des précurseurs des prostaglandines qui jouent le rôle de médiateurs chimiques dans les réactions inflammatoires et immunitaires. Une déficience prolongée en ces acides gras peut être à l'origine de thrombose, d'arthrite, d'accidents vasculaires cardiaques et cérébraux. Parmi les éléments minéraux contenus dans la Spiruline, le fer est sans doute le plus parlant. Les carences en fer à l'origine de l'anémie sont très répandues, surtout chez les femmes enceintes et les enfants, et lorsque les bonnes sources alimentaires de fer sont rares. Les céréales complètes, classées parmi les meilleures sources de fer, n'en contiennent que 150 à 250 mg par kg. En plus, elles sont riches en acides phytique et en polymères phosphatés qui limitent fortement la biodisponibilité de leur fer. D'autre part, les suppléments sous forme de sulfate ferreux deviennent toxiques à forte dose et causent quelquefois des diarrhées. Dans le cas de la spiruline, la biodisponibilité du fer a été démontrée tant chez le rat que chez l'homme.

*1.7.6.Culture de la spiruline*

Ce qui distingue le genre *Arthrospira* des autres cyanobactéries, c'est le milieu naturel où elles vivent. En effet, la Spiruline est un organisme ubiquiste et thermophile. Elle est trouvée dans des milieux ayant une concentration de 8,5 à 270 g/L de sel riches en carbonate de sodium, bicarbonate de sodium,… [33]. La Spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes tropicales du monde entier, principalement, dans les lacs alcalins d'Afrique autour du Tchad (*Arthrospira platensis*) et d'Amérique dans la vallée de Texcoco au Mexique (*Arthrospira geitleri ou Arthrospira maxima*). Elle a des conditions environnementales très contraignantes qui excluent la plupart des autres êtres vivants. De plus, le développement des spirulines dans ces milieux contribue encore à renforcer l'effet d'exclusion, par les trois phénomènes suivants [4,18] :

- Par consommation des carbonates et bicarbonates de son milieu, la spiruline tend à augmenter l'alcalinité de celui-ci ;
- Ses filaments pigmentés et flottants forment un écran qui prive de lumière solaire les rares algues qui pourraient s'accommoder du milieu de culture (exemple de la chlorelle, microalgue comestible pouvant proliférer dans des cultures de spirulines trop peu concentrées) ;
- En sécrétant des molécules qui s'avèrent actives contre une vaste gamme de bactéries.

*1.7.7.Distribution géographique*

A l'état naturel, la spiruline est retrouvée dans des lacs de la ceinture intertropicale du globe terrestre. Ces lacs sont situés approximativement entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud. Ils sont peu profonds et agités par des vents légers. D'autres endroits sont possibles, notamment partout où vivent le flamant nain (Afrique et Asie) et le flamant de James, *Phoenicoparrus jamesi* (Amérique du sud) [17, 22].

# 2 MATERIELS & METHODES

# 2.MATERIELS & METHODES

## *2.1Produits*

La souche *Arthrospira platensis* d'origine de Tamanrasset (variété propre à la région). La souche a été cultivée dans le milieu de culture Zarroak; Paracetamole (99%), diclofinac(99.46 %), ampicilline(87.47%), Ibuprofène Standard (99 , 34%), penecilline.g.sodique(97.54%), Sulfaméthoxazole(99.84%), triméthoprime(99.69%), néomycine(>99%), $NaHCO_3$ , $K_2HPO_4$ , $NaNO_3$ , $K_2SO_4$, NaCl , $MgSO_4(7H_2O)$ , $CACL_2$, $FeSO_4(7H_2O)$, EDTA , $H_3BO_4$, $MnCl_2.4\ H_2O$, $ZnSO_4.7\ H_2O$ , $CuSO_4.7\ H_2O$, $MoO_3$, Milieu Zarrouk.

## *2.2 Matériels*

Autoclave de marque OTO12 ; Bec Bunsen ; Etuve de maque memmert; Microscope optique de marque optika microscopes; Réfrigérateur de marque Liebherr ; Spectrophotometer de marque 2005J.Pselecta.sa; Agitateur de mareque Agimatic-N; Balance de Kern ; micropipette 100-1000µl ce marque EASY AOT; pH mètre de marque pH-2005-pH Meter ; Luxmètre de type 1308SI ; FTIR Spectroscopy Tensor II (Bruker) ;thermostat .

## *2.3 Méthodes*

### *2.3.1 Préparation de biomasse algale*

Le matériel biologique utilisé dans ce travail est l'algue bleue verte : *Arthrospira platensis* appartenant à la classe des cyanobactéries. La souche a été aimablement fournie en culture dans des flacons de 500 ml, par le laboratoire de faculté des sciences de biologie de l'Université de Yahia Farès (Médéa) ; Sous des conditions de culture bien précis. La souche est d'origine algérienne de wilaya de Tamanrasset, a été cultivée dans un milieu de culture enrichi par les éléments minéraux nécessaires à la croissance dans des flacons de 500 ml, maintenues dans des conditions d'éclairement, de température et de débit d'air identiques. Un éclairage permanent est assuré à l'aide d'une lumière blanche par lampe fluorescent. La température est maintenue à une valeur optimale de 32°C (±1°C) à l'aide

de thermostats réglables. L'agitation des cultures est assurée par barbotage d'air à l'aide de pompes à air avec un débit de 3L/min.



Fig .2.1. Biomasse algale

### *2.3.2. Préparation de milieu de culture*

Le milieu de culture doit contenir tous les éléments nécessaires à la croissance de la spiruline et au bon développement de celle-ci. Il est conservé à l'abri de la lumière à pH égal à 9.5. Sa composition est donnée dans le tableau.

Le milieu Zarrouk préparé est stérilisé à l'autoclave à 120°C pendant 20 minutes.

Tableau 2.1
Composition chimique du milieu Zarrouk (Zarrouk, C, 1966).

| Composé | Concentration ($g.L^{-1}$) |
|---|---|
| $NaHCO_3$ | 16,8 |
| $K_2HPO_4$ | 0,5 |

| | |
|---|---|
| $NaNO_3$ | 2,5 |
| $K_2SO_4$ | 1 |
| NaCl | 1 |
| $MgSO_4(7H_2O)$ | 0,2 |
| $CaCl_2$ | 0,04 |
| $FeSO_4(7H_2O)$ | 0,01 |
| EDTA | 0,08 |

Les compositions ci-dessus, on a ajouté I ml de chacune des solutions d'oligo-éléments A5 et B6.

Tableau 2.2

Composition chimique de la solution A5(Zarrouk, C. 1966).

| Oligo-éléments | Concentration ($g.L^{-1}$) |
|---|---|
| $H_3BO_4$ | 2,86 |
| $MnCl_{12}.4\ H_2O$ | 1,80 |
| $ZnSO_4.7\ H_2O$ | 0,22 |
| $CuSO_4.7\ H_2O$ | 0,08 |
| $MoO_3$ | 0,01 |

Tableau 2.3

Composition chimique de la solution B6

| Oligo-élément | $10^4$ x Concentration ($g.L^{-1}$) |
|---|---|
| $K_2Cr(SO_4).24H_2O$ | 960 |
| $NiSO_4.7H_2O$ | 477 |
| $Ti(SO_4)_3$ | 400 |
| $NH_4VO_3$ | 229 |
| $Co(NO_3)_2.6H_2O$ | 44 |

### *2.3.3 Suivi de biomasse*

#### *2.3.3.1 Suivi analytique par spectroscopie UV-Vis*

Cette tache a comme objectif de focaliser l'adaptation et la croissance de la biomasse. La longueur d'ode de lecture est $\lambda max = 620\ nm$.

#### *2.3.3.2 Suivi morphologique par microscopique optique*

L'observation microscopique de spiruline permet de vérifier l'état de culture et l'étape de croissance, ainsi pour mettre en évidence la mobilité et faire une approche sur la morphologie. Cet examen se réalise en déposant sur une lame porte-objet une goutte de culture de la souche *Arthrospira platensis* à examiner, cette goutte est recouverte d'une lame couvre-objet. La préparation est examinée à l'objectif à immersion (100x), après dépôt d'une goutte d'huile à immersion.

#### *2.3.3.3 Suivi morphologique par Microscope électronique à balayage*

Cette analyse sert à visualiser notre biomasse a l'échelle microscopique.

#### *2.3.3.4 Suivi spectrale par IR*

Cette analyse sert à proposer un mécanisme de bioremédiation des polluants émergents de choix par notre microalgue. Par d'autre façon, on propose le devenir de polluant émergent lors de bioremédiation par la biomasse.

### *2.3.4 Suivi de biomédiation de polluants émergents*

La méthode sert à réaliser la bioremédiation des polluants émergents en batch dans des tubes a essaies. Tel que, il y a sept paramètres ont été optimisés : dose de biomasse, pH, température, la lumière, dose de polluant et le temps de contact. Apres un durée de traitement fixe, le mélange biomasse + polluant émergent doit être filtrer et analysé par HPLC (voir la figure 2.2). Le rendement de bioremédiation de polluant émergents est calcule par la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{(H_I - H_F)}{H_I} \times 100$$

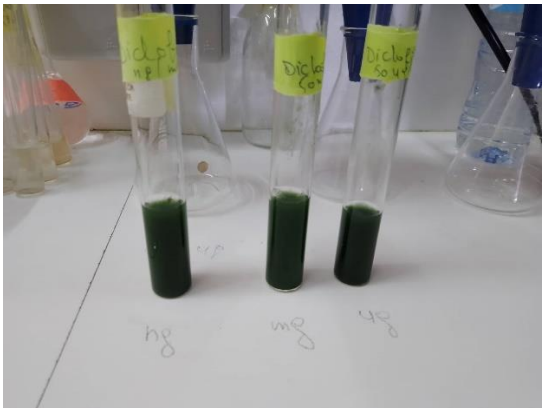
Ou,

$H_I$ : Hauteur initiale (Standard) de polluant émergent

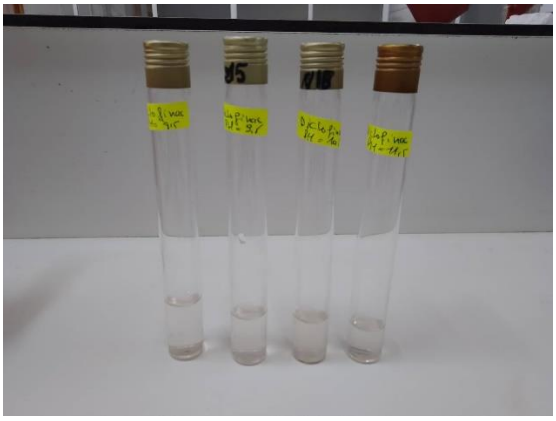
$H_F$ : Hauteur finale de polluant émergent



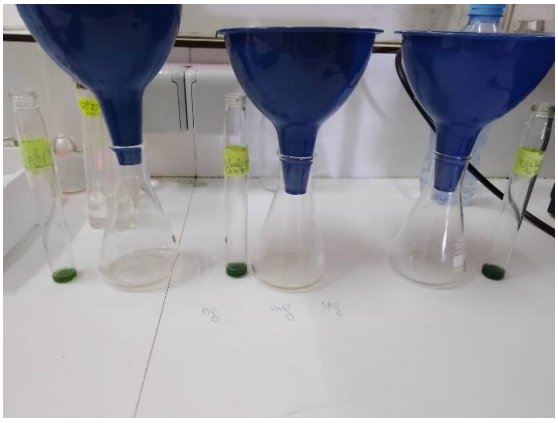
Montage de bioremédiation



Mélange biomasse/PE



Filtrat



Séparation de mélange biomasse/PE

Fig. 2.2. Etapes de bioremédiation des polluants émergents

# CHAPITRE 3. RESULTATS & DISCUSSION

# 3.RESULTATS & DESCUSSION

Les résultats et la discussion de cette travail est basée sur trois principaux points :

1. *Tester la faisabilité de bioremédiation de 5 polluants émergents : Ampicilline, Diclofinac, Ibuprofene, Pénicilline et Sulfamethazole.*
2. *Proposer un mécanisme de bioremédiation de PE.*
3. *Optimiser les 6 paramètres affectant le procédé de bioremédiation de trois PEs : Diclofinac, Ampicilline et Sulfamethazole par la biomasse algale Arthrospira platensis. Les paramètres qu'ils sont optimisés sont : concentration de biomasse algale, pH, température, densité de lumière, concentration de PEs et le temps de traitement. Le choix de paramètre optimum base sur deux critères quantitatifs : le rendement de bioremédiation "R", variation de la croissance de biomasse algale : "ΔA" et une critère qualitative présenté par le suivi de la morphologie de biomasse par le microscope optique lors de la variation de chaque paramètre.*

## *3.1 Faisabilité de bioremédiation de polluants émergents*

Selon la figure 3.1, le rendement de bioremédiation de cinq PEs est important tel que la valeur minimale de R est de l'ordre de 18,66 % pour l'ibuprofène et la valeur maximal est de l'ordre de 90,72% pour le diclofénac. Ce résultat a été démontré par les résultats de la figure 1, tel que, il y a une adaptation de biomasse algale vis-à-vis la source de carbone qu'il est le PE et cette adaptation s'apparaitre par la croissance de biomasse (voir la figure 3.1).

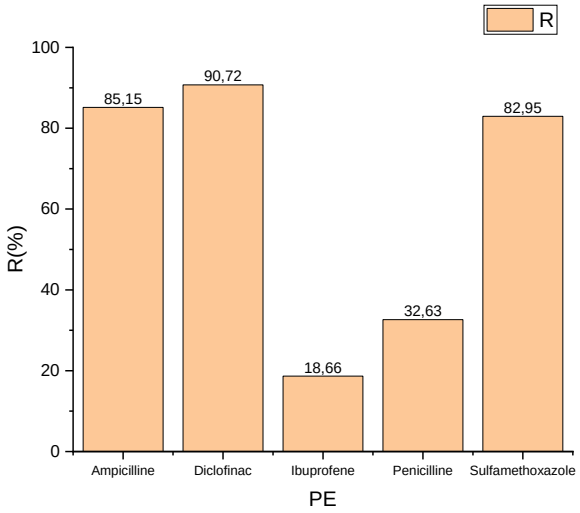


Fig 3.1. Performance de notre biomasse a bioremédier les polluants émergents pharmaceutiques. *Concentration de biomasse =50%; pH =9.5 ;T=25 °C ; lumière =1000 Lux ; concentration de polluant =50 mg/L ; temps de traitement= 7 Jours; VMR=10 mL.*

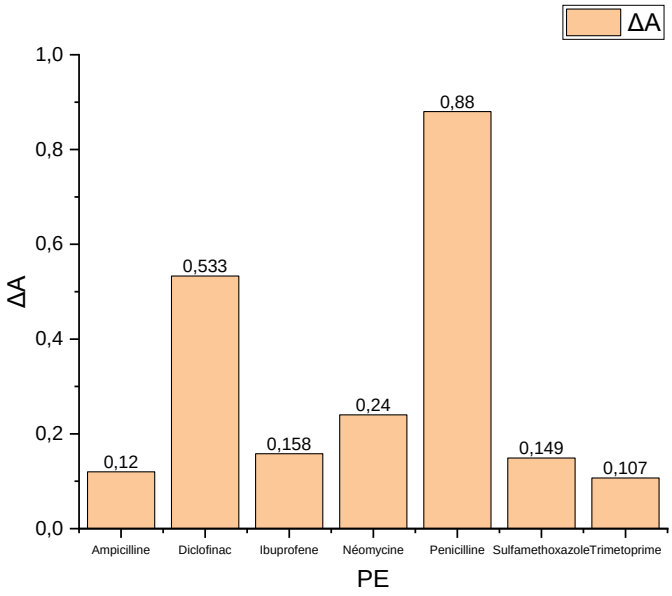



Fig 3.2. Croissance de biomasse en présence de PEs.

*Concentration de biomasse =50%; pH =9.5 ;T=25 °C ; lumière =1000 Lux ; concentration de polluant =50 mg/L ; temps de traitement= 7 Jours; VMR=10 mL.*

### *3.2 Mécanisme d'élimination des PE*

#### *3.2.1 Caractérisation par IR*

La suite de travail sert à tester la bioremédiation de trois PEs : diclofinac, ampicillin et sulpamethoxale. Selon les figures 3.3-3.5 , il y a un seul spectre claire qu'il est de diclofénac. D'après l'analyse spectrale d'infrarouge de trois échantillons : biomasse, diclofénac et biomasse+ Diclofénac, il n'a aucune apparition de nouvel pic dans le spectre de biomasse due au bioremédiation de Diclofénac. Pour cette raison on peut proposer un seul mécanisme qu'il est **biodégradation** (voir la **Fig. 3.3.**).

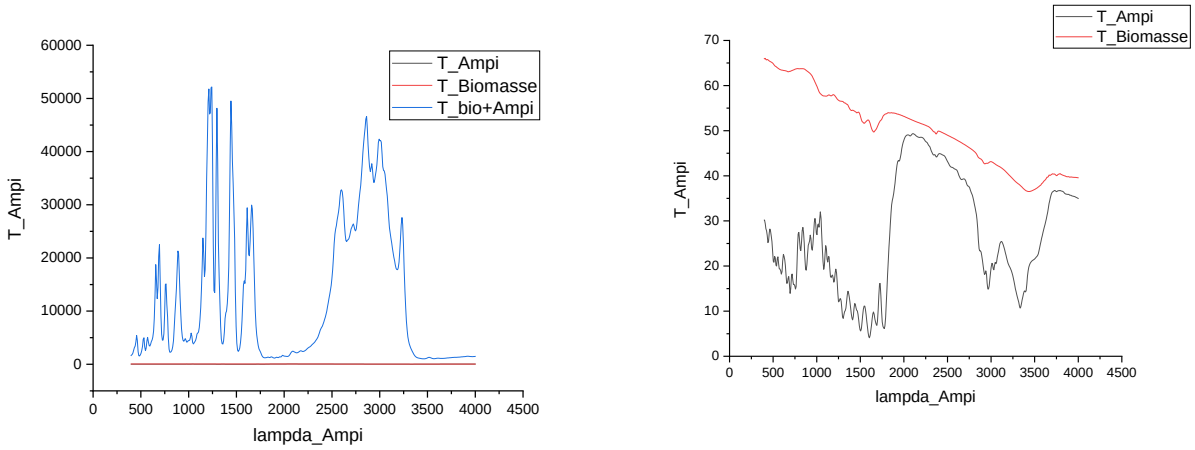
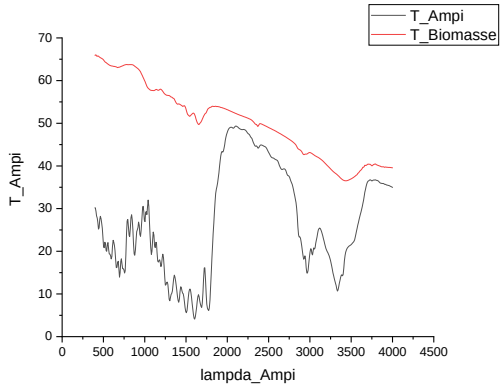



*Fig.3. 3. Spectre IR de biomasse, Ampi et biomasse +Ampicilline*



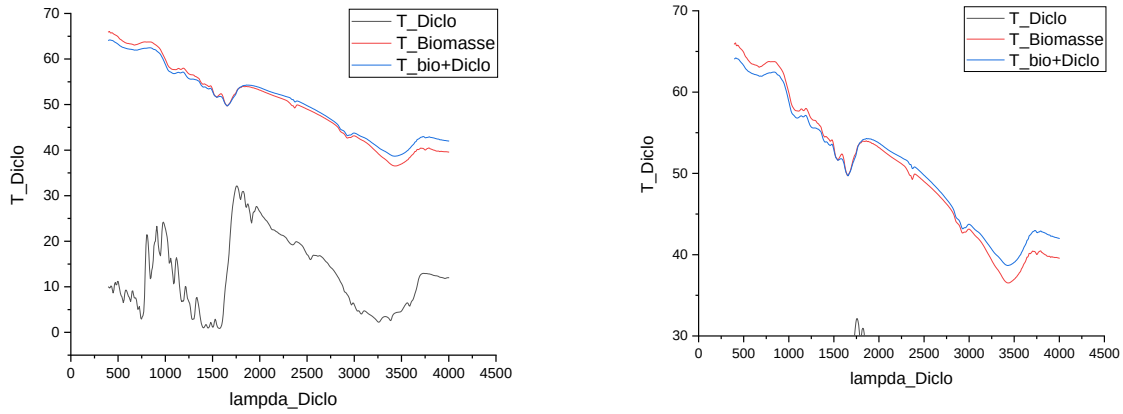



*Fig .3.4. Spectre IR de biomasse, Diclo et biomasse +Diclofinac*

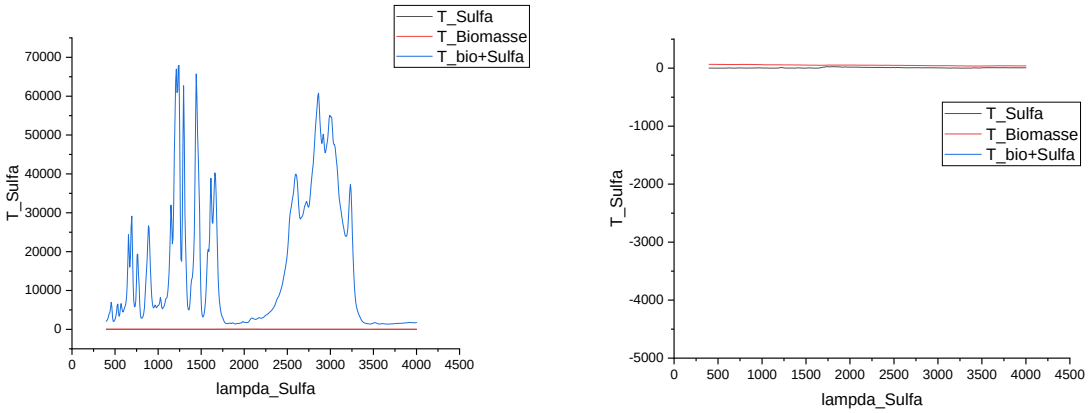



*Fig .3.5. Spectre IR de biomasse, Sulfa et biomasse +Sulfa*

### 3.3. Effet de la dose de biomasse

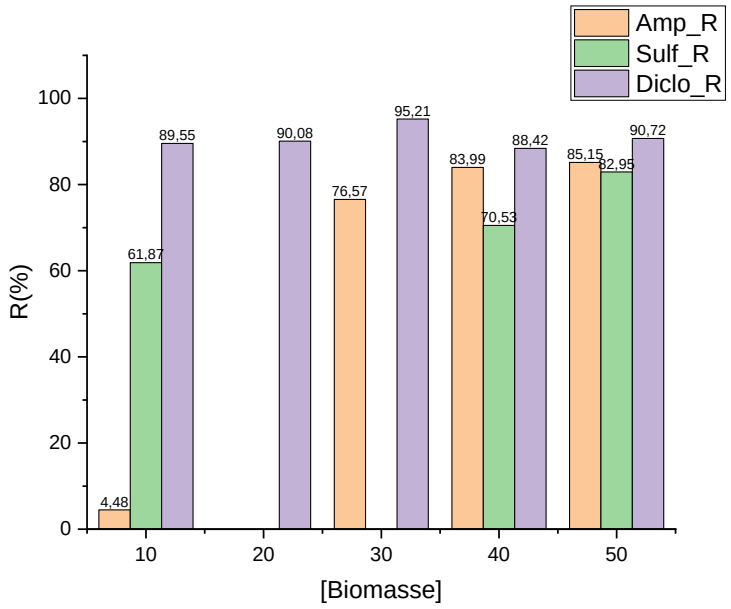



*Fig .3.6. Effet de dose biomasse sur le rendement*

*Concentration de biomasse =10, 20,30, 40, 50%; pH =10.32 ; T=25 °C ; lumière = 1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L; temps de traitement= 7 Jours; VMR=10 mL*

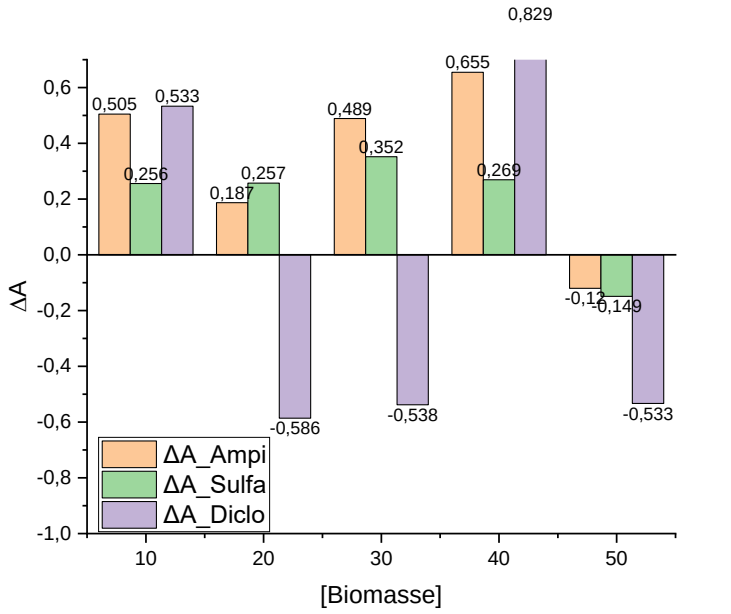



*Fig .3.7. Effet de dose biomasse sur la croissance de biomasse*

*Concentration de biomasse =10, 20,30, 40, 50%; pH =10.32 ; T=25 °C ; lumière = 1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L; temps de traitement= 7 Jours; VMR=10 mL*

Selon les résultats indiqués par la figure 3.8, le rendement maximal est obtenu pour la dose de biomasse 50%, on considère cette valeur comme la valeur optimale pour la biodégradation de PE.

### *3.4 Effet du pH*

Selon les résultats indiqués par la figure 3.8, le pH optimum est entre 8,5 et 9,5 tel que le rendement est attenu 90%. Tel que la croissance de biomasse est optimum est dans l'ordre de 1,015. La morphologie de spiruline est observée au microscope optique à différente grossissement X10, X40 et X100, les observations obtenues pour les trois polluants émergents : diclofinac, ampi et sulpha. sont présente dans la figure ci-dessous, selon les photos on constate qu'aux pH entre 8.5 et 9.5 est mieux adapte pour la spiruline de fait que les filaments de spiruline n'ont pas affecté ce pH. Par contre que pour le pH 8.5 ; 10.5 et 11.5 on constate apparition des lésions au niveau des filament est lyse cellulaire, ces derniers peuvent due à effet amplifie impose par pH et les PEs conduit à la perturbation de la physiologie et la biosynthèse des enveloppes cellulaire.

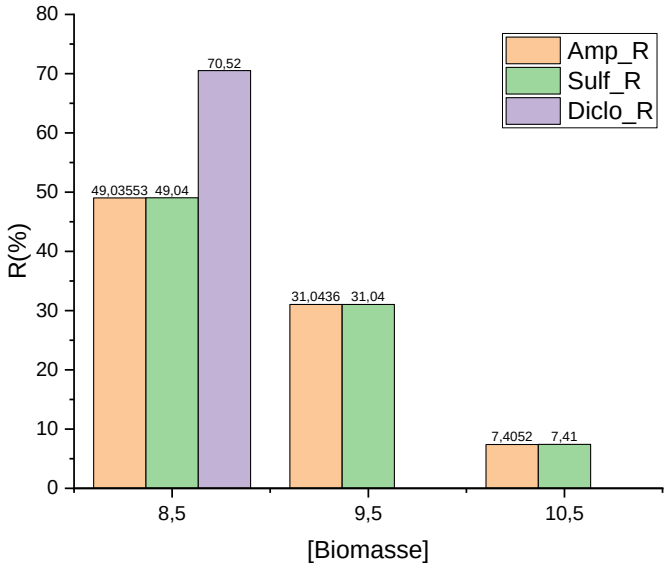



*Fig .3.8. Effet de pH sur le rendement*

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50 mg/L; pH = 8.5 / 9.5 /10.5 /11.5; T= 25 °C; lumière = 1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L ; temps de traitement= 7jours; VMR=10 mL.*

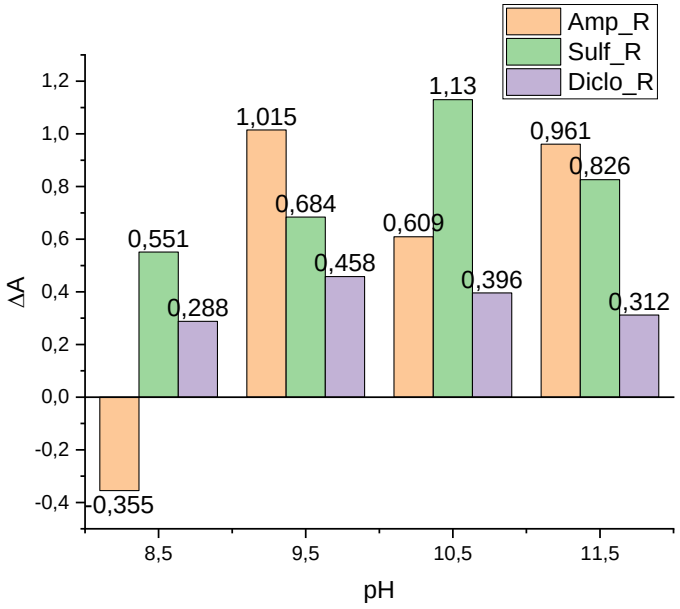



*Fig .3.9. Effet de pH sur la croissance de biomasse*

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50 mg/L; pH = 8.5 / 9.5 /10.5 /11.5; T= 25 °C; lumière = 1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L ; temps de traitement= 7jours; VMR=10 mL.*

## *3.5 Température*

Selon les résultats présentés par la figure 3.10 ci-dessous, la valeur optimum de la température est l'ordre de 30 °C qu'elle correspondant à la valeur maximale de rendement (98%). Ce résultat a été démontré par les résultats de morphologie. Tel que, selon les observations on constate que la température 30°C est meilleur pour la bonne conduite de culture spiruline, de fait que les filaments de spiruline n'ont pas affecté cette température. A 35°C en observe dépigmentation des filaments, et libération de contenue cellulaire pour tous les antibiotiques testés. Ces résultat été expliqué par la photolyse de la biomasse qui affecte les systèmes photosynthèse au premier rang le chlorophylle '(VANSHAC.2002 )

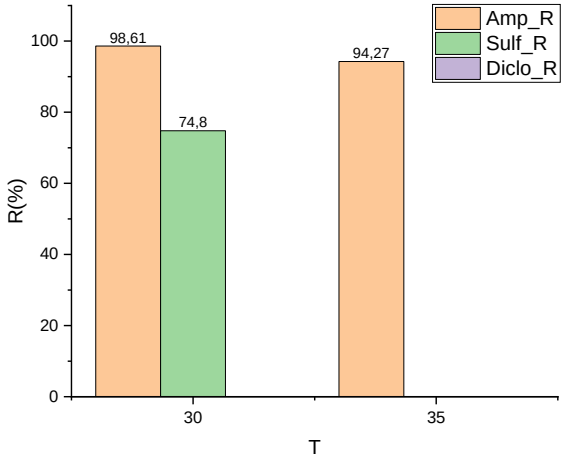



*Fig 3.10.* Effet de température sur le rendement de bioremédiation

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50%; pH =10.5 ;**T**= 25/30/ 35 /39 °C; lumière =1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L; temps de traitement= 7 Jours; VMR=10 mL.*

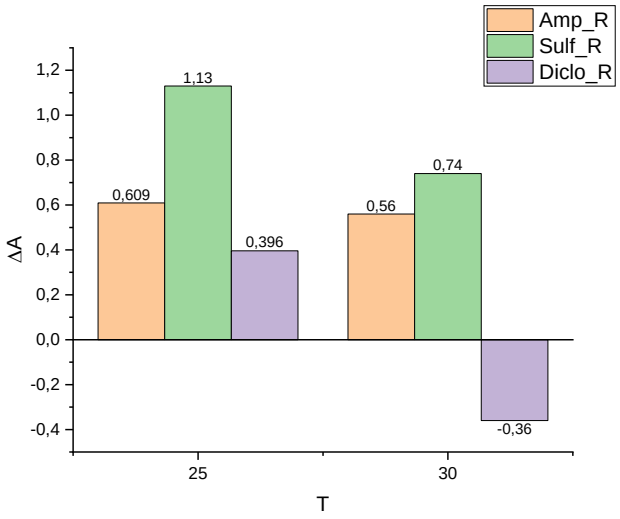



*Fig 3.11.* Effet de température sur l'accroissance de biomasse

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50%; pH =10.32 ;**T**= 25/30/ 35 /39 °C; lumière =1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L; temps de traitement= 7 Jours; VMR=10 mL.*

### *3.6 Effet de la lumière*

Selon les images morphologiques de la biomasse algale présenté par la figure , la biomasse algale a été hydrolysé et perdu sa forme en d'hors de la densité lumineuse 1000 Lux. Cette résultats ont été démontré par la croissance de biomasse dans cette valeur (voir la figure 3.12). Donc la valeur optimale de la densité optique est 1000 Lux .

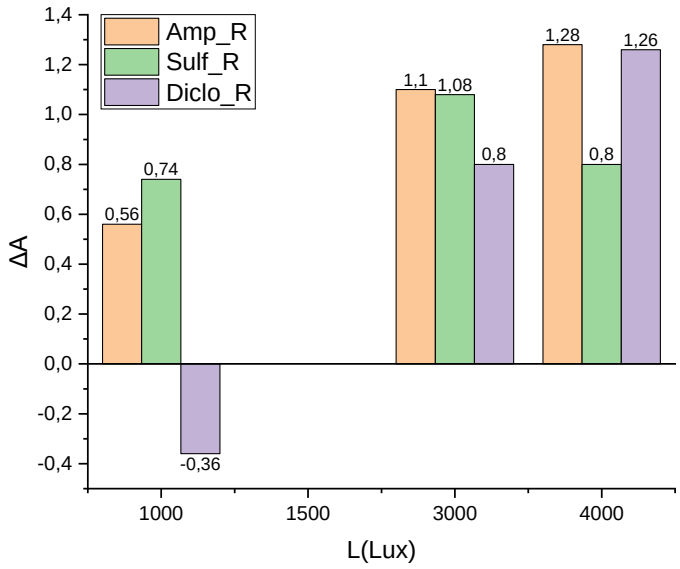



Fig 3.12. Effet de la lumière en la croissance de biomasse algale

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse = 50%; pH =10.32 ; T= 30 °C; lumière =1000 Lux ; concentration de polluant = 50 mg/L ; temps de traitement= 7jours ; Lumière : 1000/1500 / 3000/ 4300 Lux*

### *3.7 Concentration de polluant*

Les résultats indiqués par les figures  montre l'adaptation de notre biomasse algale vis-à-vis tous l'échelle de concentration milli, micro et nano gramme par litre,

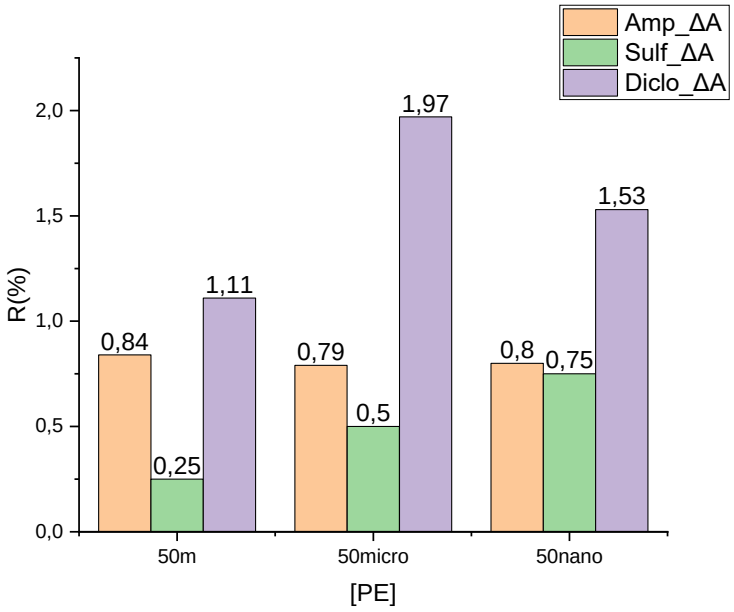



Fig 3.13. Effet de la concentration de polluant sur le rendement

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50 %; pH =10,5 ;T= 30°C ; lumière = 1000 Lux; concentration de polluant = 50 mg/L ; 50 µg/L ; 50 ng/L ; temps de traitement= 7 Jours ; VMR=10 mL*

*3.8 Effet de temps*

D'après les images obtenues par microscope optique, la biomasse algale est de bonne forme entre 7 jours d'incubation avec les PEs.

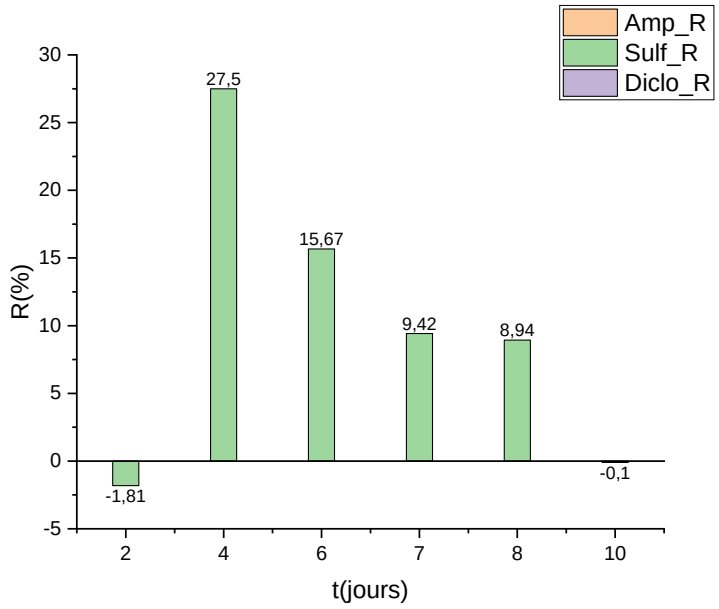



Fig 3.14. Effet de temps de contact sur le rendement

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50% ; pH =10.5 ; T= 30 °C ; lumière = 1000 Lux ; Concentration de polluant = 50 mg/L ; 50 µg/L ;50 ng/L ; temps de traitement= 2-10 jours*

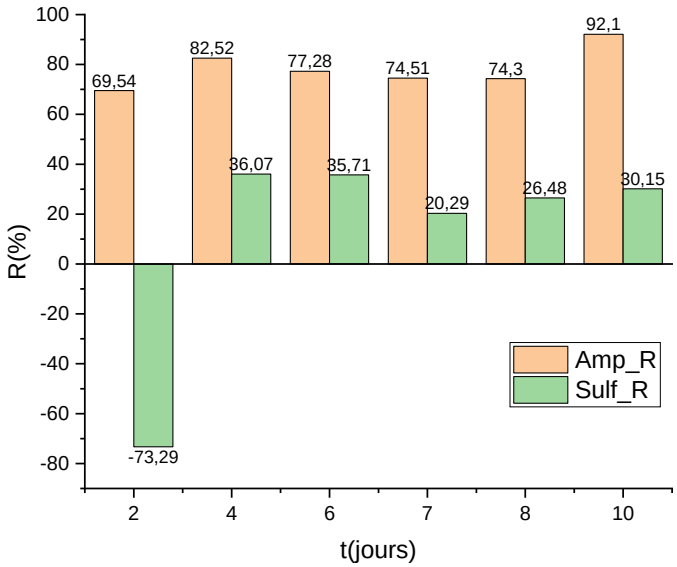



Fig 3.15. Effet de temps de contact sur le rendement

*Conditions opératoires. Concentration de biomasse =50% ; pH =10.5 ; T= 30 °C ; lumière = 1000 Lux ; Concentration de polluant = 50 mg/L ; 50 µg/L ;50 ng/L ; temps de traitement= 2-10 jours*

# CONCLUSION GENERALE

Notre contribution à la bioremédiation des eaux usées synthétiques contient des polluants émergents pharmaceutiques a été effectué en succès sous l'utilisation d'un biomasse algale "*Arthrospira Platensis*". Le rendement de bioremédiation de trois polluants émergents a été différent de zero montre la faisabilité de l'élimination de ce dernier et les résultats de infraouge démontre que le mécanisme la plus souhaité est bien la biodégradation tellement il y une disparition totale des polluants émergents après le traitement. Les conditions optimisés ont été : Concentration de biomasse =50 %; pH =10,5 ;T= 30°C ; lumière = 1000 Lux; temps de traitement= *entre 8 a 10 Jours avec VMR=10 mL*. Ou le rendement final après l'optimisation de tous les paramètres a été atteint les 90 %.

Donc, les stratégies d'utilisation de cette biomasse micro-algal favorisent une économie circulaire en nettoyant l'environnement aquatique pollué tout en produisant simultanément des produits à valeur ajoutée tels que des matières premières aquatiques nutritives.

Donc, les stratégies d'utilisation de cette biomasse micro-algal favorisent une économie circulaire en nettoyant l'environnement aquatique pollué tout en produisant simultanément des produits à valeur ajoutée tels que des matières premières aquatiques nutritives.

*En termes de perspectives d'avenir, ce travail pourra être amélioré par :*

1. *Evalué la bioremédiation des autres polluants émergents pharmaceutiques*
2. *Appliquer ce procédé sur un effluent réel*
3. *la bioremédiation de PE par un procédé enzymatique a base de cette micro-algue*
4. *Régénérer la biomasse algale*

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


1. **Aparicio, G., Iturralde, T., Maseda, A.,** 2019. Conceptual structure and perspectives on entrepreneurship education research: A bibliometric review. Eur. Res. Manag. Bus. Econ. 25 (3), 105–113.
2. **Arashiro, L.T.,Boto-Ordonez,M.,Van Hulle, S.W.H., Ferrer,I., Garfí, M., Rousseau,** D.P. L., 2020. Natural pigments from microalgae grown in industrial wastewater. Bioresour. Technol. 303, 122894.
3. **Arulazhagan, P., Al-Shekri, K., Huda, Q., Godon, J.J., Basahi, J.M., Jeyakumar, D.**, 2017. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by an acidophilic Stenotrophomonas maltophilia strain AJH1 isolated from a mineral mining site in Saudi Arabia. Extrem 21, 163–174.
4. **Arulazhagan, P., Vasudevan, N.**, 2011. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by a halotolerant bacterial strain Ochrobactrum sp. VA1. Mar. Pollut.Bull. 62 (2), 388–394.
5. **Azubuike, C.C., Chikere, C.B., Okpokwasili, G.C.**, 2016. Bioremediation techniques–classification based on site of application: principles, advantages,limitations and prospects. World J. Microbiol. Biotechnol. 2016 3211 32, 1–18.
6. **Bafana, A., Krishnamurthi, K., Devi, S.S., Chakrabarti, T.**, 2008. Biological decolourization of C.I. Direct Black 38 by E. gallinarum. J. Hazard. Mater. 157 (1), 187–193.
7. **Bako, C.M., Mattes, T.E., Marek, R.F., Hornbuckle, K.C., Schnoor, J.L.,** 2021.
8. Biodegradation of PCB congeners by Paraburkholderia xenovorans LB400 in presence and absence of sediment during lab bioreactor experiments. Environ. Pollut. 271, 116364.
9. **Brindha, R., Santhosh, S., Rajaguru, P.,** 2019. Integrated bio-chemo degradation of Mordant Yellow 10 using upflow anaerobic packed bed reactor (UAPBR) and tray type photo-Fenton reactor (TPFR). J. Clean. Prod. 208, 602–611.
10. **Cassani, S., Gramatica, P.,** 2015. Identification of potential PBT behavior of personal care products by structural approaches. Sustain. Chem. Pharm. 1, 19–27.
11. **Chan, G.F., Rashid, N.A.A., Chua, L.S., Ab.llah, N., Nasiri, R., Ikubar, M.R.M.**, 2012. Communal microaerophilic-aerobic biodegradation of Amaranth by novel NAR-2 bacterial consortium. Bioresour. Technol. 105, 48–59.
12. **Chen, B.Y., Ma, C.M., Han, K., Yueh, P.L.,** Qin, L.J., Hsueh, C.C., 2016. Influence of textile dye and decolorized metabolites on microbial fuel cell-assisted bioremediation. Bioresour. Technol. 200, 1033–1038.
13. **Chen, C.-C., Liao, H.-J., Cheng, C.-Y., Yen, C.-Y., Chung, Y.-C.,** 2007. Biodegradation of crystal violet by Pseudomonas putida. Biotechnol. Lett. 29 (3), 391–396
14. **Chen, Y., Feng, L., Li, H., Wang, Y., Chen, G., Zhang, Q., 2018.** Biodegradation and detoxification of Direct Black G textile dye by a newly isolated thermophilic microflora. Bioresour. Technol. 250, 650–657
15. **Collins, C., Laturnus, F., Nepovim, A., 2002.** Remediation of BTEX and trichloroethene:Current knowledge with special emphasis on phytoremediation. Environ. Sci. Pollut.Res. 9 (1), 86–94.
16. **Cresnar, B., Petric, S., 2011**. Cytochrome P450 enzymes in the fungal kingdom. Biochim.Biophys. Acta - Proteins Proteomics 1814 (1), 29–35.
17. **Daughton, C.G., Ternes, T.A.**, 1999. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change? Environ. Health Perspect. 107 (suppl 6), 907–938.
18. **Din, S., Zaky, S., Noaman, N.,** 2017. Removal of some pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds by the marine macroalgae Pterocladia capillacea and Ulva lactuca.
19. **Ding, T., Lin, K., Yang, B., Yang, M., Li, J., Li, W., Gan, J.**, 2017. Biodegradation of naproxen by freshwater algae Cymbella sp. and Scenedesmus quadricauda and the comparative toxicity. Bioresour. Technol. 238, 164–173.
20. **Du, L.N., Zhao, M., Li, G., Xu, F.C., Chen, W.H., Zhao, Y.H.,** 2013. Biodegradation of malachite green by Micrococcus sp. strain BD15: Biodegradation pathway and enzyme analysis. Int. Biodeterior. Biodegradation 78, 108–116.
21. **Ellis, J.B.**, 2006. Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters. Environ. Pollut. 144 (1), 184–189.
22. **Escapa, C., Coimbra, R.N., Paniagua, S., García, A.I., Otero, M.,** 2017. Paracetamol and salicylic acid removal from contaminated water by microalgae. J. Environ. Manage. 203, 799–806.
23. **Escapa, C., Coimbra, R.N., Paniagua, S., García, A.I., Otero, M.**, 2016. Comparative assessment of diclofenac removal from water by different microalgae strains. Algal Res. 18, 127–134.

24. **Falade, A.O., Mabinya, L.V., Okoh, A.I., Nwodo, U.U.,** 2018. Ligninolytic enzymes: Versatile biocatalysts for the elimination of endocrine-disrupting chemicals in wastewater. Microbiologyopen 7 (6), e00722
25. **Fuchs, G., Boll, M., Heider, J., 2011.** Microbial degradation of aromatic compounds — from one strategy to four. Nat. Rev. Microbiol. 2011 911 9, 803–816.
26. **Gajera, H.P., Bambharolia, R.P., Hirpara, D.G., Patel, S.V., Golakiya, B.A.,** 2015. Molecular identification and characterization of novel Hypocrea koningii associated with azo dyes decolorization and biodegradation of textile dye effluents. Process Saf. Environ. Prot. 98, 406–416.
27. **Gao, F., Li, C., Yang, Z.-H., Zeng, G.-M., Feng, L.-J., Liu, J.-Z., Liu, M., Cai, H.-W.,** 2016.Continuous microalgae cultivation in aquaculture wastewater by a membrane photobioreactor for biomass production and nutrients removal. Ecol. Eng. 92, 55–61.
28. **Giardina, P., Faraco, V., Pezzella, C., Piscitelli, A., Vanhulle, S., Sannia, G**., 2010. Laccases: a never-ending story. Cell. Mol. Life Sci. 67, 369–385.
29. **Giovanella, P., Vieira, G.A.L., Ramos Otero, I.V., Pais Pellizzer, E., de Jesus Fontes, B., Sette, L.D.,** 2020. Metal and organic pollutants bioremediation by extremophile microorganisms. J. Hazard. Mater. 382, 121024 .
30. **Goswami, M., Chaturvedi, P., Kumar Sonwani, R., Dutta Gupta, A., Rani Singhania, R., Shekher Giri, B., Nath Rai, B., Singh, H., Yadav, S., Sharan Singh, R.,** 2020. Application of Arjuna (Terminalia arjuna) seed biochar in hybrid treatment system for the bioremediation of Congo red dye. Bioresour. Technol. 307, 123203.
31. **Grace Pavithra, K., Senthil Kumar, P., Varjani, S.,** 2021. Bioelectrochemical Systems for Remediation and Recovery of Nutrients From Industrial Wastewater. Biomass, Biofuels, Biochem
32. **Guo, R., Chen, J**., 2015. Application of alga-activated sludge combined system (AASCS) as a novel treatment to remove cephalosporins. Chem. Eng. J. 260, 550–556.
33. **Guo, W.Q., Zheng, H.S., Li, S., Du, J.S., Feng, X.C., Yin, R.L., Wu, Q.L., Ren, N.Q., Chang, J.S.,** 2016. Removal of cephalosporin antibiotics 7-ACA from wastewater during the cultivation of lipid-accumulating microalgae. Bioresour. Technol. 221, 284–290.
34. **Haritash, A.K., Kaushik, C.P., 2009.** Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. J. Hazard. Mater. 169 (1-3), 1–15.
35. **Harwood, C.S., Parales, R.E**., 1996. THE β-KETOADIPATE PATHWAY AND THE BIOLOGY OF SELF-IDENTITY 50, 553–590.
36. **Hern´andez-Ortega, A., Ferreira, P., Martínez, A.T**., 2012. Fungal aryl-alcohol oxidase: a peroxide-producing flavoenzyme involved in lignin degradation. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2012 934 93, 1395–1410.
37. **Hom-Diaz, A., Llorca, M., Rodríguez-Mozaz, S., Vicent, T., Barcel´o, D., Bl´anquez, P.,2015.** Microalgae cultivation on wastewater digestate: β-estradiol and 17α-ethynylestradiol degradation and transformation products identification. J. Environ .Manage. 155, 106–113.
38. **Hultberg, M., Bodin, H., Ardal, E., Asp, H**., 2016. Effect of microalgal treatments on pesticides in water. Environ. Technol. 37, 893–898
39. **Ihsanullah, I., Jamal, A., Ilyas, M., Zubair, M., Khan, G., Atieh, M.A.,** 2020. Bioremediation of dyes: Current status and prospects. J. Water Process Eng. 38, 101680.
40. **Jain, M., Khan, S.A., Pandey, A., Pant, K.K., Ziora, Z.M., Blaskovich, M.A.T.,** 2021. Instructive analysis of engineered carbon materials for potential application in water and wastewater treatment. Sci. Total Environ. 793, 148583.
41. **Jin, Z.P., Luo, K., Zhang, S., Zheng, Q.i., Yang, H.,** 2012. Bioaccumulation and catabolism of prometryne in green algae. Chemosphere 87 (3), 278–284.
42. **Jing, R., Fusi, S., Kjellerup, B.V.,** 2018. Remediation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Contaminated Soils and Sediment: State of Knowledge and Perspectives. Front. Environ. Sci. 79.
43. **Johnsen, A.R., Wick, L.Y., Harms, H.,** 2005. Principles of microbial PAH-degradation in soil. Environ. Pollut. 133 (1), 71–84.
44. **Kadri, T., Rouissi, T., Kaur Brar, S., Cledon, M., Sarma, S., Verma, M**., 2017. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by fungal enzymes: A review. J. Environ. Sci. 51, 52–74.
45. **Kalyani, D.C., Telke, A.A., Govindwar, S.P., Jadhav, J.P.,** 2009. Biodegradation and Detoxification of Reactive Textile Dye by Isolated Pseudomonas sp. SUK1. Water Environ. Res. 81 (3), 298–307.
46. **Kang, J.W.,** 2014. Removing environmental organic pollutants with bioremediation and phytoremediation. Biotechnol. Lett. 2014 366 36, 1129–1139.

**47.** **Kao, C.M., Chen, C.Y., Chen, S.C., Chien, H.Y., Chen, Y.L.**, 2008. Application of in situ biosparging to remediate a petroleum-hydrocarbon spill site: Field and microbial evaluation. Chemosphere 70 (8), 1492–1499.

**48.** **Kennish, M.J.,** 2017. Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution. Pract. Handb. Estuar. Mar. Pollut. 1–524.

**49.** **Khouni, I., Louhichi, G., Ghrabi, A**., 2020. Assessing the performances of an aerobic membrane bioreactor for textile wastewater treatment: Influence of dye mass loading rate and biomass concentration. Process Saf. Environ. Prot. 135, 364–382.

**50.** **Koroglu, E.O., Yoruklu, H.C., Demir, A., Ozkaya, B**., 2019. Scale-Up and Commercialization Issues of the MFCs: Challenges and Implications. Biomass, Biofuels, Biochem. Microb. Electrochem. Technol. Sustain. Platf. Fuels, Chem. Remediat. 565–583.

**51.** **Kurade, M.B., Kim, J.R., Govindwar, S.P., Jeon, B.H.,** 2016. Insights into microalgae mediated biodegradation of diazinon by Chlorella vulgaris: Microalgal tolerance to xenobiotic pollutants and metabolism. Algal Res. 20, 126–134.

**52.** **Kurade, M.B., Waghmode, T.R., Patil, S.M., Jeon, B.H., Govindwar, S.P.,** 2017. Monitoring the gradual biodegradation of dyes in a simulated textile effluent and development of a novel triple layered fixed bed reactor using a bacterium-yeast consortium. Chem. Eng. J. 307, 1026–1036.

**53.** **Lade, H., Govindwar, S., Paul, D.,** 2015. Mineralization and Detoxification of the Carcinogenic Azo Dye Congo Red and Real Textile Effluent by a Polyurethane Foam Immobilized Microbial Consortium in an Upflow Column Bioreactor. Int. J. Environ. Res. Public Heal. 12, 6894–6918.

**54.** **Lee, H., Jang, Y., Lee, Y.M., Lee, H., Kim, G.H., Kim, J.J.,** 2015. Enhanced removal of PAHs by Peniophora incarnata and ascertainment of its novel ligninolytic enzyme genes. J. Environ. Manage. 164, 10–18.

**55.** **Liu, W., Li, J., Gao, L., Zhang, Z., Zhao, J., He, X., Zhang, X., 2018.** Bioaccumulation and effects of novel chlorinated polyfluorinated ether sulfonate in freshwater alga Scenedesmus obliquus. Environ. Pollut. 233, 8–15.

**56.** **L´opez-Serna, R., Jurado, A., V´azquez-Su˜n´e, E., Carrera, J., Petrovi´c, M., Barcel´o, D**.,2013. Occurrence of 95 pharmaceuticals and transformation products in urban groundwaters underlying the metropolis of Barcelona. Spain. Environ. Pollut. 174,305–315.

**57.** **Maes, H.M., Maletz, S.X., Ratte, H.T., Hollender, J., Schaeffer, A**., 2014. Uptake, Elimination, and Biotransformation of 17α-Ethinylestradiol by the Freshwater Alga Desmodesmus subspicatus. Environ. Sci. Technol. 48 (20), 12354–12361.

**58.** **Mani, P., Fidal, V.T., Bowman, K., Breheny, M., Chandra, T.S., Keshavarz, T., Kyazze, G.,** 2019. Degradation of Azo Dye (Acid Orange 7) in a Microbial Fuel Cell: Comparison Between Anodic Microbial-Mediated Reduction and Cathodic Laccase-Mediated Oxidation. Front. Energy Res. 101

**59.** **Maryjoseph, S., Ketheesan, B.,** 2020. Microalgae based wastewater treatment for the removal of emerging contaminants: A review of challenges and opportunities. Case Stud. Chem. Environ. Eng. 2, 100046.

**60.** **McIntosh, P., Schulthess, C.P., Kuzovkina, Y.A., Guillard, K.,** 2017. Bioremediation and phytoremediation of total petroleum hydrocarbons (TPH) under various conditions. 19, 755–764.

**61.** **Megharaj, M., Madhavi, D.R., Sreenivasulu, C., Umamaheswari, A., Venkateswarlu, K.,** 1994. Biodegradation of methyl parathion by soil isolates of microalgae and cyanobacteria. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1994 532 53, 292–297.

**62.** **Mishra, B., Varjani, S., Agrawal, D.C., Mandal, S.K., Ngo, H.H., Taherzadeh, M.J., Chang, J.-S., You, S., Guo, W**., 2020. Engineering biocatalytic material for the remediation of pollutants: A comprehensive review. Environ. Technol. Innov. 20, 101063.

**63.** **Mondal, M., Halder, G., Oinam, G., Indrama, T., Tiwari, O.N**., 2019. Bioremediation of Organic and Inorganic Pollutants Using Microalgae. New Futur. Dev. Microb. Biotechnol. Bioeng. Microb. Second. Metab. Biochem. Appl. 223–235.

**64.** **Moghadam, M.S., Ebrahimipour, G., Abtahi, B., Ghassempour, A., Hashtroudi, M.S.,**2014. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by a bacterial consortium enriched from mangrove sediments. J. Environ. Heal. Sci. Eng. 12 (1).

**65.** **Morales, M., Mate, M.J., Romero, A., Martínez, M.J., Martínez, ´A.T., Ruiz-Due˜nas, F.J**., 2012. Two Oxidation Sites for Low Redox Potential Substrates: A Directed Mutagenesis, Kinetic, and Crystallographic Study on Pleurotus Eryngii Versatile Peroxidase. J. Biol. Chem. 287 (49), 41053–41067

**66.** **Motamedi, E., Kavousi, K., Sadeghian Motahar, S.F., Reza Ghaffari, M., Sheykh**

**Abdollahzadeh Mamaghani, A., Hosseini Salekdeh, G., Ariaeenejad, S.,** 2021. Efficient removal of various textile dyes from wastewater by novel thermo-halotolerant laccase. Bioresour. Technol. 337, 125468.

**67.** **Murali, O., Mehar, S.K., 2014. Bioremediation of Heavy Metals using Spirulina. Int. J.Geol. Earth Environ. Sci. 4, 244–249. Mustafa, S., Bhatti, H.N., Maqbool, M., Iqbal, M.,** 2021. Microalgae biosorption,bioaccumulation and biodegradation efficiency for the remediation of wastewater and carbon dioxide mitigation: Prospects, challenges and opportunities. J. Water Process Eng. 41, 102009.

**68.** **Nanda, M., Jaiswal, K.K., Kumar, V., Vlaskin, M.S., Gautam, P., Bahuguna, V., Chauhan, P.K**., 2021. Micro-pollutant Pb(II) mitigation and lipid induction in oleaginous microalgae Chlorella sorokiniana UUIND6. Environ. Technol. Innov. 23,101613.

**69.** **Nations, U.,** 2021. The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water, Water Politics. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Norvill, Z.N., Shilton, A., Guieysse, B**., 2016. Emerging contaminant degradation andremoval in algal wastewater treatment ponds: Identifying the research gaps. J. Hazard. Mater. 313, 291–309.

**70.** **Nouren, S., Bhatti, H.N., Iqbal, M., Bibi, I., Kamal, S., Sadaf, S., Sultan, M., Kausar, A.,Safa, Y.,** 2017. By-product identification and phytotoxicity of biodegraded Direct Yellow 4 dye. Chemosphere 169, 474–484.

**71.** **Nouren, S., Bhatti, H.N., Iqbal, M., Bibi, I., Kamal, S., Sadaf, S., Sultan, M., Kausar, A.,Safa, Y.,** 2017. By-product identification and phytotoxicity of biodegraded Direct Yellow 4 dye. Chemosphere 169, 474–484.

72. **Pereira, A.R., da Costa, R.S., Yokoyama, L., Alhadeff, E.M., Teixeira, L.A.C.,** 2014Evaluation of Textile Dye Degradation Due to the Combined Action of Enzyme Horseradish Peroxidase and Hydrogen Peroxide. Appl. Biochem. Biotechnol. 2014 1748 174, 2741–2747

**73.** **Oliveira, Gisele Augusto Rodrigues de, Lapuente, Joaquín de, Teixid´o, Elisabet, Porred´on, Constança, Borr`as, Miquel, Oliveira, Danielle Palma de,** 2016. Textile dyes induce toxicity on zebrafish early life stages. Environ. Toxicol. Chem. 35 (2), 429–434.

74. **Prosenc, Franja, Piechocka, Justyna, ˇSkufca, David, Heath, Ester, Griessler Bulc, Tjaˇsa**, **Isteniˇc, Darja, Buttiglieri, Gianluigi,** 2021. Microalgae-based removal of contaminants of emerging concern: Mechanisms in Chlorella vulgaris and mixed algal-bacterial cultures. J. Hazard. Mater. 418, 126284.

**75.** **Rodea-Palomares, I., Makowski, M., Gonzalo, S., Gonz´alez-Pleiter, M., Legan´es, F.,Fern´andez-Pi˜nas, F**., 2015. Effect of PFOA/PFOS pre-exposure on the toxicity of the herbicides 2,4-D, Atrazine, Diuron and Paraquat to a model aquatic photosynthetic microorganism. Chemosphere 139, 65–72.

**76.** **Rodriguez-Narvaez, O.M., Peralta-Hernandez, J.M., Goonetilleke, A., Bandala, E.R.,**2017. Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. Chem. Eng. J. 323, 361–380.

**77.** **Rossi, T., Silva, P.M.S., De Moura, L.F., Araújo, M.C., Brito, J.O., Freeman, H.S**., 2017.Waste from eucalyptus wood steaming as a natural dye source for textile fibers. J. Clean. Prod. 143, 303–310.

**78.** **Russell, H.H., Matthews, J.E., Sewell, G.W., Kerr Environmental, R.S., Kovalick, W.W**.,1992. Ground Water Issue EPA TCE Removal from Contaminated Soil and Ground Water Superfund Technology Support Center for Ground Water.

**79.** **Saavedra, R., Mu˜noz, R., Taboada, M.E., Vega, M., Bolado, S.,** 2018. Comparativ e uptake study of arsenic, boron, copper, manganese and zinc from water by different green microalgae. Bioresour. Technol. 263, 49–57.

**80.** **Sadraeian, M., Molaee, Z.,** 2009. Bioinformatics analyses of Deinococcus radiodurans in order to waste clean up. 2nd Int. Conf. Environ. Comput. Sci. ICECS 2009, 254–258.

**81.** **Saratale, Rijuta G., Gandhi, Soniya S., Purankar, Madhavi V., Kurade, Mayur B., Govindwar, Sanjay P., Oh, Sang Eun, Saratale, Ganesh D**., 2013. Decolorization and detoxification of sulfonated azo dye C.I. Remazol Red and textile effluent by isolated Lysinibacillus sp. RGS. J. Biosci. Bioeng. 115 (6), 658–667.

**82.** **Saratale, R.G., Saratale, G.D., Chang, J.S., Govindwar, S.P**., 2009. Ecofriendly degradation of sulfonated diazo dye C.I. Reactive Green 19A using Micrococcus glutamicus NCIM-2168. Bioresour. Technol. 100 (17), 3897–3905

**83.** **Sarkar, S., Banerjee, A., Halder, U., Biswas, R., Bandopadhyay, R**., 2017. Degradation of Synthetic Azo Dyes of Textile Industry: a Sustainable Approach Using Microbial Enzymes. Water Conserv. Sci. Eng. 2017 24 2, 121–131.

**84.** **Shaheen, R., Asgher, M., Hussain, F., Bhatti, H.N.,** 2017. Immobilized lignin peroxidase from Ganoderma lucidum IBL-05 with improved dye decolorization and cytotoxicity reduction

properties. Int. J. Biol. Macromol. 103, 57–64.

**85.** **M. Jain et al.** 2021. Sharma, Pooja, Pandey, Ashutosh Kumar, Kim, Sang-Hyoun, Singh, Surendra Pratap,Chaturvedi, Preeti, Varjani, Sunita,. Critical review on microbial community during in-situ bioremediation of heavy metals from industrial wastewater. Environ. Technol. Innov. 24, 101826.

**86.** **Shedbalkar, Utkarsha, Dhanve, Rhishikesh, Jadhav, Jyoti,** 2008. Biodegradation of triphenylmethane dye cotton blue by Penicillium ochrochloron MTCC 517. J. Hazard. Mater. 157 (2-3), 472–479

**87.** **Sherafatmand, M., Ng, H.Y.,** 2015. Using sediment microbial fuel cells (SMFCs) for bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Bioresour. Technol. 195, 122–130.

**88.** **Silva, Bianca Ferreira da, Jelic, Aleksandra, L´opez-Serna**, **Rebeca, Mozeto, Antonio A.,Petrovic, Mira, Barcel´o,Dami`a,** 2011. Occurrence and distribution ofpharmaceuticals in surface water, suspended solids and sediments of the Ebro river basin, Spain. Chemosphere 85 (8), 1331–1339.

**89.** **Singh, R., Dong, H., Liu, D., Zhao, L., Marts, A.R., Farquhar, E., Tierney, D.L., Almquist, C.B., Briggs, B.R**., 2015a. Reduction of hexavalent chromium by the thermophilic methanogen Methanothermobacter thermautotrophicus. Geochim.Cosmochim. Acta 148, 442–456.

**90.** **Singh, R.L., Singh, P.K., Singh, R.P**., 2015b. Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes – A review. Int. Biodeterior. Biodegradation 104, 21–31.

**91.** **Sivakumar, G., Xu, J., Thompson, R.W., Yang, Y., Randol-Smith, P., Weathers, P.J.,** 2012. Integrated green algal technology for bioremediation and biofuel. Bioresour.Technol. 107, 1–9.

**92.** **Sonwani, Ravi Kumar, Swain, Ganesh, Giri, Balendu Shekhar, Singh, Ram Sharan,Rai, Birendra Nath**, 2020. Biodegradation of Congo red dye in a moving bed biofilmreactor: Performance evaluation and kinetic modeling. Bioresour. Technol. 302,122811.

93. **Sutherland, Donna L., Ralph, Peter J**., 2019. Microalgal bioremediation of emerging contaminants - Opportunities and challenges. Water Res. 164, 114921

**94.** **Tabrez, Shams, Ahmad, Masood,** 2009. Toxicity, Biomarkers, Genotoxicity, and Carcinogenicity of Trichloroethylene and Its Metabolites: A. Review. 27 (3),178–196.

**95.** **Tadros, M.G., Crawford, A., Mateo-Sullivan, A., Zhang, C., Hughes, J.B**., 2000. ToxicEffects of Hydroxylamino Intermediates from Microbial Transformation of Trinitrotoluene and Dinitrotoluenes on Algae Selenastrum capricornutum. Bull Environ. Contam. Toxicol. 2000 644 64, 579–585.

**96.** **Tan, L., He, M., Song, L., Fu, X., Shi, S**., 2016. Aerobic decolorization, degradation and detoxification of azo dyes by a newly isolated salt-tolerant yeast Scheffersomyces spartinae TLHS-SF1. Bioresour. Technol. 203, 287–294.

**97.** **Tan, L., Ning, S., Zhang, X., Shi, S.,** 2013. Aerobic decolorization and degradation of azo dyes by growing cells of a newly isolated yeast Candida tropicalis TL-F1. Bioresour Technol. 138, 307–313.

**98.** **Thompson, Phillip L., Polebitski, Austin S**., 2010. Effect of Mycorrhizal Fungi on the Phytoremediation of Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX). Environ. Sci.Technol. 44 (3), 1112–1115.

**99.** **Tiwari, B., Sellamuthu, B., Ouarda, Y., Drogui, P., Tyagi, R.D., Buelna, G.,** 2017. Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. Bioresour. Technol. 224, 1–12

**100.** **Trincone, Antonio,** 2010. Potential biocatalysts originating from sea environments.J. Mol. Catal. B Enzym. 66 (3-4), 241–256

**101.** **Varjani, Sunita, Rakholiya, Parita, Shindhal, Toral, Shah, Anil V., Ngo, Huu Hao,** 2021.Trends in dye industry effluent treatment and recovery of value added products. J. Water Process Eng. 39, 101734.

**102.** **Varjani, S.J.,** 2017. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. Bioresour.Technol. 223, 277–286

**103.** **Varjani, S.J., Gnansounou, E., Pandey, A**., 2017. Comprehensive review on toxicity of persistent organic pollutants from petroleum refinery waste and their degradation by microorganisms. Chemosphere 188, 280–291

**104.** **Vassalle, Lucas, Sunyer-Caldú, Adri`a, Uggetti, Enrica, Díez-Montero, Rub´en, Díaz-Cruz, M. Silvia, García, Joan, García-Gal´an, M. Jesús**, 2020. Bioremediation of emerging micropollutants in irrigation water. The alternative of microalgae-based treatments. J. Environ. Manage. 274, 111081

**105.** **Vikrant, K., Giri, B.S., Raza, N., Roy, K., Kim, K.H., Rai, B.N., Singh, R.S.,** 2018. Recentadvancements in bioremediation of dye: Current status and challenges.

Bioresour.Technol. 253, 355–367.

**106.** **Villar-Navarro, Elena, Garrido-P´erez, Carmen, Perales, Jos´e A.,** 2021. The potential of ifferent marine microalgae species to recycle nutrients from recirculating aquaculture systems (RAS) fish farms and produce feed additives. Algal Res. 58,102389

**107.** **Vo, Hoang Nhat Phong, Ngo, Huu Hao, Guo, Wenshan, Nguyen, Khanh Hoang, Chang, Soon Woong, Nguyen, Dinh Duc, Liu, Yiwen, Liu, Yi, Ding, An, Bui, Xuan Thanh**, 2020. Micropollutants cometabolism of microalgae for wastewater remediation: Effect of carbon sources to cometabolism and degradation products. Water Res. 183, 115974.

**108.** **Wang, X., Wang, Y., Ning, S., Shi, S., Tan, L**., 2020. Improving Azo Dye Decolorization Performance and Halotolerance of Pichia occidentalis A2 by Static Magnetic Field and Possible Mechanisms Through Comparative Transcriptome Analysis. Front. Microbiol. 712.

**109.** **Wang, Y., Ho, S.H., Cheng, C.L., Guo, W.Q., Nagarajan, D., Ren, N.Q., Lee, D.J., Chang, J.S**., 2016. Perspectives on the feasibility of using microalgae for industrial wastewatertreatment. Bioresour. Technol. 222, 485–497.

**110.** **Wang, Y., Liu, J., Kang, D., Wu, C., Wu, Y.**, 2017. Removal of pharmaceuticals and personal care products from wastewater using algae-based technologies: a review. Rev. Environ. Sci. Bio/Technology 2017 164 16, 717–735.

**111.** **Xiong, Jiu-Qiang, Kurade, Mayur B., Jeon, Byong-Hun**, 2018. Can Microalgae Remove Pharmaceutical Contaminants from Water? Trends Biotechnol. 36 (1), 30–44.

**112.** **Xiong, J.Q., Kurade, M.B., Kim, J.R., Roh, H.S., Jeon, B.H.,** 2017. Ciprofloxacin toxicity and its co-metabolic removal by a freshwater microalga Chlamydomonas mexicana. J. Hazard. Mater. 323, 212–219.

**113.** **Yadav, Ashutosh, Yadav, Pooja, Kumar Singh, Anil, kumar, Vyas, Chintaman Sonawane, Vijay, Markandeya, Naresh Bharagava, Ram, Raj, Abhay,** 2021. Decolourisation of textile dye by laccase: Process evaluation and assessment of its degradation bioproducts. Bioresour. Technol. 340, 125591

**114.** **Zhang, Yongli, Habteselassie, Mussie Y., Resurreccion, Eleazer P., Mantripragada, Vijaya,Peng, Shanshan, Bauer, Sarah, Colosi, Lisa M.,** 2014. Evaluating Removal of SteroidEstrogens by a Model Alga as a Possible Sustainability Benefit of Hypothetical Integrated Algae Cultivation and Wastewater Treatment Systems. ACS Sustain. Chem. Eng. 2 (11), 2544–2553.

**115.** **Laura G. Cordova Villegas & Neda Mashhadi & Miao Chen 2 & Debjani Mukherjee & Keith E. Taylor** & **Nihar Biswas** (2016a).A Short Review of Techniques for Phenol Removal from Wastewater.Curr Pollution Rep (2):157 – 167

**116.** **Zarrouk, C.( 1966).** Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facleurs physiques et chimiques sur ta croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima (Setch el Gardner} Geitler, Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris).

**115.** **Zittelli, Chini G., Rodolfi L., Biondi, N. and Tredici,** MR.2006 Productivit,y and photosynthetic efficiency of outdoor cultures of Tetraselmis suecica in annular columns. Aquaculture, Vol. 26, n° 3, p. 932—943.

**116.** **Pier, lovisi,** C. 2007 L'Homme et la Spiruline: Un avenir commun? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques. Paris V- René Descartes, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris. p162.

**117.** **Fox,** R-D. 1999 Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix en Provence, 13090 Aix-En-Rovence France.: Edisud, , p. 246.

**118.** **Ciferri, O**.1983 Spirulina, the edible microorganism. Microbiol. Rev. Vol. 47, n° 4, p. 551-578.

**119.** **Balloni, I. W., Tomaselli, L., Giovannetti, L. and Margheri**, M.C. (1980) Biologia fondamentale del genere Spirulina. In Materassi, R. (Ed.) Prospettive della Coltura diSpirulina in Italia, 1980. p. 49, Roma: CNR.

**120.** **Sguer; S**. 2008. Spirulina plaensis et ses constituants intêrets nutritionnels et activitésthérapeutiques.[en ligne].. Thèse Universite Nancy1, 175p [Consultée mai 2017

**121.** **Romay C., Armesto J., Remirez D., Gonzalez R**.,1998. Ledon N. and Garcia I. Antioxidantand anti-inflammatory properties of C-phycocyanin from blue-green algae. Inflammation Research, Vol. 47, n° 1, p. 36-41

**121.** **Richmond, Amos**. 2004 Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phyco. logy Edited by Editorial Offices: 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ.

**122.** **Doumengue, F**.1993. and Durand-Chastel, H. La Spiruline, algue de vie. bulletin de l'Institut Océanograhique de Monaco, n° special Vol. 12, p, 222.

**123.** **Vonshak, A**.2002. Spirulina Platensis Arthrospira: Physiology, Cell-Biology And Biotechnology London, edition taylor et francis .P.252.

**124.** **Seckbach, Joseph**. 2007.Algae and cyanobacteria in extreme environments. Editeur Dordrecht, Springer Verlag New York Inc, p786.

**125.** **Prat, R**. et **Vonarx, V**. le 10 aout 2017 .La structure de chloroplaste : La théorie endosymbiotique [Enligne] consulté .

**126.** **Fox, R-D** 1999 . Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix en Provence, 13090 Aix-En-Rovence France.: Edisud, p. 246.

# CONTRIBUTION A LA BIOREMEDIATION DE L'EAU RESIDUAIRE ISSUE D'UNE INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE CONTIENT DES POLLUANTS EMERGENTS PAR L'UTILISATION DE LA BIOMASSE ALGALE *"Arthrospira Platensis"*

**RESUME.** Notre contribution à la bioremédiation des eaux usées synthétiques contient des polluants émergents pharmaceutiques a été effectué en succès sous l'utilisation d'un biomasse algale "*Arthrospira Platensis*". Le rendement de bioremédiation de trois polluants émergents a été différent de zero montre la faisabilité de l'élimination de ce dernier et les résultats de infraouge démontre que le mécanisme la plus souhaité est bien la biodégradation tellement il y une disparition totale des polluants émergents après le traitement. Les conditions optimisés ont été : Concentration de biomasse =50 %; pH =10,5 ;T= 30°C ; lumière = 1000 Lux; temps de traitement= *entre 8 a 10 Jours avec VMR=10 mL*. Ou le rendement final après l'optimisation de tous les paramètres a été atteint les 90 %.
Donc, les stratégies d'utilisation de cette biomasse micro-algal favorisent une économie circulaire en nettoyant l'environnement aquatique pollué tout en produisant simultanément des produits à valeur ajoutée tels que des matières premières aquatiques nutritives.
**MOTS CLEFS.** Biormediation ; Polluants emergents Pharmaceutiques ; Biomasse Algale.

# CONTRIBUTION TO THE BIOREMEDIATION OF WASTE WATER FROM A PHARMACEUTICAL INDUSTRY CONTAINS EMERGING POLLUTANTS THROUGH THE USE OF ALGAL BIOMASS "*Arthrospira Platensis"*

**ABSTRACT.** Our contribution to the bioremediation of synthetic wastewater containing emerging pharmaceutical pollutants has been successfully carried out under the use of an algal biomass "Arthrospira Platensis". The bioremediation yield of three emerging pollutants was different from zero shows the feasibility of eliminating the latter and the infrared results show that the most desired mechanism is indeed biodegradation as there is a total disappearance of emerging pollutants after the treatment. The optimized conditions were: Biomass concentration=50%; pH=10.5; T= 30°C; light = 1000 Lux; treatment time= between 8 to 10 days with VMR=10 mL. Or the final yield after the optimization of all parameters has been reached at 90%. Therefore, strategies for utilizing this micro-algal biomass promote a circular economy by cleaning up the polluted aquatic environment while simultaneously producing value-added products such as nutritious aquatic feedstocks.
**KEYWORDS.** Biosyntheses; Nanoparticles; Actinomycete; Streptococcus B; Biofilm.