

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

B.B.A. Ibrahimi- El Bachir El Mohamed Université

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences biologiques



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BOUJOURJOUR



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BOUJOURJOUR

# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Sciences biologiques  
Spécialité : Microbiologies appliquée

## Intitulé

**Activité enzymatique et performances  
épuratoires des actinobactéries en traitement  
des eaux usées textiles**

Présenté par :

M<sup>elle</sup> Taleb Zahra

Mme Djemouai Icherak

Composition du Jury :

Président :	Dr. KERMICHE S.	M.A.A	(Université de BBA)
Encadrant :	Dr. SOUAGUI Y.	M.C.B	(Université de BBA)
Examineur :	Dr. BENSOUILAH T.	M.C.B	(Université de BBA)
Examinatrice 2 :	Dr. DEHIMI K.	M.C.B	(Université de BBA)

Année universitaire : 2019/2020.

## **Remerciements**

*Tout d'abord nous remercions Allah le tout puissant qui nous a éclairés vers le bon chemin.*

*Nous tenons à remercier très vivement notre encadrant, Mme. **SOUAGUI Yasmina**, pour ses conseils avisés et ses encouragements constants.*

*Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury :*

*Mme. **KERMICHE. S** présidente de ce travail, M. **BENSOUILAH. T**, et Mme **DEHIMLIKH** Examineurs de ce travail Qui ont consacré une part importante de leurs temps à la lecture et à l'évaluation de ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous les amis et les collègues pour leurs encouragements et leurs amitiés.*

***Icherak et zahra***



# Dédicace

*Je dédie ce travail à ...*

***A MON CHERE PERE : MOHAMED***

*Qui ne cesse constamment de m'entourer de son affection grandissant, de m'enrichir de son expérience, de me prodiguer ses conseil, et qui ma permis de mieux comprendre la vie.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance infinie pour les énormes sacrifices consentis à mon éducation.*

***A MA TRÈS CHER MERE : YAMINA***

*Aucune dédicace ne s'aurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutient et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*Mes chère parents Merci pour votre aidée et merci pour votre patience qui me poussée vers la sucées vous être toujours le plus important dans ma vie.*

*A mon seul frères: AbdElraouf, mon compagnon dans cette vie et mon bras droit que je souhaite une vie pleine de bonheur, da santé et de réussite.*

***A mon époux Senouci Tarek, Qui m'a soutenu toute au long de ce travail.***

***A Mes Chères Grands parants : Hada, djamila, djoudi et malek***

***A Mes deuxièmes Chères parants : fodile et barkahoum que Dieu les gardes et les protèges***

***Ames chères coupines et sœurs : Rania, Nawal et son bébé Adem, Amel et son bébé tamim, Hadjer, Amina, sousou et sarah***

*Pour les bons souvenirs et le beau temps que nous avons passé ensemble, en leur souhaitant le succès et le bonheur dans leur vie.*

***A mon binome Taleb Zahra***

***A tous mes cousines sans exception***

***A tous mes oncles et tantes sans exception.***

***A mes connaissances et à tous qui sont chères à mon cœur***

***lcherak***



# Dédicace

*Je dédie ce travail:*

*A mon défunt grand père*

*«Mohamed Saïd»*

*Ames très chères Père et Mère (Saliha et Mahmoud)  
pour leur amour, Sacrifices, aide, et soutien, qui m'a  
toujours encouragé tout au long de mes études que dieu  
le garde et le protège*

*A mon cher frère*

*Salah A mes*

*chères sœurs*

*(Amel, Sihem, Nadjet, Maroua, Malak)*

*A toute la famille et toutes mes amies*

*En témoignage de ma profonde  
affection*

*Zahra*

# Table des matières

RESUME	
LISTE DES FIGURES.....	I
LISTE DES TABLEAUX .....	II
LISTE DES ABREVIATIONS .....	III
INTRODUCTION GENERALE .....	1
<b>CHAPITRE I : Généralités sur les actinobacteries</b>	
I-1.Définition et propriétés générales des actinobactéries.....	2
I-2.Culture et morphologie des actinobactéries .....	2
I-2-1. Les caractères cultureux .....	2
I-2-2. Caractères macromorphologiques .....	3
I-2-3 .Caractères micromorphologiques .....	4
I-3.Ecologie et distribution des actinobactéries dans la nature.....	5
I-4.Cycle de développement des actinobactéries .....	6
I-5.Classification et taxonomie des actinobactéries .....	7
I -5-1.Systématique des actinobactéries .....	7
I-5-2. Critères d'identification des actinobactéries .....	8
I-6.Intérêt d'utilisation des actinobacteries .....	9
I-6-1. Importance des actinobactéries dans l'environnement et l'agriculture .....	9
I-6-2. Importance des actinobactéries dans le domaine pharmaceutique .....	9
I-6-3. Importance des actinobactéries en biotechnologie .....	9
<b>CHAPITRE II : Aperçu général sur les eaux usées et les colorants textiles</b>	
II-1. Définition des eaux usées .....	10
I-1-1. Classification des eaux usées .....	10
II-1-2-1. Eaux résiduaires urbaines (ERU) .....	10
II-2-2-2.Eaux résiduaires industrielles (ERI).....	10
II-2. Les colorants textiles.....	10
II-2-1.Généralités .....	10

<b>II-2-2.</b> Définition d'un colorant textile .....	11
<b>II-2-3.</b> Importance des colorants textiles .....	11
<b>II-2-4.</b> Classification des colorants .....	11
<b>II-2-4-1.</b> Les colorants azoïques .....	12
<b>II-2-4-2.</b> Les colorants anthraquinoniques .....	12
<b>II-2-4-3.</b> Les colorants indigoïdes .....	12
<b>II-2-4-4.</b> Les colorants Xanthènes .....	13
<b>II-2-4-5.</b> Les phtalocyanines .....	13
<b>II-2-4-6.</b> Les colorants nitrés et nitrosés .....	13
<b>II-2-4-7.</b> Les colorants triphénylméthane.....	13
<b>II-2-5.</b> Toxicité des colorants .....	14

### CHAPITRE III : La performance enzymatique des actinobactéries dans la biodégradation de colorants textile

<b>III-1.</b> Décoloration par les actinobactéries.....	15
<b>III-1-1.</b> Le processus biosorption/accumulation intracellulaire .....	16
<b>III-1-2.</b> Le processus d'oxydation /réduction ou d'alkylation .....	17
<b>III -1-2-1.</b> Biodégradation des colorants azoïques par les actinobactéries .....	18
<b>III -1-2-2.</b> Enzymes impliquées dans la biodégradation du colorant par les actinobactéries.....	19
<b>III -1-2-2-1.</b> Dégradation réductrice du colorant textile.....	20
<b>III -1-2-2-2.</b> Dégradation oxydative du colorant textile.....	21
<b>III -1-2-3.</b> Les facteurs affectant la biodégradation des colorants .....	22
Conclusion et perspectives.....	24
Références bibliographiques	

### **Résumé**

Les colorants sont largement utilisés dans l'industrie textile pour leur stabilité chimique et la facilité de leur synthèse. Cependant, ces colorants sont à l'origine de la pollution une fois évacués dans l'environnement.

Compte tenu de la composition très hétérogène de ces derniers, leur dégradation conduit souvent à la conception d'une chaîne de traitement physique, chimique et biologique. Cependant, la minéralisation complète des colorants avec des micro-organismes est l'une des options les plus fiables pour la remédiation des effluents industriels contenant des colorants azoïques.

Actuellement les chercheurs ont développés un grand intérêt pour les actinobactéries en raison de leur potentiel élevé dans le traitement des déchets industriels et le traitement des eaux usées, en raison de leurs différentes voies métaboliques fonctionnant dans un large éventail de conditions environnementales, ils se sont révélés être également des producteurs d'enzymes impliquées dans le processus (d'oxydation et réduction) et de métabolites aux propriétés prometteuses.

**Mots clés** : Colorants; pollution de l'eau; industrie textile; Actinobactéries ; traitement ; enzymes

### **Abstract:**

Dyes are widely used in the textile industry for their chemical stability and ease of synthesis. However, these dyes cause pollution when released into the environment.

Given the very heterogeneous composition of the latter, their degradation often leads to the design of a physical, chemical and biological treatment chain. However, the complete mineralization of dyes with microorganisms is one of the most reliable options for remediation of industrial effluents containing azo dyes.

Currently researchers have developed a great interest in actinobacteria due to their high potential in industrial waste treatment and sewage treatment, due to their different metabolic pathways functioning under a wide range of environmental conditions, they have been shown to be producers as well. Enzymes involved in the process (oxidation and reduction) and metabolites with promising properties.

**Keywords:** Colorants; water pollution; textile industry; Actinobacteria; treatment; enzymes.



### الملخص:

تستخدم الأصباغ على نطاق واسع في صناعة النسيج لاستقرارها الكيميائي وسهولة تصنيعها؛ ومع ذلك، فإن هذه الأصباغ التلوث عند إطلاقها في البيئة. تسبب وبالنظر إلى التركيب الغير المتجانس لهذه الأخيرة، فإن تدهورها غالباً ما يؤدي إلى تصميم سلسلة معالجة فيزيائية وكيميائية وبيولوجية. ومع ذلك، فإن التمدن الكامل للأصباغ بالكائنات الحية الدقيقة هو أحد الخيارات الأكثر موثوقة المعالجة النفايات السائلة الصناعية التي تحتوي على أصباغ الأزو .

طور الباحثون حالياً اهتماماً كبيراً بالبكتيريا الشعاعية نظراً لإمكاناتها العالية في معالجة النفايات الصناعية ومعالجة مياه الصرف الصحي، نظراً لأن مساراتها الأيضية المختلفة تعمل في ظل مجموعة واسعة من الظروف البيئية، فقد ثبت أنهم منتجون أيضاً . الإنزيمات المشاركة في العملية (الأكسدة والاختزال) والمستقلبات ذات الخصائص الواعدة.

**كلمات البحث:** الألوان؛ تلوث المياه؛ صناعة؛ البكتيريا الشعاعية؛ العلاج؛ الإنزيمات.

## Liste des figures

<b>Figures N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Aspect morphologiques des actinobactéries sur milieu solide	3
<b>Figure 2</b>	Morphologie du mycélium aérien et le mycélium de substrat(Végétatif) des actinobacteries sur milieu amidon- caséine	4
<b>Figure 3</b>	Aspect micro-morphologique de quelques espèces d'actinobactéries	5
<b>Figure 4</b>	Cycle de développement des actinobacteries sur milieu solide	7
<b>Figure 5</b>	Formule développée d'azobenzène	12
<b>Figure 6</b>	Formule développée d'Anthraquinone	12
<b>Figure 7</b>	Formule développée d'Indigo	12
<b>Figure 8</b>	Formule développée duXanthène	13
<b>Figure 9</b>	Formule développée de la phtalocyanine	13
<b>Figure 10</b>	Formule développée de 2-Nitrophénol	13
<b>Figure 11</b>	Formule développée de la Triphénylméthane	13
<b>Figure 12</b>	Présentation d'un procédé d'ennoblissement textile	15
<b>Figure 13</b>	Different mécanismes d'interaction entre bactéries /polluants	16
<b>Figure 14</b>	Mécanisme proposé pour la réduction des colorants azoïques des cellules bactériennes par azoréductase	20

## Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
Tableau I	Répartitions des actinobactéries dans la nature	5
Tableau II	Taxonomie qui précise les principaux genres du phylum XXVI Actinobacteria	7
Tableau III	Principaux critères utilisés pour la taxonomie des actinobactéries	8
Tableau IV	Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissantes	11
Tableau V	Les Principales classes de toxicité, Échelle de Gosselin	14
Tableau VI	Biodégradation des colorants synthétiques par les actinobactéries via des procédés d'oxydoréduction	18
Tableau VII	Différents types de laccases présentes chez les espèces du genre <i>Streptomyces</i> et leurs conditions optimales	22
Tableau VIII	Enzymes publiées dans NCBI ayant la capacité de décolorer les colorants synthétique	22

## Liste des Abréviations

**Fe** : Fer.

**Co**: Cobalt.

**Cu** : Cuivre.

**M** : Molaire.

**Ba** : Barium.

**Nm**: nanomètre.

**SG**: Sporangies.

**Mn**: manganèse.

**UV** : Ultra-violet.

**SP.I** : Spores isolés.

**MA** : Mycélium aérien.

**SP.M** : Spores mobiles.

**GC** : Guanine-Cytosine.

**C.SP** : Chaines de spores.

**S**: *Spira* (chaines spiralées).

**LiP**: la lignine-peroxydase.

**NaCl**: Chlorure de sodium.

**ARN** : Acide ribonucléique.

**MS** : Mycélium du substrat.

**MnP** : manganèse peroxydase.

**ERU** : les eaux résiduaires urbaines..

**ERI** : les eaux résiduaires industrielles.

**ISP** : International *Streptomyces* Project.

**DyPs**: les peroxydases dites décolorantes.

**STSL**: *Streptomyces* thermostable laccase.

**M2** (williams modifié) : milieu amidon- caséine.

**SLAC**: Small Laccase from *Streptomycescoelicolor*.

**RF**: *RectusFlexibilis* (chaines de spores droites à flexueuses).

**RA** : *RetinaculumApertum* (chaines en crochets ou en boucles).

**DGGE**: Digestions de l'ADN et analyse par électrophorèse en champ pulsé.

**EpoA**: phénol oxydase cytoplasmique extra semblable à une laccase produite par *Streptomyces griseus*.

### Introduction générale

Les industries textiles, et plus particulièrement les phases de teinture et d'ennoblissement, utilisent principalement des produits chimiques, nuisibles pour la santé, comme certains colorants azoïques cancérigènes engendrant une pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques (**Dali-Youcef et al., 2006**). Le processus de teinture n'étant pas très efficace, la production d'eaux usées hautement colorées est énorme. La quantité de colorant perdue dans les eaux usées peut être de 2% de la concentration initiale des colorants basiques pour atteindre 50% pour un colorant réactif (**Tan et al., 2000 ; Boer et al., 2004** ).

Le traitement des eaux usées contaminées par des colorants d'une manière respectueuse de l'environnement est essentiellement nécessaire avant leur élimination. Diverses stratégies physiques, chimiques et biologiques peuvent être utilisées pour le traitement des colorants azoïques (**Qin et al., 2007 ; Onat et al., 2010** ). Cependant, La minéralisation complète des colorants avec des micro-organismes est l'une des options les plus fiables pour la remédiation des effluents industriels contenant des colorants azoïques. La diversité des micro-organismes et de leurs diverses voies métaboliques peut être utilisée pour cibler les principales classes chimiques de colorants (**Mohanty et al., 2006 ; Sadettin et Donmez 2007 ; Liu et al., 2011 ; Saratale et al., 2011 ; Khalid et al., 2012 ; Prasad et Aikat , 2014** ).

Les actinobactéries sont un groupe de bactéries filamenteuses à Gram positif connus comme prokaryotes à forte teneur en GC (**Stackebrandt et al., 1997 , Deepika et Kannabiran 2009 , Deepika et al., 2009** ). Connus pour leurs capacités de dégradation. Considérés comme source intéressante de nombreux métabolites secondaires bioactifs (**Nathan et al., 2004 , Jensen et al., 2005 ; Suthindhiran et Kannabiran, 2009** ). Compte tenu de leur habitat diversifié et leurs rôles dans l'environnement, ces micro-organismes peuvent être étudiés pour leur potentiel de biodégradation et biorestauration .Les actinobactéries sont particulièrement adaptées au traitement des eaux usées ,en raison de leurs différentes voies métaboliques fonctionnant dans un large éventail de conditions environnementales et de la survie dans des conditions extrêmes. (**Lee et al., 2012 ; Mahajanga et Balachandran,2012**).

Ce constat nous a amené à orienter cette synthèse bibliographique sur les actinobactéries (définition, morphologie, taxonomie et biodiversité métabolique ainsi que l'intérêt de leur utilisation).Sur les colorants (définition, classification, propriétés chimiques et leur toxicité).Ainsi que le rôle des actinobactéries dans la dégradation et le traitement des rejets de colorants.

A decorative border composed of elegant, black scrollwork and flourishes, framing the central text. The border is composed of four distinct sections: a top section, a right section, a bottom section, and a left section, each featuring intricate, swirling patterns.

## **Chapitre I :**

### **Généralités sur les actinobactéries**

**I-1. Définition et propriétés générales des actinobactéries**

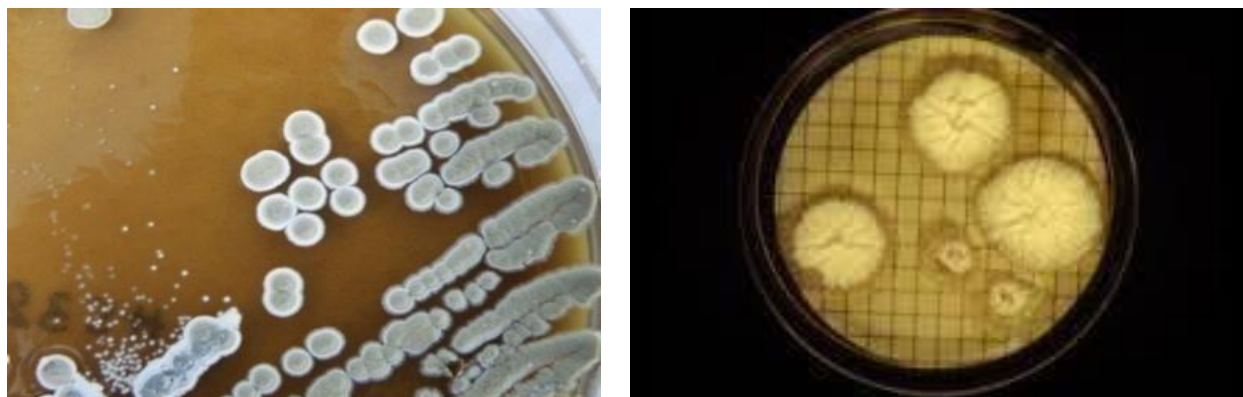
On peut définir les actinobactéries comme des Eubactéries à Gram positif à structure végétative de type mycélienne (Stanier *et al.*, 1966 in Dommergues et Mangenot, 1970 ; Pandey *et al.*, 2004 ; Rosilmaet *al.*, 2016), hétérotrophes et/ou chimiotrophes pour certains (Williams *et al.*, 1984). Présentent un groupe à une teneur élevée en guanine et en cytosine (GC>55%) (Goodfelloow et Williams, 1983). Caractérisés par une croissance lente, avec un temps de génération moyen de 2 à 3 heures (Kitouni, 2007). Plusieurs d'entre eux produisent des spores non mobiles (*Streptosporangium*) (Locci et Sharples, 1984). Leur morphologie, cependant, varie entre les différents genres, de forme cocci (*Micrococcus*), bâtonnets (*Mycobacterium*) et polymorphes (*Nocardia*) jusqu'aux filaments ramifiés qui se décomposent en cellules sphériques ou qui donnent un mycélium aérien avec de longues chaînes de spores (Erikson, 1949). Ils font partie de la flore microbienne de la plupart des substrats naturels (Hotamet *al.*, 2013).

La famille des actinobactéries est constituée d'une quarantaine de genres qui se distinguent les uns des autres essentiellement sur la base de leur morphologie générale qui peut être extrêmement diversifiée, comme par exemple le bacille de Koch (*Mycobactérie tuberculosis*) et les bactéries filamenteuses appartenant aux genres *Nocardia* et *Streptomyces*. Ils peuvent être terrestres ou aquatiques (Badis *et al.*, 2006; Servin *et al.*, 2008; Ranjani Anandan *et al.*, 2016). Ces microorganismes, en effet, présentent des similitudes à la fois avec les Eubactéries et avec les champignons (Lakshmiathy et Krishnan, 2016; Janaki, 2017). Les actinobactéries constituent une partie importante de la microflore tellurique (Dommergues et Mangenot, 1970). Ils colonisent des milieux très divers, à cause de leur adaptation et leur résistance à certaines conditions très hostiles (Sudhanshu *al.*, 2011).

**I-2. Culture et morphologie des actinobactéries****I-2-1. Les caractères cultureux**

Plusieurs milieux sont utilisés pour l'isolement sélectif des actinobactéries on cite par exemple : le milieu Olson, le milieu Bennett, le milieu amidon-caséine (milieu Williams), les milieux ISP (International *Streptomyces* Project) (ISP1-ISP9) et bien d'autres, mais il existe à ce jour aucune liste exhaustive (Larpent et Sanglier, 1989).

Sur les milieux solides, les actinobactéries forment des colonies de forme et d'aspect très particulier (Ottow et Glathe, 1968 ; Larpent et Sanglier, 1989). Elles résultent de l'accumulation des hyphes ramifiés et non pas de cellules comme c'est le cas chez les bactéries non filamenteuses. Le diamètre des colonies est variable de 1 à 10 mm. L'aspect des colonies peut être compact, sec, lisse, rugueux, poudreux, ou en chou-fleur à contours lisses ou échancrés. Les colonies sont souvent pigmentées (blanc, crème, jaune, violet, rose, gris, etc.) (Perry *et al.*, 2004).



**Figure1:** Aspect et morphologie des actinobactéries sur milieu solide (Leclerc, 1977).

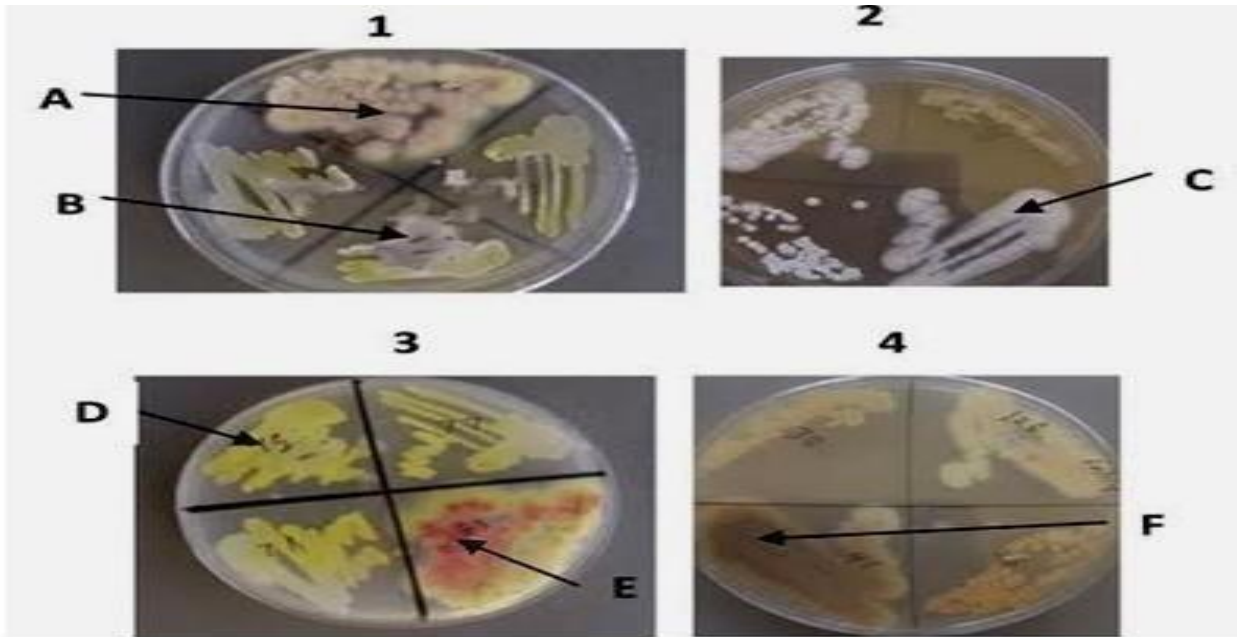
En milieux liquides sans agitation, les hyphes formés après la germination des spores montent en surface pour croître en contact de l'air (Keulen *et al.*, 2003). Cependant, en milieu liquide avec agitation, il n'y a pas de formation du mycélium aérien ni de spores. Les actinobactéries forment d'abord des filaments libres, qui se ramifient et s'entremêlent pour former des agrégats. Ces derniers, généralement sphériques sont composés d'une masse dense d'hyphes enroulés.

### **I-2-2. Caractères macromorphologiques**

Les caractéristiques culturelles des actinobactéries sont déterminées sur différents milieux de culture. Il s'agit d'observer, à l'œil nu, la production ou non du mycélium aérien (MA) et la présence ou non de mycélium du substrat (MS), ainsi que la production ou non de pigments Mélanoides. Les couleurs du MA, du MS et de celle des pigments diffusibles (en cas de production) sont déterminées à l'aide d'une charte de couleur (Leclerc, 1977).

Le mycélium de substrat est dénommé mycélium primaire ou mycélium végétatif varie en taille, en forme et en épaisseur. Sa couleur varie du blanc ou pratiquement incolore au jaune, brun, rouge, rose, orange, vert ou noir (figure.2). (RanjaniAnandan, 2016). Sur le mycélium primaire (MS) va se développer un mycélium secondaire aérien (Ait Barka *et al.* 2016).





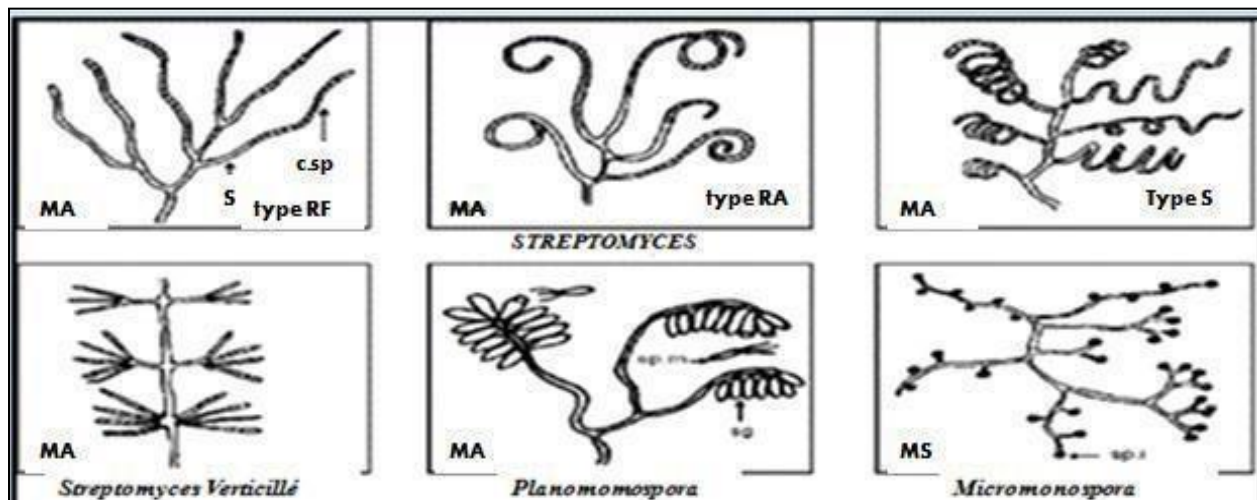
**Figure 2:** Morphologie du mycélium aérien (1 et 2) et le mycélium de substrat (végétatif) (3 et 4) sur milieu amidon- caséine (Rotich *et al.*, 2017) .

**A:** Colonie coriace rouge jaunâtre clair ; **B:** Colonie crayeuse grisâtre blanchâtre ; **C:** Colonie ridée blanche ; **D:** Mycélium de substrat jaune vif ; **E:** Mycélium de substrat rouge ; **F:** mycélium de substrat brunâtre.

### I-2-3. Caractères micromorphologiques

Les caractères micromorphologiques sont déterminés par l'observation directe au microscope optique ou électronique des cultures poussant sur les milieux gélosés (Tresner *et al.*, 1961; Holt *et al.*, 1994).

- ◆ Le MA peut être fragmenté ou sporulant. Les spores sont généralement non mobiles ou parfois mobiles, isolées ou regroupées par deux, par quatre ou en chaînes plus ou moins longues (figure 3).
- ◆ Les spores peuvent être sessiles ou portées par des sporophores courts ou longs ou encore formées anarchiquement sur le MA. Quelques genres d'actinobactéries possèdent des structures particulières, comme les sporanges, les sclérotés ou les synnemata.
- ◆ Le MS peut être stérile ou non, fragmenté ou persistant. Il peut produire ou non des spores (mobiles ou non) ou des sporanges.



**Figure 3 :** Aspect micro-morphologique de quelques espèces d'actinobactéries (Sabaou, 1988).

MA : Mycélium aérien; MS : Mycélium du substrat; RF : *RectusFlexibilis* (chaînes de spores droites à flexueuses); RA, *RetinaculumApertum* (chaînes en crochets ou en boucles); S, *Spira* (chaînes spiralées); s, sporophore; c.sp., chaînes de spores; sp.i., spores isolés; sp.m., spores mobiles; sg, sporanges.

### I-3. Ecologie et distribution des actinobactéries dans la nature

Les actinobactéries colonisent une large variété d'habitats comme le montre le **Tableau I**. Ils sont capables de se développer sur une large gamme de substrats. Une majorité des actinobactéries sont saprophytes mais il existe des formes parasites et symbiotiques des plantes ou des animaux (Lechevalier et Lechevalier, 1985, Goodfellow, 1985).

**Tableau I :** Répartitions des actinobactéries dans la nature (Goodfellow, 1983).

Genre	Habitats
<i>Actinoplanes</i>	Sol, eau, litière
<i>Frankia</i>	Nodule de racine
<i>Micromonospora</i>	Sol, eau
<i>Nocardia</i>	Sol, eau
<i>Rhodococcus</i>	Sol, eau, fumier, litière
<i>Sacharomonospora</i>	Matière en décomposition
<i>Streptomyces</i>	Sol, eau, litière
<i>Thermomonospora</i>	Matière en décomposition et fermentation

Généralement, les actinobactéries préfèrent un pH neutre ou peu alcalin et sont mésophiles. Toutefois, différents actinobactéries ont été isolés à partir d'écosystèmes présentant des conditions de température, de pression, de teneur en sel et/ou de pH hostiles : sols polaire

gelés en permanence, sols désertiques chauds et secs, pétrole brut, sols hautement contaminés par des métaux lourds, lacs extrêmement alcalins et lacs salés (**Goodfellow et Williams, 1983**). Les actinobactéries sont responsables d'un certain nombre de maladies de l'homme et de l'animal (**Pirouz et al ., 1999**). Parmi les actinobactéries aérobies pathogènes, le genre *Nocardia* revêt une importance médicale particulière, de même que certains genres apparentés, tels que *Corynebacterium*, *Dietzia*, *Gordonia*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus*, *Tsukamurella*, etc. (**Georghiou et Blacklock, 1992 ; Garrity et al. 2004 ; van de Sande, 2013**).

Malgré le nombre important d'espèces de *Streptomyces*, seulement trois d'entre elles sont habituellement citées en pathologie humaine : *S. paragauyensis*, *S. griseus*, *S. somaliensis* (**Borelli et Middelveen, 1986**). Certaines Mycobactéries sont la cause de pathologies animales, végétales et surtout humaines, comme *Mycobacterium tuberculosis* (agent de la Tuberculose) *Mycobacterium leprae* (agent de la lèpre) (**Vezeris et al ., 2013**).

Enfin, certaines actinobactéries sont des symbiotes de plantes (**Larpen et Larpen- Gourgaud, 1985**). Ainsi, dans la rhizosphère, les actinobactéries appartenant au genre *Frankia* sont extrêmement importants pour de nombreux types de plantes. Cette bactérie fixatrice d'azote (capable d'utiliser l'azote atmosphérique comme seule source d'azote) forme des nodules au niveau des racines des angiospermes, et confère donc un avantage à la plante pour croître en sol pauvre en azote. Cette association est appelée association actinorhizienne (**Prescott et al. 2007**). Peu d'espèces sont phytopathogènes, l'exemple le plus étudié est *Streptomyces scabies*, responsable de la gale de la pomme de terre (**Lindholm, 1997**).

#### I -4. Cycle de développement des actinobactéries

Deux phases différentes de croissance se produisent chez tous les actinobactéries sporogènes, qui ont été désignées par (**Orskov, 1923**) comme mycélium de substrat et mycélium aérien. (La figure 4) représente la structure du mycélium aérien et de substrat et le cycle de développement des actinobactéries sur un milieu solide .Le cycle débute par la germination des spores donnant naissance à un mycélium primaire, formé d'hyphes non séptés et plurinucléés, ancré dans le milieu solide. Sur ce mycélium primaire, se développera ensuite un mycélium aérien. Le mycélium aérien se spiralise. Les extrémités des hyphes aériens se cloisonnent et se différencient pour former des chaînes de spores uninucléées, et un autre cycle commencera (**Flårdh et Bruttner, 2009**).

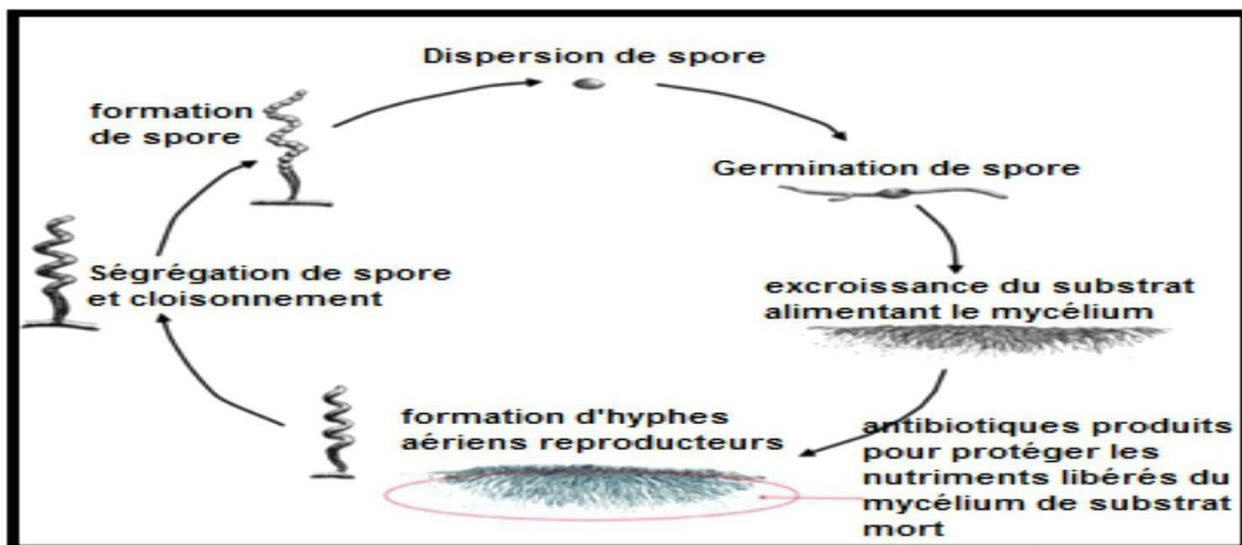


Figure 4: Cycle de développement des actinobactéries sur milieu solide (Breton et al., 1989).

## I- 5. Classification et taxonomie des actinobactéries

### I-5-1. Systématique des actinobactéries

Selon la classification du « **Taxonomic Out line of The procaryotes, Bergey’sManual of systematic Bacteriology** » (2012), les actinobactéries appartiennent au phylum XXVI *Actinobacteria* (bactéries riches en GC : > 50%) vaste et très complexe, il comprend une seule classe (*Actinobacteria*), qui est divisé en 05 sous classes, 19 ordres, 50 familles et 221 genres. Cette classification est basée exclusivement sur les séquences de gène codant pour ARNr16S.

**Tableaux II:** Taxonomie qui représente les principaux genres du phylum XXVI *Actinobacteria* (Goodfellow M. 2012)

Classe	ordre	famille	genre	espèces
Actinobacteria	Actinomycetales	Actinomycetaceae	<i>Actinomyces</i>	<i>Actinomyces viscosus</i>
	Actinopolysporaceae	Actinopolyspora	<i>Bifidobacterium</i>	<i>Bifidobacterium bifidum</i>
	Corynebacteriales	Corynebacteriaceae	<i>Corynebacterium</i>	<i>Corynebacterium striatum</i>
			<i>Gardnerella</i>	<i>Gardnerella vaginalis</i>
			<i>Mycobacterium</i>	<i>Mycobacterium africanum</i>
		Nocardiaceae	<i>Nocardia</i>	<i>Nocardia asteroides</i>
Streptomycetales	Streptomycetaceae	<i>Streptomyces</i>	<i>Streptomyces albus</i>	

**I-5-2. Critères d'identification des actinobactéries**

La définition des genres et des espèces se base sur un ensemble de caractères morphologiques, fonctionnels et génomiques, rassemblés dans le **Tableau III**. L'ensemble des caractéristiques de chaque taxon bactérien est répertorié dans le manuel de Bergey, un ouvrage de référence pour la taxonomie des bactéries, qui comprend un volume en deux parties dédié aux *Actinobacteria* (**Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2012**).

**Tableau III :** Principaux critères utilisés pour la taxonomie des actinobactéries.

Critères taxonomiques		Références
<b>Critères Morphologiques et fonctionnels</b>	Hyphes : présence, abondance et disposition des hyphes du mycélium végétatif ou du mycélium aérien Spores : nombre, mobilité, forme, position sur les hyphes Présence des sporanges Présence de scléroties ou de synnématas Résistance des spores à la chaleur Résistance aux traitements acides	<b>Schofield et Solomon (1985)</b>
<b>Critères Chimio-taxonomiques</b>	Composition du peptidoglycane Composition en sucres cellulaires Composition phospholipidique des membranes Production d'antibiotiques Tests biochimiques : Réduction du nitrate Hydrolyse de l'urée Hydrolyse de l'acide hyppurique Synthèse de mélanine ( <i>Streptomyces</i> )	<b>Stanek et Roberts (1974) ; Lechevalier et al., (1977) ; Lechevalier et Lechevalier (1985); Larpent et Sanglier (1989)</b>
<b>Critères génomiques</b>	%GC de l'ADN Digestions de l'ADN et analyse par électrophorèse en champ pulsé (DGGE) Séquence de l'ADNr 16S	<b>(Stackebrandt, 1997; Ventura, 2007; Zhi, 2009).</b>

**I-6. Intérêt d'utilisation des actinobactéries**

Les actinobactéries sont l'un des groupes les plus divers de micro-organismes qui sont bien caractérisés et reconnus pour leur capacité à produire une grande variété d'antibiotiques et d'enzymes extracellulaires. D'autre part, Ils jouent un rôle majeur dans le cycle de la matière organique et l'inhibition de la croissance de plusieurs pathogènes des plantes dans la rhizosphère (**Bhatti et al., 2017**), à travers la production de nombreux métabolites telle que :des antibiotiques, des régulateurs de croissance des plantes, des vitamines .On note aussi l'arsenal enzymatique impliqué dans le renouvellement de la matière organique et l'équilibre de l'écosystème (**Galatenko et Terekhova, 1990 ; Miyadoh, 1997 ; Strobel et al., 2004 ;Bhatti et al., 2017**).

**I-6-1.Importance des actinobactéries dans l'environnement et l'agriculture**

Les actinobactéries jouent un rôle écologique essentiel dans le recyclage de biomatériaux réfractaires et produisent des métabolites secondaires nouveaux (**Hassan et al ., 2017**) qui participe dans la minéralisation de la matière organique, l'immobilisation d'éléments nutritifs minéraux, la fixation d'azote, la solubilisation du phosphate et l'amélioration des paramètres physiques (**Dastager et al., 2013**).

**I-6-2. Importance des actinobactéries dans le domaine pharmaceutique**

Plusieurs genres d'actinobactéries peuvent produire des métabolites secondaires (**Manivasagan et al ., 2013**). En effet ils sont capables de synthétiser de nombreux produits naturels y compris les alcaloïdes, les peptides, les stéroïdes et autres. Ces produits naturels ont des potentialités de lutter contre certaines maladies majeures comme le cancer, le VIH et d'inflammations sévères (**Hassan et al ., 2017**). Ces microorganismes produisent aussi des antioxydants cytotoxiques, des agents anti-tumoraux, des agents immunosuppresseur (**Dharmaraj, 2010**).

**I-6-3. Importance des actinobactéries en biotechnologie**

Les actinobactéries ont un potentiel pour produire une variété d'enzymes (**Jenson et Lauro, 2008**), possédant plusieurs applications aussi bien dans l'agro-alimentaire que dans le pharmaceutique (**Schmid et Verger, 1998; Pandey et al. 2000**). Ils produisent d'autres métabolites secondaires dotés d'une large gamme d'activités, telle que les vitamines (vitamines C, E, et A) (**Dekkers et al., 1996; Kaczmarek et al. 1999**), les herbicides, les pesticides, les antibiotiques (**Dasari et al., 2012**), les antiviraux (**Lee et al., 2007**) et antiparasitaires (**Pimentel-Elardo et al., 2010**).

A decorative border composed of elegant, black scrollwork and flourishes, framing the central text. The border is composed of several curved, swirling lines that create a sense of movement and grace, surrounding the text on all sides.

## **Chapitre II :**

### **Aperçu général sur les eaux usées et les colorants textiles**

## II-1. Définition des eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire, est une eau qui a subi une détérioration après usage. Les eaux résiduaires sont des liquides de composition hétérogène, chargés de matières minérales et/ou organiques qui peuvent être en suspension ou en solution, certaines peuvent avoir un caractère toxique (Trabelsi, 2014).

### II-1-1. Classification des eaux usées

Les eaux usées se divisent en deux grandes catégories : les eaux résiduaires urbaines (ERU) et les eaux résiduaires industrielles (ERI) (Gaujous, 1996).

#### II-1-1. Eaux résiduaires urbaines (ERU)

La pollution urbaine est représentée par les rejets domestiques et les eaux de lavage collectif. Elles comprennent également les eaux de ruissellement qui sont principalement constituées de l'ensemble des eaux d'arrosage des voies publiques et des parcs de stationnement, des eaux de lavage des caniveaux, des marchés, des cours ...etc (Gaujous, 1996).

##### II-1-1-1. Eaux résiduaires industrielles (ERI)

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique, ils résultent, selon les activités exercées : de l'extraction ou de la transformation de matières premières en produits industriels. Ces rejets liquides peuvent avoir un effet toxique sur les organismes vivants et affecte le pouvoir d'autoépuration de l'eau, ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux lourds, colorants, éléments radioactifs, etc....) (Meinchet *al.*, 1977).

## Les colorants textiles :

### II-2-1. Généralités

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués : résistance à l'abrasion, stabilité photolytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment les détergents) et aux attaques microbiennes (Zollinger, 2004).

### II-2-2. Définition d'un colorant textile

Les colorants sont des composés organiques capables d'absorber certaines radiations lumineuses et de réfléchir, ou de diffuser les radiations complémentaires, cette propriété résulte de l'introduction, dans leurs molécules de certains groupements d'atomes insaturés appelés « Chromophores », les molécules ainsi transformées deviennent chromogènes.



Les chromogènes n'acquièrent des possibilités tinctoriales que par association à d'autres groupes d'atomes introduits eux aussi dans les molécules et dénommés auxochromes (Tableau IV), La complexité structurale de ces colorants réside dans les variétés possibles de chacun de ces groupes, ainsi que leurs associations selon la nature des fibres à teindre (Tapley et fan, 2005) .

**Tableau IV** : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante (Capon et Courilleu, 1999).

<i>Groupes chromophores</i>	<i>Groupes auxochromes</i>
Azo (-N=N-)	Amino (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-N=O)	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonyle (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyle (-C=CH <sub>2</sub> ) ou méthine (>C=)	Hydroxyle (-OH)
Nitro (-NO <sub>2</sub> )	Alkoxy (-OR)
Thiocarbonyle (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

### II-2-3.Importance des colorants textiles

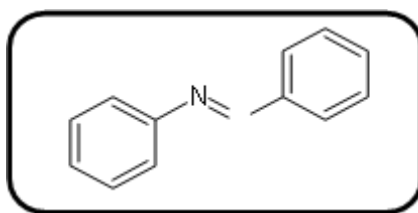
Même depuis l'origine des humains, la couleur et les colorants ont joué un rôle important dans chaque festival. C'est un attribut principal, détecté par un organisme, et a été utilisé dans la vie quotidienne, y compris cosmétique, textiles, pharmaceutiques, agricoles, religieux et autres aspects des événements culturels. Plus de 1000 colorants sont utilisés à des fins industrielles et 7 ×10<sup>5</sup> tonnes de colorant sont produites artificiellement dans le monde (Carmen et Daniela, 2012;Das et Susmita, 2016). Le colorant présente cependant une couleur comparativement plus intense que les pigments, avec une stabilité moindre (Sudha et al ., 2014;Kirti et al., 2014).Les Colorants sont une substance colorée ayant affinité avec les substrats. Ils transmettent la couleur par absorption sélective de la lumière dans la plage visible (400–700 nm).

### II-2-4. Classification des colorants

La classification la plus couramment rencontrée dans les industries textiles, est basée sur la structure chimique des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papiers, cuir, matières plastiques, etc. (Guivarch, 2004).

#### II-2-4-1. Les colorants azoïques

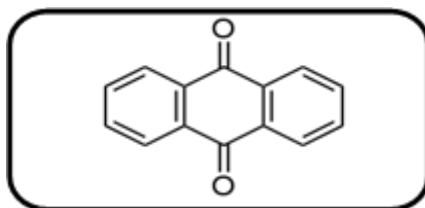
Les colorants "azoïques" sont caractérisés par le groupe fonctionnel azo (-N=N-) unissant deux groupements alkyles ou aryles identiques ou non (azoïque symétrique et dissymétrique) ; Ces structures qui reposent généralement sur le squelette de l'azobenzène, sont des systèmes aromatiques où pseudo-aromatiques liés par un groupe chromophore azo. (Winnacker et kucheler ,1968).



**Figure 5:** Formule développée d'azobenzène

#### II-2-4-2. Les colorants anthraquinoniques

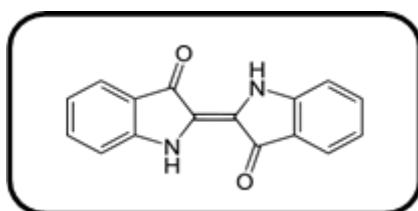
D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines. (Guivarch, 2004).



**Figure 6:** Formule développée d'Anthraquinone

#### II-2-4-3. Les colorant sindigoïdes

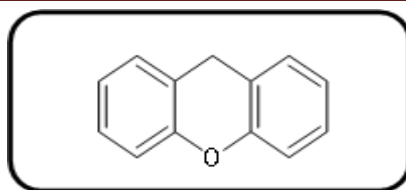
Ils tirent leur appellation de l'Indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénié, soufré et oxygéné du Bleu Indigo provoquent d'importants effets hypsochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. (Guivarch., 2004).



**Figure 7:** Formule développée d'Indigo

#### II-2-4-4. Les colorants Xanthènes

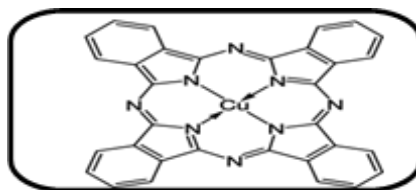
Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine. Peu utilisé en tant que teinture, leur faculté de marqueurs lors d'accident maritime où des traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie (Greene et Baughman, 1996).



**Figure 8:** Formule développée du Xanthène

#### II-2-4-5. Les phtalocyanines

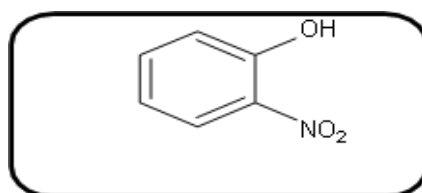
Ils ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.). (Winnacker et Kucheler, 1968).



**Figure 9:** Formule développée de la phtalocyanine.

#### II-2-4-6. Les colorants nitrés et nitrosés

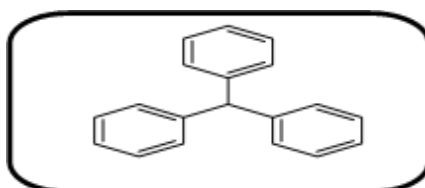
Ces colorants sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés) (Chakraborty, 2014).



**Figure 10:** Formule développée de 2-Nitrophénol

#### II-2-4-7. Les colorants triphénylméthanés

Les triphénylméthanés sont des dérivés du méthane pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles substitués dont au moins un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote en para vis-à-vis du carbone méthanique (Chakraborty, 2014).



**Figure 11:** Formule développée de la Triphénylméthane

### II-2-5. Toxicité des colorants

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers micro-organismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité, donc, pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible (**Bousnoubra, 2010**).

L'indicateur quantitatif le plus utilisé de la toxicité est la dose létale 50 (DL50). Il s'agit de la masse de substance nécessaire pour tuer 50 % d'organismes dans un lot. Elle s'exprime en milligrammes de matière active par kilogramme de biomasse. (**Tableau V**) présente, les différentes classes de la toxicité en fonction de la dose létale (**Trabelsi, 2014**).

**Tableau V:** Les Principales classes de toxicité, Échelle de Gosselin. Diffusent dans  
L'adsorbant et dans le fluide.

Dose orale probablement mortelle	Classe de toxicité
Moins de 5 mg/kg	Très peu toxique
De 5 à 50 mg/kg	Légèrement toxique
De 50 à 500 mg/kg	Modérément toxique
De 500 à 5000 mg/kg	Très toxique
De 5 000 à 15 000 mg/kg	Extrêmement toxique
Plus de 15 000 mg/kg	Super toxique

A decorative border composed of intricate, symmetrical scrollwork and floral motifs, framing the central text. The scrollwork is rendered in a light gray color with a subtle drop shadow effect.

## **Chapitre III :**

### **La performance enzymatique des Actinobactéries dans la Biodégradation de colorants**

Le secteur textile fait partie des six branches d'activités générant la moitié des flux industriels de pollution qui consomment le plus d'eaux et produit des rejets des usées proportionnellement importants. La nature et le volume des eaux usées dépendent beaucoup des programmes de traitements appliqués (Fatima Zahra, 2013). La composition des eaux usées est caractérisée essentiellement par les matières contenues suivantes : résidus de fibres, restes d'encollage, produits de lavage, agents mouillants, agents dispersants, acides organiques, des colorants... La grande part des effluents est représentée par l'ennoblissement qui englobe les prétraitements (désencollage, blanchissement) (figure12) (Hao et al., 2000).

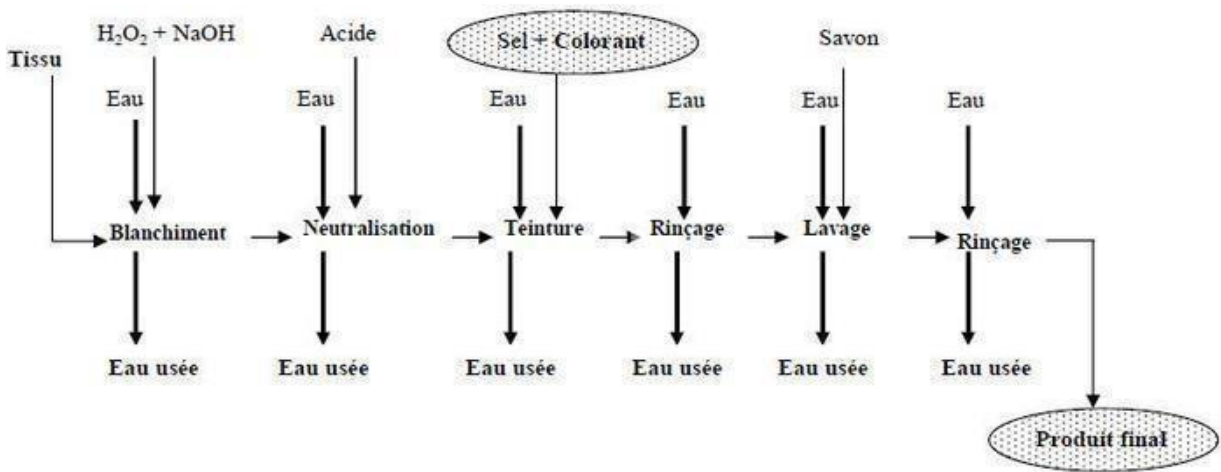


Figure12 : Présentation d'un procédé d'ennoblissement textile (Hao et al., 2000).

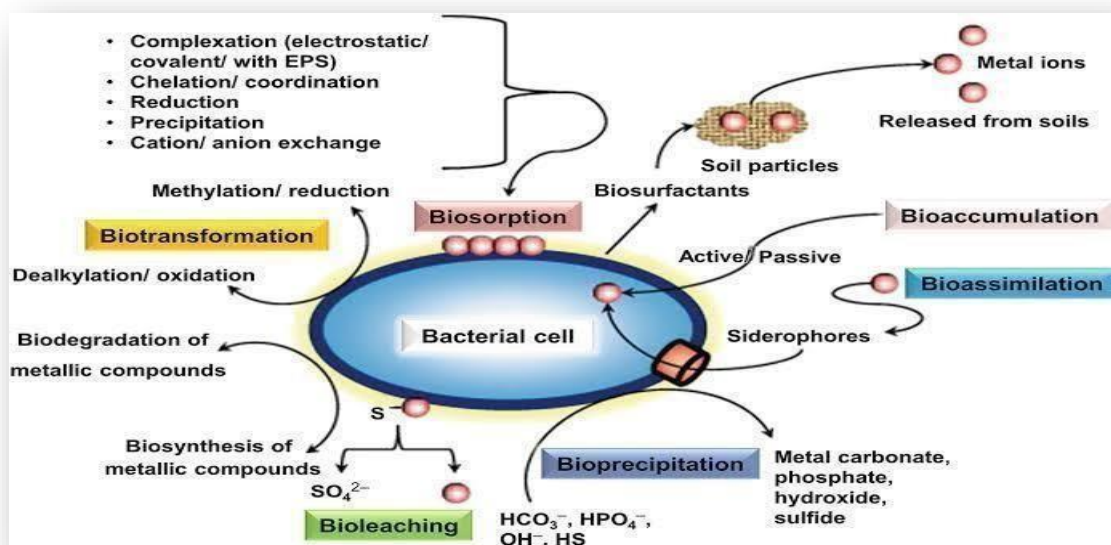
L'épuration consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers afin d'obtenir une eau épurée conforme aux normes de rejets. Une grande majorité de ces polluants est transférée de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse. Une station d'épuration comporte donc des installations de traitement des eaux et des dispositifs de traitement des boues produites (Belayachi et Laribi, 1998).

### III-1. Décoloration par les actinobactéries

Les actinobactéries sont très stables dans différentes conditions et tolérantes à divers colorants textiles contenant des métaux toxiques. Par conséquent, les actinobactéries fournissent un avantage concurrentiel par rapport aux autres micro-organismes pour le traitement biologique des colorants textiles toxiques (Bhoodevi et al., 2015; Abraham et al., 2016). Les actinobactéries, peuvent interagir avec les polluants via différents mécanismes (figure 13). On

peut observer une transformation des métaux et/ou des colorants par des processus d'oxydation /réduction ou d'alkylation. Ces transformations modifient généralement la toxicité du polluant d'origine. Les polluants peuvent également être accumulés par des phénomènes d'adsorption passive (indépendante du métabolisme) ou par transport actif à l'intérieur de la cellule (dépendante du métabolisme) (Ledin, 2000 ; Haferburg et Kothe 2007).

Il existe différents genres d'actinobactéries qui peuvent être utilisés dans la teinture textile pour la dégradation par bio-augmentation. Dans ce scénario, le rôle des actinobactéries dans la dégradation des colorants azoïques ou des sous-produits toxiques par des processus d'oxydoréduction est très important. (Gadd 2009 ; Wang et Chen 2009 ).



**Figure 13** : Different mécanismes d'interaction entre bactéries /polluants (Mark et al., 2019).

### III-1-1. Le processus biosorption/accumulation intracellulaire

La biosorption peut être défini comme un processus dans lequel des solides d'origine naturelle sont utilisés pour la séquestration ou séparation des solides des flux d'effluents. L'interaction entre les ligands de la paroi cellulaire et les adsorbats peuvent s'expliquer par l'échange d'ions, la complexation, la coordination et la microprécipitation qui sont responsables de l'élimination des couleurs (Bhole et al., 2004). Plusieurs auteurs ont montré que la biomasse (vivante ou morte) possède de très bonnes capacités d'adsorption dues particulièrement à ses caractéristiques physicochimiques (Crini, 2006). L'adsorption des polluants, par des cellules vivantes ou mortes, consiste en deux différents modes :

- ◆ **Le premier mode** est indépendant de l'activité métabolique de la cellule. Il implique une liaison ionique au niveau de la surface de la membrane cellulaire et du matériel extracellulaire. Ceci fait référence à une élimination « passive », une biosorption (**Rome et Gadd, 1987**).
- ◆ **Le second mode** est l'élimination du polluant dans la cellule à travers la membrane cellulaire et est dépendant du métabolisme cellulaire. Ceci fait référence à une élimination « active » (**Volesky, 1990**).

Il est important de noter, que les tendances actuels sont en faveur de l'utilisation d'une biomasse vivante dans le cas de traitement des effluents colorés, Zhou et Zimmerman ont utilisé les actinobactéries (*Streptomyces rube*, *Nocardioopsis aegyptia*, *Streptomyces hygroscopicus*, *Streptomyces albus* J1074) et d'autres comme adsorbant pour la décoloration des effluents contenant des colorants de type anthraquinones, phalocyanines et azoïques. (**Paszczynski et al., 1991 ; Zhou et Zimmerman, 1993 ; Crawford 1998**). Par conséquent, pour obtenir l'élimination efficace des colorants, il est nécessaire d'optimiser divers paramètres du processus.

### **III-1-2. Le processus d'oxydation /réduction ou d'alkylation**

Avant la bio-augmentation par les actinobactéries, il est nécessaire de comprendre les polluants ainsi que les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation des colorants textiles. Le mécanisme enzymatique des actinobactéries implique essentiellement l'oxydation et la réduction des structures des colorants textiles (**Sahasrabudhe et Pathade, 2013**). De nos jours, les actinobactéries deviennent des dégradeurs potentiels des composés organiques, y compris les colorants azoïques (**tableau VI**). Ces bactéries ont attiré l'attention partout dans le monde en raison de leur nature polyvalente et leur système enzymatique qui est nécessaire pour la dégradation des colorants chimiques (**Sahasrabudhe et Pathade, 2013**).

**Tableau VI:** Biodégradation des colorants synthétiques par les actinobactéries via des procédés d'oxydoréduction.

Actinomycetes sp.	Teintures	Conditions	commentaires	Références
<i>Streptomes krainskii</i> SUK- 5	Bleu réactif -59	Tremblement	Une dégradation complète (100%) du colorant a été observée en 24 h à pH 8 et température 30 ° C	<b>Maneetal., (2008)</b>



<i>Streptomyces</i> sp. SS07	Xylidine ponceau-2R, Noir direct-38,	Réduit	La réduction complète des colorants a été obtenue en 24 h à pH 9,2 et 37 ° C	<b>Bhaskar et al., (2003 )</b>
<i>Streptomyces</i> sp.	Bleu réactif 160	Tremblement	Les actinobactéries pouvaient décolorer plus de 98% du colorant en présence de lactose et d'urée dans les 48 heures.	<b>Khobragade et Deshmukh (2013 )</b>
<i>Streptomyces</i> sp. C1	Indigocarmin diamant noir PV	Oxydé	La décoloration de 83,7% a été observée à un pH de 8,0 et à une température de 40 ° C en 2 h avec du syringaldéhyde comme médiateur	<b>Lu et al., (2013 )</b>
<i>Georgenia</i> sp. CC-NMPT-T3	Orange réactif 16	Anoxique statique	Ladécoloration de la teinture était de 94,2 % en 8 h à pH 6 - 8 et la température 28-45 ° C	<b>Sahasrabudhe et Pathade (2013 )</b>
<i>Actinomycètes</i> sp. consortium	Jaune réactif	Statique	Les 90% de colorant ont été éliminés en 1 h	<b>Bagewadi et al., (2011 )</b>
<i>Streptomyces gl obosus</i>	Rouge acide rapide	Statique/ secouant	Le rouge acide rapide a été décoloré jusqu'à 82% dans des conditions statiques tandis qu'une élimination de 70% des colorants a été observée dans des conditions d'agitation.	<b>El-Sersy et al., (2011 )</b>

### III-1-2-1. Biodégradation des colorants azoïques par les actinobactéries

- Les actinobactéries présentent un potentiel variable de dégradation de divers colorants synthétiques. (**Chengalroyen, 2011** ) a examiné le comportement de décoloration des espèces de *Streptomyces* contre deux colorants structurellement différents (rouge Congo et orange II). Les espèces de *Streptomyces* sont pu décolorer le colorant rouge Congo structurellement complexe avec deux liaisons azoïques et des groupes poly aromatiques et sulfonés, tandis que le colorant structurellement plus simple Orange II (avec une seule liaison azoïque et un groupe sulfoné) n'a pas été décomposé. La biodégradation des colorants triphénylméthanes par deux actinobactéries, tels que *Nocardia corallina* et *Nocardioglobobula*, a été signalée par (**Yatome et al., 1991** ).
- **Sahasrabudhe et Pathade. (2013)** , dans une étude, ont indiqué que *Georgenia* sp. CCNMPTT3 pourrait dégrader l'individu comme ainsi que le mélange de différents colorants dans des conditions anoxiques statiques (**Sahasrabudhe et Pathade, 2013** ). Cela suggère son potentiel à être utilisé comme inoculum dans le bioréacteur pour le traitement des eaux usées textiles contenant une variété de colorants synthétiques. Sous agitation, *Streptomyceskrainskii* souche SUK -5 a complètement dégradé le colorant textile Reactive blue-59 en 24 h (**Mane et al., 2008** ). Au cours du processus de dégradation du bleu réactif-59, l'implication de la peroxydase lignine et réductase NADH- DCIP et MR réductase enzymes a été confirmée.

- Un consortium de différents actinomycètes peut également être utilisé pour la dégradation des colorants azoïques. (Bagewadi et al., 2011) ont développé un consortium ayant cinq souches actinobactéries. Environ 97,44 % de dégradation du colorant jaune réactif ( $5 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$ ) ont en 15 jours. Ils ont été observés par ce consortium ont conclu que la dégradation de la teinture dépend de la concentration du colorant, ainsi que sur la croissance des actinobactéries.
- El-Sersy et al. (2011) ont étudié le potentiel des actinobactéries (*Streptomyces globosus*, *Streptomyces alanosinicus*, *Streptomyces ruber*, *Streptomyces gancidicus* et *Nocardiopsis aegyptia*) pour la décoloration du colorant. *Streptomyces globosus* avait le maximum de potentiel pour la dégradation du colorant rouge acido-résistant condition statique (81,6%) et d'agitation (70,2%). Les auteurs ont suggéré la biosorption comme mécanisme dominant pour l'élimination du colorant de la solution. Une biosorption 1,14 fois plus a été observée avec une augmentation de la taille de l'inoculum et une diminution de la concentration d'amidon (Pasti et al., 1991 ; Paszczynski et al., 1991 ; Burke et Crawford, 1998).

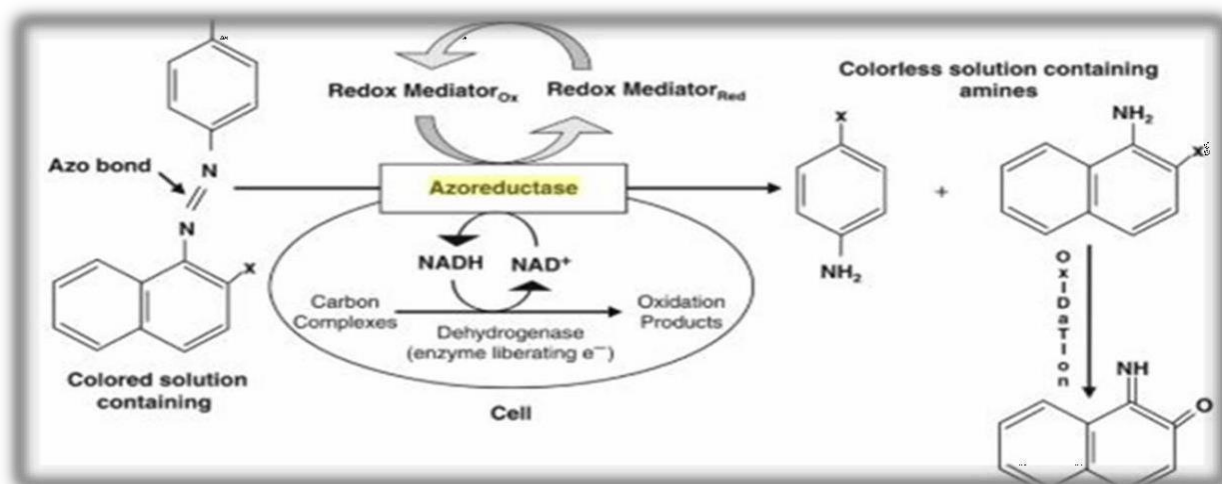
### III-1-2-2. Enzymes impliquées dans la biodégradation des colorants par les actinobactéries

Les enzymes sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques (Navarre et Françoise, 2010). En générale ces catalyseurs sécrétés par les actinobactéries, sont, à l'origine de la décomposition des substances organiques. Ainsi, on distingue les enzymes extracellulaires qui provoquent la destruction des structures moléculaires trop complexes pour pénétrer au sein de la cellule et les enzymes intracellulaires qui assurent l'assimilation et sont par conséquent, à l'origine de la prolifération des cellules (Pierre, 2000).

Les biocatalyseurs oxydants et réducteurs des actinobactéries sont d'excellents systèmes biologiques pour la dégradation des colorants textiles. De plus, il a été démontré que les actinobactéries telles que *Streptomyces albus* J1074 hébergent différents composés naturels bioactifs et un système génétique efficace avec un temps de génération élevé (Zaburannyi et al., 2014). Différents genres d'actinobactéries ont été rapportés comme producteurs des enzymes industrielles potentielles telles : les laccases, utilisées dans l'industrie textile pour le blanchiment des jeans et la dépollution des effluents industriels et, certains pesticides et des dérivés chlorés. L'azoréductase une enzyme qui est largement étudiée car elle pourrait être intéressante afin de procéder au traitement biologique des eaux polluées par certains colorants (notamment les colorants de l'industrie du textile) (Mueller et Miller, 1949).

### III -1-2-2-1. Dégradation réductrice du colorant textile

Les colorants azoïques sont généralement décomposés par les actinobactéries dans un processus en deux étapes (Dawkar et al., 2010 ; Khalid et al., 2010 ; Liu et al., 2011). Dans la première étape, la rupture de la liaison azo (-N=N) des colorants azoïques à l'aide de l'enzyme azoréductase, comme il est montré dans la figure (14) ci-dessous dans un état pauvre en oxygène. Ce processus est également appelé décoloration, ce qui entraîne la formation d'amines aromatiques incolores, qui sont minéralisées lors du processus d'oxydation. Jusqu'à présent, on en sait peu sur les voies de dégradation des colorants azoïques par les actinobactéries. L'enzyme azoréductase a été signalée chez quelques espèces d'actinobactéries. (Reese et Maguire 1969). L'activité d'enzymes telles que la laccase, la lignine peroxydase et l'azoréductase peut être surveillée par la décoloration du rouge de méthyle à 440 nm (Saratale et al., 2009).



**Figure 14:** Mécanisme proposé pour la réduction des colorants azoïques par les cellules bactériennes par azoréductase (Keck et al., 1997).

Une autre réductase prometteuse, isolée de *Georgenia sp.* CC-NMPT-T3, montre une activité de dégradation élevée. Autres espèces actinobactériennes telles que *Arthrobacteraurescens* TC1, *S. albus* J1074, *Rhodococcuserythropolis* PR4, *Amycolatopsis orientalis*, *Streptomyces scabiei* 87.22 et *Streptomyces hygroscopicus* présentaient une enzyme azoréductase de haute activité. Dans le cas de *Dietzia sp.* (DTS26), une décoloration de 94,5% (100 mg L<sup>-1</sup>) a été observée dans des conditions statiques dans les 30 heures à pH 8,0 et température 32 ° C ± 2 ° C (Babu et al., 2015).

### III -1-2-2-2.Dégradation oxydative du colorant textile

Dans le cas des actinobactéries le processus d'oxydation est le mécanisme le plus dominant pour la dégradation des colorants azoïques (Lu et al., 2013 ;Priyaragini et al., 2013). Habituellement, des enzymes comprenant la cellulase, la laccase et les peroxydases (LiP, MnP) extracellulaires Sont impliquées dans le processus de dégradation; soit une seule enzyme impliquée dans le processus ou un groupe d'enzymes qui agit en synergie (Radwan et al., 1998; Barabas et al., 2001; Jayanthi et al., 2016).

Les colorants tels que le poly B-411, le poly-R418 et rbbR sont souvent utilisés en tant que substrats pour surveiller l'activité ligninolytique de *Streptomyces* sp. (Pasti et al., 1991). Les souches suivantes : *Thermomonospora mesophila*, *Streptomyces badius* et *Streptomyces viridosporus*T7A sont parmi les souches les plus actifs d'actinobactéries décolorantes de Poly R (Ball et al., 1996). Récemment décrite de *thermo-bifida fusca* est recommandé comme une alternative pour la dégradation des colorants d'antraquinone, par ce que l'enzyme est solide, donc elle peut être exprimée dans un hôte approprié et dégrade les colorants d'antraquinone avec un rendement élevé (Van Bloois et al., 2010).

Les peroxydases présentent un intérêt particulier pour les processus de conversion redox industriels (Hofrichter et al., 2010 ).Parmi les peroxydases, une nouvelle super Famille a vu le jour, les peroxydases dites décolorantes (DyPs) (Sugano 2009 ; Hofrichter et al., 2010 ; Colpa et al., 2013 ). Ces enzymes sont connues pour oxyder avec succès une large gamme de substrats, mais plus important encore, elles dégradent fortement les colorants synthétiques hautement rédox, tels que l'antraquinone et les colorants azoïques.

Les laccases aussi jouent un rôle majeur notamment pour sa large gamme de substrats et l'utilisation de l'oxygène de l'air comme accepteur d'électron (Piontek et al., 2002) leur diversité fait que les laccases sont des sources enzymatiques importantes et potentiellement intéressantes (Levavasseur, 2007), les effluents industriels contenant des composés toxiques (hydrocarbures aromatiques, phénols, chlorophénols, etc) peuvent être décontaminés par l'action des laccases avec des systèmes médiateurs (Schliephake et al., 2000 ; Baldrian, 2004,Levavasseur,2007).Les différentes classes des laccases produites par les actinobactéries, assurant l'existence d'un mécanisme de laccase bien établi. EpoA (phénol oxydase cytoplasmique extra semblable à une laccase produite par *Streptomyces griseus*), STSL (*Streptomyces* thermostable laccase) et SLAC(Small Laccase from *Streptomyces coelicolor*).Les différentes laccases identifiées chez différentes espèces de *Streptomyces*(Tableau VII et IIX).Souvent les laccases sont couplés ,à la réduction de l'oxygène à l'eau le long d'oxydation de divers substrats (Kurniawati et Nicell 2007 , 2009 ; Morozova et al., 2007 ) .

**Gottlieb et al., (2003)** ont démontré l'utilité d'une enzyme laccase, produite par *Streptomyces cyaneus* CECT3335 pour la décoloration des colorants azoïques. (**Dube et al., 2008; Molina Guijarro et al., 2009; Lu et al., 2013**).

**Tableau VII** : Différents types de laccases présentes chez les espèces du genre *Streptomyces* et leurs conditions optimales.

Laccase	Espèce	pH optimal; Substrat	Température optimale	Référence
<b>SlA</b>	<i>Streptomyces ipomoea</i>	5.0, ABTS; 6,5, amine aromatique; 8.0, DMP	60 ° C	<b>Molina-Guijarro et al., (2009)</b>
<b>STSL</b>	<i>Streptomyces lavendulae</i>	4,5, catéchol	50 ° C	<b>Suzuki et al. (2003), Machczynski et al.; (2004)</b>
<b>SLAC</b>	<i>Streptomyces coelicolor</i>	9.4, DMP; 4.0, ABTS	60 ° C	<b>Dube et al. (2008), Skalova et al., (2009)</b>
<b>Ssl1</b>	<i>Streptomyces sviveus</i>	4.0, ABTS; 8,0, SGZ; 9.0, DMP ou gaïacol	Haute température, milieu alcalin, grande variation de pH	<b>Gunne et Urlacher (2012)</b>
<b>EpoA</b>	<i>Streptomyces griseus</i>	6.5, DMPPDA	40 ° C	<b>Endo et al., (2003)</b>
<b>SCLAC</b>	<i>Streptomyces</i> sp.	8.0, ABTS ou gaïacol; 7.0, DMP	40 ° C Milieu alcalin, haute température	<b>Lu et al., (2013)</b>

**Tableau IIX** : Enzymes soumises (publiées) dans NCBI ayant la capacité de décolorer les colorants synthétiques

Organisme	Description du gène	Références
<i>Streptomyces albus</i> J1074 (souche: J1074)	NADH-azoreductase dépendante du FMN	<b>Zaburanyi et al., (2014)</b>
<i>Rhodococcus erythropolis</i> PR4	NADH-azoreductase dépendante du FMN	<b>Sekine et al., (2006)</b>
<i>Streptomyces venezuelae</i> ATCC 10712	Laccase	<b>Pullan et al., (2011)</b>
<i>Streptomyces albus</i> J1074	Laccase	<b>Zaburanyi et al., (2014)</b>
<i>Streptomyces scabiei</i> 87.22	Laccase	<b>Bignell et al., (2010)</b>

### III-1-2-3. Les facteurs affectant la biodégradation des colorants azoïques chez les actinobactéries

L'efficacité de tout traitement biologique dépend des conditions environnementales. La stabilité thermique et le fonctionnement de l'enzyme chez la souche d'actinobactéries sont très importants pour une application pratique.

- ◆ L'isolement de *Streptomyces* spp. De l'environnement inhabituel peut produire une variété de composés bioactifs (**chro- Nakova et al., 2010 ; Gousterova et al., 2014** ).Par conséquent, il est intéressant d'isoler et d'identifier des souches qui peuvent survivre et maintenir leurs activités dans différents environnements et différentes conditions.
- ◆ Auparavant, des activités Azo-réductases qui a été signalées dans des conditions statiques chez plusieurs espèces d'actinobactéries , telles que *Streptomycescoelicolor*, *Nocardia corallina* et *Nocardiagloberula* (**Yatome et al., 1991 ; Bhaskara et al., 2003 ; Chou et al., 2005 ; Chengalroyen ,2011** ). Cependant, l'agitation (aérobiose) est plus efficace dans le cas des laccases et des enzymes dégradant la lignine. Il a été rapporté que les souches *Georgenia* sp. et *Streptomyces cyaneus* CECT3335, exercent leurs activités dans des conditions aérobies (**Mane et al., 2008 , Lu et al., 2013 ; Sahasrabudhe et Pathade,2013** ).
- ◆ La présence de métaux dans le milieu peut également affecter les performances du système enzymatique microbien. Par exemple, la présence de **Cu<sup>2+</sup>** dans le milieu augmente l'activité de la laccase de *Streptomyces* sp. (**Lu et al ., 2013** ). De même, la présence de certains ions : **Co<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> et Fe<sup>3+</sup>** à de faibles concentrations stimule également l'activité des enzymes des espèces *Streptomyces* (**Nagai et al ., 2002 ; Baldrian et Gabriel, 2006** ). Cependant, une concentration élevée de ces ions diminue les performances des systèmes enzymatiques microbiens, qui forment finalement des complexes avec des molécules de protéines qui peuvent inhibe ou complètement inactiver l'enzyme (**Mills et Colwell ,1977 ; Jadhav et al., 2012** ).
- ◆ La source de carbone est requise par le micro- organisme en tant que source d'énergie et le donneur d'électrons pour l'élimination de la couleur des colorants azoïques (**Moosvi et al., 2007 ; Perumal et al., 2007 ; Yemendzhiev et al.,2009** ). Parmi les diverses sources de carbone, le glucose, le lactose, le fructose, le galactose et le mannitol (**Kho-bragade et Deshmukh ,2013** ). L'efficacité de différentes sources d'azote telles que l'urée, la peptone, l'extrait de levure, le nitrate d'ammonium et le nitrate de potassium, a également été testée (**Sahasrabudhe et Pathade, 2013** ).

A decorative border composed of intricate, black scrollwork and flourishes. The border is shaped like a large, open square, with the top and right sides being more prominent and detailed than the bottom and left sides. The scrolls are of varying sizes and orientations, creating a complex, symmetrical pattern.

## **Conclusion et Perspectives**

### Conclusion et perspectives

L'industrie textile est un secteur important, en particulier dans les pays en développement. Cependant, le rejet de déchets non traités de ces industries a de graves effets néfastes sur l'environnement. Les actinobactéries sont l'une des nouvelles alternatives exploitées pour le traitement des eaux usées à différents colorant synthétiques pour une élimination sûre dans l'environnement. Ces bactéries sont largement distribuées dans l'écosystème et peuvent fonctionner dans un large éventail de conditions environnementales, ils peuvent avoir une meilleure survie grâce à la présence de différents mécanismes d'adaptation (**Khalid et Mahmood, 2015**).

Ces bactéries ont généralement du poly phosphate réserves, qui agissent non seulement comme des réserves de phosphore, mais aussi chélation des métaux, qui peut réduire la toxicité des ions métalliques présents dans l'eau usées industrielles. Présence de gènes de superoxyde dismutase dans les actinobactéries peuvent également jouer un rôle important dans leur résistance aux stress environnementaux (**Khalid et Mahmood, 2015**).

Les actinobactéries ont des systèmes enzymatiques efficaces capables de dégrader complètement les colorants textiles dans une large gamme de conditions optimales. Par conséquent, la bio-augmentation des actinobactéries pourrait être une solution à ces pollutions (**Jamseel et Ranjith, 2018**). Cependant, des travaux supplémentaires sont encore nécessaires pour l'isolement et la sélection de souches portant les systèmes enzymatiques efficaces pour la biorestauration des eaux usées contenant des colorants.

Notre synthèse bibliographique ce n'est qu'une ébauche et nous estimons que ce travail mérite d'être poursuivi, car plusieurs perspectives peuvent être envisagées, notamment :

- ✓ La poursuite de ce travail théorique pour mettre en expériences les différents tests.
- ✓ Faire des études sur peroxydases des actinobactéries puisque elles sont très répondeu et d'un haut intérêt industriel.
- ✓ optimisations des conditions de cultures ; En outre, il est intéressant d'étudier les sources de carbone moins chères comme les pelures de pommes de terre ou d'autres déchets organiques pour la production de la biomasse d'actinobactéries.



A decorative border composed of intricate, symmetrical scrollwork and floral motifs, framing the central text. The design is elegant and traditional, with a central focus on the text.

## **Références Bibliographiques**

### A

- **Abraham J., Sekhar A, Nidhi Singh et Nanda S.,(2016)**, Évaluation de la dégradation du colorant en utilisant la souche JAAS1 de *Streptomyces pactum*, Res. J. Pharma Biol. Chem. Sci. **7** (5) 2691-2700.
- **Avril, J. L., &al., (1992)**. Bactériologie clinique.2 éd. Paris : ellipses. Pp. 511.
- **Azeem K, Arshad M, Crowley DE., (2010)**. Bioaugmentation des colorants azoïques. Dans: Atacag Erkurt H (ed), Biodegradation of Azo Dyes. Le manuel de chimie de l'environnement. Springer, Berlin Heidelberg, pp 1 – 37.
- **Azeem K, Kausar F, Arshad M, Mahmood T, Ahmed I., (2012)**. Décoloration accélérée des colorants réactifs dans des conditions salines par des bactéries isolées des sédiments d'eau de mer d'Arabie. Appl Microbiol Biotechnol 96: 1599 – 1606.
- **Azeem K and Shahid Rawalpindi M., (2015)**. 46300, Pakistan© Springer International Publishing Switzerland S.N. Singh (ed.), Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters, Environmental Science and Engineering, DOI 10.1007/978-3-319-109428\_13email:azeemuaf@yahoo.com;[azeem@uair.edu.pk](mailto:azeem@uair.edu.pk) conclusion.

### B

- **Babu SS, Mohandass C., Vijayaraj AS et Dhale MA .,(2015)**, Désintoxication et élimination des couleurs du rouge Congo par une nouvelle approche du microcosme *Dietzia* sp. (DTS26) -a, Ecotoxicol. Environ. Saf. 11452–60.
- **Badis A., Sabaou N., Djibaou R., et Sarag M .,(2006)**.La diversité des actinomycètes de quelques sols sous orangerie de la Mitidja et la dégradation des acides humiques. Revue : La diversité des actinomycètes de quelques sols sous orangerie de la Mitidja et la dégradation des acides humiques.Vol :74-76.
- **Baldrian, P.,(2004)** Purification and characterization of laccase from the white-rot fungus *Daedalea quercina* and decolorization of synthetic dyes by the enzyme. *Appl.Microbiol. Biotechnol.* 63 (5) ,560-563.
- **Ball, A., & Colton, J.,(1996)**. Journal of Basic Microbiology, 36(1), 13–18.
- **Baldrian P., (2006)**. Occurrence et propriétés des laccases fongiques. FEMS Microbial Rev 30: 215 - 242Baldrian P, Gabriel J . Le cuivre et le cadmium augmentent l'activité de la laccase chez *Pleurotus ostreatus* .FEMS Microbial Lett 206: 69 – 74.
- **Barabas G., Vargha G., Szaba IM, Penyige A., Damjanovich S., Szöllösi J., et al., (2001)** .Absorption de n-alcane et utilisation par des souches de *Streptomyces*, Anton. Van. Leeuwen. **79** (3), 269-276.
- **Bataille, G ; Coster, Q ;Gilet, M ; Robise, A.,(2011)**. La chimie du vert ou comment allier industrie des couleurs et ecologie. Université catholique de Louvain.
- **Belayachi Z. et laribi M.,(1998)** . « conception d'un logiciel de dimensionnement automatique d'une station d'épuration des eaux usées par lagunage, application à l'agglomération de belhadji boucil », mémoire d'ingénieur en hydraulique, université de Tlemcen.
- **Benzekhroufa A ., (2018)**.Contribution à l'étude cinétique des extraits enzymatiques de quelques de *Streptomyces* isolées du sol de la région de Mostaganem.
- **Bhaskara M, Gnanamanib A, Ganeshjeevana RJ, Chandrasekar R, Sadulla S, Radhakrishnan G ., (2003)**. Analyses des amines aromatiques cancérigènes libérées des colorants azoïques nocifs par *Streptomyces* sp. SS07. J Chromat A 1018: 117 – 123.
- **Bhat M.K., (2000)**.Cellulases and related enzymes in biotechnology. Journal of biotechnology Advances. Volume 18, Pp355-383.
- **Bhatti AA et al., (2017)**. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. Microbial Pathogenesis. Volume 111, October 2017, Pages 458-467.

## Références Bibliographiques

- **Bhole BD, Ganguly B, Madhuram A. Curr., (2004)** . Sci. 86: 12-25.
- **Bhoodevi C., Vijayasree J., Swathi V., Sudhira DS et Uma Maheshwari Devi P., (2015)** .Screening and exploration of azo dye decolorizing actinomycetes from marine sediments, Int. J. Sci. Eng. Res. 6 (2), 2229–5518.
- **Bignell DR, Seipke RF, Huguet-Tapia JC, Chambers AH, Parry RJ et Loria R., (2010)** .Streptomyces scabies 87-22 contient un cluster biosynthétique de type acide coronafacique qui contribue aux interactions plante-microbe, MolePlant-Microbe Int. 23(2)., 161–175.
- **Boer CG, Obici L, de Souza CGM, Peralta RM., (2004)**. Décoloration des colorants synthétiques solides par les cultures de l'état de *Lentinula (Lentinus) edodes* produisant la peroxydase de manganèse comme principale enzyme ligninolytique. Bioresour Technol 94: 107 – 112.
- **Borelli, D., Middelveen, M., (1986)**. Actinomycetoma caused by *Streptomyces somaliensis*. Arch Dermatol, 122: 1097–1098.
- **Boughachiche F. et al., (2005)**. Isolement d'actinomycetales productrices de substances antimicrobiennes à partir de la Sebkhha de Ain Mlila. Sciences &Technologie C, 23: 5–10.
- **Boulahrouf A., (2016)**.Optimization of alkaline protease production by *Streptomyces* sp. Strain isolated from saltpan environment. African journal of biotechnology. Vol .15(26).Pp.1401-1412,29.
- **Breton A. et al., (1989)**. Organismes producteurs : biologie, taxonomie et écologie. In biotechnologie des antibiotiques. Larpent J. P. et Sanglier J. J. Masson, Paris. P. 32-70.

## C

- **Carmen, Z., Daniela, S., (2012)**. Caractéristiques des colorants organiques textiles, effets polluants et procédures de séparation / élimination des effluents industriels: un aperçu critique. Dans: Polluants organiques dix ans après la Convention de Stockholm - Mise à jour environnementale et analytique, pp. 55–81.
- **Chakraborty, J.N ., 20** Dyeing with natural dyes, in Fundamentals and Practices in colouration of textiles., (2014) .Woodhead Publishing India : p .233-261.
- **Chengalroyen MD., (2011)**. Études sur la biodégradation du triphénylméthane, du colorant azoïque et du caoutchouc de latex par les actinomycètes. Thèse, École de biologie moléculaire et cellulaire, Faculté des sciences Université de Witwatersrand Afrique du Sud.
- **Chou DK, Krishnamurthy R, Randolph TW, Carpenter JF, Manning MC., (2005)**. Effets du tween 20<sup>®</sup> et du tween 80<sup>®</sup> sur la stabilité de l'albutropine pendant l'agitation. J Pharma Sci 94 (6): 138 – 1368.
- **Christophe C., YderO., Gilles P. van W., (2016)**. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. Journal of Microbiology and Molecular Biology.Vol:80:1.
- **Chronakova A, Kristufek V, Tichy M, Elhottova D., (2010)**. Biodiversité des *streptomycètes* isolés d'une séquence de succession sur un site post-minier et leurs preuves dans les sédiments lacustres du Miocène. Microbiol Res 165 (7): 594 – 608q
- **Chronakova A, Radl V, Cuhel J, Simek M, Elhottova D, Engel M, Schloter M., (2009)** .La gestion de l'hivernage dans les pâturages de montagne entraîne des changements dans une abondance de communautés microbiennes dénitrifiantes, de leur activité et de leur capacité à réduire le N<sub>2</sub>O. Sol Biol Biochem 41: 1132 – 1138.
- **Coelho .C. B. B., (2016)**. Actinobacteria : Versatile Microorganisms with Medical and Pharmaceutical Application. British Biotechnology Journal. vol15 (4).
- **Collins.T, Gerday C., Feller G., (2005)**. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases .FEMS Microbiol. Rev .29,3-23.
- **Crawford, D. L., J. M. Lynch, J. M. Whipps et M. A. Ousley., (1993)**. Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a root fungal pathogen. Appl.Environ. Microbiol. 59: 3899-3905.
- **Crawford DL., (1998)**. Use of azo dye ligand chromatography for the partial purification of a novel extracellular peroxidase from *Streptomyces viridosporus* T7A. Appl Microbiol Biotechnol 49:523–530 .

## Références Bibliographiques

- **Crini .G ., (2006).** Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal, A Review. *Biores. Technology*, 97 .1061-1085. *Biores. Technology*, 97 (2006) 1061-1085.

### D

- **Dafale N, Agrawal L, Kapley A, Meshram S.** *Bioresour Technol* 101: 476 – 484 .
- **Dali-Youcef-Z, H.Bouabdasselem, N. Bettahar., (2006).** Élimination des composés organiques par des argiles locales, *C. R. Chimie* 9 ,1295 – 1300.
- **Das A. et Susmita M., (2016).** Décoloration de différents colorants azoïques textiles à l'aide d'une bactérie isolée enterococcus durans GM13, *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* **57**, 676–686.
- **Dasari. V.R.R.K, Muthyala. M.K.K, Nikku. M.Y, Donthireddy. S.R.R., (2012).** Novel Pyridinium com-pound from marine actinomycete, *Amycolatopsis alba* var. nov, DVR D4 showing antimicrobial and cytotoxic activities in vitro. *Microbiol Res.* 167: 346–51.
- **Dastager. S.G, Damare. S., (2013).** Marine actinobacteria showing phosphate-solubilizing efficiency inChorao Island, Goa, India. *Curr.Microbiol.* 66(5): 421-427.
- **Dawkar VV, Jadhav UU, Tamboli DP et al., (2010).** Ef fi cace de colorant industriel décoloration par *Bacillus* sp. VUS avec son système enzymatique. *Ecotoxicol 73 Safe Environ:* 1696 – 1703.
- **Deepika TL, Kannabiran K., (2009).** Une étude morphologique, biochimique et biologique de *Streptomyces* halophile sp. isolé de l'environnement saline. *Am J Infect Dis* 5: 207 – 213 .
- **Deepika. TL, KannabiranK, JosephS., (2009).** Diversité des *Streptomyces* anti dermatophytes Dans la région côtière les bactéries marines associées aux ponges comme indicateur de chennai, Tamil Nadu, Inde .*Inde j Pharm Res* 2 :22-26.
- **Demain, A.L., Solomon N.A., (1985).** *Biology of industrial microorganisms.* TheBenjamin/Cummings publishing company, Inc. pp 291–357.
- **Dekkers. J, Van Doornen. L, Kemper. H., (1996).**The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise-induced muscle damage. *Sports Med (Auckland, NZ);* 21(3): 213–38.
- **Dharmaraj. S.** Marine *Streptomyces* as a novel source of bioactive substances. *World J.Microbiol. Biotechnol.* (2010); 26(12): 2123–2139.
- **Divya P., Neelu N., Mansi P., Manish B., Abul M., Madhukar K., and Balasaheb K., (2013).** Actinomycetes :A Repertory of Green Catalysts with a Potential revenue resource.*Journalof Bio Med Research International*Volume, ID 264020,8Pp.
- **Dommergues Y., Mangenot F., (1970).** *Écologie Microbienne Du Sol.* Paris, Masson et Cie. Pp 23,27, 29.
- **Dube E., Shareck F., Hurtubise Y., Daneault C. et Beauregard M., (2008).** Clonage homologue, expression et caractérisation d'une laccase de *Streptomyces coelicolor* et décoloration enzymatique d'un colorant indigo, *Appl.Microbiol. Biotechnol.* **79** (4), 597–603.

### E

- **El-Sersy NA, Abou Elela GM, Hassan SW, AbdElnaby H., (2011).** Bioremédiation du colorant rouge acide rapide par *Streptomyces globosus* dans des conditions statiques et d'agitation. *Afr J Biotechnol* 10 (17): 3467 – 3474.
- **Endo K., Hayashi Y., Hibi T., Hosono K., Beppu T. et Ueda K., (2003).** Caractérisation enzymologique d'EpoA, un phénol oxydase de type laccase produite par *Streptomyces griseus*, *J. Biochem.* **133** (5), 671–677.
- **Erikson. D., (1949).** The morphology, cytology and taxonomy of the actinomycetes. *Annual Review of Microbiology.* 3: 23-54.
- **Essaid Ait B., ParulV., Lisa S., Nathalie G-V., Cedric J., Hans-P., Christophe C., YderO., Gilles P. van W., (2016).** Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Journal of Microbiology and Molecular Biology.* Vol:80:1.

### F

- **Flardh K, Bruttner M. J., (2009).** *Streptomyces* morphogenetics: dissecting differentiation In a filamentous bacterium. *Nature Reviews*. 7:36-49.

### G

- **Gadd GM., (2009).** Biosorption: Critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *J Chem Technol Biotechnol* 84:13–28
- **Galatenko OA., Preobrazhenskaia T.P., Terekhova L.P., Borisova V.N., Fedorova G.B., (1982).** Distribution of *Actinomycetes* of the genus *Actinomadura* in the light chestnut soils of Volgograd Province and their antagonistic properties. *Pubmed NCBI Antibiotiki*. 27(11): 803-810.
- **Garrity, G.M., Bell, J.A., Lilburn, T.G., (2004).** Taxonomic Outline of the Procaryotes, *Bergey's Manual of Systemetic Bacteriology*. Second Edition Release 5.0, Springer- Verlag, New York. 1-399. [http:// dx.doi.org/10.1007/bergeysoutline](http://dx.doi.org/10.1007/bergeysoutline) 200310.
- **Geraldine S.,Mala J., Satoru T., (2009).** Perspectives on Lipase Enzyme Technology .Pp147.
- **Gerard M., Williams S.T., Mordarksi., 1988.** *Actinomycetes in Biotechnology*. Academic Press Limited, Pp232.
- **Gerois J., Gianotta F., De Buyl E., Garnier B., Frère J.M., (2000).** Purification and properties of three endo b-1-4xylanases produces by *Streptomyces* sp. Strain S38. *Enzyme Microb. Technol* .26,178-186.
- **Ghorbel Sofiane, Maher Kammoun, Hala Soltana, Moncef Nasri, and Noomen Hmidet., (2014).** *Streptomyces flavogriseus* HS1: Isolation and Characterization of Extracellular Proteases and Their Compatibility with Laundry Detergents. *Journal of BioMed*, 8Pp.
- **Gilles P. van W., (2016).** Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Journal of Microbiology and Molecular Biology*. Vol:80:1.
- **Goodfellow M., Simpson K. E., (1987).** Ecology of streptomycetes. *Front Appl Microbiol*, 2 :97–125.
- **Goodfellow, M., Williams, S.T., (1983).** Ecology of actinomycetes. *Ann Rev Microbiol*, 37: 189–216.
- **Gousterova A , Paskaleva D, E Vasileva-Tonkova.,(2014).** Caractérisation de cultivable Thermophile actinobactéries de l'île de Livingston, Antarctique. *Intl Res J Biol Sci* 3 (3): 30 – 36.
- **Gousterova A, Nustorova M, Paskaleva D, Naydenov M, Neshev G, Vasileva-Tonkova E., (2011).** Évaluation de l'hydrolysate de plumes des actinomycètes thermophiles pour l'amendement du sol et application de contrôle biologique. *Intl J Environ Res* 5: 1065 – 1070 .
- **Gunne M. et Urlacher VB., (2012).** Caractérisation de la laccase alcaline Ssl1 de *Streptomyces sviveus* avec des propriétés inhabituelles découvertes par extraction de génomes, *PLoS ONE* 7 (12), 52360.

### H

- **Haferburg .G, Kothe. E., (2007).** Microbes and metals: interactions in the environment, *J. Basic Microbiol.*, 47453-467.
- **Handayani W, Meitiniarti VI, Timotius KH (2007)** Décoloration de Acid Red 27 et réactif rouge 2 par *Enterococcus faecalis* sous une charge système. *World J Microbiol Biotechnol* 23: 1239 - 1244 .
- **Hao O.J., H. Kim et P.C. Chiang., (2000).** Decolorization of wastewater. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 30, 449-505.

## Références Bibliographiques

- **Hassan. U. S. S, Anjum. K, Abbas. S. Q, Akhter. N, Shagufta. B. I, Shah. S. A. A, Tasneem .U., (2017).** Review Emerging biopharmaceuticals from marine actinobacteria. *Environmental Toxicology and Pharmacology*; 49: 34–47.
- **Hitesh J., Nimita U., Darshan D., Manthan K., Shilpa S., and Jagdish P.,(2016).** Isolation, Optimization and Production of Cellulase by *Aspergillus niger* from Agricultural Waste. *Journal of pure and applied microbiology*.Vol. 10(2), Pp. 1159-1166.
- **Hofrichter, M., Lundell, T. & Hatakka, A., (2001).** Conversion of Milled Pine Wood by Manganese Peroxidase from *Phlebia radiata*. *Appl. Environ. Microbiol.* **67**, 4588–4593.
- **Holt J. G., Krieg N. R., Sneath P. H. A., Staley J. T., Williams S. T., (2000).** Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. *Will. & Kilk.*, 15 : 619-623.
- **Hotam S., Chaudhary., Jayprakash Y., Anju R., Shrivastava., Smriti S., Anil K.S., Natrajan G., 2013.** Antibacterial activity of actinomycetes isolated from different soil samples of Sheopur (A city of central India). *J. Adv. Pharm. Technol. Res.* Jun; 4(2): 118–123.

## J

- **Jamseel M , Ranjith K., February(2018).** Bio-Augmentation of Actinobacteria and Their Role in Dye Decolorization .Central University of Kerala , DOI: 10.1016/B978-0-444-63994-3.00020-5.
- **Janaki T., (2017).** Enzymes From Actinomycetes. *International Journal of ChemTechResearc.*10(2):176-182.
- **Jadhav SB, Surwase NS, Kalyani DC, Kalyani DC, Gurav RG, Jadhav JP (2012)** Biodecolorization of azo dye Remazol Orange by *Pseudomonas aeruginosa* BCH and Toxicity (Oxidative Stress) Reduction in *Allium cepa* Root Cells. *Appl Biochem Biotechnol* 168:1319 – 1334.
- **Jeanneau Alexandra,(2005).** Etude sur la laccase de *Pycnoporus cinnabarinus*. DEA.
- **Jean N., Guy Leyral., (2014).** Microbiologie Technique : Dictionnaire des techniques. Edition 2014. Pp 404, 270, 239,283
- **Jensen PR, Gontang E, Mafnas C, Hachoir TJ, Fenical W., (2005).** diversité actinomycète marin tropical cultivable de Pacifique océans sédiments. *Environ Microbiol* 7: 1039 – 1048.

## K

- **Kaczmarek. M, Wójcicki. J, Samochowiec. L, Dutkiewicz. T, Sych. Z., (1999).** The influence of exogenous antioxidants and physical exercise on some parameters associated with production and removal of free radicals. *Pharmazie*; 54: 303-6.
- **Kalakoutskii L.V., Nina S., Agre.,(1976).** Comparative Aspects of Development and Differentiation in Actinomycetes. *Journal American Society for Microbiology*.Vol.40, N°. 2 .Pp. 469-524.
- **Kar S., and Ray RC., (2008).** Statistical optimization of  $\alpha$ -amylase production by *Streptomyces erumpens* MTCC 7317 cells in calcium alginate beads using response surface methodology. *Pol. J. Microbiol* 57:49-57.
- **Keck, A., Klein, M., Kudlich, A., Stolz, H., Knakmuss, and R. Mattes., (1997).** Reduction of azo dyes by redox mediators originating in the naphthalene sulfonic acid degradation pathway of *Sphingomonas* sp. strain BN6. *Appl. Environ. Microbiol.* 63 :36848-3690.
- **Mercy CR, Esther M, Christine B, Naomi M., January 13, (2017).** Bio-Prospecting for Broad Spectrum Antibiotic Producing Actinomycetes Isolated from Virgin Soils in Kericho County, Kenya DOI: 10.4236/aim.2017.71005.
- **Keulen G. V., Jonkers H. M., Closson H. A. B., (2003).** Differentiation and anaerobiosis in standing liquid cultures of *Streptomyces coelicolor*. *Bacteriol.*, 185 :1455-1458.

## Références Bibliographiques

- **Khobragade RM, Deshmukh AM., (2013).** Effet du carbone, de l'azote et des ions métalliques sur la biodégradation du colorant textile Reactive Blue 160 par les espèces de *Streptomyces*. J Emp Bio 1 (2): 24 – 29.
- **Kirti K., Amita S., Priti S. et Jyoti S., (2014) .** Le monde coloré des microbes: les caroténoïdes et leurs applications, Adv. Biol. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/837891>.
- **Kohli U., Nigam P., Singh D., Chaudharu K., (2001).** Thermostable alkalophilic and cellulose free xylanase production by Thermo actinomyces thalophilus sub group C. Enzyme Microbiol. Technol.28,606-610.
- **Kurniawati S, Nicell JA., (2009).** Un modèle cinétique complet d'oxydation catalysée par La laccase du phénol aqueux. Biotechnol Prog 25: 763 – 773.

## L

- **Lakshmipathy D., Krishnan K., (2010).** Isolation and Characterization of Antagonistic Actinomycetes from Marine Soil. Journal of Microbial & Biochemical Technology. Vol (2)1:001-006.
- **Larpent J. P., Sanglier J. J., (1989).** Biotechnologie des antibiotiques. Mass., 35 : 473-481.
- **Larreta-Garde V., 1997.** Enzymes en Agroalimentaire. Edition Lavoisier. Pp.179-361.
- **Leclerc EL, Guillaume JM Watter P., (1977).** microbiologie appliquée. 67-71.
- **Leclerc H., 1969.** Microbiologie Générale. 1ere Edition Maisson. Pp25.
- **Ledin.M., (2000).** Accumulation of metals by microorganisms, processes and importance for soil systems, Earth-Science Reviews 51 1-31.
- **Lee. J.G, Yoo. I.D, Kim. W.G., (2007).** Differential antiviral activity of benzastatin C and its dechlorinated derivative from *Streptomyces nitrosporeus*. Biol Pharm Bull. 30(4):795–7.
- **Lee LH, Cheah YK, Sidik SM, Mutalib NSA, Tang YL, Lin YP, Hong K., (2012).** Caractérisation moléculaire des actinobactéries antarctiques et dépistage du métabolite antimicrobien production. World J Microbiol Biotechnol 28: 2125 – 2137 .
- **Levavasseur Loïc., (Soutenue le 3 Avril 2007).** Suivi simultané de la consommation d'oxygène et de la Consistance des pâtes de farine de blé à l'aide d'un pétrin Instrumenté (le sitoxygraphe) : tentative d'explication Biochimique et rhéologique. Application à l'ajout de Laccases. Thèse de doctorat en sciences alimentaires. Université Paris VII et Paris XI.
- **Liu X, Zhang J, Jiang J, Lib R, Xie Z, Li S., (2011).** Isolement d'une souche *Candida* Capable de dégrader le bleu réactif 13 et la bioaugmentation des réacteurs discontinus.
- **Locci. R and Sharples. G. P., (1984).** Morphology. In: Goodfellow.G. M, Mordarski.M, Williams. S.T. (eds). The biology of Actinomycetes. Academic, orlandon . p: 165-199. de séquençage aérobie. 978-1-4244-5089- 3/11 / 26,00 \$ © 2011 IEE.
- **Losi .M.E, Amrhein .C, Frankenberger .Jr. WT., 23(1994).** Biodegradation and bioremediation of chromate contaminated groundwater by reduction and precipitation, in surface soils, J. Environ. Qual., 141- 1150.
- **Lu L, Zenga G, Fana C, Rena W, Wang C, Zhao Q, Zhang J, Chen M, Chen A, Jiang M., (2013).** Caractérisation d'une oxydase multicopère de type laccase de *Streptomyces* sp. C1 dans l'agriculture déchets compost et enzymatique décoloration Des colorants Azoïques. Biochem Ingénieur J 72:70 – 76.

## M

- **Machczynski MC, Vijgenboom E., Samyn B. et Canters GW., 3 (9), (2004).** Caractérisation de SLAC: une petite laccase de *Streptomyces coelicolor* avec une activité sans précédent, Protein Sci. 2388-2397.

## Références Bibliographiques

- **Mahajan GB, Balachandran L., (2012).** Antibacterial agents from actinomycetes: A review. *Biosci avant (Elite Ed.)* 4: 240 – 253 .
- **Mane UV, Gurav PN, Deshmukh AM, Govindwar SP., (2008).** Dégradation du colorant textile réactif marine bleu Rx (Reactive blue59) par un Actinomycete *Streptomyces Krainskii* SUK-5 isolé. *Malaisien J Microbiol* 4 (2): 1 – 5.
- **Manivasagan. P, Venkatesan. J, Sivakumar. K, Kim.S.K., (2013).** Marine actinobacterialmetabolites:current status and future perspectives. *Microbiol.Res*;168(6): 311–332.
- **Marchis T, Avetta P, Bianco-Prevot A, Fabbri D, Viscardi G, Laurenti E., (2011).** Dégradation oxydative du Remazol Turquoise Blue G 133 par la peroxydase de soja. *J Inorg Biochem* 105: 321 – 327.
- **Mark Rollog, Nigel J. Cook, Paul Guagliardo, Kathy Ehrig, Sarah E. Gilbert and Matt Kilburn., (2019).**intermobility of barium, strontium, and sulfate leach solutions.*Geochemical trasactions journal* .vol.20, Number1 Doi: 10.1186/s12932-019-0064-0.
- **Mihaela C., Teodor Gh., Negoita., Gabriela E., Bahrim., Peter Stougaard., (2011).** Partial characterization of cold active amylases and proteases of *Streptomyces* sp. From antarctica. *Brazilian journal of microbiology* .Vol 42:868-877.
- **Mills AL, Colwell RR., (1977).** Effets microbiologiques des ions métalliques dans l'eau et les sédiments de la baie de Chesapeake. *Bull Environ Contam Toxicol* 18:99 – 103.
- **Mittal, A.K., Gupta, S.K., (1996).** Biosorption of cationic dyes by dead macro-fungus *Fomitopsis carnea*:batch studies, *Water science and technology*, **34** (10), 81-87.
- **Mohanty S, Dafale N, Rao NN., (2006).** Décoloration microbienne du noir réactif 5 dans un Réacteur anaérobie-aérobie à deux étages utilisant des boues textiles activées acclimatées. *Biodégradation* 17: 403 – 413
- **Molina-Guijarro, JM, Pérez Torres, J., Muñoz-Dorado, J., GuillénCarretero, F., Moya Lobo, R., Hernández Cutuli, M., et al., (2009).** Détoxification des colorants azoïques par un nouveau pH -laccase polyvalente et résistante au sel de *Streptomyces ipomoea*. *Sociedad Española de Microbiología*. ISSN-1139-6709.<<http://hdl.Handle.net/10481/33093>>.
- **Morozova OV, Shumakovich GP, Gorbacheva MA, Shleev SV, Yaropolov AI., (2007) .** Laccases "bleu". *J Biochem*. 72 (10): 1136-1150.
- **Mouranche A., Costes C., (1985).** Les Hémicellulases. Dans :Hydrolases et dépolymérasés, enzymes d'intérêt industriel. Eds. Gauthier-Villars, Paris, p.p.165-197.
- **Mukhtar S., Zaheer A., Aiysha D., Malik KA., Mehnaz S., (2017).**ASource of Industrially Important Enzymes. *J. Proteomics Bioinform*.10:316- 319.
- **Mukhtar S., Ahmad Z., Dalaq A., Kauser AM ., and Samina M., (2017).**Actinomycetes: A Source of Industrially Important Enzymes. *Journal of Proteomics &Bioinformatics*. Vol, 10:316-319.
- **Mueller GC; Miller JA., (octobre 1949).** "Le clivage réducteur du 4-diméthylaminoazobenzène par le foie de rat; la distribution intracellulaire du système enzymatique et ses besoins en nucléotides triphosphopyridiniques". *J. Biol. Chem*. **180** (3): 1125–36. [PMID 18139207](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18139207/) .

## N

- **Nagai M, Sato T, Watanabe H, Saito K, Kawata M, Enei H., (2002).** Puri fication and caractérisation d'une laccase extracellulaire du champignon comestible *Lentinulaedodes*, et décoloration de colorants chimiquement différents .*Appl Microbiol Biotechnol* 60: 327 – 335.
- **Nathan AM, Jessica MK, Valerie BM, Martin D, David HS., (2004).** Isolement et caractérisation de nouveaux taxons d'actinomycètes d'origine marine riches en métabolites bioactifs. *Appl Environ Microbiol* 21: 7520 – 7529 .
- **Navarre, Françoise l ., (2010).** L'œnologie 7<sup>e</sup>Edition. Pp39et 42.



## Références Bibliographiques

- Nicemol C., Asha P., Prem., (2008). Purification and partial characterization of polygalacturonase from *Streptomyces lydicus*. Journal Bioresource Technology. Vol (99):6697–6701.
- Niladevi, K. N., & Prema, P., (2005). Actinomycetologica, 19(2), 40–47.

### O

- **Onat TA, Gumudere HT, Guvenc A, Donmez G, Mehmetoglu.,(2010).** Décoloration du textile colorant azoïque par ultrasonication et élimination microbienne .Dessalement 255:154-158
- **Ottow J. C. G., Glathe H., (1968).** Rose Bengal-malt extract-agar, a simple medium for the simultaneous isolation and enumeration of fungi and actinomycetes from soil. *Appl. Microbiol.* 16 : 170-171.

### P

- **Pamboukian C. R. D., Guimarães L. M., Facciotti M. C. R., (2002).** Applications of image analysis in the characterization of *Streptomyces olindensis* in submerged culture. *Microbiol.*, 33 : 17-21.
- **Pandey. A, Nigam .P, Soccol. C.R, Soccol. V.T, Singh .D and Mohan. R., (2000).** Advances in microbial analysis. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 31: 135-152.
- **Pandey B., Ghimire P., Agrawal VP., 2004.** Studies on the antibacterial activity of the actinomycetes isolated from the Khumbu region of Nepal. *Acad. Sci Technol*,4(3):1-4.
- **Pasti MB, Hagen SR, Korus RA, Crawford DL., (1991).** L'effet de divers nutriments sur les peroxydases extracellulaires et la production d'APPL par *Streptomyces chromofuscus* A2 et *Streptomyces viridosporus* T7A. *Appl Microbiol Biotechnol* 34: 661 – 667.
- **Paszczynski A, Pasti MB, Goszczynski S, Crawford DL, Crawford RL., (1991).** Nouvelle approche pour améliorer la dégradation des colorants azoïques récalcitrants par *Streptomyces* spp. et *Phanerochaete chrysosporium*. *Enzyme Microb Technol* 13: 378 – 384 .
- **Patrick F., Jacqueline D. & Philippe T., (2008).** Les lipases sont des hydrolases atypiques : principales caractéristiques et applications. Vol2.
- **Perry J. J., Stanley J. T., Lory S., (2004).** Microbiologie. *Dun.*, 42 : 320-321.
- **Perumal SM, Munuswamy D, Sellamuthu PS, Kandasamy Mthangavelu KP.,(2007)** .Biosorption de colorants textiles et d'effluents par *Pleurotus fl orida* et *Trametes hirsuta* avec évaluation de leur activité laccase. *Iran J Biotechnol* 5: 114 – 118.
- **Pierre F., (2000).** Livre le grain de blé : Composition et utilisation. Edition Quae. Pp 123.
- **Piontek K., Antorini M. et Choinowski T., (2002).** Structure cristalline d'une laccase du champignon *Trametes versicolor* à une résolution de 1,90-Å contenant un complément complet de cuivres, *J. Biol. Chem.* 277 (40), 37663–37669.
- **Pirouz, T., Karbasian, M.A., Goodfellow, M., (1999).** Isolation of some aerobic actinomycetes species from the soil of Zahedan County, South-East of Iran. *Iran J Med Sci*, 24: 65– 67.
- **Poljsak B, Poci I, Raspor P, Pesti M., (2010).** Interférence du chrome avec les systèmes biologiques dans les levures et les champignons: une revue. *J Basic Microbiol* 50:21 .
- **Prasad SS, Aikat K (2014).** Étude de la biodégradation et de la bio-décoloration du colorant azoïque par *Enterobacter* sp, SXCR. *Environ Technol* 35: 956 – 965.
- **Prescott, L., Harley, J.P., Klein D.A., (1997).** Microbiologie tome II. De Boeck, Bruxelles. pp 506–517.
- **Priyaragini Veena S, Swetha D, Karthik L, Kumar G, Rao KVB., (2013)** .Évaluation de l'efficacité de l'extrait d'actinobactéries marin et de sa nano particule de dioxyde de titane médiée dans la dégradation des colorants azoïques. *J Environ Sci*.doi: [10.1016/S1001-0742\(13\)60470-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60470-2)

## Références Bibliographiques

- **Pullan ST, Chandra G., Bibb MJ et Merrick M., (2011).** Genome-wide analysis of the role of GlnR in *Streptomyces venezuelae* fournit de nouvelles informations sur la régulation globale de l'azote dans les actinomycètes, *BMC Genomics* **12** (1), 175 .

### Q

- **Qin JJ, Oô MH, Kekre KA., (2007).** Nano filtration pour récupérer les eaux usées d'une spécifique installation de teinture. *Sep Purif Technol* **56**: 199 – 203 .

### R

- **Radwan SS, Barabás G., Sorkhoh NA, Damjanovich S., Szabó I., Szöllösi J., et al., (1998).** Hydrocarbon uptake by *Streptomyces*, *FEMS Microbiol. Lett.* **169** (1), 87–94.
- **Ragunathan R., Padhmadás R., (2013).** Production, purification and characterization of  $\alpha$ -amylase using *Streptomyces* spp. PDS1 and *Rhodococcus* spp. Isolated from Western Ghats. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* **2**(8): 206-214.
- **Rajeeva G., SoniT., (2015).** Isolation, production, purification and characterization of an organic-solvent-thermostable alkalophilic cellulase from *Bacillus vallismortis* RG-07. *Journal of BMC Biotechnology*. Vol15:19.
- **Ramesh C., Rishi G., and Ajay S., (2011).** Microbial Cellulases and Their Industrial Applications. *Journal of SAGE-Hindawi*. 10 pages. vol 10.4061.
- **Ranjani A., Dhanasek., and Gopinath P., Manogaran.,(2016).** an Introduction to Actinobacteria. Vol10.5772/62329.
- **Reese ET, Maguire A (1969).** Les surfactants comme stimulants de la production d'enzymes par les micro-organismes.
- **Rome L, Gadd G,** Copper biosorption by *Rhizopus Arrhizus*, *Cladosporium Resinae* and *Penicillium italicum*, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **26** (1987) 84–90.
- **RonaldP., DeVries, Visser J., Leo H., de Graaff., (1999).** CreA modulates the XlnR-induce expression on xylose of *Aspergillus niger* genes involved in xylan degradation. *Res. Microbiol.* **150**,281-285.
- **Rosilma O., Araujo- Melo, Igor F.A.C., Maria C.V., Janete M., Kêsia X.R.F., and Luana Sudhanshu D., Ravindra., Vijay U., Sanjay K., (2011).** Isolation and Characterization of Actinomycetes Producing Antimicrobial Substance against Human Pathogenic Bacteria. *Journal of Pharmacy Research*. vol 4(11), 4066- 4068.

### S

- **Sabaou N., (1988).** Contribution à l'étude des actinomycètes des sols des palmeraies algériennes: systématique et écologie. Thèse de Doctorat des Sciences Naturelles, option Microbiologie, USTHB, Alger. 192.
- **Sadettin S, Donmez G., (2007).** Bioaccumulation simultanée de colorant réactif et de chrome (VI) en utilisant des thermophiles *Phormidium* sp. *Enzyme Microb Technol* **41**: 175 – 180
- **Sahasrabudhe M, Pathade G., (2013).** Biodégradation du colorant azoïque CI Reactive Orange 16 par un actinobactérium *Georgenia* sp. CC-NMPT-T3. *Intl J Adv Res* **1**:91 – 99.
- **SAIDI FZ ., (2013).** Élimination de bleu Méthylène par des procédé d'oxydation avancée. Mémoire de magister, université de Tlemcen, p11.
- **Saratale RG, Saratale GD, Kalyani DC, Chang JS et Govindwar SP., (2009).** Décoloration et biodégradation améliorées du colorant textile azoïque Scarlet R en utilisant le consortium microbien développé-GR, *Biores. Technol.* **100** (9) , 2493–2500.
- **Schliephake, K., Mainwaring, D.E., Lonergan, G.T., Jones, I.K. ET Baker, W.L., (2000).** Transformation and degradation of the disazo dye Chicago Sky Blue by a purified laccase from *Pycnoporus cinnabarinus*. *Enz. Microb. Technol.* **27** (1-2): 100-107.

## Références Bibliographiques

- **Schmid. R. D and Verger. R., (1998).** Lipases: Interfacial enzymes with attractive applications. *Angew.Chem. Int. Ed.* 37: 1608-1633.
- **Schofield, G. M., (1981).** K. P. Schaal A numerical taxonomic study of members of the *Actinomycetaceae* and related taxa. *J Gen Microbiol*, 127(2):237–259.
- **Sellamuthu R, Umbright C, Chapman R, Leonards, Li S, Kashon M, Joseph P., (2011).** transcriptomique évaluation de la toxicité du chrome hexavalent dans dermiques humains fi broblastes. *J Cancérogène Mutagène* doi: [10.4172 / 2157-2518.1000116](https://doi.org/10.4172/2157-2518.1000116).
- **Sekine M., Tanikawa S., Omata S., Saito M., Fujisawa T., Tsukatani N., et al., (2006).** Analyse de séquence de trois plasmides hébergés dans la souche PR4 de *Rhodococcus erythropolis*, *Environ. Microbiol.* 8 (2), 334–346.
- **Servin JA., Herbold CW., skophammer RG., Lake JA., (2008).** Molecular biology and evolution 25(1), 1-4.
- **Sharma HK, Bajpai K, Shukla S, Kumari R, Singh SK., (2013).** Biodégradation du colorant réactif azoïque rouge 11en utilisant *Enterobacter* sp. et *gamma proteobacterium* Collectés auprès de l'industrie des colorants. *Intl J Innov Res Sci Engineer Technol* 2:1670 – 1676 .
- **Shinde KP, Thorat PR., (2013).** Biodécolisation du colorant direct diazo congo red par *Fusarium* sp.TSF-01. *Rev Res* 2: 1 – 7 .
- **Skalova T., Dohnalek J., Ostergaard LH, Ostergaard PR, Kolenko P., Dušková J., et al., (2009).** La structure de la petite laccase de *Streptomyces coelicolor* révèle un lien entre les laccases et les nitrites réductases, *J. Mol. Biol.* 385 (4), 1165–1178.
- **Stackebrandt E, Rainey FA, Ward-Rainey NL., (1997).** Proposition de nouvelle class hiérarchisé fi système de cation, de nombre de bactéries d'action. *Intl J Syst Bacteriol* 47: 479 – 491.
- **Staneck, J. L., Roberts, G. D., (1974).** Simplified approach to identification of aerobic Actinomycetes by thin-layer chromatography. *Appl Microbiol*, 28(2): 226–231.
- **Strobel, G.A. & Daisy, B., (2004).** bioprospecting for microbial enophytes and thier natural products. *Microbial Mol Biol Rev* 67 ,491-502[crossRef] [Google Scholar]
- **Sudha M., Saranya A., Selvakumar G. et Sivakumar N., (2014).** Dégradation microbienne des colorants azoïques: une revue, *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 3 (2), 670–690.
- **Sudhanshu D., Ravindra., Vijay U., Sanjay K., (2011).** Isolation and Characterization of Actinomycetes Producing Antimicrobial Substance against Human Pathogenic Bacteria. *Journal of Pharmacy Research.* vol 4(11), 4066- 4068.
- **Sugano Y, Matsushima Y, Shoda M., (2006).** Décoloration complète de la colorante anthraquinone Reactive Blue 5 par la concertation de deux per-oxydases de *Thanatephorus cucumeris* 1er décembre. *Appl Microbiol Biotechnol* 73: 862 – 871.
- **Suthindhiran K, Kannabiran K., (2009).** Potentiel cytotoxique et antimicrobien des espèces d'actinomycètes *Saccharopolyspora saline* VITSDK4 isolée de la côte de la baie du Bengale en Inde. *Am J Infect Dis* 5 (2): 90 – 98.
- **Suzuki T., Masaaki ITO, Tsujibo H., Miyamoto K. et Inamori Y., (2003).** Une laccase thermostable de *Streptomyces lavendulae* REN-7: purification, caractérisation, séquence nucléotidique et expression, *Bio Biotechnol. Biochem.* 67 (10), 2167-2175.

## T

- **Tan NCG, Borger A, Slenders P, Svitelskaya A, AQLettinga G, Field JA., (2000).** Dégradation du colorant azoïque Mordant Yellow 10 dans un bioréacteur aérobie séquentiel anaérobie et bioaugmenté. *Wat Sci Technol* 42: 337 – 344
- **Tang B., Wang Q., Yang M., Xie F., Zhu Y., Zhuo Y., et al., (2013).** ContigScape: un plugin Cytoscape facilitant la fermeture des lacunes du génome microbien, *BMC Genomics* 14 (1), 289.

## Références Bibliographiques

- **Tanveer P., Shashank G., Joginder S., AshishV., Manish K., Naseem G., Madhu B., Reiaz R., Ajit V., Vivek K., and Manoj K., (2014).** Characterization of *Actinomyces* and *Trichoderma* spp. for cellulase production utilizing crude substrates by response surface methodology. *Journal of Spirnger*. Vol 3:622.
- **Thomson CJ, Power E, Ruebsamen-Waigmann H et Labischinski H., (2004).** Antibacterial research and development in the 21<sup>st</sup> Century-an industry perspective of the challenges. *Curr. Opin. Microbiol.* 7 (5), 445-50.
- **Tresner H.D., and Dangad .F., (1958).** Hydrogen sulfide production by *Streptomyces* as a criterion for species differentiation. *Pubmed Bactériol.* Vol 76(3):239-244.

## V

- **Van Bloois, E., Pazmiño, D. E. T., Winter, R. T., & Fraaije, M. W., (2010).** Applied Microbiology and Biotechnology, 86(5), 1419–1430.
- **van de Sande, W.W., (2013).** Global burden of human mycetoma: A systematic review and meta-analysis. *PLoS Negl Trop Dis.* 7(11) : e2550.
- **Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G.F., Chater, K.F., vanSinderen, D., (2007).** Genomics of *Actinobacteria*: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiol Mol Biol Rev*, 71(3): 495–548.
- **Veziris, N., Chauffour, A., Escolano, S., Henquet, S., Matsuoka, M., Jarlier, V., Aubry, A., (2013).** Resistance of *M. leprae* to Quinolones: A Question of Relativity *PLoS Negl Trop Dis*, 7(11):e2559.
- **Volesky .B,** Biosorption of heavy metals. Boca Raton, CRC Press, ISBM 0849349176, 408(1990).

## W

- **Wang XS, Chen JP., (2009).** Élimination du colorant rouge congo des solutions aqueuses par l'algue marine *Porphyra yezoensis* Ueda. *Nettoyer* 37: 793 - 798
- **Williams, S. T., Goodfellow, M., Alderson, G., Wellington, E.M.H., Sneath, P.H.A., Sackin, M.J., (1983).** Numerical classification of *Streptomyces* and related genera. *J Gen Microbiol*, 129(6): 1743–1813.
- **Williams S. T., Sharples G. P., Bradshaw RM. Williams, S.T., Lanning, S., Wellington, E.M.H., (1984).** Ecology of Actinomycetes. In: *The Biology of the Actinomycetes*. Eds : M. Goodfellow, M. Mordarski and S.T. Williams. Academic press, London, New York, Sydney, Tokyo, Sao Paulo.481–528.
- **William B., Whitman., Michael Goodfellow.,Peter Kämpfer.,(2012).** *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume 5: The Actinobacteria*, Pp1928.

## Y

- **Yang Y, Lu L, Gao F, Zhao Y., (2013).** Caractérisation de l'efficace catalytique et organique de solvants tolérant azoréductase vers méthyle rouges de *Shewanella* de la MR-1. *Environ Sci Pollut Res Int* 20: 3232 – 3239 .
- **Yatome C, Ogawa T, Matsui M., (1991).** Dégradation du cristal violet par *Bacillus subtilis*. *J Environ Sci Health A26*: 75 – 87.
- **Yemendzhiev H, Alexieva Z, Krastanov A., (2009).** Décoloration du colorant synthétique Reactive Blue 4 par culture mycélienne de champignons à pourriture blanche *Trametes versicolor* 1. *Biotechnol Biotec Eq* 23: 1337 – 1339 .

**Z**

- **Zaburanyi N., Rabyk M., Ostash B., Fedorenko V. et Luzhetskyy A., 15(1), (2014).** Insights into naturellement minimisé *Streptomyces albus* J1074genome, *BMC Genomics*, 97.
- **Zaitlin, B., Watson, S.b., Ridal, J., Satchwill, T., Parkinson, D., (2003).** Actinomycetes in lake Ontario: Habitats and geosmin and MIB production. *Res J Can*, 95 (2) : 113-118.
- **Zhi, X.Y., Li, W.J., Stackebrandt E., (2009).** An update of the structure and 16S RNAr .
- **Zhou, W., Zimmerman, W., (1993).** Decolorization of industrial effluents containing reactive dyes by actinomycetes, *FEMS Microbiology Letters*, **107** (2-3), 157-162.