



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



N° d'ordre : M2/GPE/2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des Procédés**

**Option: Génie des Procédés de l'Environnement**

*Thème*

**Biodégradation des colorants toxiques  
(rouge de méthyle et acide vert) par des  
micro-organismes**

**Présentée par :**

**HASSANI MAROUA**

**MANSOUR FAIZA**

**Soutenue le : 07/07/ 2022 devant le jury composé de :**

Président :	Mme MESSAOUDI .N	MCA Université de Mostaganem.
Examineur :	Mr TERKHI .MC	MCA Université de Mostaganem.
Rapporteur :	Mme BELHADJI .A	MCB Université de Mostaganem.
Co encadreur :	Mme KEDDAR .F	Doctorante Université de Mostaganem.

**Année universitaire 2021 - 2022**

# Remerciements

*Tous d'abord je remercie mon **grand dieu** pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté pour achever mon travail.*

*Le travail présenté dans ce mémoire de master a été réalisé au sein du Laboratoire des Sciences et Techniques de l'environnement et de la Valorisation (STEVA) de l' Université de Mostaganem dirigé par les Professeur **Fatiha ABDELMALEK** et **A. ADDOU***

*Je tiens à exprimer mes remerciements à mon encadreur madame **A. BELHADJI** qui m'a guidé avec ses précieux conseils et suggestions, ainsi qu'à la confiance qu'elle m'a témoigné pour hisser mon valeureux projet à bon terme.*

*Je tiens à gratifier les membres de jury monsieur **TERKHI.MC** et madame **MESSAOUDI.N** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de le présider.*

*Je ne saurais oublier tous les membres du laboratoire STEVA pour leurs encouragements et leur soutien et je remercie particulièrement Melle **F. DAMEN**, technicienne du laboratoire STEVA, le doctorant **BENMEKI BILEL**, Mme **KEDDAR FAIZA**, Mr **ABDELLATIF** et Mme **OUM LKHIR**.*

*Enfin, je remercie toute les personnes qui ont participées de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A mes chers parents*

*Vous m'avez appris que la vie était remplie de petites batailles,*

*Vainqueurs, vaincus, la guerre continue jusqu'à ce qu'on devienne très vieux*

*Les études sont mes exercices d'entraînement,*

*Les diplômes seront mes armes de combat,*

*La persévérance et l'assiduité seront le secret de mon couronnement,*

*L'amour et l'amitié seront le répit du soldat.*

*Grâce à vous, vos enfants ont accompli beaucoup de succès Je vous aime.*

*A mes chères sœurs et frères*

*Romaissa, Aicha, Abdelrahman, Anes*

*Je vous remercie de tout ce que vous m'avez appris et donné,*

*Pour votre optimisme, votre dynamisme, vos aides et soutiens précieux*

*Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite du monde,*

*Aucun mot, aucun dédicace ne serait exprimer amour, le respect et la reconnaissance que  
j'éprouve pour vous.*

*MAROUA...*



# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A mes chers parents*

*Vous m'avez appris que la vie était remplie de petites batailles,*

*Vainqueurs, vaincus, la guerre continue jusqu'à ce qu'on devienne très vieux*

*Les études sont mes exercices d'entraînement,*

*Les diplômes seront mes armes de combat,*

*La persévérance et l'assiduité seront le secret de mon couronnement,*

*L'amour et l'amitié seront le répit du soldat.*

*Grâce à vous, vos enfants ont accompli beaucoup de succès Je vous aime.*

*A mon fiancée AKREM*

*A mes chères sœurs et frères*

*Imen, Oussama, Khadija, Ahmed Yacine*

*Je vous remercie de tout ce que vous m'avez appris et donné,*

*Pour votre optimisme, votre dynamisme, vos aides et soutiens précieux*

*Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite du monde,*

*Aucun mot, aucun dédicace ne serait exprimer amour, le respect et la reconnaissance que j'éprouve pour vous.*

**FAIZA...** 

## Résumé

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre général de la dépollution des eaux résiduaires industrielles, a pour objectif l'élimination des colorants synthétiques présents dans les effluents industriels par un traitement biologique. La méthodologie expérimentale appliquée a pour but d'étudier l'influence des souches utilisées sur la dégradation des colorants à savoir, le rouge de méthyle comme colorant azoïque, et l'acide vert comme colorant anthraquinoniques sous différents conditions physico-chimiques tels que le pH, la concentration initiale du colorant et la température. Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les souches bactériennes *Pseudomonas aeruginosa* (Pa), *Proteus mirabilis* (Pm) et *Klebsiella pneumoniae* (Kp) sont capables de décolorer et de bio transformer les colorants toxiques en métabolites non toxiques. Ces derniers n'ont pas affectés les paramètres de germinations tels que la longueur des tiges, des racines, des feuilles ainsi que le taux de germination des graines des plantes étudiées. Le taux de décoloration a atteint 100% pour toutes les bactéries avec le rouge de méthyle (RM) et 84% avec l'acide vert (Ag25) avec *Klebsiella pneumoniae* (Kp). Le pH du milieu est un paramètre important qui influe la biodégradation, le pH acide renforce la décoloration. La température est un facteur primordial important pour tous les processus associés à la vitalité microbienne, les résultats montrent que les températures 30°C et 37°C étaient les plus favorables pour une meilleure activité du métabolisme bactérien. La diminution de la température au-delà de 30°C entraîne une diminution dans le taux de décoloration, où on a noté un pourcentage de 74% à 25°C au lieu de 100% à 30 °C et 37°C.

**Mot clés :** biodégradation, bactéries, colorants, Rouge de Méthyle, Phytotoxicité.

## Abstract

This study, which is part of the general framework for the depollution of industrial waste water, aims at the elimination of synthetic dyes present in industrial effluents by biological treatment. The purpose of the applied experimental methodology is to study the influence of the strains used on the degradation of dyes, namely, methyl red as azo dye, and green acid as anthraquinonic dye under various physico-chemicals such as pH, initial dye concentration and temperature. The results obtained in this study show that the bacterial strains *Pseudomonas aeruginosa* (Pa), *Proteus mirabilis* (Pm) and *Klebsiella pneumoniae* (Kp) are able to bleach and bio transform toxic dyes into non-toxic metabolites. The latter did not affect the germination parameters such as the length of the stems, roots, leaves and the germination rate of the seeds of the plants studied. The discolouration rate reached 100% for all bacteria with methyl red (RM) and 84% with green acid (Ag25) with *Klebsiella pneumoniae* (Kp). The pH of the medium is an important parameter which influences the biodegradation, the acidic pH strengthens the discoloration. Temperature is an important factor for all processes associated with microbial vitality, the results show that temperatures 30°C and 37°C were the most favourable for better bacterial metabolism activity. The decrease in temperature above 30°C results in a decrease in the discolouration rate, where 74% at 25°C was observed instead of 100% at 30°C and 37°C.

**Keywords:** biodegradation, bacteria, dyes, Methyl Red, Phytotoxicity.

## المخلص

تهدف هذه الدراسة، التي تعد جزءاً من الإطار العام لإزالة تلوث مياه الصرف الصناعي، إلى القضاء على الأصباغ الاصطناعية الموجودة في النفايات السائلة الصناعية عن طريق المعالجة البيولوجية. الغرض من المنهجية التجريبية التطبيقية هو دراسة تأثير السلالات المستخدمة على تحلل الأصباغ، أي أحمر الميثيل كصبغة أزرق، والحمض الأخضر كصبغة أنثراكينونية تحت مواد كيميائية فيزيائية مختلفة مثل الأس الهيدروجيني وتركيز الصبغة الأولي ودرجة الحرارة. و *Pseudomonas aeruginosa* (Pa) تظهر النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة أن السلالات البكتيرية قادرة على تبيض الأصباغ السامة وتحويلها *Klebsiella pneumoniae* (Kp) و *Proteus mirabilis* (Pm) بيولوجياً إلى مستقلبات غير سامة. لم يؤثر هذا الأخير على معالم الإنبات مثل طول السيقان والجذور والأوراق ومعدل و 84% مع (RM) إنبات بذور النباتات المدروسة. وصل معدل تغير اللون إلى 100% لجميع البكتيريا ذات الميثيل الأحمر الأس الهيدروجيني للوسط هو معامل مهم يؤثر على *Klebsiella pneumoniae* (Kp) مع (Ag25) الحمض الأخضر التحلل الحيوي، الأس الهيدروجيني الحمضي يقوي تغير اللون. تعتبر درجة الحرارة عاملاً مهماً لجميع العمليات المرتبطة بالحيوية الميكروبية، وتظهر النتائج أن درجات الحرارة 30 درجة مئوية و 37 درجة مئوية كانت الأكثر ملاءمة لنشاط التمثيل الغذائي البكتيري الأفضل. يؤدي الانخفاض في درجة الحرارة فوق 30 درجة مئوية إلى انخفاض في معدل تغير اللون، حيث لوحظ 74% عند 25 درجة مئوية بدلاً من 100% عند 30 درجة مئوية و 37 درجة مئوية.

**الكلمات الرئيسية:** التحلل البيولوجي، البكتيريا، الأصباغ، الميثيل الأحمر، السمية النباتية.

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : La biodégradation.....	
I.1 Dégradation : .....	4
I.2 Généralité sur la biodégradation : .....	4
I.3 Les éléments clés indispensables pour la biodégradation : .....	5
I.3.1 La présence de microorganismes:.....	5
I.3.2 L'environnement : .....	5
I.3.3 Le substrat : .....	5
I.4 Mécanisme général de la biodégradation :.....	5
I.5 Les facteurs affectant la biodégradation : .....	5
I.5.1 L'effet de température:.....	6
I.5.2 L'effet du pH:.....	6
I.5.3 L'aération: .....	6
I.6 Mécanisme de dégradation biologique : .....	6
I.6.1 Fragmentation : .....	6
I.6.2 Hydrolyse enzymatique .....	7
I.6.3 Bio-assimilation.....	7
I.7 Les facteurs biologiques de la biodégradation :.....	8
I.8 Biodégradation par les bactéries : .....	8
I.9 Les paramètres microbiologiques du milieu de dégradation :.....	8
Chapitre II: Les colorants.....	
II.1 Introduction :.....	11
II.2 Généralités sur les colorants : définitions et structures :.....	11
II.3 Différents types de colorants : .....	13
II.3.1 Colorants naturels :.....	13
II.3.2 Colorants synthétiques : .....	13
II.4 Pollution par les colorants :.....	13
II.5 Classification des colorants : .....	14
• Acid Green :.....	15
• Rouge de méthyle .....	15
II.5.1 Classification chimique :.....	16



II.5.2 Classification tinctoriale : .....	17
II.6 Traitement des rejets colorés : .....	18
II.6.1 Méthodes chimiques : .....	18
II.6.2 Méthodes physiques : .....	19
II.7 Législation sur l'environnement : .....	20
Chapitre III: Matériels et méthodes.....	
III.1 Matériels et méthodes : .....	22
III.1.1 Colorants : .....	22
III.1.2 Produits et Réactifs : .....	23
Phosphate de monopotassium.....	23
Sulfate de magnésium.....	23
D(+)-Glucose monohydraté.....	23
III.1.3 Dispositifs expérimentaux : .....	24
Techniques d'analyse: .....	27
III.2 Méthodologie expérimentale : .....	27
III.2.1 Traitement biologique : .....	27
III.2.2 Traitement des colorants par Gad plasma : .....	32
III.3 Résultats et discussion : .....	33
III.3.1 Test de phytotoxicité : .....	34
III.3.2 Effet concentration : .....	38
III.3.3 Effet pH : .....	40
III.3.4 Effet température .....	42
III.3.5 Solution témoin non traité : .....	43
III.3.6 Solution traité par Gad plasma:.....	44

## Liste des tableaux :

<b>Tableau II.1 :</b> Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante.....	12
<b>Tableau II.2 :</b> Classification standard des colorants.....	15
<b>Tableau II.3:</b> Classification chimique des colorants.....	16
<b>Tableau II.4 :</b> Classification tinctoriale des colorants. ....	17
<b>Tableau II.5 :</b> Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants .....	18
<b>Tableau III.1 :</b> les principales caractéristiques physico-chimiques des colorants utilisés dans ce travail .....	22
<b>Tableau III.2 :</b> Produits chimiques utilisés dans cette étude.....	23
<b>Tableau III.3:</b> Les différents germes utilisés ainsi que leur code de référence.....	28
<b>Tableau III.4 :</b> Les résultats de traitement biologiques par les souches bactériennes.....	33
<b>Tableau III.5:</b> Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines cucurbita pepocucurbita pepo.....	34
<b>Tableau III.6 :</b> Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines capsicum annum.....	34
<b>Tableau III.7 :</b> Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines phaseolus vulgaris.....	35
<b>Tableau III.8 :</b> Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines cucumis melo.....	35

## Liste des figures :

### Chapitre II

Figure II.1:Exemple des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types anthraquinones.....	12
Figure II.2: Représentation schématique des effets des effluents de l'industrie textile sur l'environnement.....	14

### Chapitre III

Figure III.1 : Photographie dispositif du réacteur fermé.....	24
Figure III.2:incubateur muni d'une agitation (model WiseCube).....	25
Figure III.3: Photographie Spectrophotomètre UV-visible (OPTIZEN 2120 UV).....	25
Figure III.4:Photographie du pH mètre model PHSJ-3F.....	26
Figure III.5: Photographie de microplaques utilisées.....	26
Figure III.6:Photographie d'une coloration simple de la bactérie <i>E.coli</i> grossissement x100	28
Figure III.7:Schéma illustrant les étapes de biodégradation de RM et Ag25 en fonction de concentration. Pa : <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , Kp : <i>Klebsiella</i> , Pm : <i>Proteus mirabilis</i> .....	29
Figure III.8:Schéma illustrant les étapes de biodégradation de RM et Ag25 en fonction de pH. Pa : <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , Kp : <i>Klebsiella</i> , Pm : <i>Proteus mirabilis</i> .....	30
Figure III.9: illustrant les étapes de biodégradation de RM et Ag25 en fonction de température Pa : <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , Kp : <i>Klebsiella</i> , Pm : <i>Proteus mirabilis</i> .....	31
Figure III.10:Schéma illustre les étapes du traitement par le Glidarc.....	32
Figure III.11:Photographie sur les résultats de traitement biologique .....	33
Figure III.12:Photographies de l'effet phytotoxicité de déférentes solutions sur le grain de <i>Cucurbita pepo</i> .....	36
Figure III.13:Photographies d'effet du test de phytotoxicité sur le grain de <i>Cucumis melo</i> 37	
Figure III.14:Pourcentage de décoloration après 7jours d'incubation en fonction de la concentration initiale en RM.....	39
Figure III.15:Pourcentage de décoloration après 7jours d'incubation en fonction de la concentration initiale enAg25.....	39

Figure III.16 : Photographie sur la dégradation de RM et Ag25 en fonction des concentrations des colorants.....	40
Figure III.17:Effet de pH du milieu sur la dégradation de RM après 7jours d'incubation....	41
Figure III.18:Effet de pH du milieu sur la dégradation d'Ag25 après 7jours d'incubation	41
Figure III.19 : Photographie sur la dégradation de RM et Ag25 en fonction de pH.....	42
Figure III.20 :Pourcentage de décoloration de RM après 7jours d'incubation en fonction de la température.....	43
Figure III.21:Pourcentage de décoloration de RM après 7jours d'incubation en fonction de la température.....	43
Figure III.22: Photographie sur la dégradation de RM et Ag25 en fonction de température...	44
Figure III.23 : Pourcentage de décoloration après le traitement glidarc en fonction du temps	44

## ***Liste des abréviations :***

**STEVA** : laboratoire des sciences et techniques de l'environnement et de la valorisation.

**RM** : Rouge de méthyle

**Ag25** : Acide vert

**MSM** : Milieu de sels minéraux

**pH** : potentiel d'Hydrogène.

**UV** : Ultra-violet.

**Abs** :Absorbance

**GAD** : réacteur Glidarc

**ppm** :partie par million

**Pa** :Pseudomonas aeruginosa

**Pm** : Proteus mirabilis

**Kp** :Klebsiellapneumoniae

Les colorants sont parmi les effluents industriels les plus rejetés dans l'environnement vu leur grande utilisation dans plusieurs secteurs (cosmétique, produits alimentaire, les industries textiles, pharmaceutique) pour améliorer la vie de l'être humain cause une pollution dans notre environnement et plus particulièrement de l'eau. La pollution des eaux est un problème majeur qui est à prendre au sérieux.

Les colorants azoïques sont la classe chimique la plus importante des colorants synthétiques [1,2], ils sont très utilisés surtout au domaine du textile ce qui rend les effluents riches en ces colorants et leurs métabolites [3]. Ces derniers sont très toxiques vis-à-vis de l'environnement et des êtres vivants

De ce fait, il est indispensable de traiter ces déchets avant de les rejeter dans l'environnement. Plusieurs procédés chimiques et physiques ont été développés pour ces fins mais restent très onéreux et peuvent générer des métabolites plus toxiques.

Cependant, la minéralisation complète des colorants avec des micro-organismes est l'une des options les plus fiables pour l'assainissement des eaux usées industrielles contenant des colorants azoïques et anthraquinoniques. La diversité des microorganismes et de leurs différentes voies métaboliques permet de cibler les principales catégories chimiques de colorants.

D'où l'importance des traitements biologiques comme la bioremédiation qui consiste en la mise en œuvre intentionnelle par l'homme d'un processus de biodépollution tel que biodégradation, ou la biotransformation des polluants par un agent biologique en produits moins toxiques [4].

Le présent travail porte sur l'évaluation de la dégradation des colorants synthétiques par de nouvelles souches bactériennes isolée du sol et focalisé sur l'acclimatation des graines à un colorant synthétique en utilisant le rouge de méthyle comme colorant azoïque, acide green comme colorant anthraquinoniques.

Afin d'isoler des bactéries capables de dégrader ces polluants ou de le biotransformer en un composé non toxique

Pour notre travail choisis le traitement biologique et le traitement par plasma-Glidarc, ainsi que le couplage de ces deux procédés. Les recherches menées dans le laboratoire des sciences et techniques de l'environnement et de la valorisation (STEVA) et le laboratoire de chimie où s'est déroulé mon stage de fin d'études.

Notre mémoire est divisé en deux parties, une partie théorique et une partie pratique.

La partie théorique comporte deux chapitres, **chapitre I** intitulé généralités sur la biodégradation et **chapitre II** aborde quelques généralités sur les colorants et leurs classifications.

La deuxième partie dans le troisième chapitre présente l'ensemble des méthodes expérimentales ainsi que les matériels utilisés dans ce travail, suivie les résultats et discussion obtenus.

Enfin, une conclusion.

# ***CHAPITRE I***

---

## ***La Biodégradation***



### **I.1 Dégradation :**

La dégradation d'un matériau signifie la perte de ses propriétés physico-chimiques [5] Dans le cas d'un matériau polymère, cette perte de propriétés peut se produire en raison de modifications physico-chimiques dans l'assemblage des macromolécules qui forment le matériau et/ou suite à une rupture de ces macromolécules.

Toutefois, il existe plusieurs situations qu'il est nécessaire de distinguer en terme de dégradation, Le matériau est dégradé partiellement, ce qui aboutit à la formation de fragments macromoléculaires qui peuvent être plus petits mais très semblables au matériau d'origine d'un point de vue chimique. Le matériau est dégradé ainsi que les macromolécules, ce qui se traduit par la rupture des chaînes macromoléculaires provoquée par un procédé chimique comme une hydrolyse ou une oxydation, ou par des agents biologiques tels que les micro-organismes ou l'action d'enzymes, ou les deux conjugués [5].

Il existe différents types de dégradation, la dégradation abiotique causée par des facteurs physiques tels que l'oxygène, l'eau ou la lumière, et la dégradation biotique due à l'action de micro-organismes [6]. En conditions naturelles, ces deux types de dégradation peuvent être combinés et mener les polymères à différents degrés de dégradation (fragilisation, fragmentation, solubilisation).

Le CEN (Comité Européen de Normalisation) ont défini la notion de dégradation comme « un processus irréversible aboutissant à un changement significatif de la structure du matériau particulièrement caractérisé par la perte de propriétés (intégrité, masse molaire, structure ou résistance mécanique) et/ou une fragmentation. La dégradation est influencée par les conditions environnementales et se déroule au cours d'une période comprenant une ou plusieurs étapes ».

### **I.2 Généralité sur la biodégradation :**

La biodégradation est définie comme la réduction de la complexité des produits chimiques par catalyse biologique composés. En effet, la biodégradation est le processus par lequel les substances organiques sont décomposées en composés plus petits par des organismes microbiens vivants.

Quand la biodégradation est terminée, le processus s'appelle "minéralisation". Cependant, dans la plupart des cas, le terme biodégradation est généralement utilisé pour décrire presque tous les changements à médiation biologique dans un substrat.

Les matières biodégradables sont généralement des matières organiques telles que des matières végétales et animales et d'autres substances provenant d'organismes vivants ou de matériaux artificiels suffisamment similaires aux matières végétales et animales pouvant être utilisées par des micro-organismes [7].

### **I.3 Les éléments clés indispensables pour la biodégradation :**

#### **I.3.1 La présence de microorganismes:**

La base de tout processus de biodégradation est l'existence de microorganismes capables de synthétiser des enzymes actives sur le polymère cible, afin d'initier le processus de fragmentation et de minéralisation des monomères et des oligomères formés par ce processus.

#### **I.3.2 L'environnement :**

Certains facteurs sont indispensables au processus de biodégradation, comme la température, l'humidité, les sels minéraux, l'oxygène, le paramètre le plus significative étant l'humidité.

#### **I.3.3 Le substrat :**

La structure du polymère influence le processus de biodégradation ces facteurs structuraux comprennent les liaisons chimiques, le degré et le type de ramification, le degré d'hydrophobie, la distribution des masses moléculaires, la cristallinité ainsi que d'autres aspects morphologiques [8] et [9].

### **I.4 Mécanisme général de la biodégradation :**

Tous les matériaux polymères sont exposés aux conditions naturelles environnementales et leur surface est recouverte par des micro-organismes, excepté dans le cas de pièces stériles [10]. Ces micro-organismes sont capables de dégrader une large gamme de polymères naturels et synthétiques.

### **I.5 Les facteurs affectant la biodégradation :**

L'efficacité d'une technique de biodégradation mise en œuvre pour décontaminer un site précis, va dépendre de nombreux facteurs, qui devront être pris en compte lors de la conception de l'opération [11] Parmi ces facteurs on cite le type de microorganismes et les caractères physiques et chimiques des milieux (la température, le pH, la salinité, les éléments nutritifs et l'oxygène disponible [12].

### **I.5.1 L'effet de température:**

La température peut avoir une influence néfaste sur l'activité microbienne qui va ralentir. Si la température chute significativement dans les opérations de bio décontamination, le processus sera pénalisé en hiver, et même complètement stoppé si la température descend au dessous de 0°C [11].

### **I.5.2 L'effet du pH:**

L'environnement interne de toutes les cellules vivantes est environ neutre, la plupart des organismes ne peuvent pas tolérer un pH inférieur à 4 ou supérieure à 9, a pH inférieur à 4 ou supérieur à 9; des valeur de pH acide ou basique peuvent pénétrer dans les cellules plus facilement, par ce qu'ils ont tendance à exister sous une forme non dissociée dans ces conditions et de pénétrer dans les cellules[13].

### **I.5.3 L'aération:**

Les microorganismes utilisent l'oxygène avant tout comme l'accepteur terminal d'électrons, le niveau d'oxygène dissous est le facteur clé qui détermine le taux de dégradation de la matière organique qui change dans les conditions de croissance aérobie [13]. L'étape initiale du catabolisme des hydrocarbures aromatiques par les bactéries et les champignons, inclue l'oxydation de ces substrats par l'intérimaire d'oxydroxylases et d'oxygénases, pour les quelles l'oxygène moléculaire est indispensable, les conditions anaérobies sont par la suite nécessaires pour cette voie d'oxydation microbienne.

Les hydrocarbures dans l'environnement théoriquement nécessitent 3,5 g d'oxygène pour l'oxydation complète d'1g de pétrole, Zobell a conclu que la quantité d'oxygène dissoute dans 320 ml d'eau de mer est nécessaire pour l'oxydation de 11g de pétrole brut [14].

## **I.6 Mécanisme de dégradation biologique :**

### **I.6.1 Fragmentation :**

La première étape concerne la fragmentation du matériau et peut être considérée comme élément déclencheur de la chaîne globale de dégradation.

La détérioration mécanique et physico-chimique est généralement provoquée par des agents érosifs plus ou moins sévères (broyage ou ressac, irradiation UV, eau, vent...) Cette première étape, primordiale, a pour résultats le morcellement du matériau qui permet une augmentation de la surface en contact avec les micro-organismes.

Parallèlement, la fragmentation peut être provoquée par des êtres vivants (bactéries, champignons, vers de terre, insectes ...), on parle alors d'hydrolyse enzymatique.

### **I.6.2 Hydrolyse enzymatique**

Les champignons, les bactéries ou les algues de notre environnement disposent d'un important arsenal exo-enzymatique capable de permettre la dégradation de macromolécules organiques qu'ils sont incapables de bio-assimiler de manière directe du fait de leur masse molaire élevée. Réduire ce polymère en éléments beaucoup plus petits (faibles masses molaires) avant d'envisager de le consommer est nécessaire de plus, un certain nombre de ces actions exo-enzymatiques catalyse en fait des hydrolyses : c'est le cas, par exemple de l'action des amylases, des protéases, des nucléases, des cellulases, estérases, et autres hydrolases [15].

### **I.6.3 Bio-assimilation**

C'est la dernière étape du processus de biodégradation. Les macromolécules ont été réduites en molécules suffisamment petites pour pénétrer dans les cellules vivantes et être intégrées aux cycles physiologiques anaboliques (construction, maintien et réorganisation de la biomasse) et cataboliques (source d'énergie).

Idéalement, le matériau est minéralisé sous forme de dioxyde de carbone et d'eau d'une part et transformé sous forme de biomasse d'autre part. On ne considère plus ici le type de dégradation subie par le polymère mais sa capacité à être totalement transformé en composés assimilables dans un milieu particulier.

En exploitant les communautés microbiennes, les «forces» naturelles de la biodégradation, réduction des déchets et nettoyage de la plupart des contaminants de l'environnement peuvent être atteints.

Selon la nature des micro-organismes, ceux-ci peuvent manger une partie de la molécule organique seulement, détruisant le parent intact substance dans un processus connu sous le nom de «biodégradation primaire», ou ils peuvent la manger complètement dans un processus appelé «biodégradation ultime».

### **I.7 Les facteurs biologiques de la biodégradation :**

Il apparaît de plus en plus clairement que les micro-organismes jouent un rôle majeur dans l'organisation, le fonctionnement et l'évolution de la plupart des écosystèmes. Le terme de « micro-organismes » englobe un groupe d'êtres vivants de taille microscopique et pour la plupart unicellulaires.

Deux grands ensembles se distinguent (les Procaryotes et les Eucaryotes), les Procaryotes sont caractérisés par des cellules dépourvues de noyau. Ces cellules renferment un seul chromosome formé d'acide désoxyribonucléique (ADN) situé dans le cytoplasme. Par contre, la cellule eucaryote contient un noyau, organite limité par une enveloppe, renfermant le matériel génétique sous forme d'ADN, molécule majeure des chromosomes.

Les bactéries sont des Procaryotes et les autres organismes (algues, mycètes, protozoaires, plantes et animaux supérieurs) sont des Eucaryotes.

### **I.8 Biodégradation par les bactéries :**

Nombreuses bactéries aérobies et anaérobies sont capable de dégradées de divers colorants [16] on y distingue des bactéries, strictement anaérobies (Bacteroides, Eubacterium, Clostridium, Fusobacterium...etc.), anaérobies/aérobies Facultatifs (Proteus vulgaris, Streptococcus faecalis, etc.) et aérobies (Bacillus, Aeromonas, hydrophila, Pseudomonas...etc.) Contrairement aux champignons et aux actinomycètes; les bactéries dégradent les colorants par voie intracellulaire [17] Les bactéries utilisent les colorants azoïques comme seule source de nutriment. Elles produisent l'azoréductase, qui transforme le colorant azoïque en métabolite non toxique, qui est par la suite minéralisé [16].

### **I.9 Les paramètres microbiologiques du milieu de dégradation :**

Chaque écosystème est également caractérisé par des facteurs microbiologiques qui lui sont propres. Ainsi certains matériaux sont davantage biodégradables par compostage que dans le sol. D'une manière générale, la biodégradation peut avoir dans tous les milieux si des micro-organismes capables de dégrader le polymère considéré sont présents. En effet, la vitesse de biodégradation dépend de la colonisation microbienne à la surface du matériau. Seules les cellules vivantes sont capables d'adhérer à la matrice du polymère. « D'accrochage » est aussi dépendant des propriétés physiques ce phénomène du matériau (hydrophile, porosité) [18].



# ***CHAPITRE II***

---

## ***Les colorants***

## II.1 Introduction :

L'utilisation massive des colorants et leurs rejets dans la nature, provoquent la pollution de l'environnement. Pour minimiser leur effet sur l'environnement, on est contraint de les traiter avec efficacité.

L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un domaine capital de la chimie. Les colorants sont employés pour l'impression et la teinture des fibres textiles, des papiers, cosmétique, denrée alimentaire, des bois, des matières plastiques et des élastomères, etc.

On distingue plusieurs familles des colorants qui sont : azoïques, anthraquinoniques, indigoïdes...ils peuvent être naturels (extraits de matières minérales ou organiques) ou issus de la synthèse chimique.

Les colorants de synthèse ont progressivement supplanté les colorants naturels, les recherches, menées depuis le milieu du XIXe siècle, ont débouché sur la fabrication de très nombreuses familles de colorants, où l'on trouve souvent des imitations de la structure chimique des colorants naturels.

## II.2 Généralités sur les colorants : définitions et structures :

Les colorants textiles synthétiques sont exclusivement composés de produits organiques. Les colorants textiles peuvent être classés selon leur composition chimique (azoïques, anthraquinoniques, au soufre, à base de triphénylméthane, indigoïdes, à base de Phtalocyanines, etc.) ou selon leur domaine d'application. Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements, en effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères: résistance à l'abrasion, stabilité photolytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment aux détergents) et aux attaques microbiennes, [1], les caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [2]. Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores, la molécule colorante étant le chromogène (Figure II.1).

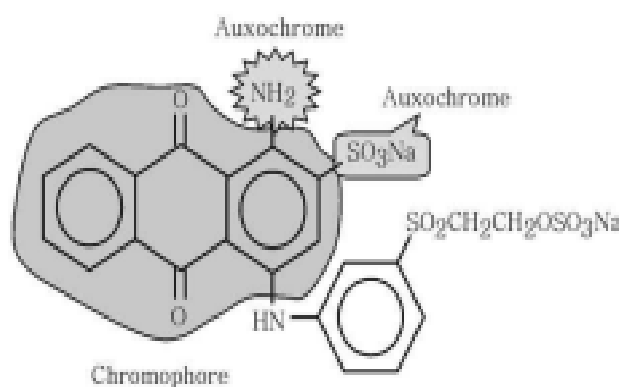


Plus la facilité du groupe chromophore à donner un électron est grande, plus la couleur sera intense (groupes chromophores classés par intensité décroissante dans le (tableau II.1)[3].

**Tableau II.1 :** Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante.

Groupes chromophores	Groupes auxochromes Groupes donneurs d'électrons
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)	

D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur dû au chromophore : ce sont les groupes auxochromes (Figure II.1).



**Figure II.1.**Exemple des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types anthraquinones.

Les chromophores sont des groupes aromatiques (électrons  $\pi$  délocalisés), conjugués (liaisons  $\pi$ ), comportant des doublets non liants (électrons n) ou des complexes de métaux de transition. De manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, pérylène, etc.). Lorsque le nombre de noyaux aromatiques augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit [4] [5].

### **II.3 Différents types de colorants :**

Colorants composés chimiques colorés, naturels ou synthétiques, en général organiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support sur lequel ils sont appliqués dans certaines conditions.

#### **II.3.1 Colorants naturels :**

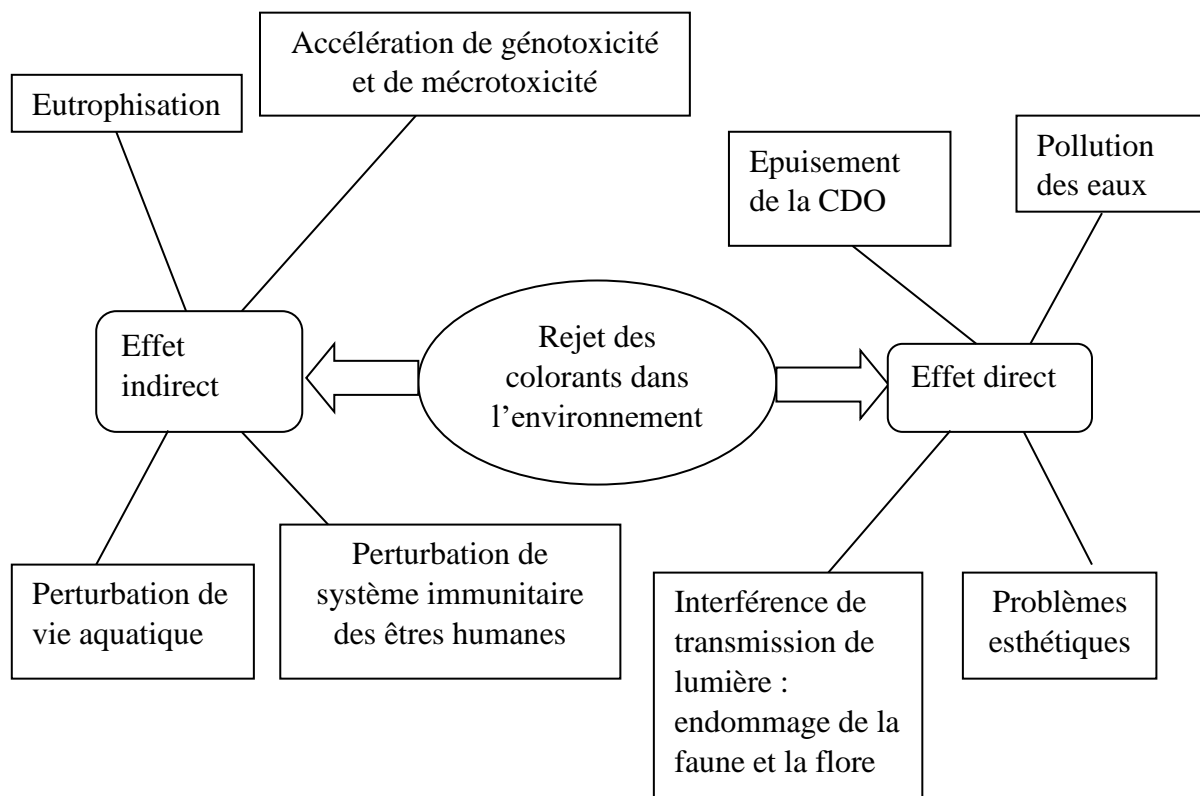
Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques. Les colorants naturels sont extraits des plantes, des arbres, des lichens ou insectes et des mollusques. Les colorants jaunes sont les plus nombreux. On rencontre deux catégories de colorants naturels : les colorants à mordant et les colorants de cuve. Seuls les premiers sont peu solubles dans l'eau [6].

#### **II.3.2 Colorants synthétiques :**

Les matières premières des colorants synthétiques sont des composés tels que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est pour cette raison que les colorants de synthèses sont communément appelés colorants de goudron de houille. A partir de ces matières premières, les intermédiaires sont fabriqués par une série de procédés chimiques, qui en générale, correspondent au remplacement d'un ou de plusieurs atomes d'hydrogènes du produit de départ, par des éléments ou des radicaux particuliers [6].

### **II.4 Pollution par les colorants :**

Chaque année entrés 280 000 tonnes de colorants textiles dans ces effluents industriels dans le monde entier [6] Une fois qu'ils sont libérés dans des masses d'eau, elles causent des problèmes environnementaux où ils affectent la transparence de l'eau, la solubilité du gaz, la perméation de l'oxygène et de la lumière solaire nécessaire pour la survie de diverses formes aquatiques [7], la figure II.2 représente la toxicité des effluents de l'industrie textile sur l'environnement.



**Figure II.2.** Représentation schématique des effets des effluents de l'industrie textile sur l'environnement [7].

### II.5 Classification des colorants :

Les colorants présentent une diverse structure considérable et ils sont classifiés de plusieurs manières, par leur structure chimique et par leur application au type de fibre. Les colorants peuvent être également classifiés suivant leur solubilité.

D'une manière générale, la classification des colorants peut être faite aussi sur la base de leur constitution chimique (colorants azoïques, anthraquinoniques, triaziniques ...) ou sur la base du domaine d'application. Pour ce dernier point, elle est liée directement à l'intérêt porté par le fabricant pour les matières colorantes.

• **Acide vert (Ag25) :**

Encore appelé acide vert ou AG 25, c'est un colorant très utilisé dans le monde industriel. Il fait partie des colorants anthraquinoniques, utilisé dans les industries textiles, pharmaceutiques. C'est une poudre vert foncé, soluble dans l'eau et inodore. Il est retrouvé dans les effluents causant des problèmes environnementaux évidents [8].

• **Rouge de méthyle (RM) :**

Le rouge de méthyle est un colorant azoïque constitué d'acide benzoïque substitué en position 2 par un groupe 4-[(diméthylamino) phényl] diazényle. Il a un rôle de colorant. C'est un membre des azobenzènes, un acide monocarboxylique et un composé aminé tertiaire. C'est un acide conjugué d'un rouge de méthyle [9].

Le tableau II.2 représente la classification standard des colorants.

**Tableau II.2.** Classification standard des colorants

Colorants contenant un groupe fonctionnel anionique	Colorants acquérant une réaction chimique avant l'application
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorants acides</li> <li>- Colorants directs Pb</li> <li>- Colorants à mordants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorants de cuves</li> <li>- Colorants au soufre</li> <li>- Colorants azoïque</li> </ul>
Colorants contenant un groupe fonctionnel cationique	Classe spéciale des colorants
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorants basiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorants dispersés</li> <li>- Colorants solubles</li> <li>- Pigments</li> <li>- Colorants naturels</li> </ul>

On peut classer les colorants selon deux points de vue différents

➤ Chimique: qui intéresse surtout le fabricant de matière colorante.

➤ Tinctoriale: par domaine d'application; utilisé par le teinturier (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.)

### II.5.1 Classification chimique :

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore. (Tableau II.3).

**Tableau II.3.** Classification chimique des colorants.

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales
<b>Azoïques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les colorants azotés sont les colorants les plus couramment utilisés dans l'industrie textile.</li> <li>- Toxiques, cancérogènes.</li> <li>- Constituent 50 % de la production mondiale des colorants.</li> <li>- Se répartissent en colorants acides, basiques, directs et réactifs solubles dans l'eau...etc.</li> </ul>
<b>Anthraquinoniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les plus importants après les colorants azoïques.</li> <li>- Forme générale dérivée de l'anthracène.</li> <li>- Leur chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino.</li> <li>- Couvrent toute la gamme de nuances jaune-orange-rouge.</li> <li>- Solidité à la lumière et vivacité des coloris surtout dans le bleu et le turquoise.</li> </ul>
<b>Indigoïdes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme générale dérivée de l'indigo.</li> <li>- Résistance remarquable aux traitements de lavage.</li> </ul>
<b>Nitrés et nitrosés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho par rapport à un groupement électrodonneur (hydroxyle Ou groupes amines).</li> <li>- Structure simple, très limité en nombre et relativement pas cher.</li> </ul>
<b>Xanthines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le composé le plus connu dans ces colorants est la fluorescéine qui peut être utilisé en tant que teinture, ou de traceur d'écoulement pour des rivières sous terrains.</li> </ul>
<b>Phtalocyanines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ils ont une structure complexe basé sur l'atome centrale de cuivre, les colorants de ce groupe sont obtenue par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc. ...).</li> </ul>

### II.5.2 Classification tinctoriale :

Selon la classification tinctoriale, on distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes. Les principaux groupes de cette classification sont rassemblés dans le Tableau II.4

**Tableau II.4.** Classification tinctoriale des colorants.

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales
<b>Directs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres.</li> <li>- Affinité élevée pour les fibres cellulosiques sans application de mordant (teindre directement le coton).</li> <li>- Prix modéré, facilité d'application et faible solidité aux traitements de lavage.</li> </ul>
<b>Colorants de cuve</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insolubles dans l'eau.</li> <li>- Utilisés pour l'application de l'indigo qui nécessite la préparation d'une cuve de bonne résistance aux agents de dégradation.</li> </ul>
<b>Réactifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence de groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et Phtalocyanines.</li> <li>- Présence d'une fonction chimique réactive de type triaziniques ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres.</li> <li>- Solubles dans l'eau.</li> </ul>
<b>Colorants à mordant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence d'un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.</li> </ul>
<b>Basiques ou cationiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solubles dans l'eau (car ils sont des sels d'amines organiques).</li> <li>- Forment des liaisons entre leurs sites cationiques et les sites anioniques des fibres.</li> <li>- Faible résistance à la lumière.</li> </ul>
<b>Acides ou anioniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soluble dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonates ou carboxylates, ils permettent de teindre les fibres animales et quelques fibres acryliques</li> <li>- L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles, exemple acide vert</li> </ul>

## II.6 Traitement des rejets colorés :

Au cours des différentes étapes de teinture, des quantités plus ou moins importantes de colorants sont perdues par manque d'affinité avec les surfaces à teindre ou à colorer (Tableau II.5). Comme nous avons pu le voir auparavant, ces rejets organiques sont toxiques et nécessitent une technique de dépollution adaptée.

**Tableau II.5.** Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants [10].

Classe de colorant	Fixation (%)	Fibres utilisées
Acide	80 – 93	Laine, nylon
Azoïque	90 – 95	Cellulose
Basique	97 – 98	Acrylique
De cuve	80 – 95	Cellulose
Direct	70 – 95	Cellulose
Dispersé	80 – 92	Synthétique
Réactif	50 – 80	Cellulose
Soufré	60 – 70	Cellulose

De nombreuses techniques de dépollution des effluents chargés en colorants sont développées au cours de ces dernières années. La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage..) et/ou de traitements physiques ou physico-chimiques assurant une séparation solide/liquide. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles d'après [11] et [12] se divisent en trois types :

### II.6.1 Méthodes chimiques :

#### II.6.1.1 Les procédés d'oxydation classique :

Ces méthodes de traitement sont couramment utilisées pour l'épuration d'effluents contenant des polluants organiques, y compris des colorants, en raison de leur mise en œuvre relativement facile. Ces procédés utilisent des oxydants puissants et variés tels que l'hypochlorite de sodium (NaClO), l'ozone (O<sub>3</sub>), ou encore le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), en présence ou non de catalyseur [13].

### **II.6.1.2 Les procédés d'oxydation avancée (POA) :**

Les POA regroupent des méthodes chimiques, photochimiques ou électrochimiques leur développement est en plein essor depuis environ trois décennies. Elles consistent à dégrader les molécules de colorants en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O au moyen de l'UV en présence de peroxyde d'hydrogène [13].

## **II.6.2 Méthodes physiques :**

### **II.6.2.1 Filtration sur membrane :**

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nano filtration et osmose inverse. L'effluent passe à travers une membrane semi- perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméant purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques. Parmi les quatre types de procédés, la nano filtration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la réduction partielle de la couleur et des petites molécules organiques, mais l'osmose inverse reste la plus répandue [14].

### **II.6.2.2 Adsorption sur charbon actif :**

Lors de l'adsorption, le polluant est transféré de la phase liquide vers la phase solide. Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément utilisé pour la réduction de la couleur [14], mais il reste très onéreux. Des recherches ont opté pour valoriser ou utiliser certaines matières naturelles (argile, sciure, écorce et farine de bois...) moins onéreuses pour l'élimination des colorants par adsorption [15].

### **II.6.2.3 Méthode physico-chimique: coagulation – floculation :**

Sous le terme de coagulation-floculation, on entend tous les processus physicochimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en fine suspension sont transformés par des flocculant chimiques en espèces plus visibles et séparables (les flocs). Les flocs formés sont ensuite séparés par décantation et filtration puis évacués. Par ailleurs, la coagulation - floculation ne peut être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau. D'importantes quantités de boue sont formées avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires [14].



### II.7 Législation sur l'environnement :

Les effluents textiles contiennent des espèces chimiques organiques et inorganiques qui ont un effet néfaste sur la santé humaine et l'environnement. Les colorants ou colorants organiques sont des polluants persistants et non facilement biodégradables en raison de la complexité de leurs Structures. Les concentrations de ces polluants dans les effluents doivent être contrôlées afin de respecter les normes environnementales et la législation sur la qualité de l'eau [8]. La législation sur les rejets d'eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'Algérie est dotée d'une réglementation (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993) sur les rejets d'effluents dans le milieu hydrique [16].

# ***CHAPITRE III***

---

## ***Matériels et méthodes***

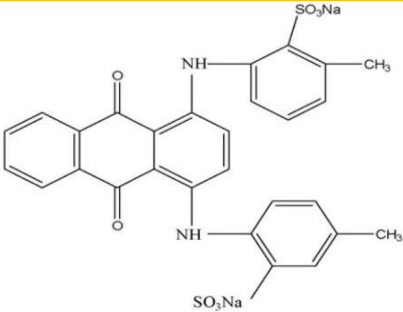
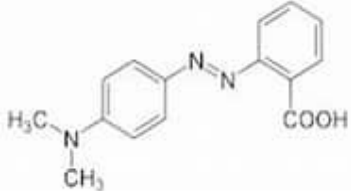
Dans ce chapitre, nous exposons les réactifs et le matériel, ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques utilisés dans cette étude dont l'objectif vise à éliminer les colorants soit par le Gad plasma ou le traitement biologique.

### III.1 Matériels et méthodes :

#### III.1.1 Colorants :

Les caractéristiques des colorants utilisés dans cette étude sont résumées dans le tableau III.1.

**Tableau III.1** : les principales caractéristiques physico-chimiques des colorants utilisés dans ce travail.

Nom technique	Acide green 25, Ag25	Rouge de méthyle
Nom scientifique	66'-(1,4-anthraquinonylenemino)	acide diméthyle-amino-4-phénylazo-2 benzoïque
Structure chimique		
Masse molaire g/Mol	622.58	269.31
Origine et famille	Synthétique (anthraquinoniques)	Synthétique (azoïque)
Formule brute	C <sub>28</sub> H <sub>20</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>8</sub> S <sub>2</sub>	C <sub>15</sub> H <sub>15</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>
λ <sub>max</sub> (nm)	643	429

### III.1.2 Produits et Réactifs :

Les expériences menées dans le cadre de cette recherche dans divers conditions ont nécessité les différents réactifs et produits chimiques regroupés dans le tableau III.2

**Tableau III.2:** Produits chimiques utilisés dans cette étude.

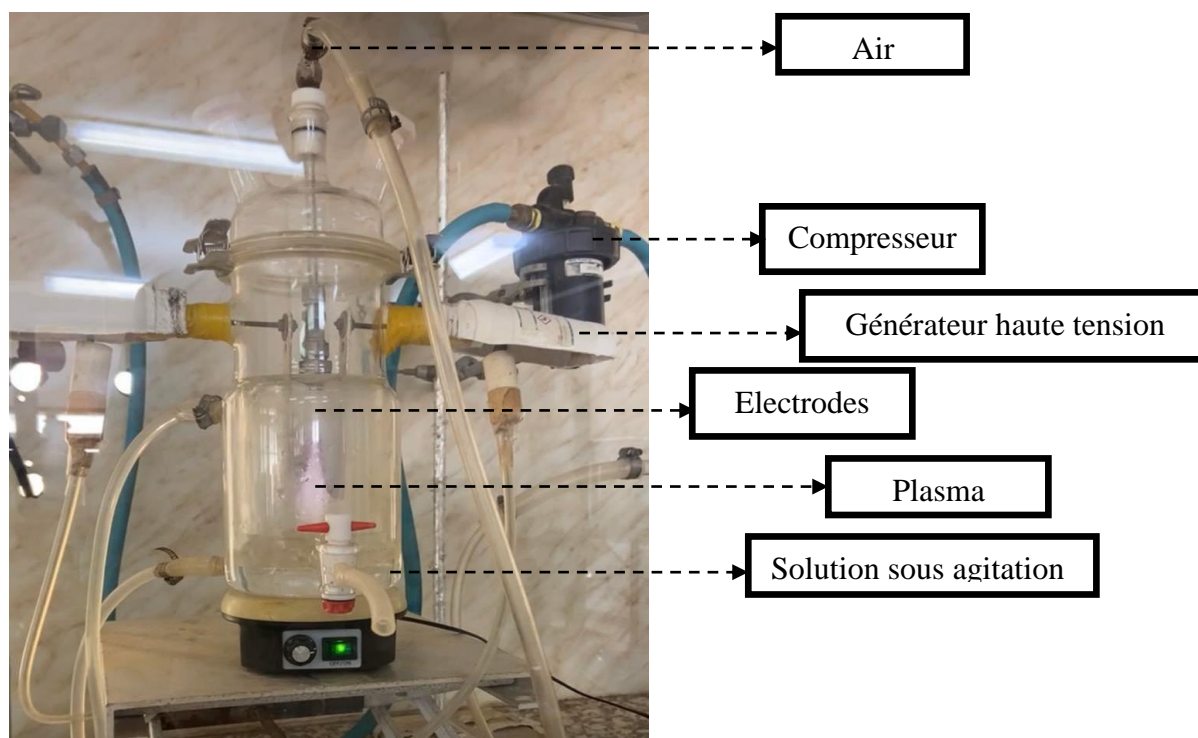
Produits	Formule brute
Acide sulfurique	$H_2SO_4$
Hydroxyde de sodium	$NaOH$
Dipotassium hydrogen phosphate	$K_2HPO_4$
Phosphate de monopotassium	$KH_2PO_4$
Sulfate d'ammonium	$(NH_4)_2SO_4$
Sulfate de magnésium	$MgSO_4$
Chlorure de fer	$FeCl_3$
Chlorure de sodium	$NaCl$
D(+)-Glucose monohydraté	$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$
Le chlorure de calcium	$CaCl_2$

### III.1.3 Dispositifs expérimentaux :

#### Le réacteur plasma :

Nous disposons dans le laboratoire STEVA le type de dispositif plasmagène qu'on appelle Glidarc fonctionnant avec un réacteur fermé. La solution cible est homogénéisée par une agitation magnétique, le volume de la solution à traiter est fixé à 100 ml.

La photographie dans la figure III.1 présente le réacteur glidarc fermé utilisé pour la dégradation des colorants de notre travail.



**Figure III.1 :** Photographie dispositif du réacteur fermé

**Incubateur et étuve :**

Ce dernier a été réglé à la température et le nombre de tours (agitation) désigné dans cette étude.



**Figure III.2 :** incubateur muni d'une agitation (model WiseCube)

**Spectrophotométrie UV et visible :**

Dans cette étude, les mesures de ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre UV/Vis, qui permet de suivre la décoloration des solutions grâce aux absorbances qui évoluent en fonction du temps de traitement.



**Figure III.3:** Photographie Spectrophotomètre UV-visible (OPTIZEN 2120 UV)

**pH mètre :**

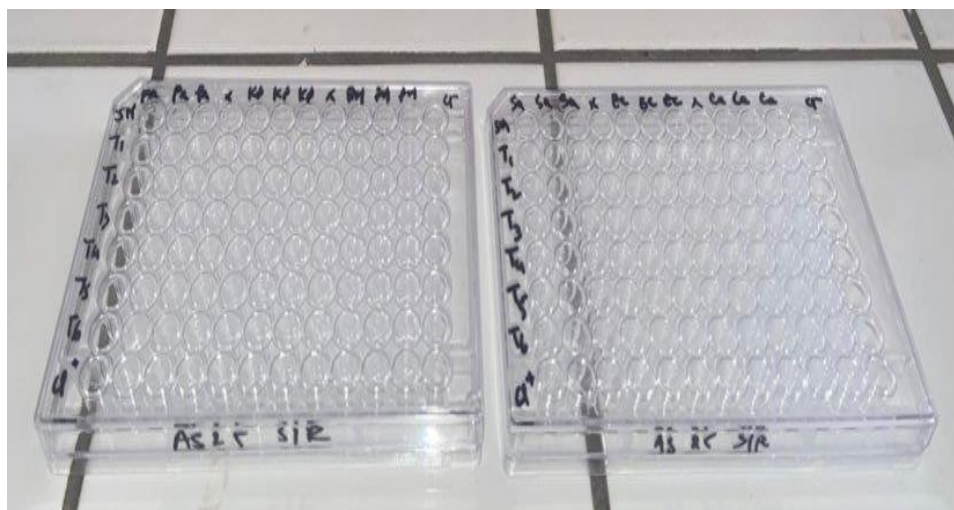
Les mesures du pH des différentes solutions ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire de type PHSJ-3F.



**Figure III.4 :** Photographie du pH mètre model PHSJ-3F.

**Micro plaque :**

Ces derniers sont utilisés afin de tester l'effet des bactéries sur les colorants en milieu liquide.



**Figure III.5 :** Photographie de microplaques utilisées

**Techniques d'analyse:****I. Spectrophotométrie UV :**

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Plus cette espèce est concentrée plus elle absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de BEER-LAMBERT :

Pour déterminer le pourcentage de dégradation et la quantité d'AG25 adsorbée au temps t, on utilise la formule suivante :

$$R_{dec}(\%) = (1 - (Abs_f / Abs_0)) \times 100$$

Avec  $R_{dec}$  le taux de décoloration,  $Abs_f$  absorbance à l'instant t et  $Abs_0$  absorbance initiale.

**II. Mesure du pH :**

Pour mesurer le pH des solutions de colorants, nous avons utilisé un pH-mètre de marque METELAB 210 LTD. Avant l'utilisation du pH mètre, nous avons étalonné l'appareil par trois solutions tampons de pH=5, pH=7 et pH=9. Le pH des solutions d'AG 25 et le RM non traité est ajusté à base de NaOH et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Cette étude nous permettra d'apprécier l'effet du pH sur la décoloration.

**III.2 Méthodologie expérimentale :****III.2.1 Traitement biologique :**

L'étude de décoloration du rouge de méthyle et l'AG25a été réalisée par l'addition de 5ml de chaque bactérie à 100ml d'un milieu stérile de sels minéraux contenant 100ppm pour le RM et 100μMol pour l'Ag25. Toutes les études ont été réalisées à 30C sous agitation et à pH 7. Après sept jours, des échantillons (3 ml) ont été prélevés pour suivre le taux de décoloration. La concentration de colorant résiduel dans le surnageant a été mesurée à 429 nm pour le RM et 643 nm pour l'AG25.

Le milieu de sels minéraux (MSM) utilisé est composé de: K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (1,6 g/L), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (0,2 g/L), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1g/L), MgSO<sub>4</sub> (0,2 g/L), FeCl<sub>3</sub> (0,01g/L), NaCl (0,1 g/L), CaCl<sub>2</sub> (0,02 g/L), glucose (3,0 g/L) [1].



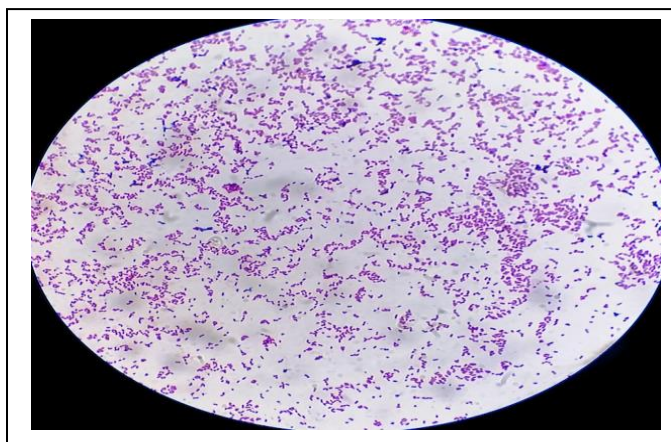
**Micro-organismes utilisés :**

Dans cette étude, 5 souches bactériennes différentes et 1 levure ont été utilisées pour examiner leurs effets sur la dégradation des colorants. Elles ont été récupérées au laboratoire d'hygiène de Mostaganem. Les différents germes utilisés sont regroupés dans le tableau III.3.

**Tableau III.3 :** Les différents germes utilisés ainsi que leur code de référence.

Micro-organismes	Reference ATCC	Type
<i>E.Coli</i>	25922	Gram-
<i>Klebsiellapneumoniae</i>	70603	Gram-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	27853	Gram-
<i>Proteus mirabilis</i>	23659	Gram-
<i>Staphylococcus aureus</i>	25923	Gram+
<i>Candida albicans</i>	10230	Levure

Nous avons pris une photo de bactérie au microscope dans la figure III.6.



**Figure III.6 :** Photographie d'une coloration simple de la bactérie *E.coli*

Grossissement x100

**III.2.1.1 Test de phytotoxicité :**

Afin d'évaluer la toxicité du colorant avant et après sa biodégradation [2]. Le test de phytotoxicité a été réalisé sur des graines de (poivron, haricots, pastèque, courgette) Les graines ont premièrement subis une désinfection à l'aide de l'hypochlorite de sodium puis semées dans des boîtes de Pétri stériles contenant du papier Whatman.

L'étude de la toxicité a été réalisée en imbibant (2 ml par jour) les graines avec la solution de colorant originale (100 mg/L) et avec les métabolites du produit de décoloration. Le témoin a été effectué en imbibant arrosant les graines avec Une solution MSM. Le pourcentage de germination (%), la longueur des racines et des tiges ont été mesurés après 7 jours d'incubation à 25 °C [3].

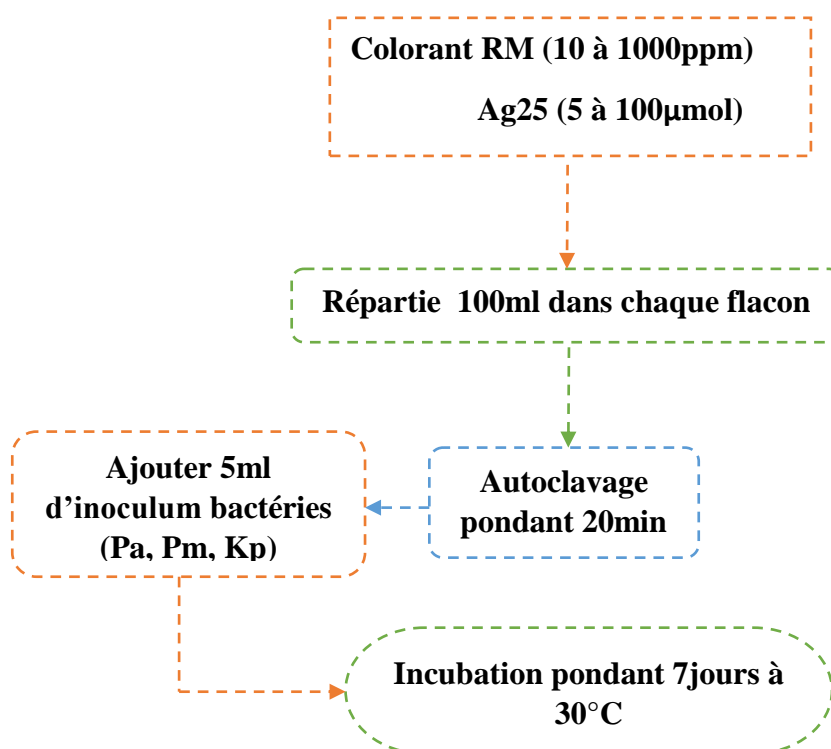
### III.2.1.2 Optimisation des paramètres physico chimiques :

Nous avons étudié la capacité des bactéries étudiées à dégrader les colorants dans divers conditions physico-chimiques tels que la température d'incubation, le pH et la concentration initiale du colorant sur la décoloration du RM et l'Ag25.

#### • Effet concentration :

Diverses concentrations de colorant allant (100, 10 et 5µMol) pour l'Ag 25 et entre (1000,100 et 10ppm) pour le rouge de méthyle ont été ajoutées au milieu MSM afin d'examiner l'effet de la variation des concentrations initiales sur la décoloration dans des conditions opératoires.

Différentes étapes ont été réalisées résumées dans la figure III.7

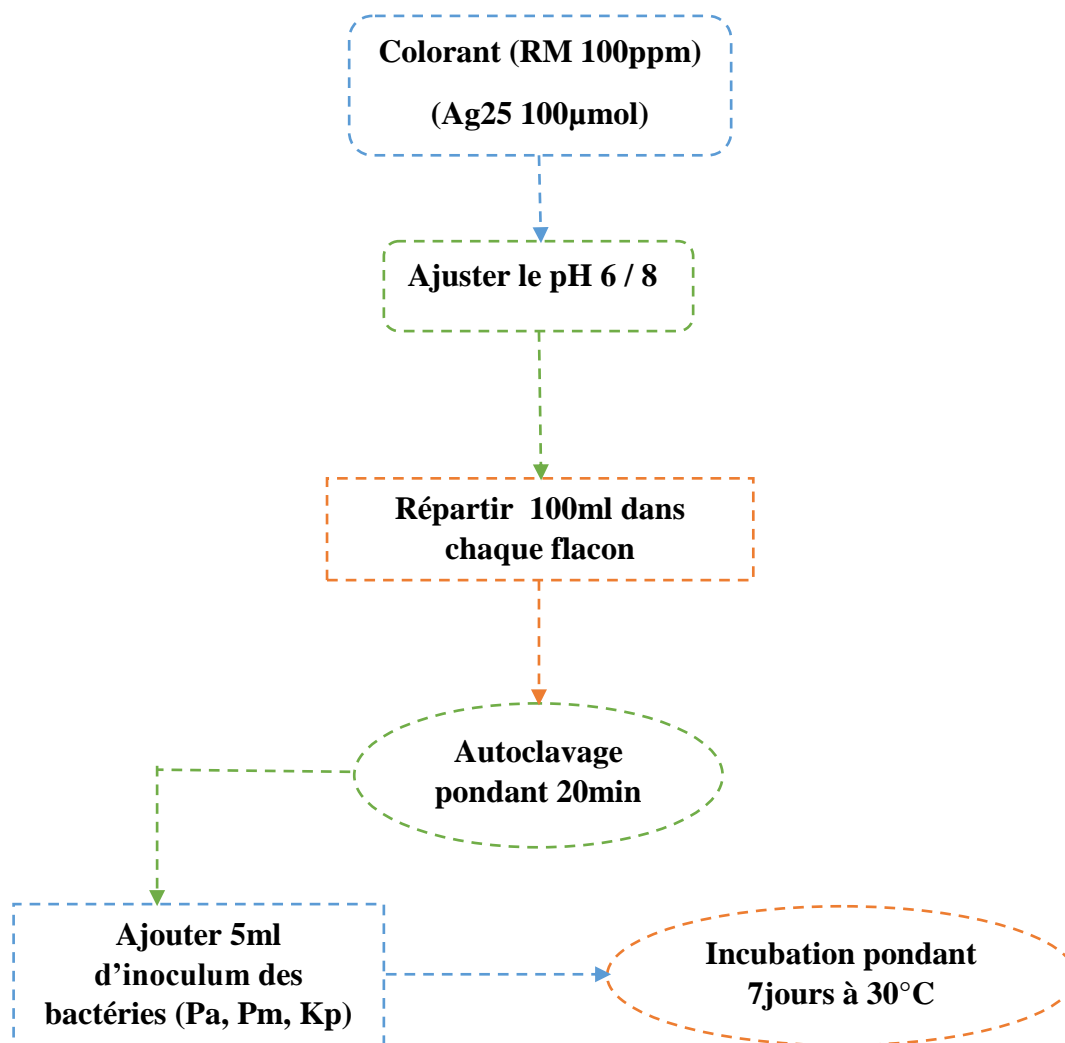


**Figure III.7 :** Schéma illustrant les étapes de biodégradation de RM et Ag25 en fonction de concentration. **Pa** : Pseudomonas aeruginosa, **Kp** : Klebsiella, **Pm** : Proteus mirabilis

- Effet pH :

Nous avons étudié l'effet de pH sur les solutions d'AG25 (100 $\mu$ mol) et RM (100ppm) pour savoir si le changement de pH affectait la décoloration du colorant par les bactéries. Nous avons mesuré l'absorbance de chaque solution à différents pH ajustés par l'acide sulfurique et la soude concentrés.

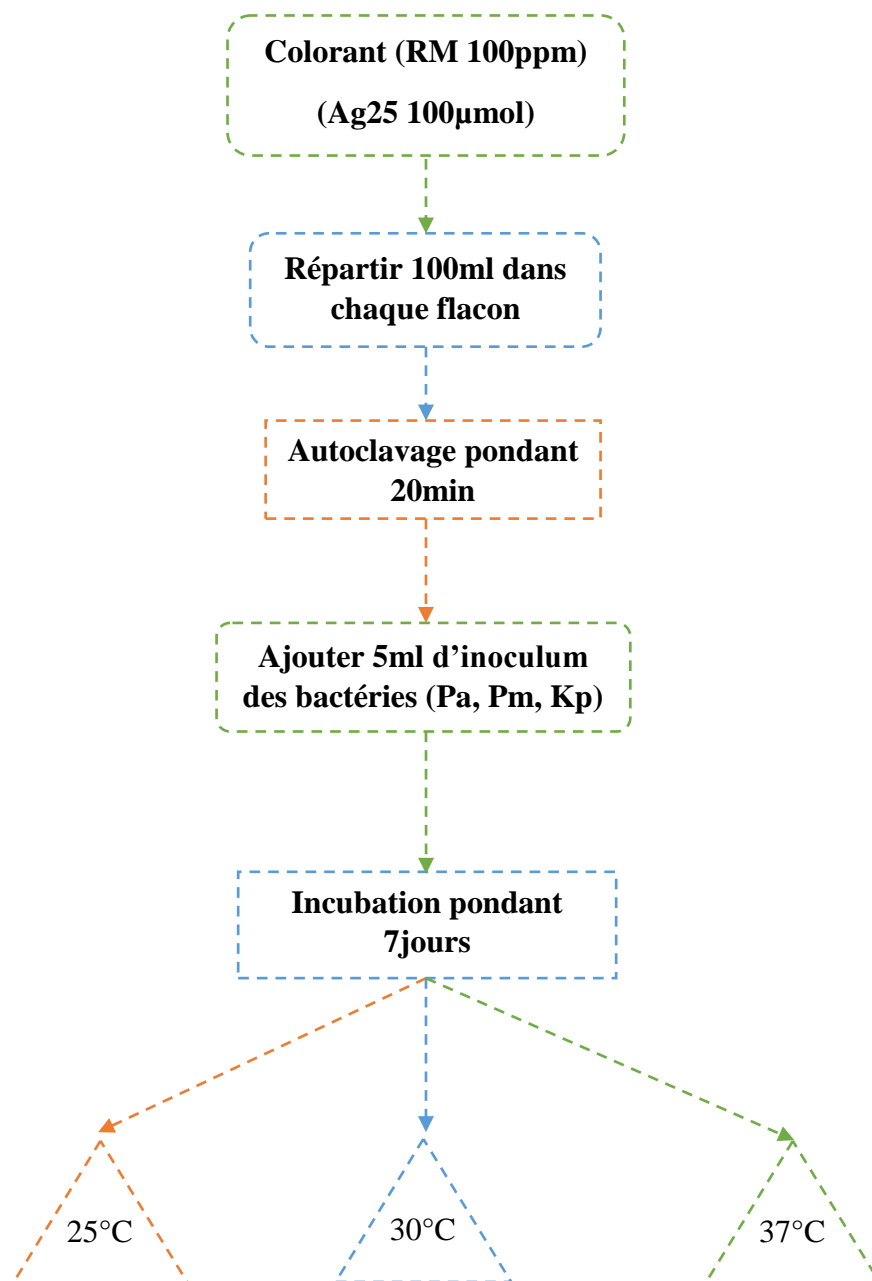
Le plan de travail est présenté dans la figure III.8



**Figure III.8:**Schéma illustrant les étapes de biodégradation de RM et Ag25 en fonction de pH. **Pa** : Pseudomonas aeruginosa, **Kp** : Klebsiella, **Pm** : Proteus mirabilis

- Effet température :

Nous avons étudié l'effet de température sur les solutions d'AG25 (100 $\mu$ mol) et RM (100ppm) pour savoir si le changement de celle-ci affectait le métabolisme des bactéries et donc la décoloration du colorant. Nous avons mesuré l'absorbance de chaque solution à différentes températures (25,30 et 37°C). Et selon le protocole représenté dans la figure III.9 suivante:

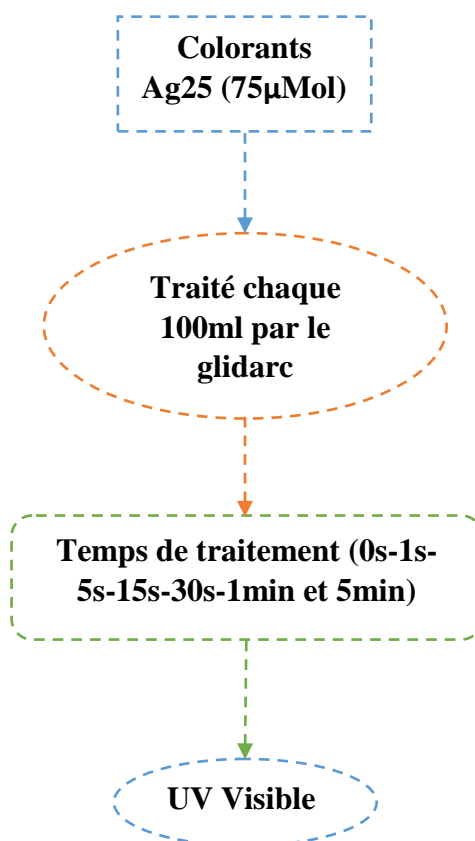


**Figure III.9 :** Schéma illustrant les étapes de biodégradation de RM et Ag25 en fonction de température. **Pa** : Pseudomonas aeruginosa, **Kp** : Klebsiella, **Pm** : Proteus mirabilis

### III.2.2 Traitement des colorants par Gad plasma :

La solution aqueuse du colorant Acide vert (Ag25) de concentration initiale de  $75\mu\text{Mol}$  a été introduite dans le réacteur GAD plasma avec une durée d'un cycle de traitement de 5 minutes. Le traitement de colorant a été effectué en fonction du temps d'exposition au plasma d'air humide généré par le glidarc. Les temps de traitement étaient de (0s-1s-5s-15s-30s-1min et 5min). Le phénomène de la post-décharge est l'auto-évolution de la solution traitée préalablement par éffluage électrique alors que la décharge est arrêtée.

Notre travail consiste à tester le traitement par le Gad plasma sur la dégradation du colorant Ag25 et la comparée avec celle des bactéries et par la suite faire un couplage par les deux méthodes. Et selon le protocole de traitement dans la figure III.10 suivante:



**Figure III.10 :** Schéma illustre les étapes du traitement par le Glidarc.

### III.3 Résultats et discussion :

#### III.3.1 Traitement biologique :

D'après l'étude de décoloration de RM et Ag25 par le traitement biologique, on remarque que le pourcentage d'élimination du RM (100%) et de l'Ag25 (67%). nous avons conclu au final que le traitement biologique a provoqué une dégradation remarquable des colorants azoïques et anthraquinoniques. Le tableau III.4 suivant regroupe les taux de décoloration du RM et l'Ag25 sous l'effet des bactéries utilisées.

**Tableau III.4** : les résultats de traitement biologiques par les souches bactériennes.

Bactéries	RM		Ag25	
	Abs	Taux de décoloration %	Abs	Taux de décoloration %
<b>Colorant</b>	2.671	0	0.847	0
<b>Pm</b>	0	100	0.767	9.44
<b>Kp</b>	0	100	0.412	51.35
<b>Sa</b>	0.304	88.61	0.283	66.58
<b>Pa</b>	0	100	0.574	32.23
<b>Ca</b>	0.081	96.96	0.331	60.92
<b>Ec</b>	0.69	74.16	0.432	48.99

D'après ces résultats on a sélectionné 3 genres de bactérie (Pa, Pm, Kp) les plus performantes qui ont une grande capacité de dégrader le colorant RM à savoir un taux de décoloration de 100%, pour continuer le reste du traitement biologique.

**Figure III.11** : Photographie sur les résultats de traitement biologique

**A** : Rouge de méthyle. **B** : Acide vert (Ag25).

**III.3.1.1 Test de phytotoxicité :**

Les résultats des paramètres de germination (taux de germination, longueur de racine, de tiges et de feuilles des graines sont regroupée dans les tableaux III.5, 6, 7,8.

En général le milieu MSM et le colorant dégradé (Métabolite secondaire) ont permis une bonne germination des graines des plants par apport au colorants seul. Ceci est traduit surtout dans les paramètres de germination tels que longueur de racine, de tiges et de feuilles. D'après les figures (III.12et III.13), on remarque pour les graines de cucurbita pepo que la longueur des racines est de 11cm pour le témoin, 3.5cm pour le colorant RM dégradé et de 2.6 pour Ag25 dégradé par apport au colorant seul ou les longueurs enregistrées sont 0cm et 0.3cm pour les colorants seul respectivement.

**Tableau III.5 :** Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines *Cucurbita pepo*.

	Taux germination%	Longueur de racine (cm)	Longueur de tiges (cm)	Longueur de feuilles (cm)
Témoin MSM	60%	11	9	1.8
Colorant RM	50%	0	0	0
Métabolite RM	90%	3.5	0.6	0
Colorant Ag25	30%	0.3	0	0
Métabolite Ag25	70%	2.6	0.3	0

**Tableau III.6 :** Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines *Capsicum annum*.

	Taux germination%	Longueur de racine (cm)	Longueur de tiges (cm)	Longueur de feuilles (cm)
Témoin MSM	70%	0.4	1.6	0
Colorant RM	10%	1.6	1.3	0
Métabolite RM	20%	1	1	0
Colorant Ag25	0%	0	0	0
Métabolite Ag25	30%	0.3	0	0

**Tableau III.7** : Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines *Phaseolus vulgaris*.

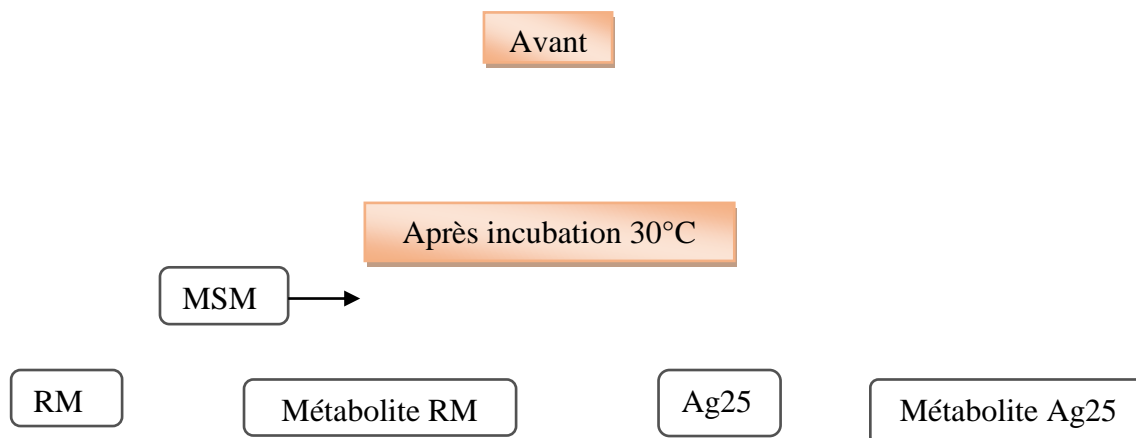
	Taux germination%	Longueur de racine (cm)	Longueur de tiges (cm)	Longueur de feuilles (cm)
Témoin MSM	30%	1.1	2	0
Colorant RM	60%	2.5	6.5	0.9
Métabolite RM	50%	0.4	1.7	0
Colorant Ag25	50%	1.3	2.8	0
Métabolite Ag25	60%	0.5	1	0

**Tableau III.8** : Paramètres de germination en fonction des solutions utilisées dans l'irrigation des graines cucumis melo.

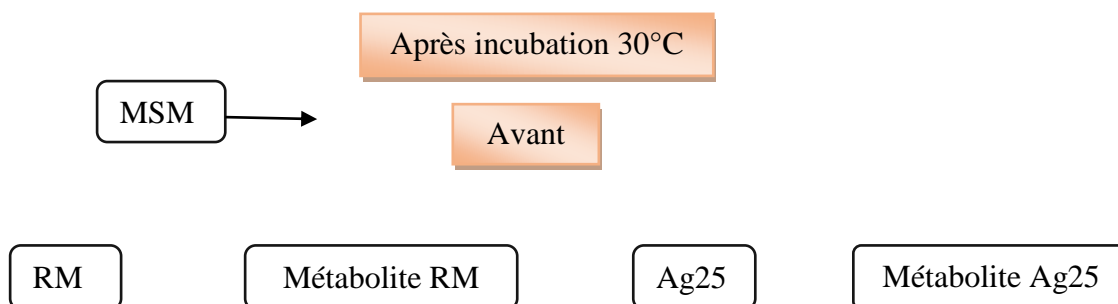
	Taux germination%	Longueur de racine (cm)	Longueur de tiges (cm)	Longueur de feuilles (cm)
Témoin MSM	30%	5	8	2
Colorant RM	20%	5	4.5	1.7
Métabolite RM	30%	2	5.5	1.5
Colorant Ag25	20%	1.5	0.5	0
Métabolite Ag25	70%	2	2.5	1.5

Le test de phytotoxicité a révélé que les produits générés après la biodégradation du RM et Ag25 sont moins toxiques que le colorant original [2,5]. Ces résultats suggèrent la possibilité de l'utilisation de cette souche bactérienne pour traiter les eaux usées polluées par les colorants synthétiques, améliorant ainsi son utilisation dans des applications pratiques.





**Figure III.12 :** Photographies de l'effet phytotoxicité de déférentes solutions sur le grain de *Cucurbita pepo*



**Figure III.13 :** Photographies d'effet du test de phytotoxicité sur le grain de *Cucumis melo*



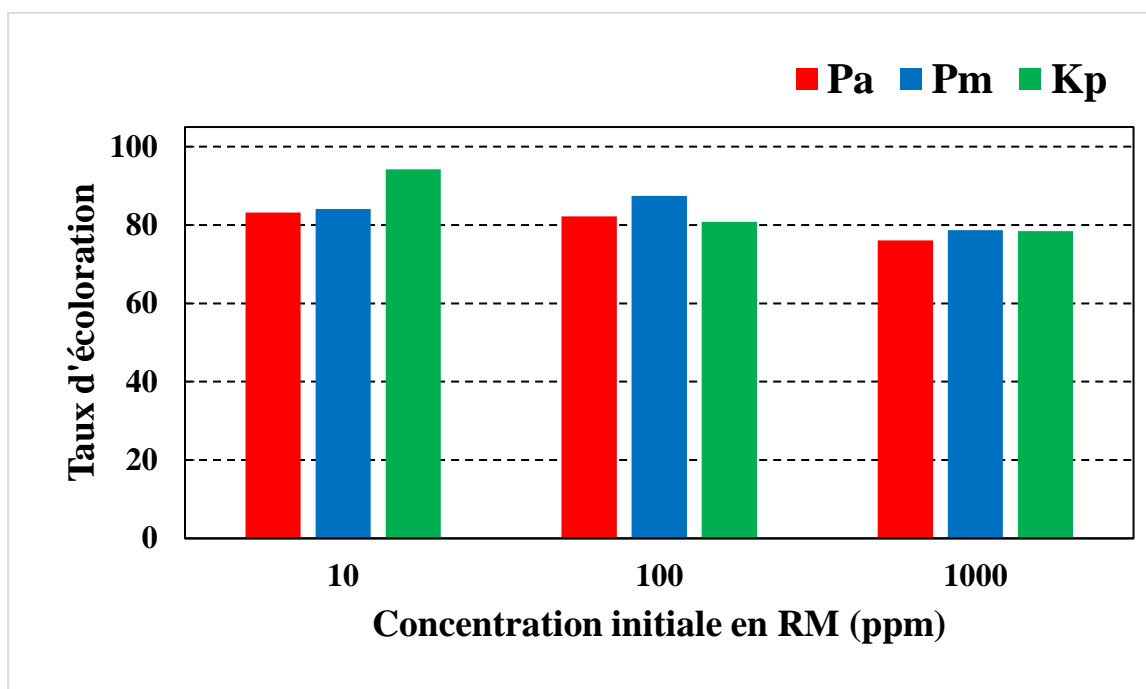
### III.3.1.2 Optimisation des paramètres physico chimiques :

- **Effet concentration :**

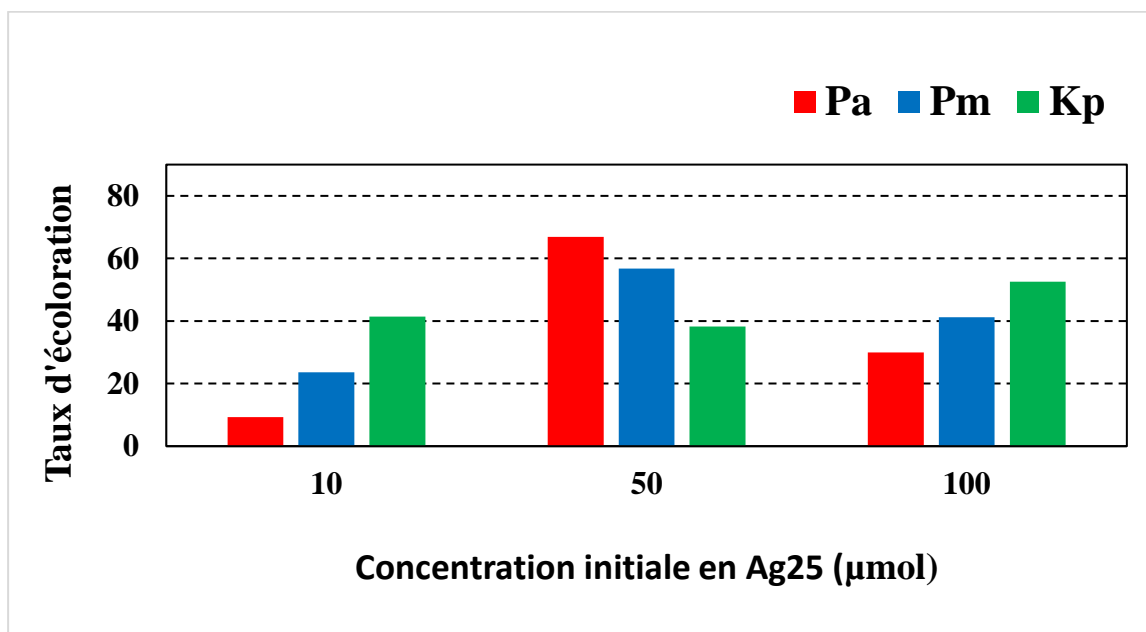
La décoloration de colorant a été étudiée à diverses concentrations croissantes, varié de 5 $\mu$ mol à 100 $\mu$ mol pour l'Ag25 et entre 10mg/L à 1000 mg/L pour le rouge de méthyle. Le taux de dégradation de rouge de méthyle le plus élevé 94% a été observé à la concentration 10ppm avec la bactérie Kp, suivi par la concentration forte de 100ppm 87% avec le genre Pm de bactérie. Une faible dégradation a été notée avec la concentration 1000ppm avec un pourcentage qui ne dépasse pas 79%, Le taux de dégradation diminue avec l'augmentation de la concentration en RM. Ensuite le pourcentage de décoloration d'Ag25 le plus haut 66% considéré à la concentration 50 $\mu$ mol avec Pa suivi par la concentration 100 $\mu$ mol et 10 $\mu$ mol avec un pourcentage 52%, 41% respectivement. Respectivement les tableaux (III.9 à 14 sur l'annexe).

Les mêmes résultats ont été trouvés dans une autre étude qui suggère que l'augmentation de la concentration du colorant diminue progressivement le taux de décoloration probablement en raison de l'effet toxique des colorants sur les bactéries [6,7].

Les résultats obtenus ont démontrés la capacité des bactéries à tolérer des concentrations assez élevées, Figure (III.14, 15)



**Figure III.14 :** Pourcentage de décoloration après 7 jours d'incubation en fonction de la concentration initiale en RM



**Figure III.15 :** Pourcentage de décoloration après 7 jours d'incubation en fonction de la concentration initiale en Ag25.

Les résultats représentés dans la figure III.16, affichée quelques exemples d'un effet de concentration sur les colorants utiliser

**Figure III.16 :** Photographie sur la dégradation de RM et Ag25 en fonction des concentrations des colorants

• **Effet pH :**

Le pH de milieu est un paramètre important qui influe sur la biodégradation des colorants. Différentes valeurs de pH de 5, 7 et 9 ont été étudiées à 30°C. Les résultats sont regroupés sur les tableaux de III.15 à 17 et présentés dans l'annexe.

Les 7 jours d'incubation avec les bactéries Pa, Pm, Kp ; ont révélé une décoloration de rouge de **RM 10ppm** à pH 5, 7 et 9 avec un pourcentage de décoloration le **Ag25 50µmol** 0%, 85%, 90% respectivement. La décoloration maximale (100%) a été obtenue au pH 5 avec toutes les bactéries, Ce résultat explique que les bactéries ont une bonne activité dans milieu légèrement acide avec le rouge de méthyle, Ces résultats sont confirmés par plusieurs chercheurs qui ont montré que pH optimal pour la décoloration est souvent compris entre 5,0 et 10 [8,9].

Les taux de décoloration de l'Ag25 sont moins élevés que le RM dans les expériences réalisées. En effet, pour une dose de 5ml et à pH =5, on a enregistré un taux de décoloration 84% avec Kp et 43% avec Pm. Pour pH 9 avec ces bactéries Pa, Pm et Kp, le pourcentage de décoloration est 58%, 76%, 64% respectivement, Le pH acide renforce la décoloration puisqu'à pH naturel 7, le taux de décoloration n'a pas dépassé les 50%, selon les résultats obtenus représentés dans la figure (III.17, 18)

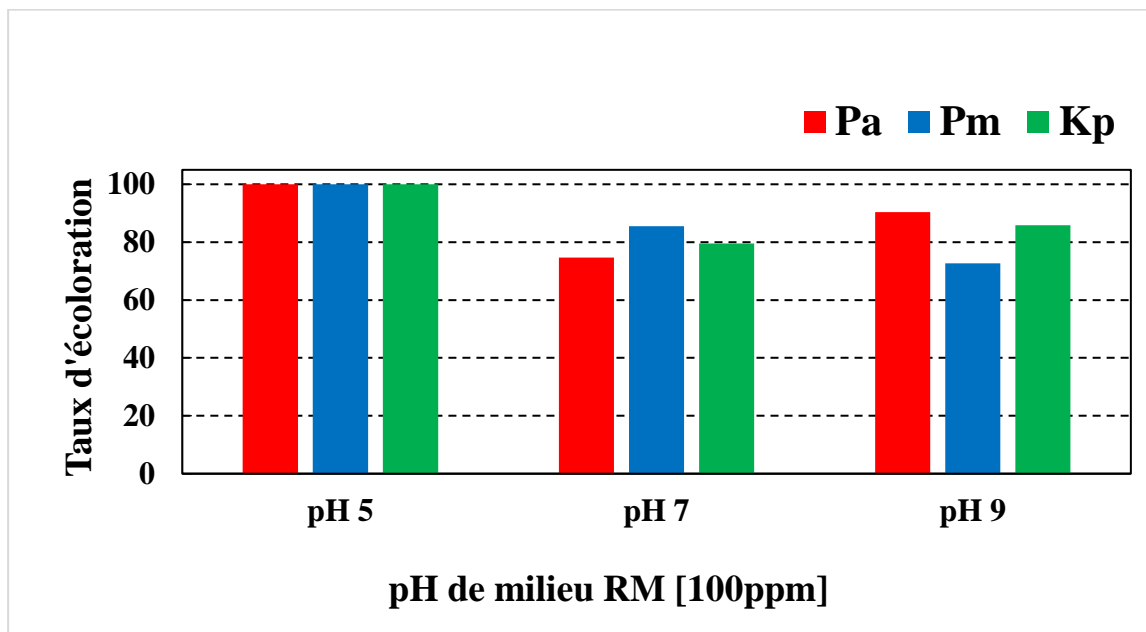


Figure III.17: Effet de pH du milieu sur la dégradation de RM après 7jours d'incubation.

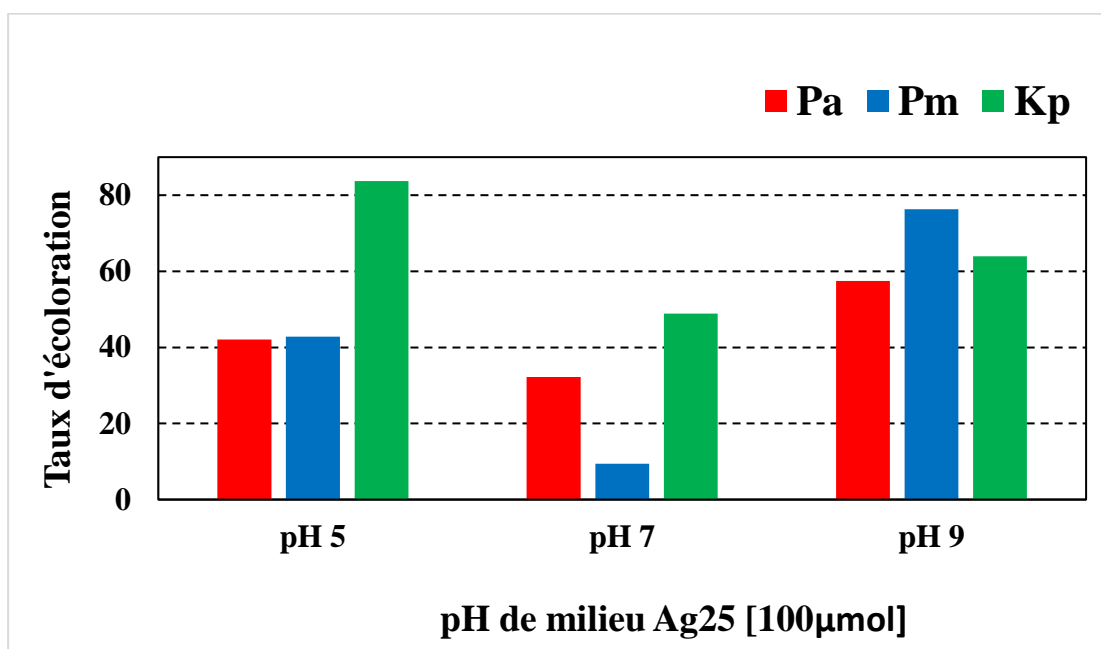


Figure III.18 : Effet de pH du milieu sur la dégradation d'Ag25 après 7jours d'incubation.

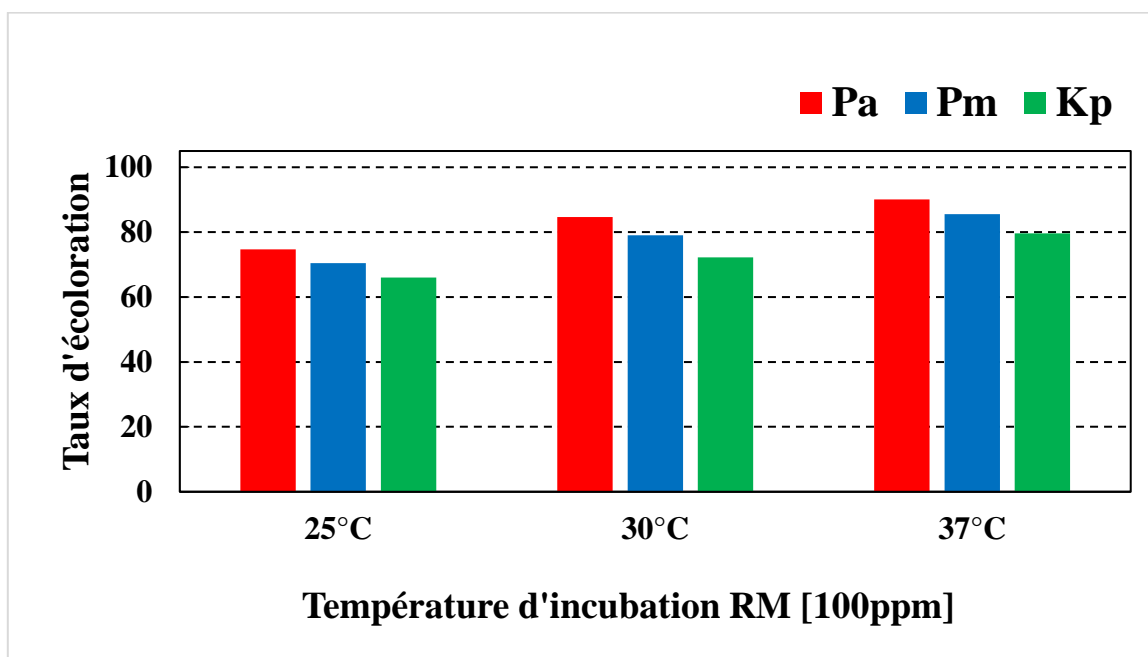
Les résultats représentés dans la figure III.19, affichée quelques exemples d'un effet de pH sur les colorants utiliser

**Figure III.19:** Photographie sur la dégradation de RM et Ag25 en fonction de pH.

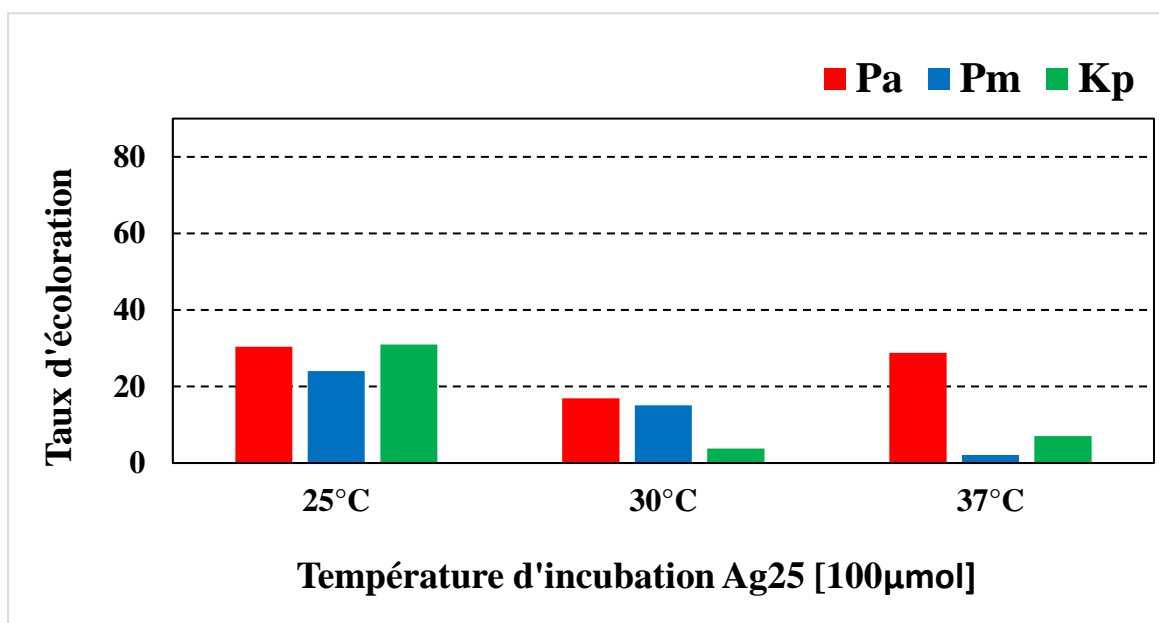
- **Effet température**

La température est un facteur primordial important pour tous les processus associés à la vitalité microbienne, y compris l'assainissement de l'eau [10]. Pour cette étude, on a choisi trois températures à savoir ; 25°C, 30°C et 37°C. Les résultats sur les tableaux III.18 à III.20 dans l'annexe, montrent que la température optimale de dégradation du rouge de méthyle était de 37°C avec un pourcentage de 90% avec Pa. Suivi par la température inférieure 30°C (84%). La diminution de la température au-delà de 30°C entraîne une diminution dans le taux de décoloration, où on a noté un pourcentage de 74% à 25°C (Figure III.20). En effet le taux de décoloration enregistré pour les températures de 30 et 37°C est plus important que celui trouvé pour 25°C. Des résultats similaires ont été trouvés par Chen et al et Wang et al [11,12].

Par rapport les résultats de tableaux III.21 à III.23 dans l'annexe Ag25 montrent que l'effet de la dégradation dépend de la variation de la température a été constaté que la modification de température a eu un effet très faible qui le taux de dégradation ne dépasse pas 30% (figure III.21).



**Figure III.20:** Pourcentage de décoloration de RM après 7 jours d'incubation en fonction de la température



**Figure III.21 :** Pourcentage de décoloration de RM après 7 jours d'incubation en fonction de la température.

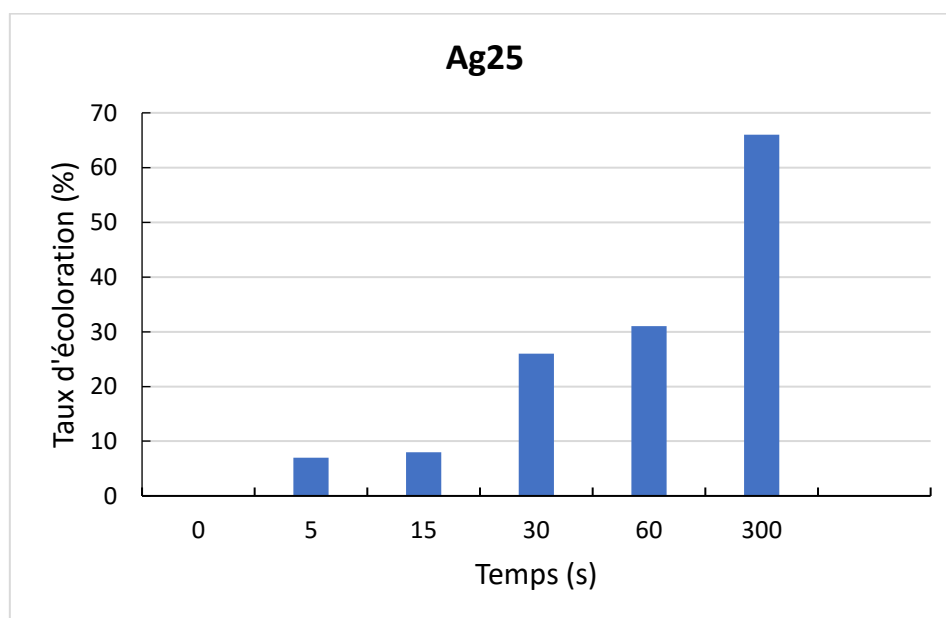
Les résultats représentés dans la figure III.22, affichée quelques exemples d'un effet de pH sur les colorants utiliser



**Figure III.22 :** Photographie sur la dégradation de RM et Ag25 en fonction de température

### III.3.2 Traitement par Gad plasma :

Les valeurs d'absorbance du colorant Ag25 sont exprimées dans le tableau III.23 dans l'annexe. Le taux de dégradation d'Ag25 a débuté par 7% au temps 5s à 66% à partir de 5min de traitement figure III.23. D'après ces résultats on peut dire que le traitement par glidarc est assez qualifié pour une bonne dégradation des colorants. En attendant à coupler les deux traitements.



**Figure III.23 :** Pourcentage de décoloration après le traitement glidarc en fonction du temps.

## Conclusion

Les rejets chargés en colorants déversés dans l'environnement par diverses industries nécessitent un traitement efficace. Ces colorants engendrent plusieurs effets tant sur la nature que sur la santé humaine. Les industries textiles libèrent une énorme quantité d'eaux usées contenant des colorants toxiques, cancérigènes. Afin de limiter l'action de ses polluants organiques de façon écologique et durable, des procédés biologiques, tel que la bioremédiation, sont largement utilisés. Cette technique consiste à la dépollution et la décontamination des milieux pollués sous l'action des microorganismes vivants. Ces microorganismes jouent un rôle majeur dans la dégradation des matières organiques et une simple adaptation à une molécule polluante peut conduire à sa biodégradation ou sa biotransformation.

Dans ce travail, nous avons utilisé des différentes souches bactériennes qui ont la capacité de dégrader les colorants synthétiques (colorants azoïques, anthraquinoniques)

Afin de contribuer aux procédés de traitement des effluents issus de l'industrie textile chargés en colorants. Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les souches bactériennes Pa, Pm et Kp sont capables de décolorer et de biotransformer les colorants utilisés à savoir le rouge de méthyle RM et acide vert Ag25 toxiques en métabolites non toxiques. Les essais effectués de RM ont montré que ces souches bactériennes peuvent complètement décolorer 100mg/l de RM après 7jours d'incubation à 30°C. Comparativement avec l'Ag25 ou le taux de décoloration est de 83%.

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, ces bactéries sont des systèmes enzymatiques efficaces capables de dégrader complètement les colorants textiles dans une large gamme de conditions optimale. Par conséquent, les souches pourraient être appliquées pour le traitement des effluents industriels textiles pollués par des colorants synthétiques. Ceci étant une perspective au présent travail, afin de compléter et de déterminer la capacité de ces souches bactérienne à dégrader les colorants issus de l'industrie textile.



## *Références Bibliographique*

### *Chapitre I*

- [1]Saroj S., Kumar K., Pareek N., Prasad R. & Singh R. (2014). Biodegradation of azo dyes Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75 by the isolate *Penicillium oxalicum* SAR-3. *Chemosphere*, 107, 240-248.
- [2]Steffan S., Bardi L. & Marzona M. (2005). Azo dye biodegradation by microbial cultures immobilized in alginate beads. *Environment International*, 31, 201-205.
- [3]Saratale R. G., Gandhi S. S., Purankar M. V., Kurade M. B., Govindwar S. P., Oh S. E. & Saratale G. D. (2013). Decolorization and detoxification of sulfonated azo dye CI Remazol Red and textile effluent by isolated *Lysinibacillus* sp. RGS. *Journal of bioscience and bioengineering*, 115, 658-667.
- [4]Vidali M. (2001). Bioremediation. an overview. *Pure Appl. Chem.*, 73, 1163-1172.
- [5]Vert M., Feijen J., Albertsson A., Scott G., Chiellini E., 1992. *Biodegradable Polymers and Plastics*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge
- [6]Calmon-Decriaud A., Bellon-Maurel V., Silvestre F., 1998. Standard methods for testing the aerobic biodegradation of polymeric materials. Review and perspectives, *Advances in polymer science*, volume 135, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.207-226
- [7]NezhaTahriJoutey, WifakBahafid, HananeSayeland Naïma El Ghachtouli, (2014).Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms.Additional information is available at the end of the chapter <http://dx.doi.org/10.5772/56194> .
- [8]Kaplan, D.L., Mayer, J.M,Ball, D., McCassie, J., Allen, A.L.,stenhouse,Fundamentals of Biodegradable polymers in: C.Ching, D.L. Kaplan,E.L. Thmas(Eds), *Biodegradable Polymers and Packaging Technomic publishing, Inc., Lancaster, Pennsylvannie .p:1(1993)*.
- [9]Van. der. Zee,M structure-Biodegradability relationship of polymeric materials.Thèse doctorat à l'université de Twente. Pays-Bas.(1999)
- [10]Gu J.-D., 2003 b. Microbial deterioration of synthetic and biological polymers used in engineering and construction, In: A. Steinbüchel, ed. *Biopolymers*, volume 10: general aspects and special applications, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany, p. 97-138.
- [11]Lecomte. P, 1998.les sites pollués, Edition .Tee et Doc, paris.
- [12]Mémoire de Boudendouna Asma Boukrika Mounira. Date de Soutenance: 29/ 06/ 2010, Titre: Biodégradation du phénol par les *Pseudomonas*.

- [13] Khazi M.B, Avavind. R et Vivuthagiri.T, 2010. recent advances in the biodegradation of phenol, *Asiary-EXO-BIOL-SCI*, vol 1(2)-2010:219-234.
- [14] Soltani .M, 2004. distribution lipidiques et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes, variation en fonction de la source de carbone, thèse de doctorat, université de paris 6.
- [15] Philippeaux J, (2013). Etude de la biodégradation de polymères biodégradables. Rapport de stage IUT Nîmes – Ecole des Mines d'Alès
- [16] Sudha, M., Bakiyaraj, G., Saranya, A., Sivakumar, N., & Selvakumar, G. (2018). Prospective assessment of the *Enterobacter aerogenes* PP002 in decolorization and degradation of azo dyes DB 71 and DG 28. *Journal of Environmental Chemical*
- [17] Ben Mansour, H., Boughzala, O., Barillier, D., Chekir-Ghedira, L., & Mosrati, R. (2011). Les colorants textiles sources de contamination de l'eau; CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 24(3), 209-238.
- [18] R.W.Lenz. Biodegradable polymers. *Advance in Polymer Science* 107, p:1 (1993).

## *Chapitre II*

- [1] H. BEN MANSOUR et al./ *Revue des Sciences de l'Eau* 24(3) 209-238. Les colorantes textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira et Ridha Mosrati. (2011).
- [2] Christie R. Book : *Colour chemistry*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom. (2001).
- [3] SEYEWET z A. et P. SISLE y. *Chimie des matières colorantes artificielles*. Libraires de l'Académie de Médecine (Éditeur), Paris Masson, France. (1896)
- [4] mémoire de BENBESSEKRI IBTISSEM), de theme Dégradation du colorant AG25 dans l'eau en présence de nano-Ferrite-Cobalt par un procédé photocatalytique propre, Année Universitaire : 2018/2019, Université de Mostaganem

- [5] Babuponnusami, K. Muthukumar, A review on fenton and improvements to the fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environment Chemical Engineering*, 2(2014)557-572.
- [6] Maas, R. & Chaudhari, S. (2005). Adsorption and biological decolorization of avo de Reactive Red 2 in semicontinuous anaerobic reactors. *Process biochemistry*, 40(2), 699-705
- [7] Crini. G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review *Bioresource technology*, 97(9), 1061-1085
- [8] Joaquim Pedro Silva A,1, Sónia Sousa A, José Rodrigues B, Helena AntunesA, John J. Porter C, Isolina Gonçalves A, Suzana Ferreira-Dias D, Adsorption Of Acid Orange 7 Dye In Aqueous Solutions by Spent Brewery Grains Separation And Purification , *Technology* 40 (2004) 309–315.
- [9] <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebId-CHEBL:49770>
- [10] U.S. Environmental Protection Agency, Manual Best management practices for pollution prevention in the textile industry, EPA/625/R-96/004, Septembre (1996).
- [11] S. Barclay, C. Buckley, Waste minimization guide for the textile industry, a step towards cleaner production, The pollution research group, University of Natal Durban, South Africa, For the south African. Water Research Commission, 1 (2000).
- [12] T. Kurbus, Y.M. Slokar, A.M. Le Marechal, *Dyes Pigments* 54 (2002) 67-78.
- [13] Benamraoui. F, 2014. Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », Mémoire de Magister, Université de Sétif,
- [14] H. BEN MANSOUR et al. / *Revue des Sciences de l'Eau* 24(3) 209-238. Les colorantes textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira et Ridha Mosrati. (2011)
- [15] MERZOUG. N, 2014, Application des tiges de dattes dans l'adsorption des polluants organiques », Mémoire Magister, Université de Souk Ahras

[16] Journal Officielle de la République Algérienne, Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet. Réglementant les rejets d'effluents liquides industriels, 1993, p.442.

### *Chapitre III*

[1] Elisangela F., Andrea Z., Fabio D. G., de Menezes Cristiano R., Regina D. L. & Artur C.-P. (2009). Biodegradation of textile azo dyes by a facultative *Staphylococcus arlettae* strain VN-11 using a sequential microaerophilic/aerobic process. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63, 280- 288.

[2] Saratale R. G., Gandhi S. S., Purankar M. V., Kurade M. B., Govindwar S. P., Oh S. E. & Saratale G. D.(2013). Decolorization and detoxification of sulfonated azo dye CI Remazol Red and textile effluent by isolated *Lysinibacillus* sp. RGS. *Journal of bioscience and bioengineering*, 115, 658-667.

[3] Kurade M. B., Waghmode T. R., Khandare R. V., Jeon B.-H. & Govindwar S. P.(2016). Biodegradation and detoxification of textile dye Disperse Red 54 by *Brevibacillus laterosporus* and determination of its metabolic fate. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 121, 442- 449.

[4] Jadhav U. U., Dawkar V. V., Ghodake G. S. & Govindwar S. P.(2008). Biodegradation of Direct Red 5B, a textile dye by newly isolated *Comamonas* sp. UVS. *J. Hazard. Mater.*, 158, 507-516.

[5] Kalyani D., Telke A., Dhanve R. & Jadhav J.(2009). Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated *Pseudomonas* sp. SUK1. *J. Hazard. Mater.*, 163, 735-742.

[6] Jadhav S., Kalme S. & Govindwar S.(2008). Biodegradation of methyl red by *Galactomyces geotrichum* MTCC 1360. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62, 135- 142.

[7] Saratale R., Saratale G., Kalyani D., Chang J.- S. & Govindwar S. (2009). Enhanced decolorization and biodegradation of textile azo dye Scarlet R by using developed microbial consortium-GR. *Bioresource Technology*, 100, 2493-2500.

[8] Chen K.-C., Wu J.-Y., Liou D.-J. & Hwang S.-C. J. (2003). Decolorization of the textile dyes by newly isolated bacterial strains. *J. Biotechnol.*, 101, 57-68.

[9] Kılıç N. K., Nielsen J. L., Yüce M. & Dönmez G. (2007). Characterization of a simple bacterial consortium for effective treatment of wastewaters with reactive dyes and Cr (VI). *Chemosphere*, 67, 826-831.

[10] Saratale R. G., Saratale G. D., Chang J.-S. & Govindwar S.(2011). Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: a review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42, 138-157

[11] Chen K., Huang W., Wu J. & Houg J. (1999). Microbial decolorization of azo dyes by *Proteus mirabilis*. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 23, 686-690.

[12] Wang H., Su J. Q., Zheng X. W., Tian Y., Xiong X. J. & Zheng T. L. (2009). Bacterial decolorization and degradation of the reactive dye Reactive Red 180 by *Citrobacter* sp. CK3. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63, 395-399.