



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI – LAGHOUAT

FACULTE DES SCIENCE  
كلية العلوم  
DEPARTEMENT : Biologie  
قسم البيولوجيا

Mémoire  
En vue de l'obtention du diplôme de Master  
Domaine : Science de la nature et de la vie  
Filière : Biologie  
Option : Microbiologie Appliquée

Thème

**Etude de la biodégradation des polluants  
organiques par des microorganismes dans des  
conditions extrême**

Présentés par :

**Mouattah fulla, Manezah Bouchra, et Hamdini Arwa Ibtissam**

**Jury de soutenance :**

Président : Zerrouki Houcine

Examineur : Madouri Radouane

Promoteur: Benaceur Farouk

Co-promotrice : Rezzoug Assma

**Promotion juin 2022**



## ***Dédicaces***

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,  
leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de  
mes études,*

*A ma chère sœur Fattoum pour leurs encouragements  
permanents, et leur soutien moral*

*A mes chers frères Abdel Aziz et Mohammed pour leur appui  
et leur encouragement,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long  
de mon parcours universitaire,*

*A ma nièce Nessrine et mon neveu Billal*

*A mes chères cousines Amira et Khadidja*

*A ma chère amie Marwa*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant  
allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

***Mouattah Fulla***





# DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail:*

*Un grande merci à l'ensemble de ma famille et plus particulièrement à mes parents (Ibrahim et Fayala) pour l'immense bien qu'ils ont fait pour moi concernant mon bonne éducation, aussi pour leurs précieux conseils et bénédictions, Ressens toute ma gratification et mes sentiments profonds.*

*Que Dieu le toute puissant, soit à vos côtes et vous accorde une meilleure santé (amen)*

*A mes frères: Mokhtar et Mohammed*

*Et sœurs: Fatena, Nekhla, kedira*

*Et à tout Familles Manezah et Tounssi*

*A mes amis et mes camarades dans ce travail (Arwa et Fulla), etImen, Marwa, Aïcha, fatima avec qui j'ai partagé Les beaux souvenirs, et à tous mes amis sans exceptions.*

*Et merci également à tous ceux qui m'ont aide*

***Manezah Bouchra***



# DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail:*

*Un grande merci à l'ensemble de ma famille et plus particulièrement à mes parents (Mohammed et Hania) et grande parents (Mostafa et airga) pour l'immense bien qu'ils ont fait pour moi concernant mon bonne éducation, aussi pour leurs précieux conseils et bénédictions, Ressens toute ma gratification et mes sentiments profonds.*

*Que Dieu le toute puissant, soit à vos côtes et vous accorde une meilleure santé (amen)*

*Ames frères: Rayan*

*Et sœurs: Ikram*

*Et à tout Familles Hamdini ArwaI btissam*

*A mes amis et mes camarades dans ce travail (Bouchra et Fulla), et Imen, Marwa, Aïcha, fatima avec qui j'ai partagé Les beaux souvenirs, et à tous mes amis sans exceptions.*

*Nous le dédions également à mon mari, mon fœtus et sa la famille.*

*Et le nouveau bébé de ma nièce (Waseem rayan)*

***Hamdini Arwa ibtissam***

## *Remerciements*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Docteur **Benaceur Farouk** pour avoir orienté, dirigé ce travail.*

*Nous remercions aussi très sincèrement le Co-promotrice Mme **Rezzoug Assma** pour ses précieuses orientations, ses conseils, dans la conception de ce mémoire.*

*Mes remerciements s'adressent aux membres de jury. Le président Monsieur **Zerrouki Houcine** ainsi que l'examineur Monsieur **Madouri Radouan**, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de nous avoir honorées par leur présence le jour de la soutenance.*

*Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance et exprimer toute notre gratitude à tous nos enseignants de département de biologie.*

**Résumé:** La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte. La santé humaine, la qualité des écosystèmes et de la biodiversité aquatique ou terrestre peuvent être affectés et modifiés de façon durable par la pollution. Les sources de pollutions sont nombreuses et l'identification de ces sources, des différentes substances polluantes et de leurs effets sur les écosystèmes est complexe.

La pollution de l'environnement, provoquée par la présence de polluants organique ou inorganique. L'un des moyens les plus efficaces d'éliminer ou du moins de réduire les concentrations de ces polluants organiques dans l'environnement est la biodégradation par les micro-organismes tels que (les halophiles, les thermophile,...).

Dans notre travail, le phénol a été choisi comme polluant organique modèle, cinétiquement les résultats obtenus on permit de montrer que le phénol est dégradé complètement sous différentes conditions physico-chimiques.

**Mots clés:** Pollution, polluant organique, dégradation, bioremédiation.

**Abstract:** Pollution is the degradation of a natural environment by external substances, introduced directly or indirectly. The human health, the quality of ecosystems and the aquatic or terrestrial biodiversity can be affected and modified in a durable way by pollution. The sources of pollution are numerous and the identification of these sources, of the various polluting substances and their effects on the ecosystems is complex.

The pollution of the environment, caused by the presence of organic or inorganic pollutants, is one of the most effective ways to eliminate or at least reduce the concentrations of these organic pollutants in the environment is the biodegradation by microorganisms such as (halophiles, thermophiles,...).

In our work, phenol was chosen as a model organic pollutant, kinetically the results obtained showed that phenol is completely degraded under different physicochemical conditions.

**Keywords:** Pollution, organic pollutant, degradation, bioremediation.

**المخلص:** التلوث هو تدهور البيئة الطبيعية بسبب المواد الخارجية التي يتم إدخالها بشكل مباشر أو غير مباشر. يمكن أن تتأثر صحة الإنسان ونوعية النظم الإيكولوجية والتنوع البيولوجي المائي أو الأرضي أو الجوي بشكل مستدام بالتلوث وتغيره. ومصادر التلوث عديدة، كما أن تحديد هذه المصادر ومختلف المواد الملوثة وآثارها على النظم الإيكولوجية أمر معقد

التلوث البيئي الناجم عن وجود ملوثات عضوية أو غير عضوية. من أكثر الطرق فعالية للقضاء على تركيزات هذه الملوثات العضوية في البيئة أو على الأقل خفضها هو التحلل البيولوجي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة مثل (الهالوفيلات، المحفزات الحرارية، إلخ....

في عملنا، تم اختيار الفينول ليكون الملوث العضوي النموذجي، ومن الناحية الحركية، سمحت النتائج التي تم الحصول عليها بإظهار أن الفينول يتحلل تمامًا في ظل ظروف فيزيائية كيميائية مختلفة

**الكلمات المفتاحية:** التلوث، الملوثات العضوية، التحلل، المعالجة الحيوية

# Table des Matières

Remerciement .....	I
Résumé .....	II
Liste des Symboles .....	IV
Liste des Tableaux.....	V
Liste des Figures.....	VI

<b>Introduction Générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I** sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels

I.1 la pollution de l'environnement .....	3
I.1.1 Définition .....	3
I.2. Les principales causes de pollution .....	3
I.3 Les différents types de pollution et leurs sources .....	3
I.3.1 La pollution de l'air (atmosphère) .....	3
I.3.1.1. source de pollution.....	4
I.3.1.1.2. Les sources humaines dites anthropiques .....	5
I.3.2 La pollution d'eau .....	6
1.3.2.1. Source de pollution [7] .....	6
1.3.2.1.1. La pollution ponctuelle .....	6
1.3.2.1.2 La pollution urbaine .....	7
1.3.2.1.3 La pollution industrielle .....	7
1.3.2.1.4 La pollution diffuse .....	8
1.3.2.1.5 La pollution agricole .....	8
1.3.2.1.6 La pollution atmosphérique.....	9
I.3.3. La pollution des sols .....	9

# Table des Matières

1.3.3.1. Source de pollution des sols [8].....	9
I.4 Les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels .....	10
I.4.1 La dépollution .....	10
I.4.1.1 Définition .....	10
1.4.2 Les procédés biologiques (Bioremédiation).....	10
<b>Chapitre II</b> La biodégradation des polluants	
II.1.Introduction .....	12
II.2.Les polluants organiques .....	12
II.3.Les différents polluants organiques .....	13
II.3.1.Les principaux polluants organiques de l'air [4] .....	13
II.3.2.Les principaux polluants organiques de l'eau .....	13
II.3.3.Les principaux polluants organiques des sols [14] .....	14
II.4.La biodégradation des polluants organiques .....	14
<b>Chapitre III</b> La biodégradation des polluants organiques par(les halophiles, les thermophiles, et les acidophiles)	
III.1. Introduction .....	17
III.2.Biorémediation et biodégradation .....	17
III.3. Les microorganismes halophiles .....	17
III.4.les microorganismes thermophiles .....	18
III.5.les microorganismes acidophiles .....	19
III.6.Traitement des polluants organiques par les halophiles .....	19
III.7.Traitement des polluants organiques par les thermophiles .....	20
III.8.Traitement des polluants organiques par les acidophiles .....	20
<b>Partie 2</b> : La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême	
<b>Conclusion Générale</b> .....	28

# Table des Matières

Référence et bibliographique .....29

## Liste des symboles

**PO** : polluant organique

**COV** : composés organiques volatils

**PCB** : les polychlorobiphényles PCB

**HAP** : les hydrocarbures aromatiques polycycliques

**DBO** : la demande biologique en oxygène

**DCO** : la demande chimique en oxygène

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1:</b> Les sources polluantes naturelles et leurs effets [4]. .....	5
<b>Tableau 2:</b> Des expériences avec divers organismes dans la biodégradation des polluants organiques. ....	22

## Liste des Figures

<a href="#">Figure 1. Les pollution par l'urbanisme</a> .....	7
<a href="#">Figure 2. Les pollution produites par l'industrie</a> .....	8
<a href="#">Figure 3. Différents groupes microorganismes halophiles (Larsen 1962)</a> .....	18

# *Introduction Général*

## Introduction Générale

Depuis longtemps, l'intérêt de l'homme est de satisfaire ses besoins sans cesse croissants, par rapport à une offre de plus en plus limitée.

Bien qu'il ait réussi dans ces projets, il oublia une chose, l'impact de ses actions sur l'environnement, car d'importants dégâts sont apparus sur la terre, la mer, l'air, sur les êtres vivants (animaux et plantes) et sur l'homme lui-même.[1]

La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte. La santé humaine, la qualité des écosystèmes et de la biodiversité aquatique ou terrestre peuvent être affectés et modifiés de façon durable par la pollution.

L'environnement de l'homme est très important, sa protection relève donc l'intérêt de tous. C'est après les catastrophes que l'on prend conscience des dégâts infligés par l'homme à l'environnement. (Bouffard, 2000). Cependant par notre industrie, nos habitudes de vie, notre agriculture, et plus généralement par toute notre activité, nous menaçons le monde dans lequel nous vivons. De ce fait, est née une nouvelle discipline en biologie : l'écotoxicologie, qui mit en charge l'identification et la lutte contre les pollutions du milieu naturel. C'est la science qui traite l'impact des composés chimiques sur les écosystèmes. Elle intègre la chimie, l'écologie et la toxicologie (Truhaut, 1997 ; Pelletier, 2004). Plusieurs travaux publiés depuis les années 1990 ont mis l'accent sur l'évaluation de l'impact des contaminants sur les écosystèmes (Landis & Yu, 1995 ; Wright & Welborn, 2002).[2]

Notre travail est structuré comme suit : la pollution de l'environnement, les principales causes de pollution, les types de pollution, la biodégradation des polluants organiques, la biodégradation des polluants par les halophiles, thermophiles, acidophiles.

# Chapitre I

Généralité sur la pollution de  
l'environnement et les procédés  
biologiques de la dépollution des  
milieux naturels

# **Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

## **I.1 la pollution de l'environnement**

### **I.1.1 Définition**

La pollution de l'environnement est une cause majeure de maladie, de décès et d'invalidité dans les pays du monde entier.

L'environnement est tout ce qui nous entoure. C'est l'ensemble des éléments naturels et artificiels au sein duquel vit l'être humain. Avec toutes les préoccupations actuelles sur tous les problèmes écologiques, tout à coup le phénomène entourant l'environnement prend une dimension mondiale. [1]

La pollution est un sous-produit de l'activité humaine qui peut affecter l'atmosphère, le sol ou les eaux. Elle peut avoir un impact sur la santé humaine, l'eau potable, l'eau d'irrigation, la production agricole, les espèces animales ou végétales, la beauté des paysages, etc.[3]

## **I.2. Les principales causes de pollution**

Les principales causes de pollution de l'environnement proviennent en premier lieu de la production et de l'utilisation des diverses sources d'énergie, puis des activités industrielles et, de l'agriculture Ces sources de pollution peuvent toucher différents milieux : le sol, l'eau, l'air. L'homme est la principale cause de pollution dans divers domaines:

**1-L'aspect industriel non amélioré**

**2-Les déchets domestiques et industriels ne sont pas recyclables par les écosystèmes. Leur contribution à la pollution est considérable.**

**3-Le côté agricole: l'utilisation de pesticides et de produits chimiques qui contribuent à tuer le sol Outre les transports, l'urbanisation et la déforestation...etc. [3]**

## **I.3 Les différents types de pollution et leurs sources**

### **I.3.1 La pollution de l'air (atmosphère)**

On peut dire en quelques mots que cette pollution est le résultat de l'activité humaine qui conduit à un transfert de quantités nocives de matériaux naturels et chimiques dans l'atmosphère. Les polluants peuvent être mélangés directement dans l'air, nous appelons ce

## **Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

phénomène « les polluants primaires », ou bien qui sont créés dans l'air nous appelons ça « les polluants secondaires ».[1]

### **I.3.1.1. source de pollution**

#### **I.3.1.1.1. Les sources naturelles**

Les sources naturelles de pollution atmosphérique peuvent être résumées comme suit :

## **Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

**Tableau 1:** Les sources polluantes naturelles et leurs effets [4].

<b>Les sources polluantes naturelles</b>	<b>Effet des sources polluantes</b>
Poussières du sol Eruptions volcaniques	Peuvent injecter dans l'air de très grandes quantités de gaz et de particules.
Eruptions cataclysmiques	Ils atteignent la stratosphère et y passent en moyenne de 4 mois à 2 ans.  Ils libèrent principalement de la poussière volcanique et du dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )
Les particules végétales (le pollen)	Par l'action de vent, les graines de pollen peuvent pénétrer les voies respiratoires et provoquer des réactions d'allergie, qui peuvent être graves, chez les personnes sensibles.
Erosion éolienne	De nombreuses particules sont libérées dans l'atmosphère à la suite de l'érosion des roches par la force dynamique du vent.
La foudre	Elle oxyde l'azote atmosphérique en produisant de grandes quantités d'oxydes d'azote.
Les algues	Emettent du sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S)
Les zones humides, les marais	La végétation se décompose et produit du méthane (CH <sub>4</sub> ).
Feux de forêts	Ils sont responsables de corrosion des objets métalliques en mer.
Embruns marins	Conduit à la formation de la pollution photochimique

### **I.3.1.1.2. Les sources humaines dites anthropiques**

On appelle émissions atmosphériques anthropiques les émissions d'origine humaine. Ainsi, la majorité des activités humaines sont le résultat direct ou indirect d'émissions polluantes à grande échelle.

## **Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

- Le secteur industriel est une source majeure d'émissions atmosphériques de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), de particules, de composés organiques volatils (COV), d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et d'autres polluants.
- Que ce soit par voie aérienne, maritime ou terrestre, les transports émettent des quantités importantes de NO<sub>x</sub>, de particules (PM), de monoxyde de carbone (imbrulés) et de COV dans l'atmosphère.
- Des métaux, des dioxines, des COV, des CO<sub>x</sub>, des aérosols et d'autres polluants sont également libérés à la suite de la combustion et de l'incinération.
- En raison de l'utilisation de pesticides et d'engrais, le secteur agricole est une source importante d'émissions de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>).
- Les activités domestiques, telles que l'utilisation de pesticides, de peintures et de produits ménagers, ainsi que la cuisson, émettent toutes sortes de polluants dans l'atmosphère (COV).
- Le chauffage est également responsable d'une part importante des émissions de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> et PM. Même la climatisation génère des émissions par inadvertance en raison de sa forte consommation d'électricité, ainsi que si le gaz réfrigérant n'est pas récupéré. [5]

### **1.3.2 La pollution d'eau**

La pollution de l'eau est définie comme la présence de composants ou de facteurs chimiques, physiques ou biologiques qui entraînent la dégradation d'un volume d'eau donné par rapport à une utilisation bénéfique. Le niveau de contamination nécessaire pour altérer un aquifère dépend fortement du type d'aquifère, de son emplacement et des types d'utilisations bénéfiques qu'il supporte. L'eau jugée impropre à la consommation humaine peut être utilisée à d'autres fins telles que l'habitation, l'irrigation ou les loisirs. Bien que certains événements naturels puissent entraîner une pollution de l'eau, nous nous concentrerons sur les sources anthropiques de pollution, c'est-à-dire la pollution résultant des activités humaines.[6]

#### **1.3.2.1. Source de pollution [7]**

##### **1.3.2.1.1. La pollution ponctuelle**

Elle est formée de rejets localisés, plus ou moins abondants relativement faciles à identifier. Chronique ou accidentelle, cette pollution est due à des déversements domestiques, urbains, ou industriels qui sont mauvais non traités.

# Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels

## 1.3.2.1.2 La pollution urbaine

Les eaux usées urbaines transportent des corps en suspension et en solution tels que des produits ménagers. Les stations d'épuration ne traitent que 65% des eaux usées et ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution. Certains composés organiques notamment les phosphates sont à l'origine de déséquilibres des écosystèmes en favorisant par excès le développement de certains végétaux indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui s'y trouvent.

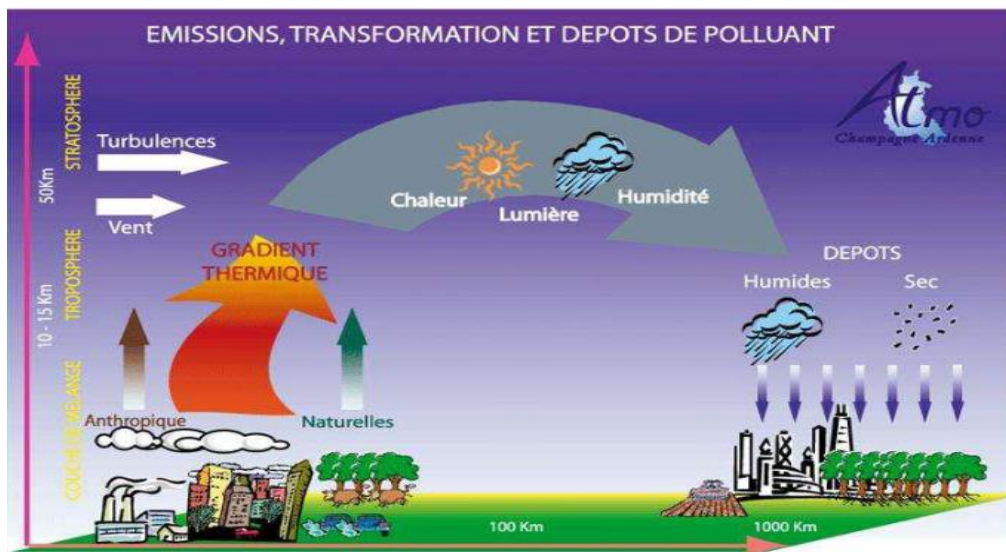


Figure 1. Les pollutions par l'urbanisme

## 1.3.2.1.3 La pollution industrielle

Une usine doit être équipée d'une station d'épuration (STEP). Un traitement primaire élimine les matières en suspension (ex : résidus de lavage, corps gras, huiles), puis un traitement secondaire élimine les matières en solution (ex: métaux lourds). En réalité, seulement 65% des eaux usées passent en station d'épuration ou le traitement secondaire n'est généralement pas appliqué (souvent à cause du coût.).

## Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels

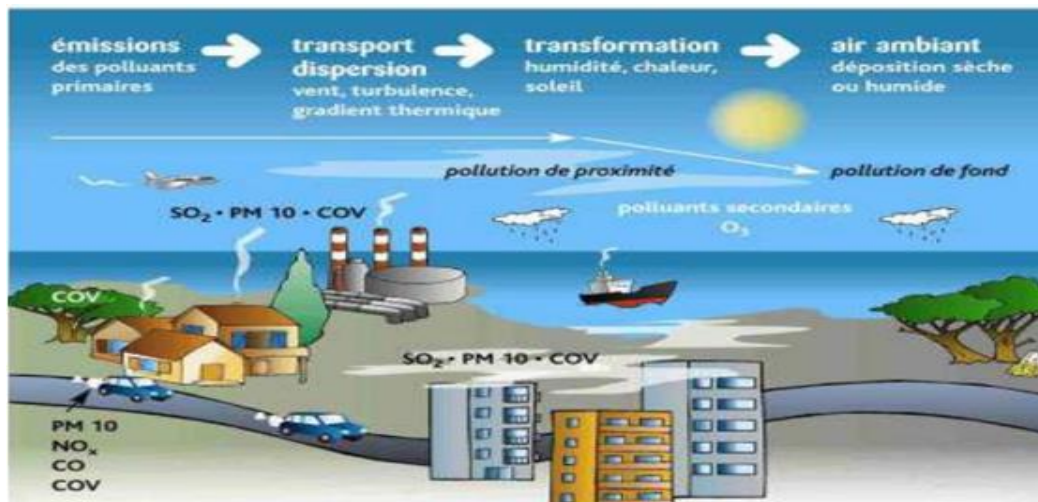


Figure 2. Les pollutions produites par l'industrie

### 1.3.2.1.4 La pollution diffuse

Elle résulte du lessivage et de l'érosion plus ou moins rapides du sol. Différentes substances sont entraînées vers les nappes et les rivières tel que les hydrocarbures, les métaux lourds, les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces. Elle est difficile à identifier et donc difficile à maîtriser. (BOUGUETIT, 2015).

### 1.3.2.1.5 La pollution agricole

Les engrais fournissent aux végétaux cultivés les éléments nécessaires à leur croissance notamment l'azote, le potassium, et le phosphore. Les dérivés azotés (spécialement les nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration issues de l'agriculture en favorisant le développement des algues qui prennent place à toute autre forme de vie à cause de leur sur développement. Les pesticides sont des produits chimiques destinés à détruire les champignons (fongicides), les mauvaises herbes (herbicides), les vers de terre (hématicides) et les insectes (insecticides) qui parasitent les agricultures. Ces produits sont mis au point de manière à être rapidement neutralisés avec une courte durée de vie une fois dissous dans le sol. Toutefois, une mauvaise préparation peut avoir des effets toxiques importants. L'accumulation de ces produits dans les cours d'eau peut avoir un impact important sur le milieu marin, à l'endroit même où se déverse des fleuves, ou bien par le retour

## **Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

des nappes souterraines qui forment des sources sous-marines ou proches du bord de la mer. (BOUGUETIT, 2015).

### **1.3.2.1.6 La pollution atmosphérique**

L'atmosphère terrestre s'il contient des polluants peut être une source considérable de pollution. En effet en cas d'orage les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration des polluants menacent à la fois les eaux superficielles et les eaux souterraines. Cette contamination susceptible de durer, est très difficile à traiter.

### **I.3.3. La pollution des sols**

Lorsqu'un sol contient une concentration anormale de composés chimiques susceptibles d'être nocifs pour l'homme, les plantes ou les animaux, on dit qu'il est pollué. La contamination se fait soit par voie digestive (consommation d'eau polluée, par exemple), soit par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère) [3]

#### **I.3.3.1. Source de pollution des sols [8]**

On peut distinguer deux types de pollution des sols (CREMILLE et al, 2002)

La pollution localisée : se distingue par la présence de substances dangereuses dans le sol, telles que des dispersions, des fumées, fuites ou dépôt de déchets.

La pollution diffuse : désigne une pollution qui se produit dans une variété d'endroits. Elle implique la propagation de polluants à faible concentration sur de grandes surfaces, qui sont généralement le résultat de déversements de produits tels que les engrais, les pesticides ou les retombées atmosphériques.

Il existe deux types de sources de pollution pour chacun de ces types :

- **La pollution accidentelle** : Rejet temporaire et sporadique de substances polluantes.
- **La pollution chronique** : pollution qui dure longtemps, comme les fumées nocives des égouts bouchés ou les lixiviats des décharges de déchets.

# **Chapitre01: Généralité sur la pollution de l'environnement et les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

## **I.4 Les procédés biologiques de la dépollution des milieux naturels**

### **I.4.1 La dépollution**

#### **I.4.1.1 Définition**

Pour limiter la pollution des eaux et des sols, la question de la nécessité d'une dépollution peut être posée. La dépollution désigne un processus qui permet de nettoyer les ressources naturelles afin de répondre aux besoins des populations. Le coût du traitement des sources contaminées est élevé. Par conséquent, le seul moyen de lutter contre la pollution est de la prévenir.[9]

#### **1.4.2 Les procédés biologiques (Bioremédiation)**

Les procédés biologiques sont basés sur la biotransformation microbiologique des polluants. On notera l'utilisation de bactéries, de champignons et de la phytoremédiation...Bien que ces techniques soient applicables à un large éventail de polluants organiques, elles ne sont pas toujours applicables aux effluents industriels en raison des concentrations élevées de polluants, de la toxicité qui entraînerait la mort des micro-organismes ou de la faible biodégradabilité. En outre, ces techniques produisent un grand nombre de boues biologiques à éliminer.[10]

La biorémédiation consiste à utiliser des micro-organismes pour immobiliser ou modifier la structure chimique des polluants environnementaux présents dans les sols, les sédiments, l'eau et l'air, ce qui entraîne une dégradation, une minéralisation ou une transformation partielle du composé. Les activités anthropiques contribuent fréquemment à la contamination de divers habitats ; en conséquence, les polluants environnementaux sont omniprésents dans de nombreux environnements, y compris les environnements extrêmes.[11]

# Chapitre II

La biodégradation des polluants

## Chapitre 02: La biodégradation des polluants

### II.1 Introduction

La biodégradation est l'un des premiers mécanismes importants qui conduit à l'élimination totale ou partielle des polluants organiques dans l'environnement par les micro-organismes. Ces micro-organismes ont des applications potentielles pour la bioremédiation des sols, des sédiments et des eaux contaminés par des polluants toxiques en raison de leurs caractéristiques physiologiques et enzymatiques uniques.[11]

Dans ce chapitre, Par la suite, nous donnons quelques notions sur le processus de la biodégradation de polluants organiques en particulier.

### II.2. Les polluants organiques

Les polluants organiques (PO) comptent parmi les substances chimiques les plus dangereuses que l'homme rejette chaque année dans l'environnement.[12] Il existe trois types de polluants organiques :

- I. les hydrocarbures.
- II. les composés de l'oxygène, de l'azote et du phosphore.
- III. les composés organométalliques.

Les hydrocarbures et les composés apparentés, qui comprennent des composés tels que le DichloroDiphénylTrichloroéthane (DDT), les dioxines et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, sont les types de polluants organiques les plus courants (HAP).[13]

Chaque famille de polluants possède des propriétés physico-chimiques uniques qui déterminent où ils se retrouvent sur le sol, dans l'air ou dans l'eau, ainsi que la façon dont ils se comportent dans l'environnement. Ils sont issus principalement de trois ensembles d'activités :

- **Activités urbaines** : Transports, gestion et traitement des déchets.
- **Activités industrielles** : Production pétrolière et industries chimiques.
- **Activités agricoles** : Utilisation de produits phytosanitaires.[12]

### II.3. Les différents polluants organiques

#### II.3.1. Les principaux polluants organiques de l'air [4]

Les particules, le dioxyde d'azote et l'ozone sont les trois principaux polluants réglementés dans l'air extérieur qui posent des problèmes en raison des violations fréquentes des normes de qualité de l'air.

##### • Polluants primaires

Polluants directement émis dans l'air par des sources de pollution (pots d'échappement, cheminées...). C'est le cas des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), du monoxyde de carbone (CO), des particules, des composés organiques volatils (COV), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>)...

##### • Polluants secondaires

Polluants formés dans l'air à la suite de réactions chimiques ou photochimiques impliquant des polluants primaires, tels que ceux causés par le rayonnement solaire, l'humidité et la chaleur. C'est par exemple le cas de l'ozone présent dans la troposphère (depuis le sol jusqu'à 10 km d'altitude) et de certaines particules.

##### • Les particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>)

Ce sont des types de polluants complexes qui se distinguent par leur diamètre. Leur toxicité est déterminée par leur nature chimique et leur taille. Plus les particules sont fines, plus elles sont dangereuses pour la santé car elles restent longtemps dans le système respiratoire.

#### II.3.2. Les principaux polluants organiques de l'eau

Certains flux de déchets contiennent des matières organiques ; ces polluants sont biodégradables et peuvent être convertis en eau et en CO<sub>2</sub> par des micro-organismes (bactéries, algues) Cependant, cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui n'est plus disponible pour la vie aquatique (poissons, crustacés, etc). C'est pourquoi l'on mesure souvent la pollution organique par " la demande biologique en oxygène" (DBO), autrement dit la quantité d'oxygène qui sera consommée par des micro-organismes pour sa biodégradation. On mesure également " la demande chimique en oxygène" (DCO), c'est à dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut l'être par voie chimique. (BENCHEIKH, 2011).[7]

## Chapitre 02: La biodégradation des polluants

### II.3.3. Les principaux polluants organiques des sols [14]

Les polluants organiques du sol sont principalement issus de trois types d'activités : industrielles (production d'énergie, fusion de métaux, industries chimiques, etc.), urbaines (transport, gestion et traitement des déchets) et agricoles (utilisation de produits phytosanitaires). Outre les hydrocarbures aliphatiques et les pesticides, d'autres polluants organiques sont couramment retrouvés dans les sols. Ils peuvent être regroupés dans les 4 familles suivantes :

- **Dioxines et furanes (PCDD/F)**
- **Hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)**
- **Polychlorobiphényles (PCB)**
- **Les composés organiques volatils (COV)**

### II.4. La biodégradation des polluants organiques

La décomposition naturelle des contaminants par l'action des micro-organismes et des plantes est connue sous le nom de biodégradation des polluants.

La plupart des polluants organiques industriels sont dégradables par des souches bactériennes. Soit par une combinaison d'étapes cométaboliques (cométabolisme), donnant généralement une dégradation partielle, ou bien en servant de substrat de croissance (catabolisme) qui est accompagné d'une minéralisation d'au moins une partie de la molécule. Les conditions environnementales telles que la présence ou l'absence d'oxygène, le pH, la température et la disponibilité d'autres accepteurs d'électrons comme les nitrates et les sulfates peuvent aussi influencer de façon significative la biodégradation.

Au cours de la biodégradation, les bactéries peuvent réaliser plusieurs étapes en faisant appel à des enzymes aux fonctions diverses. Grâce aux capacités enzymatiques spécifiques, les souches bactériennes oxydent les molécules organiques en utilisant l'oxygène comme accepteur d'électrons préféré pendant la respiration aérobie. Dans le cas de la respiration anaérobie, les bactéries, en revanche, utilisent directement les composés organiques comme accepteurs d'électrons.

Si une partie du substrat organique est assimilée à une matière cellulaire, les sous-produits finaux sont souvent de l'eau, du dioxyde de carbone et parfois du méthane.

## **Chapitre 02: La biodégradation des polluants**

La majorité des polluants organiques industriels peuvent être dégradés par des cultures bactériennes. Cela peut se faire par une série de réactions chimiques (cométabolisme), qui aboutit généralement à une dégradation partielle, ou bien en agissant comme un milieu de croissance (catabolisme), qui s'accompagne de la minéralisation d'au moins une partie de la molécule. Les facteurs environnementaux tels que la présence ou l'absence d'oxygène, le pH, la température et la disponibilité d'autres accepteurs d'électrons comme les nitrates et les sulfates peuvent également avoir un impact significatif sur la biodégradation. [12]

# Chapitre III

La biodégradation des polluants organiques par (les halophiles, les thermophiles, et les acidophil

## **Chapitre 03 La biodégradation des polluants organiques par (les halophiles, les thermophiles, et les acidophiles).**

### **III.1. Introduction**

Les extrémophiles sont des micro-organismes capables de se développer et de prospérer dans des environnements extrêmes, notamment ceux avec un pH acide ou alcalin, températures élevées ou basses, concentrations élevées de polluants et sels, entre autres. Dans des conditions environnementales défavorables, ces micro-organismes peuvent être utilisés pour la bioremédiation de milieux pollués contenant des polluants extrêmement récalcitrants. Nous présentons ici un aperçu des extrémophiles et du rôle des "omiques" dans le domaine de la bioremédiation des polluants de l'environnement. [15]

### **III.2. Biorémediation et biodégradation**

La biorémediation est un besoin urgent et extrêmement important car elle contribue à l'assainissement des environnements contaminés et pollués. Les micro-organismes, en particulier les extrémophiles, ont la capacité de décomposer les métaux lourds et les polluants organiques, de détoxifier les sols contaminés, les eaux usées et les déchets radioactifs, et de contribuer à la dégradation des plastiques (Canak et coll., 2019). Les extrémophiles peuvent transformer, immobiliser ou dégrader ces polluants en substances non toxiques par biodégradation, biosorption, bioréduction, etc. (Donati et coll., 2019; Marques, 2018). Les extrémozymes produits par ces microbes agissent comme biocatalyseurs en catalysant et en aidant à l'insolubilisation et à la précipitation des polluants en catalysant les réactions redox et en réduisant au minimum la production de polluants secondaires. [15]

### **III.3. Les microorganismes halophiles**

Le terme « halophile » bactéries nécessitant la présence de sel (NaCl) dans le milieu pour leur croissance.

En 1962, Larsen a défini 3 catégories de bactéries halophiles qui sont: les faiblement halophiles qui ont une croissance optimale dans des milieux ayant une concentration en sel allant de 1 à 6% (p/v), les bactéries halophiles modérées de 3 à 15% (p/v) de sel et les bactéries halophiles extrêmes de 15 à 30% (p/v) de sel.

La diversité phylogénétique des micro-organismes halophiles qui se développent dans les environnements hypersalins est extrêmement importante. Ces micro-organismes peuvent être trouvés dans les trois domaines de la vie : Bacteria, Archaea et Eukarya. [16]

## Chapitre 03 La biodégradation des polluants organiques par (les halophiles, les thermophiles, et les acidophiles).

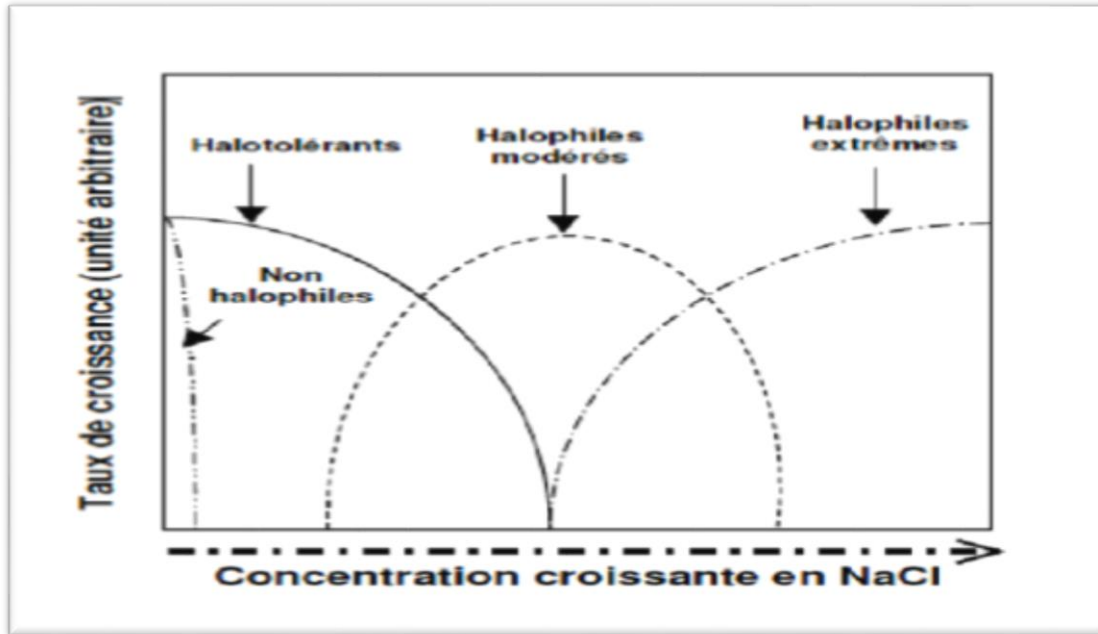


Figure 3. Différents groupes microorganismes halophiles (Larsen 1962)

### III.4.les microorganismes thermophiles

Une définition plus pratique et plus large a été proposée par Karl Stetter et qualifie les organismes thermophiles, tous les êtres vivants se développant à des températures supérieures à 45°C. Cette dernière définition est intéressante car elle définit 4 sous catégories au sein des thermophiles:

- **Les thermophiles modérés** : dont les conditions optimales de croissance se situent entre 55 et 65°C.
- **Les thermophiles extrêmes** : dont la température optimale de croissance est comprise entre 65 et 80°C.
- **Les hyperthermophiles**: dont la température optimale de croissance est supérieure à 80°C.
- **Les hyperthermophiles extrêmes**: dont la température optimale de croissance est supérieure à 105 C°.

Des microorganismes thermophiles ont été isolés d'environnements naturels, soumis au volcanisme ou au géothermalisme (sources hydrothermales océaniques profondes, sources chaudes terrestres...etc), ainsi que dans des biotopes artificiels à haute température (canalisations domestiques d'eaux chaudes, installations industrielles...etc).[17]

## **Chapitre 03 La biodégradation des polluants organiques par (les halophiles, les thermophiles, et les acidophiles).**

### **III.5. les microorganismes acidophiles**

Les environnements où sont retrouvés les micro-organismes acidophiles qui se développent de façon optimale à pH de 2,0, sont extrêmement rares dans le monde, avec un pH d'environ 4 et une forte concentration de métaux lourds. (Fer, arsenic, cuivre, zinc, chrome...) et métalloïdes.

La plupart de ces micro-organismes sont des chimio-lithotrophes acidophiles dont le métabolisme cellulaire est basé sur l'oxydation des composés ferreux et soufrés, appartenant aussi bien au domaine des Bacteria (Acidithiobacillus ferrooxidans, Leptospirillum spp. etc... chez les mésophiles et Sulfolobus spp. chez les thermophiles) qu'à celui des Archaea (Ferroplasma et Sulfolobus spp.; ces espèces sont essentiellement thermophiles). Les hétérotrophes strictes et facultatives colonisent également les environnements acides, elles appartiennent aux genres Acidiphilium et Acidimicrobium du domaine des Bacteria. [18]

### **III.6. Traitement des polluants organiques par les halophiles**

De nombreuses études sur le traitement des eaux usées salines sont basées sur les capacités de dégradation des microorganismes halophiles aérobies et anaérobies (Zhuang et al. 2010). Ces eaux sont issues de diverses industries, notamment l'agriculture, la tannerie et la fabrication de produits chimiques tels que les colorants, etc (Kanekar et al., 2011).

- Parmi les composés éliminés, on trouve des contaminants organiques dont les niveaux sont relativement élevés, comme le benzoate et le salicylate, ainsi que le phénol et les composés aromatiques (Zhuang et al, 2010). Par exemple, l'organisme halophile *Thalassospira* TSL5-1 est capable de dégrader efficacement les hydrocarbures polycycliques aromatiques de poids moléculaire élevé, tels que le pyrène (Edbeib et al, 2016).

- Les micro-organismes halophiles ont la capacité de décontaminer les sols. Ces milieux sont fréquemment pollués par des contaminants organiques tels que le pétrole.

- La bioaugmentation est un exemple de technique de décontamination des sols. Elle consiste à inoculer des micro-organismes ayant la capacité métabolique de dégrader et minéraliser les polluants en petites molécules stables afin d'éliminer les polluants difficilement dégradables par les communautés microbiologiques. [16]

## **Chapitre 03 La biodégradation des polluants organiques par (les halophiles, les thermophiles, et les acidophiles).**

### **III.7. Traitement des polluants organiques par les thermophiles**

Ils transforment les polluants en substances non toxiques (Mehta et al, 2016). Les thermophiles comme *Bacillus* sp. Il existe des applications dans une variété d'industries. Les thermophiles peuvent se débarrasser des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, ainsi que des colorants synthétiques. Les industries pétrolières et les déversements d'hydrocarbures peuvent entraîner une contamination des sols et des eaux souterraines car ils libèrent des substances nocives telles que des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des alcanes à longue chaîne (C10 à C32) qui peuvent être décontaminés par certaines souches d'extrêmophiles, notamment *Bacillus*, *Thermus* et *Geobacillus* (Sun et al. 2015 ; Jeong et Choi, 2020).

Thermophile, *Anoxybacillus* sp. Produit des extrémozymes qui contribuent au traitement des eaux usées (Jardine et al, 2018). Plusieurs de ses enzymes, enzymes hydrolytiques, oxydoréductases, et autres, peuvent réduire les polluants issus de plusieurs industries (industrie alimentaire, industrie pharmaceutique, etc.) comme le phénol (composant commun à de nombreux polluants), les polyaromatiques hydrocarbures polyaromatiques, colorants, métaux lourds, résidus d'antibiotiques, phosphates, etc.

Les thermozyms sécrétées par les moisissures thermophiles (*Talaromyces emersonii*, *Rhizopus* sp. et *Thermomucor indica-aeudatae*) sont très efficaces car elles présentent une forte activité et une grande stabilité à des températures extrêmes (Singh et al, 2016). Ainsi, elles peuvent dégrader les contaminants toxiques et organiques des déchets et effluents rejetés par les industries et aider à la biorémediation des eaux polluées par des colorants, des contaminants toxiques et organiques (Tapadar et al, 2021). [15]

### **III.8. Traitement des polluants organiques par les acidophiles**

La décontamination de tels effluents industriels est réalisée plus efficacement par une culture mixte d'acidophiles (*A. ferrooxidans* et *A. thiooxidans*) par rapport à leur culture pure seule (Kucmanová et al, 2021). Les thermoacidophiles sont des biodégradeurs potentiels de polluants dans les eaux industrielles car leur activité n'est pas affectée par des températures élevées ou un faible pH. Par exemple, *Sulfolobus solfataricus* peut dégrader le phénol à 80 °C et à un pH de 3,2 (Tapadar et al, 2021 ; Krzmarzick et al, 2018). [15]

## **Partie 2 :**

La synthèse de l'expérimentale de  
l'étude de la biodégradation des  
polluants organiques dans les milieux  
extrême

## Partie 2 : La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême.

### Introduction

Les modes de contamination sont divers. Tout comme les méthodes d'élimination, en fonction du type d'organisme responsable de la dégradation des polluants.

Dans le tableau ci-dessous, nous considérons quelques expériences avec divers organismes dans la biodégradation des polluants organiques.

**Tableau 2:** Des expériences avec divers organismes dans la biodégradation des polluants organiques.

Matériels et méthodes	Les résultats trouvés	Discussion	Auteurs
<b>Dégradation thermophile de polluants environnementaux (phénol et crésols) [19]</b>			
<p>Analyse brièvement des microorganismes thermophiles connus qui peuvent dégrader les polluants organiques de l'environnement.</p> <p>a décrit un <i>Bacillus stearothermo-philus</i> qui a dégradé le phénol à des concentrations allant jusqu'à 15 mmol l<sup>-1</sup> à 55 °C. Dans cette souche, les enzymes de dégradation du phénol ont été codées sur un plasmide.</p>	<p>Les résultats obtenus par cette étude mis en évidence la dégradation des polluants organiques par les microorganismes thermophiles.</p> <p>Les quatre substrats (phénol, trois isomères de crésol) ont été dégradés simultanément, ce</p>	<p>L'utilisation de phénol et les crésols par des microorganismes thermophiles. mentionné qu'un <i>Bacillus stearothermo-philus</i> à été dégradé le phénol ainsi que les trois isomères de crésol à 55°C. D'autres composés aromatiques n'ont pas été dégradés.</p>	<p><b>Buswell et al, 1975.</b></p> <p><b>Guruieyalakshimi et al, 1989</b></p>

**Partie 2 :La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême.**

<p>Les gènes du phénol hydroxylase et du catéchol 2,3-dioxygénase ont été cloné La cinétique de croissance de cette souche a été étudiée intensivement.</p> <p>l'isolement de la dégradation thermophile des polluants de l'environnement 161 deux souches d'un échantillon de saumure provenant d'un champ de gaz sous-marin, qui ont dégradé divers composés phénoliques. En plus du phénol, plusieurs fluoro-, chloro-, méthyl-, éthyl-, diméthyl- et triméthylphénols ont été convertis par ces souches.</p> <p>Lors de l'isolation d'un bacille thermophile capable de dégrader le phénol ainsi que les trois isomères du crésol à des concentrations allant jusqu'à 10 mmol l<sup>-1</sup>. Cette souche a pu croître jusqu'à 70 °C dans les sels minéraux contenant les phénols comme seule source de carbone.</p>	<p>qui indique que les quatre composés sont dégradés par les mêmes enzymes.</p> <p>L'utilisation de phénol ou du benzoate comme source de carbone qui inhibe la croissance des souches.</p> <p>La découverte que l'enzyme méta-clivant de cette souche pouvait être inhibée par la tétracycline a conduit à la suggestion d'un processus thermophile pour la production biologique de catéchol à partir du phénol par l'utilisation de <i>Bacillus stearothermophilus</i> BR219 en présence de</p>	<p>Les organismes isolés dans ces études peuvent aider à résoudre certains problèmes environnementaux, mais peuvent aussi être intéressants pour de nouvelles applications biotechnologiques.</p>	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

**Partie 2 :La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême.**

	tétracycline		
<b>bioaugmentation des consortiums halophiles pour la dégradation des hydrocarbures pétroliers et le traitement des eaux usées pétrolières [20]</b>			
<p>Les échantillons ont été prélevés à différents endroits dans Mer Rouge, côte de Djeddah, Arabie Saoudite. Les échantillons contenaient des sédiments et de l'eau. L'échantillon a été transporté dans des bouteilles de verre stériles du laboratoire pour être utilisé pour des analyses plus poussées.</p> <p>Le plan expérimental consiste en deux flacons témoins à savoir abiotique (HMSM+PAH), biotique (HMSM+BC) et un ballon d'essai (HMSM+PAH+BC). Tous les expériences réalisées en double. Les échantillons présents dans les flacons témoins et d'essai ont été extraits avec acétate d'éthyle (v/v) deux fois à l'aide d'une séparation en verre entonnoir. La phase organique (acétate d'éthyle + HAP) a été soumis à la filtration à l'aide de</p>	<p>Étude initiale sur la dégradation des HAP avec PHN dans la gélose HMSM a montré HAP zone de dégagement sous lumière UV. Zone de dégagement par le consortium a confirmé l'utilisation de PHN en condition saline (concentration de NaCl 40 g/L.</p> <p>L'étude a débuté avec une concentration de 25 ppm de PHN en condition saline (concentration de NaCl de 40 g/L). Les résultats ont montré une dégradation de 85 % du PHN en 4 jours et une dégradation complète en 6 jours.</p> <p>PHN et FLU</p>	<p>PHN et FLU ont été utilisés comme composé modèle de HAP de faible poids moléculaire. Le RSP a été utilisé pour étudier le potentiel de dégradation du consortium bactérien.</p> <p>Le pyrène a été utilisé pour représenter les HAP HMW en condition saline afin d'analyser l'efficacité de dégradation du consortium halophile. Acide oxalique, phénanthrène-4-carboxylique.</p> <p>acide</p>	<b>Dr.Mamdoh.TJamal.</b>

**Partie 2 :La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême.**

<p>papier filtre whatmann contenant du sulfate de sodium anhydre pour éliminer teneur en eau de l'échantillon. Après filtration, 1 mL du filtrat a été obtenu et filtré à nouveau avec filtre à seringue dans un flacon en verre pour CLHP (Haut Performance Liquid Chromatography) et GCMS(spectrométrie de masse par chromatographie en phase gazeuse).</p>	<p>représentaient des métabolites courants tels que l'acide benzoïque, 1-hydroxy-2-naphtalène carboxyliqueacide, acide oxalique et acide pentanoïque.</p> <p>la dégradation du pyrène sous salinecondition d'un produit final de CO<sub>2</sub> et d'eau</p> <p>le consortium a fortement dégradé les deux LMW et HMW à la forme non toxique qui révèle l'importance d'utiliser le consortium halophile dans dégradation des HAP et des eaux usées condition saline.</p>	<p>naphtalène carboxylique et acide benzoïque métabolites très compatibles avec la voie métabolique proposée pour la dégradation du pyrène.</p>	
<p><b>Analyse de la communauté et voie métabolique des bactéries halophiles pour la dégradation du phénol en milieu salin [21]</b></p>			
<p>Analyse la capacité de l'enrichissement à dégrader le phénol dans un</p>	<p>L'enrichissement est dégradé le phénol comme seul source de</p>	<p>Étant donné que la contamination</p>	<p><b>Z.-z. Huang et al., 2014.</b></p>

**Partie 2 :La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême.**

<p>environnement salin (par les halophiles).</p> <p><b>Matériel et méthode :</b></p> <p>_à partir du lac salé de Qarhan a utilisant des spatules stérilisées pour l'étude aérobie.</p> <p>_ les échantillons ont été placés avec un espace de tête suffisant et transportés au laboratoire à 4C°. Dans des bouteilles de sérum, 10 g d'échantillon de sédiment et 40 ml de milieu de sels minéraux (MSM) autoclavé avec un pH de 6,9 ont été utilisés pour faire des microcosmes (capacité de 125 ml), le phénol a été utilisé comme seule source de carbone. dans une 1g de salinité, les bouteilles ont été fermé avec un bouchon se couées à 120 tr /min dans la chambre à 30C°.</p> <p>_ Après avoir observé une dégradation significative du phénol ajouté, les cultures d'enrichissement ont été</p>	<p>carbone après 50 jours à une large gamme de concentrations de sel.</p> <p>_ En présence de NaCl, l'enrichissement a dégradé le phénol en (2 à 3 jours).</p> <p>_ À une salinité plus élevée de NaCl, il a fallu 5 jours pour dégrader le phénol.</p> <p>_ Initialement, le phénol était presque complètement éliminé en 7 jours.</p>	<p>par le phénol peut être trouvée dans les eaux salines, la capacité de l'enrichissement à dégrader le phénol dans un état salin à une application a de l'importance. alcalis ou des eaux marines</p> <p>_ Pour métaboliser des concentrations élevées, une communauté microbienne halophile est nécessaire.</p> <p>_ la biodégradation du phénol par des communautés microbiennes sur une gamme de salinités aussi large n'a jamais</p>	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

**Partie 2 :**La synthèse de l'expérimentale de l'étude de la biodégradation des polluants organiques dans les milieux extrême.

<p>propagées.</p> <p>_ les milieux de culture ont été amendés avec du phénol 5 fois, et les enrichissements ont été transférés 4 fois pour obtenir des cultures d'enrichissement sans sédiments.</p>		été documentée	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	----------------	--

## Conclusion Générale

Pour conclure, l'activité humaine est la principale cause de pollution. Il est vrai que le développement de la technologie a favorisé d'énormes progrès sur la qualité de la vie des humains, mais en contrepartie, il a également provoqué des dégâts considérables sur l'environnement. Il existe différents types de pollution environnementale, dont la pollution de l'air, de l'eau et du sol. L'objectif principal de notre recherche est d'aborder la biodégradation des polluants organiques par des microorganismes.

La meilleure solution pour réduire la pollution consiste à utiliser la biorémediation pour nettoyer les sites qui ont été contaminés par des polluants organiques, car elle est à la fois durable et respectueuse de l'environnement.

La première partie, est consacrée à une mise au point bibliographique sur la pollution par les polluants organiques et des notions sur le processus de biodégradation des polluants organiques par les microorganismes. La deuxième partie, présente un résumé de quelques expériences avec divers organismes dans la biodégradation des polluants organiques

## Références Bibliographiques

- [1] Farah, M. M., & Abdelaziz, M. S. Les instruments financiers de protection de l'environnement contre les pollutions en Algérie: Cas de la pollution marine par les hydrocarbures.
- [2] Douafer, L. (2010). *Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'est algérien par l'utilisation d'un bioindicateur; helixaspersa (mollusca, gasteropoda)* (Doctoral dissertation, Annaba).
- [3] Zaki j, Neghbil A. (2020), *Méthodes de traitement des eaux polluées par les colorants*[Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila].
- [4] Plaisance, H., Etude de la pollution de l'air à différentes échelles spatio-temporelles, in Département Chimie et Environnement Ecole des Mines de Douai 2004
- [5] Ouzid, S. (2017). *Mesure des polluants atmosphériques générés par la société des ciments de Tébessa* (Doctoral dissertation, UMMTO).
- [6] Weiner, R., Matthews, R., & Vesilind, P. A. (2003). *Environmental engineering*. Butterworth-Heinemann.
- [7] TABABOUCHET, S. (2017). *Etude de la pollution des eaux superficielles et souterraines du bassin versant du sebaou*[Mémoire de Master, Université M'sila, Ecole Nationale Supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah]
- [8] AbiDjamelEddine, D. A. E. (2016). *Contribution à l'étude de la pollution des sols des zones humides cas de: " chott El Frain wilaya de Sétif* (Doctoral dissertation).
- [9] Hezzat, H. (2012). *Etude Critique Des Différents Moyens De Dépollution Et De Prévention Contre La Pollution Des Eaux Et Des Sols* [Mémoire de Master, Université Abou BekrBelkaid - Tlemcen].
- [10] Bevrarn, T. (2012). *Traitement des polluants organiques persistants par décharges à barrières diélectriques (DBD) et par décharges glissantes (Glidarc)* (Doctoral dissertation, Paris 6).
- [11] Giovanella, P., Vieira, G. A., Otero, I. V. R., Pellizzer, E. P., de Jesus Fontes, B., & Sette, L. D. (2020). Metal and organic pollutants bioremediation by extremophile. *Journal of hazardous materials*, 382, 121024.
- [12] Fedeila, M. (2019). *Etude de la biodégradation de polluants organiques présents dans les eaux de rejets domestiques et/ou industriels* (Doctoral dissertation).
- [13] Shankar, S., Ratnakar, A., Singh, S., & Rawat, S. (2020). Environmental contamination, toxicity profile, and bioremediation approaches for detoxification of paper mill wastewater. In *Bioremediation of industrial waste for environmental safety* (pp. 181-206). Springer, Singapore.
- [14] Barriuso, E., Calvet, R., Schiavon, M., & Soulas, G. (1996). Les pesticides et les polluants organiques des sols. *Etude et gestion des sols*, 3(4), 279-296.
- [15] Kumar, M., Kochhar, N., Kavva, I. K., Shrivastava, S., Ghosh, A., Rawat, V. S., & Sodhi, K. K. (2022). Perspectives on the microorganism of extreme environments and their applications. *Current Research in Microbial Sciences*, 100134.
- [16] Ait Bachir, A., & Asli, A. (2020). *Les microorganismes halophiles: source de biomolécules* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

## Références Bibliographiques

- [17] Maouchi, S., & Medjedoub, D. (2020). *Etude bibliographique portant sur les environnements chauds: les microorganismes thermophiles et leurs applications* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [18] Belala, S. (2021). *Les extremophiles dans leurs environnements et leurs applications biotechnologiques* [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine].
- [19] Müller, R., Antranikian, G., Maloney, S., & Sharp, R. (1998). Thermophilic degradation of environmental pollutants. *Biotechnology of Extremophiles*, 155-169.
- [20] Al-Shaikh, A. J., & Jamal, M. T. (2020). Bioaugmentation of halophilic consortia for the degradation of petroleum hydrocarbons and petroleum wastewater treatment. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 7(9), 97-112.
- [21] Huang, Z. Z., Wang, P., Li, H., Lin, K. F., Lu, Z. Y., & Guo, X. J. (2014). Community analysis and metabolic pathway of halophilic bacteria for phenol degradation in saline environment. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94, 115-120.





