



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie appliquée

قسم: البيولوجيا التطبيقية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et Biothérapie

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Procédés d'Oxydations Avancées (POA's) comme étape de pré-oxydation pour
le traitement biologique des colorants contenu dans les rejets d'une industrie de textile**

Présenté par : Mme. MERIBAI Sirine

Le 11/06/2024

Mme. TOUAMI Rahma

Jury d'évaluation :

Présidente : Pr. MOSBAH Asma

(MCA – UFM, Constantine 1)

Encadrant : Dr. ABDESSEMED Ala

(MRA – C.R.Bt, Constantine)

Examinatrice : Dr. HARZALLAH Bisma

(MCA – UFM, Constantine 1)

**Année universitaire
2023 - 2024**

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage la volonté, et la patience durant toutes ces années d'étude.

*A l'issue de ce travail de recherche, nous tenons à exprimer notre vive gratitude à notre encadrant Monsieur **ABDESSEMED Ala** Maître de recherche A au centre de recherche en biotechnologie, pour son aide précieuse, ses conseils et ses encouragements, aussi pour avoir dirigé ce travail et pour avoir investi en nous. Ils ont cru en ce travail et à son aboutissement depuis le début ; qu'ils trouvent ici notre considération et notre reconnaissance.*

*Nous tenons à remercier Monsieur **BELAHMADI MOHAMED SEDDIK OUSSAMA**, Maître de recherche B au centre de recherche en biotechnologie, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin notre mémoire et pour l'intérêt qu'il porte à notre travail et Ses conseils, sa patience, sa disponibilité et son encouragement ainsi que sa bienveillance, nous ont permis de continuer avec endurance et abnégation ce projet de fin d'étude.*

*On adresse aussi toute notre gratitude aux membres de jury, qui ont évalué ce mémoire, en l'occurrence à Madame **MOSBAH ASMA**, maître de conférences A à l'Université des Frères Mentouri Constantine 1, qui nous a fait un grand honneur d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également à Madame **HARZALLAH BESMA**, Maître de conférences A à l'Université des Frères Mentouri Constantine 1, d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier Monsieur nos collègues, **KARA ALI NESRINE, HAMIoudA DJIHANE, BENAÏSSA KAOUTHER**, et **BOUDIAF SERINE** de nous avoir fourni son aide avec beaucoup de générosité.*

*Nos sincères remerciements vont également à tout le personnel technique du C.R.Bt : **BECHELEM R., OUFROUKH K., KHODJA R., BOUGANDOURA M., CHERB N.** et **DERDOUR M.**, qui ont été d'un grand soutien et d'une serviabilité sans pareille.*

On tient au terme de ce travail, à exprimer nos remerciements à tout

Je dédie ce mémoire :

*À mes chers grands parents : **Fahima et Mohammed** qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **Chahra**.*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père : **Abed el Waheb**.*

*A ma tante qui n'a pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études : **Roumaissa**.*

Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

*A mes adorables frères qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille : **Amdjed, Raid, Adam**.*

*A mes chères amies : **Rahma, Ilhem, Nour, Selssabil, Djihen, Nesrine , Serine, Kaouther**.*

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

Meribai Serine

DEDICACES

Je dédie ce travail :

*A la femme à qui je dois la vie et pour qui je dois tout, celle qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, la prunelle de mes yeux ma chère et tendre maman **Boulehlib Leïla**.*

*A l'homme qui m'a fait grandir et qui ne cesse de prier pour moi a chaque jour que dieu fait, mon cher papa **Abdellah**. Aucun mot ne saurait être assez éloquent pour vous exprimer ce qui vous rend justice pour tous vos sacrifices et votre dévouement depuis ma naissance, durant mon enfance jusqu'à aujourd'hui.*

*A mes très chers frères, **Borhane eddine, Chouaib Mahi eddine** et ma ptite soeur **Yousra darine** mes piliers chez qui je trouve soutien en toute épreuve.*

*A mon petit ange et mon chat **Kalabala** qui apporte la joie et le bonheur à notre foyer.*

*A tous mes amis particulièrement **Meribai serine, Namous ines, Kara Ali nesrine, Hamiouda djihene, Benaïssa kaouther, et Boudiaf serine** pour le soutien moral qu'ils m'ont apporté tout au long de ce travail. A toutes les personnes qui m'ont aidée encouragée et soutenue durant tout mon cursus Puisse Dieu vous protéger de tous les maux.*

Touami Rahma

Liste des abréviations

AND : Agence National des Déchets

NaOCl : Hypochlorite de sodium

AOS : Average Oxydation state

MM : Milieu minimum

CN: Color Number

NO₂⁻ : Nitrite

NO₃⁻ : Nitrate

NaOH : Hydroxyde de sodium

H₂O₂ : Peroxyde d'Hydrogène

GN : Gélose Nutritive

BN : Bouillon nutritif

·OH : Radicale Hydroxyle

pH : potentiel Hydrogène

POA's : Procédés d'Oxydation Avancées

ppm : Partie Par Million

Qsp : Quantité Suffisante Pour

rpm : rotation par minute

TDS : Total des Solide Dissous

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène (5 jours)

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DO : Densité Optique

TOC : Carbone Organique Total

UV : Ultra-Violet

SM : Solution mère

BD : Bleu dispesé

Liste des tableaux

Partie I : Synthèse bibliographique

Tableau 01 : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante	12
Tableau 02 : Bactéries utilisées pour le traitement des eaux usées de distillerie	24
Tableau 03 : Potentiels d'oxydation de quelques oxydants utilisés en milieu aqueux	28
Tableau 04 : Différents procédés d'oxydation avancés.....	30

Partie II : Matériel et méthodes

Tableau 01 : Le matériels et l'appareillage utilise dans l'analyse des différents paramètres...36	
Tableau 02 : les valeurs de dosage de la courbe d'étalonnage nitrates	43
Tableau 03 : les valeurs de dosage de la courbe d'étalonnage nitrites.....	45
Tableau 04 : les valeurs de dosage de la courbe d'étalonnage orthophosphates.....	46
Tableau 05 : Tableau résume les principales caractéristiques physico-chimiques de colorant Bleu dispersé	51
Tableau 6 : Conditions de la PCR pour l'amplification	62
Tableau 07 : Conditions de la PCR pour le séquençage	65

Partie III : Résultats et discussion

Tableau 01 : les résultats physicochimiques avant traitement (<i>in situ</i>).....	68
Tableau 02 : dénombrement des souches avant traitement	74
Tableau 03 : Identification des souches de bactéries selon les résultats de l'analyse ADN r16s.	90

Liste des figures

Partie I : Synthèse bibliographique

Figure 01 : Zone de l'industrie textile ETAIT	4
Figure 02 : Aptitude de diverses technologies de traitement des eaux usées selon leur teneur en DCO	23
Figure 03 : Désignation des technologies de traitement des eaux usées selon leurs teneurs en DCO	26

Partie II : Matériel et méthodes

Figure 01 : Localisation géographique de la wilaya de Batna.....	34
Figure 02 : Zone de l'industrie textile Etait	35
Figure 03 : Effluent industriel prélevé.....	36
Figure 04 : Prélèvements d'effluent Industriel pour l'analyse microbiologique	36
Figure 05 : pH mètre.....	39
Figure 06 : Conductimètre.....	39
Figure 07 : Photo rampe de filtration sous vide	40
Figure 08 : Photo de l'enceinte thermique	41
Figure 09 : Minéralisateur (Büchi K-355), distillateur Kjeldahl (FOSS) et Le dosage	42
Figure 10 : Analyseur TOC	47
Figure 11 : Photo du bloc chauffant	49
Figure 12 : Photo su spectrophotomètre à double faisceaux	49
Figure 13 : Courbe d'étalonnage du Bleu dispersé.....	52
Figure 14 : Spectre UV-Vis du Bleu dispersé a différents pH.	53
Figure 15 :les milieux de culture (GN, BN ,MM ,SM)	55
Figure 16 : Schéma représentant les étapes de dilution et ensemencement	55
Figure 17 : Les cinq différentes souches	56
Figure 18 : Photo du radiomètre	57
Figure 19 : Solution de consortium	58
Figure 20 : spectrophotomètre.....	61
Figure 21 : Déroulement de la PCR dans le Thermocycleur.....	63
Figure 22 : plaque d'électrophorèse	64
Figure 23 : Migration de l'ADNr 16s sur gel d'agarose	64

Figure 24 : Séquenceur d'ADN	65
Figure 25 : Chromatogramme des séquences d'ADNr 16S	66
Figure 26 : Conservation des souches dans des cryotubes	67

Partie III : Résultats et discussion

Figure 01 : Les différentes souches (solution mère et $10^{-1\text{et}-7}$).....	74
Figure 02 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =7	76
Figure 03 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =8,5	77
Figure 04 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =10	78
Figure 05 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =11	79
Figure 06 : Dégradation du colorant Bleu dispersé a différents concentrations par le système chimique NaOCl/UV.	81
Figure 07 : Dégradation du colorant Bleu dispersé a différents concentrations par le système hybride (chimique NaOCl/UV + biodégradation par bactérie. ($[\text{NaOCl}]_0 = 0.2 \text{ M}$; irradiationsolaire ; pH=7).....	82
Figure 08 : Evolution spectrale de la dégradation du colorant Bleu dispersé par le système hybride (chimique NaOCl/UV + biodégradation par bactérie ($[\text{BD}]_0 = 100 \text{ ppm}$; $[\text{NaOCl}]_0 = 0.2 \text{ M}$; irradiation solaire ; pH = 7).	83
Figure 09 : Comparaison du taux d'élimination du colorant Bleu Dispersé par les différents systèmes.....	84
Figure 10 : Evolution spectrale de la dégradation de l'effluent par le système hybride (chimique NaOCl/UV + biodégradation par bactérie.)	85
($[\text{NaOCl}]_0 = 0.2 \text{ M}$; irradiation solaire ; pH = 7).....	86
Figure 11 : Suivi du l'indice de couleur pour les deux systèmes utilisés.....	87
Figure 12 : Photos du repiquage des trois souches bactériennes isolé après traitement hybride à pH =7	88
Figure 13 : Migration de l'ADNr 16s sur gel d'agarose	89
Figure 14 : Les deux souches plus similaires.	93
Figure15 : Arbre phylogénétique de <i>Microbacterium</i> sp. strain BMSO BkBs 2024.....	94
Figure 16 : Arbre phylogénétique de <i>Bacillus</i> sp. (in: firmicutes) strain MSOsk 2024.....	95

Figure 17 : Arbre phylogénétique de <i>Sporosarcina</i> sp. strain BAAA 2024.....	96
Figure 18 : Arbre phylogénétique de <i>Microbacterium</i> sp. strain BMSO MsTr 2024.....	97
Figure 19 : Arbre phylogénétique de <i>Bacillus</i> sp. (in: firmicutes) strain MSOsr 2024.....	98
Figure 20 : Arbre phylogénétique entre les souches isolées.....	99

Sommaire

Introduction général.....	1
Chapitre I : La pollution industriel	3
I . Introduction	3
II . Définition de l'industrie textile.....	3
III. Pollution des eaux.....	5
III.1. Définition.....	5
III.2. Types de pollution d'eau.....	5
III.2.1. Pollution chimique.....	5
III.2.2. Pollution organique.....	5
III.3. Classification des pollutions	5
III.3.1 Pollution d'origine urbaine	5
III.3.2 Pollution d'origine agricole	6
III.3.3. La pollution d'origine industrielle	6
III.4. Les polluants présents dans l'eau	7
III.4.1. Les sels minéraux	7
III.4.2. Les acides et les alcalins	7
III.4.3. Les matières en suspension (MES).....	7
III.4.4. Les matières organiques (Mat O)	7
III.4.5. Les matières en suspension (MES).....	8
III.4.6. Les déchets solides divers.....	8
III.4.7. Les détergents synthétiques	8
III.4.8. Les matières colorantes	8
VI. La pollution industrielle selon les écosystèmes	8
VI .1. Impacts nocifs sur l'air.....	8
VI .2. Impacts néfastes sur l'eau.....	9
VI .3. Impacts néfastes sur le sol	9
VI .4. Impacts néfastes sur les humains.....	9
Chapitre II : Généralités sur les colorants textiles	9
I. Introduction	10
II. Les colorants textiles.....	10
II.1- Généralités	10
II.2- Classification des colorants textiles.....	12
II.2.1. Classification chimique.....	12
II.2.2. Classification tinctoriale	15
III. Les colorants et leurs impacts environnementaux	18

III.1. Les dangers évidents.....	18
III.1.1. Eutrophisation.....	18
III.1.2. Sous-oxygénation	18
III.1.3. Couleur, turbidité, odeur	19
III.2. Les dangers à long terme	19
III.2.1. La persistance	19
III.2.2. Bio-accumulation.....	19
III.2.3. Santé humaine.....	19
III.2.4. Sous-produits de chloration (SPC)	20
Chapitre III : Procédés de traitement des effluents textiles	21
I . Méthodes chimiques	21
II . Méthodes biologiques.....	22
III . Bio-remédiation	23
IV . Procédés d'oxydation avancée.....	25
IV.1. Introduction.....	25
IV.2. Définitions.....	27
V-I. Les radicaux hydroxyles.....	27
V.1.Définitions	28
V.2. Réactivité des radicaux (OH•).....	29
V.3. Mécanismes réactionnels et mode d'action des radicaux hydroxyles.....	29
V.4. Principaux procédés d'oxydation avancés (POAs)	30
V.5. La photo-oxydation par le système UV/NaClO	31
VI. Traitement hybride	32
VI.1. Avantages des procédés hybrides	33
VII. Conclusion	33
Chapitre IV : Matériels et méthodes	34
1. Site de prélèvement	34
2. Présentation de l'industrie textile EATIT en Algérie-Batna.....	35
3. Matériel et méthodes	36
3.1. Prélèvement de l'échantillon.....	36
3.2 Appareillage.....	36
3.3 Étude de l'effluent de l'industrie textile	38
3.3.1. Détermination de la température	38
3.3.2. Détermination de potentiel hydrogéné	38
3.3.3. Détermination de la conductivité électrique et de la salinité.....	39
3.3.4. Détermination de la matière en suspension	40

3.3.5. Détermination de la demande biologique en oxygène.....	40
3.3.6. Détermination de l'azote Kjeldahl.....	41
3.3.7 Détermination des nitrates	42
3.3.8 Détermination des nitrites.....	44
3.3.9 Détermination d'ortho phosphates.....	45
3.3.10. Détermination du Carbone Organique Total.....	47
3.3.11. Détermination de la demande chimique en oxygène DCO.....	48
3.3.12. Analyse par spectrophotométrie UV/visible.....	49
3.3.13. Choix du colorant	50
3.3.14. Préparation des solutions	52
3.3.15. Etalonnage	52
3.3.16. Etude spectrale du colorant.....	53
4. Étude microbiologique	54
Préparation des milieux de culture	54
Chapitre V : Résultats et discussion	68
I. Propriétés physicochimiques du l'effluent industriel	68
1. Température.....	69
2. Le potentiel hydrogène (pH) physicochimique	69
3. Conductivité électrique	69
4. La salinité	70
5. Total des Solides Dissous (TDS).....	70
6. Matières en suspension (MES).....	70
7. Azote Kjeldahl, nitrate et nitrite	71
8. Le phosphore	72
9. La Demande Biologique en Oxygène (DBO5).....	72
10. La Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	72
11. Carbone Organique Total (COT)	73
II. Étude microbiologique de l'effluent industriel	74
1. Dénombrement sur gélose nutritive (GN) à pH=7	74
2. Isolement et repiquage des souches bactériennes avant traitement biologique.....	75
III. Étude de la dégradation du colorant « Bleu dispersé » par les différents systèmes	80
III.1. Traitement du Bleu Dispersé par le système NaClO/UV	80
III.2. Traitement Hybride du Bleu Dispersé (NaClO/UV + Biodegradation).....	81
III.3. Comparaison des différents systèmes de traitement pour la dégradation du Bleu Dispersé	83
IV. Étude de la dégradation de l'effluent industriel par le système Hybride (NaClO/UV + Biodegradation).....	85

V. Isolement et repiquage des souches bactériennes après traitement biologique.....	88
VI. Identification moléculaire.....	89
VI.1. Espèces bactériennes.....	89
VI.2. Construction d'arbre phylogénétique.....	93
Conclusion	100
Références bibliographiques.....	102
Annexes	106

Introduction général

Introduction général

L'eau représente un élément fondamental au sein de tous les processus socio-économiques, indépendamment du stade de développement d'une société. L'accroissement des activités industrielles et agro-industrielles exerce une pression croissante sur les réserves mondiales d'eau douce. Cette augmentation est notamment due à la libération dans le cycle hydrologique d'une grande diversité de composés chimiques émanant de ces activités, mettant en péril l'équilibre délicat de l'environnement nécessaire au développement de la vie sur Terre. Ces substances chimiques présentes dans les eaux usées sont souvent caractérisées par une faible biodégradabilité (Pelmont, 2005), ce qui, combiné à une infrastructure de traitement insuffisante, conduit à leur accumulation dans le cycle de l'eau.

La préservation de l'environnement est désormais un sujet économique et politique crucial. Chaque nation du globe est impliquée dans la préservation des réserves d'eau douce, soit parce qu'elle souffre de pénuries, soit en raison de la pollution de ces ressources (Guy Fontaine, 2002). La pollution du milieu aquatique causée par le rejet d'effluents bruts de diverses industries constitue un problème environnemental majeur à l'échelle mondiale (Sana Khan et al., 2018). Parmi ces industries, les Industries Textiles (IT) utilisent une grande quantité d'eau potable, par exemple 200 L d'eau potable sont consommés pour produire 1 kg de produits textiles, et une large gamme de produits chimiques synthétiques à différentes étapes du processus de production textile (S. Kang et al., 2019; M. Agtas et al., 2020). Les IT génèrent une grande quantité d'eaux usées très colorées contenant une variété de substances dangereuses reconnues pour être des colorants et Polluants Organiques Persistants (PoPs), qui se retrouvent dans les ressources aquatiques (R.N. Bharagava, 2018; N. Garg, 2020). Enfin, les eaux usées non traitées sont rejetées dans les milieux aquatiques de l'environnement (M.B. Ceretta et al., 2020). Ces effluents de l'industrie textile contiennent des composés toxiques qui causent une dégradation de l'écosystème récepteur et qui sont nuisibles à tous les organismes vivants (faune et flore).

Selon un rapport publié en 2000 par la fédération des industries textiles, la consommation de pigments et colorants de ce secteur en Algérie dépasse les 4000 tonnes annuellement, ainsi que la consommation de produits chimiques auxiliaires avec plus de 16000 tonnes/an. L'alimentation en eau des unités textiles ayant des activités de teinture et d'impression se fait à partir des réseaux de distribution publics, avec un total de 4 808 700 m³/an, et à partir de puits ou de forages privés, avec un total de 763 000 m³/an (Prévention de la pollution dans l'industrie textile dans la région méditerranéenne, 2010).

Depuis toujours, le traitement des eaux usées s'est fait de manière biologique, en se basant sur l'autoépuration naturelle des eaux. L'homme a alors construit des systèmes de traitement biologique de plus en plus perfectionnés. Cependant, les stations de traitement biologiques ne peuvent pas traiter les substances difficilement biodégradables ou toxiques telles que les colorants industriels. Dans l'optique de limiter l'arrivée de ces composés organiques bio-récalcitrants dans les eaux usées et l'environnement en général, des stratégies de traitement efficaces et écologiques ont été développées. Parmi ces stratégies figure l'application des procédés d'oxydation avancés.

Les procédés d'oxydation avancés (POA) occupent une place importante, tels que le système NaOCl/UV et le traitement hybride (S. Belaidi et al., 2014; S. Belaidi et al., 2012). Les POA reposent sur la formation in situ des radicaux hydroxyles (HO•) très réactifs, capables de détruire tous les contaminants organiques présents dans l'eau et de décomposer les molécules les plus récalcitrantes en molécules biologiquement dégradables (C.S. Liu, 2012) ou en composés minéraux grâce à leurs pouvoirs oxydants élevés.

Le procédé hybride consiste à mettre en place deux opérations unitaires de nature différente (ou plus) au sein du même procédé, par exemple NaOCl/UV et bactéries, qui est basé sur la dégradation via des microorganismes (bactéries, champignons, etc.).

L'objectif de notre travail est :

- Caractérisation physicochimique de l'effluent de l'industrie textile de la wilaya de Batna ;
- Caractérisation microbiologique et identification des espèces bactériennes contenues dans l'effluent et évaluation de leur pouvoir biorémediateur ;
- Suivi du traitement d'un colorant contenu dans les rejets de l'industrie textile par procédés d'oxydation avancés et procédés hybrides.

Ce manuscrit est divisé en trois grandes parties :

Une partie bibliographique, qui comporte trois chapitres :

Chapitre I : Généralités sur la pollution industrielle ;

Chapitre II : Généralités sur les colorants textiles ;

Chapitre III : Les deux procédés utilisés pour le traitement des effluents textiles.

Une deuxième partie expérimentale

Une troisième partie de résultats et discussion

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I : La pollution industriel

I. Introduction

La pollution de l'eau affectant les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou avec un niveau de traitement insuffisant, ce qui provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique. Les effluents désignent les eaux sortant de chez un usager ou groupe d'usagers. Généralement, les effluents nécessitent un traitement plus ou moins poussé en fonction du degré d'altération des eaux, avant leur rejet dans le milieu naturel. Parmi les industries consommatrices d'énormes quantités d'eau et engendrant en parallèle une grande pollution, nous retrouvons celle du textile. En termes de volume et de complexité de composition de ses effluents, surtout les effluents de bains de teinture, ceux-ci sont très chargés en colorants acides ou basiques, en sels et en adjuvants, et ont une température très élevée.

II. Définition de l'industrie textile :

Les industries textiles produisent des fibres pour former des fils, qui sont ensuite transformés en tissu (**Yaseen, D. et al., 2019**). Elles utilisent les colorants de différentes manières sur les tissus textiles. Par exemple : la teinture, qui est le processus d'enduire uniformément la fibre textile avec des colorants, l'impression, qui est l'application de colorants sur une zone spécifique du tissu, le blanchiment, qui est l'élimination de la couleur des colorants (décoloration) des fibres textiles, et la finition, qui comprend la réticulation, l'adoucissement et l'imperméabilisation (**Bhatia, D. et al., 2017**).

❖ L'Entreprise Algérienne des Textiles Industriels et Techniques de la Wilaya de BANTA (EPE-EATIT-SPA) :

En 1966, la première industrie textile est créée en Algérie, appelée SONAC. Après cela, de nombreuses industries textiles se sont implantées dans diverses régions d'Algérie (Oran, Tlemcen, Tizi Ouzou, etc.), dont l'Entreprise Algérienne des Textiles Industriels et Techniques (EATIT) (**figure 01**), située dans la zone industrielle de KECHIDA, dans la Wilaya de BATNA, créée en 1979. Elle représente le plus grand complexe industriel de la Wilaya de BATNA et assure la fabrication de la totalité de l'habillement militaire à l'échelle nationale.



Figure 01 : Zone de l'industrie textile ETAIT (Algérie-BATNA)

Le complexe industriel comprend trois grandes unités :

L'unité de ficelage : Convertit le coton en fil.

L'unité de tissage : Fabrique du tissu tissé composé de 67 % de coton et de 33 % de polyester.

L'unité de finissage : Unité la plus importante où se déroulent les étapes primordiales du finissage du tissu destiné à la fabrication de tenues militaires, en utilisant divers produits chimiques.

- 1- **Blanchiment :** consiste à éliminer la couleur d'origine. Toutefois, cette couleur peut ne pas être complètement éliminée par le lavage, même en utilisant des produits chimiques comme NaOH, l'acide sulfurique, des agents mouillants et des détergents.
- 2- **La teinture :** est le processus consistant à enduire uniformément la fibre textile avec des colorants.
- 3- **L'impression :** fixation de colorant dans une zone de tissu. Il existe deux types de colorants : dispersé et cuve.
 - Les colorants de cuve fixe par la vapeur ;
 - Les colorants disperse fixe par la chaleur 210°C ;

- La fixation se fait par l'utilisation de divers produits chimiques comme : NaOH, acide acétique, H₂O₂, mouillant ;
- 4- **La finition** : permet d'améliorer la qualité des tissus. Elle comprend l'adoucissement et la réticulation.

III. Pollution des eaux

III.1. Définition :

La pollution est définie comme l'introduction de substances dans un milieu naturel qui le modifient. Des effets nocifs causés par des substances chimiques, organiques, génétiques ou des radiations (radioactivité, lumière artificielle) sont possibles à tous les niveaux (santé, écologie et économie), ce qui altère les performances de l'écosystème (**Degremont et al., 2006**).

La pollution des ressources en eau se distingue par la teneur en micro-organismes, en matières chimiques ou en déchets industriels. Cela résulte de l'activité humaine, qu'elle soit directe ou indirecte, ainsi que d'effets biologiques ou géologiques.

III.2. Types de pollution d'eau

III.2.1. Pollution chimique :

Cette pollution provient essentiellement des substances chimiques de nature minérale et organique issues de diverses sources et activités industrielles. Dans ce mode de contamination, nous pouvons citer les métaux (Zn, Pb, C, etc.), les solvants, les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les produits pharmaceutiques et les pesticides (**Larhyss Journal, 2010**).

III.2.2. Pollution organique :

Elle touche les microorganismes pathogènes contenus dans l'eau, tels que les virus, les bactéries et les champignons (**Larhyss Journal, 2010**).

III.3. Classification des pollutions :

III.3.1 Pollution d'origine urbaine :

Ces effluents ont trois origines possibles :

a) Effluents de ruissellement : Il s'agit des eaux de pluie et des eaux de lavage des chaussées.

b) Eaux résiduares d'origine domestique : Celles-ci proviennent des cuisines (débris, graisses, détergents, etc.), des buanderies, des salles de bain et des locaux de lavage (détergents, hydrocarbures, etc.).

c) Eaux résiduares résultant d'activités artisanales ou industrielles : Elles peuvent apporter :

- Des toxiques ou des inhibiteurs de la microflore, en particulier des métaux lourds,
- Des quantités importantes de détergents,
- Des produits peu ou non biodégradables tels que les hydrocarbures et les sels minéraux.

III.3.2 Pollution d'origine agricole :

Ce type de pollution concerne les eaux de ruissellement et se divise en deux familles de composés (Centre d'information sur l'eau, 2007) :

- Pollution par les pesticides (herbicides, fongicides, insecticides) : Ces produits chimiques, utilisés pour lutter contre les nuisibles et les mauvaises herbes, peuvent entraîner une pollution de l'eau. Ils sont souvent appliqués dans les champs agricoles et peuvent se retrouver dans les cours d'eau par ruissellement.

- Pollution par les fertilisants (engrais) : Les engrais, bien qu'essentiels pour la croissance des cultures, peuvent également causer des problèmes de pollution. Lorsqu'ils sont appliqués en excès, les nitrates et les phosphates contenus dans les engrais peuvent se déverser dans les eaux de surface, provoquant une eutrophisation excessive. Cela peut entraîner des proliférations d'algues, une diminution de l'oxygène dissous et des perturbations dans les écosystèmes aquatiques.

III.3.3. La pollution d'origine industrielle :

Le développement rapide des techniques industrielles modernes a entraîné une pollution considérable. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Face à la grande diversité de ces rejets, une enquête spécifique à chaque type d'industrie est nécessaire. Il est donc essentiel d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits (**Degremont.Memento, 2006**). Il est évident que les effluents déversés sans traitement

approprié entraînent des modifications indésirables dans l'environnement récepteur et provoquent des pollutions très néfastes.

À ce sujet, l'industrie textile occupe une place suffisamment importante parmi les industries polluantes pour être prise en compte.

III.4. Les polluants présents dans l'eau :

Il existe plusieurs catégories de polluants dans l'eau :

III.4.1. Les sels minéraux : Ces polluants sont représentés à la fois par les masses en cause et par leurs effets biologiques. Ils sont considérés comme majeurs et peuvent nuire à la potabilité des eaux superficielles, ainsi qu'aux usages industriels lorsque leur concentration est élevée (**D. Borcard, 2006**).

III.4.2. Les acides et les alcalins : Ces polluants proviennent de l'industrie chimique et d'autres installations industrielles. Ils sont indésirables non seulement pour les activités récréatives telles que la baignade, la pêche et la navigation, mais aussi pour la vie aquatique. Il est généralement admis que le pH de l'eau doit se situer dans une fourchette comprise entre 4,5 et 9,5 pour assurer la survie des poissons. La présence de ces polluants perturbe également le fonctionnement des stations d'épuration (**E. Koller, 2012**).

III.4.3. Les matières en suspension (MES) : Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Les MES confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond. Elles diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse.

Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent.

III.4.4. Les matières organiques (Mat O) : Les matières organiques sont tous les déchets carbonés, tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre et le lactosérum des industries agroalimentaires. Contrairement aux MES, les matières organiques constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Cependant, elles épuisent le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique. Lorsque le milieu est totalement privé d'oxygène, les micro-organismes cherchent à le trouver dans les sulfates dissous (SO_4^{-2}), qu'ils

réduisent en sulfure, se dégageant sous forme de sulfure d'hydrogène et engendrant une odeur d'œufs pourris (**E. Koller, 2012**). Lorsque le milieu se retrouve totalement vidé de son oxygène, ils vont le chercher dans les sulfates dissous ((SO_4^{2-})), Qu'ils réduisent en sulfure en se dégageant sous forme de sulfure d'hydrogène et en engendrant une odeur d'œufs pourris (**E. Koller, 2012**).

III.4.3. Les matières en suspension (MES) : Les MES désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond. En conséquence, elles diminuent la luminosité dans l'eau, ce qui freine la photosynthèse. Les espèces végétales ont plus de difficulté à se développer, et la production d'oxygène qu'elles effectuent diminue dans le milieu, ce qui affecte également les espèces animales.

III.4.6. Les déchets solides divers : Il s'agit d'objets variés d'origines diverses, posant des problèmes d'esthétique (rejets dans les rivières et sur les plages) et de gêne (avarie aux engins de pêche). Lorsqu'ils se déposent au fond, ils peuvent causer des préjudices à la faune et à la flore aquatique (**E. Koller, 2012**).

III.4.7. Les détergents synthétiques : Ces produits comprennent un groupe d'agents à la fois émulsionnants et moussants. Ils ont plusieurs inconvénients, tels que la formation de mousse sur les rivières à partir de 0,3 à 1 mg/L. Leur dégradation par les bactéries peut aboutir à des molécules non moussantes et non biodégradables, qui peuvent s'accumuler dans les organismes. De plus, le goût de savon peut apparaître à des doses très faibles (quelques $\mu\text{g/L}$) (**D. Borcard, 2006**).

III.4.8. Les matières colorantes : Leur déversement dans le milieu aquatique, même à de très faibles concentrations, a un grand impact. Elles modifient la transparence et l'éclairement du milieu. L'action chlorophyllienne est ralentie, la production d'oxygène diminue, et il y a tendance à l'installation de conditions anaérobies (**M. M. Tauber, 2005**).

VI. La pollution industrielle selon les écosystèmes :

VI .1. Impacts nocifs sur l'air : Les industries textiles rejettent des gaz toxiques tels que le soufre, le formaldéhyde et les oxydes de nitrogène. Ces composés volatils, particules et poussières ont une odeur désagréable. Cette pollution de l'air peut affecter les humains (travailleurs et clients), les animaux, les produits finaux et l'environnement (**Aldalbahi et al., 2021**), (**Park et al., 2016**), (**Muthu et al., 2017**).

VI .2. Impacts néfastes sur l'eau : es effluents de colorants industriels causent des dommages importants aux écosystèmes aquatiques tels que les mers, les rivières, les lacs, les étangs naturels et les ruisseaux. Ces effets s'étendent sur de grandes distances et nuisent à d'autres formes de vie. Les eaux usées contiennent plusieurs matières toxiques, et la couleur résulte du rejet de plusieurs colorants. Même à faibles concentrations (>1 mg/L), ces colorants sont très récalcitrants. La concentration moyenne de colorant dans les effluents textiles atteint environ 300 mg/L. La couleur sombre et la turbidité élevée des rejets industriels interfèrent avec la transmission de la lumière solaire à travers l'eau, réduisent la quantité d'oxygène dissous et perturbent le pH. Ces facteurs ont des conséquences écologiques, notamment l'inhibition de la photosynthèse des plantes aquatiques, une faible biodégradabilité par les micro-organismes aérobies et des effets nocifs sur toute la chaîne alimentaire (**Imran et al., 2015**), (**Sakib et al., 2019**). L'eau est très sensible à la pollution par rapport à d'autres écosystèmes, et il est difficile de déterminer son niveau de pollution.

VI .3. Impacts néfastes sur le sol : Les activités industrielles peuvent entraîner divers problèmes de pollution des sols. La contamination par des produits chimiques dangereux, des métaux lourds, des huiles et des solvants est courante. Ces polluants ont des effets néfastes sur la santé humaine, la faune et la flore. Ils perturbent le métabolisme des plantes, réduisent les rendements des cultures et rendent les cultures dangereuses pour la consommation. Les polluants nuisent également directement aux organismes vivant dans les sols et altèrent leur fertilité.

VI .4. Impacts néfastes sur les humains : Les produits et sous-produits de teinture présents dans les rejets d'eaux usées ou dans la poussière générée par l'industrie textile ont des conséquences graves et à long terme sur la santé humaine. Ils affectent plusieurs organes vitaux tels que le cerveau, les reins, le foie et le cœur, ainsi que les systèmes respiratoire, immunitaire et reproducteur (**Kant, R. et al., 2019 ; Rovira, J. et al., 2019**). Les maladies peuvent survenir directement par inhalation, entraînant des problèmes respiratoires, de l'asthme, des allergies, des nausées, des irritations cutanées et oculaires, ainsi que des dermatites. Elles peuvent également se manifester indirectement par accumulation dans la chaîne alimentaire, provoquant des affections telles que la tuberculose, le cancer, les hémorragies, les mutations génétiques et les maladies cardiaques (**Yadav, A. et al., 2014 ; Khan, S. et al., 2018**).

Chapitre II : Généralités sur les colorants textiles

I. Introduction

Le premier écrit relatant l'utilisation de teintures naturelles remonte à 2600 ans avant J.C. Cependant, ce n'est qu'en 1856 que William Henry Perkin, en tentant de synthétiser de la quinine artificielle à partir d'allyltoluidine pour soigner la malaria, découvrit la première matière colorante synthétique qu'il appela "mauve" (aniline, colorant basique). Ainsi naquit l'industrie des colorants synthétiques.

Les colorants synthétiques représentent aujourd'hui un groupe relativement large de composés chimiques organiques que l'on retrouve dans pratiquement tous les aspects de notre vie quotidienne. La production mondiale est estimée à 700 000 tonnes par an, dont 140 000 tonnes sont rejetées dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection (**Zollinger, 1987 ; Cooper, 1995**). Ces rejets, composés de surfactants, de composés biocides, de suspensions solides, d'agents de dispersion et de mouillage, de colorants et de métaux traces, sont toxiques pour la plupart des organismes vivants. L'hétérogénéité de leur composition rend difficile, voire quasiment impossible, l'obtention de seuils de pollution inférieurs ou égaux à ceux imposés par les normes environnementales, même après traitement par les techniques traditionnelles.

II. Les colorants textiles

II.1- Généralités

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. Cette propriété résulte d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre, et elle 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 afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués. Ces critères incluent la résistance à l'abrasion, la stabilité photolytique des couleurs, la résistance à l'oxydation chimique (notamment face aux détergents) et aux attaques microbiennes.

L'affinité du colorant pour la fibre est particulièrement développée pour les colorants qui possèdent un caractère acide ou basique accentué. Ces caractéristiques propres aux colorants organiques

accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation (**Pagga et Brown, 1986**).

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 (**Witt, 1876**). La molécule colorante est le chromogène. Plus la facilité du groupe chromophore à donner un électron est grande, plus la couleur sera intense. Les groupes chromophores sont classés par intensité décroissante dans le (**Tableau 01**). D'autres groupes d'atomes du chromogène, appelés auxochromes, peuvent intensifier ou modifier la couleur due au chromophore.

Les chromophores (du grec $\chi\rho\omega\mu\alpha$, "je porte la couleur") sont les groupes responsables de la coloration des molécules. On a pu identifier différents types de chromophores. Ils peuvent être :

- **Chromophores radicaux** : Ces groupes contiennent un atome isolé avec une couche non saturée. Par exemple, un carbone avec sept électrons au lieu de huit. Leur présence peut influencer la couleur d'une molécule.
- **Chromophores bi-radicaux** : Ces groupes impliquent deux atomes non saturés, comme le groupe azoïque (-N=N-). Chaque atome d'azote a seulement sept électrons autour de lui.
- **Chromophores ioniques** : Ils se trouvent dans des molécules chargées, comme le triphényl méthyle (C₇H₅)⁺³. Le carbone est un cation avec trois électrons périphériques, ce qui le rend non saturé.
- **Chromophores bipolaires** : Ils résultent de la présence d'un atome plus électronégatif que l'autre, comme le groupe carbonyle C=O. La double liaison est plus attirée par l'oxygène.

En ce qui concerne la théorie de la couleur, il est fascinant de voir comment la constitution chimique d'une molécule influe sur sa couleur. Les colorants, composés d'assemblages de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées, sont un domaine passionnant de la chimie. Plus le nombre de noyaux aromatiques augmente, plus la conjugaison des doubles liaisons s'accroît, ce qui influe sur la couleur absorbée et émise par la molécule.

La théorie qui relie la constitution chimique d'une molécule à sa couleur a été élaborée graduellement, chaque théorie nous permettant de nous rapprocher petit à petit d'une compréhension plus précise. De

manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, d'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. L'énergie des liaisons π diminue tandis que l'activité des électrons π ou n augmente, ce qui produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même, lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy, etc.) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système π . La molécule absorbe alors dans les grandes longueurs d'onde, produisant des couleurs plus foncées (**Zhenwang, 2000**).

Tableau 01 : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante.

<i>Groupes chromophores</i>	<i>Groupes auxochromes</i>
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (NO- ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C-C-)	Hydroxyl (HO-)
Nitro (-NO ₂ ou -NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

II.2- Classification des colorants textiles :

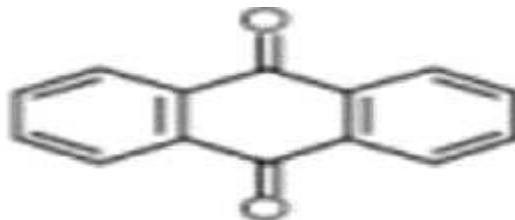
Les principes de classification les plus couramment utilisés dans l'industrie textile sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application sur différents substrats tels que les textiles, le papier, le cuir et les matières plastiques.

II.2.1. Classification chimique :

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore (**Tableau 01**) (**Guivarche E., 2010**). Ainsi :

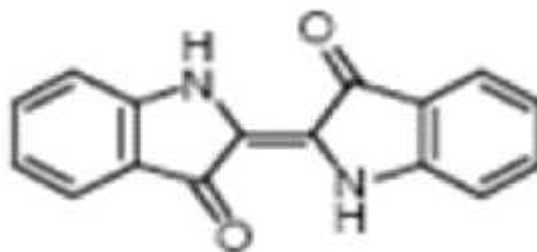
a) Les colorants anthraquinoniques :

Les colorants anthraquinoniques sont en effet essentiels dans l'industrie textile. Leur formule générale est dérivée de l'anthracène, et ils possèdent un chromophore qui est un noyau quinonique. Ce chromophore est la partie de la molécule responsable de sa couleur. En fonction des groupes hydroxyles ou amines qui s'y attachent, la couleur du colorant peut varier.



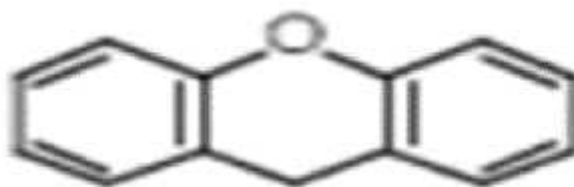
b) Les colorants indigoïdes :

Ils tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypsochromes, avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise.



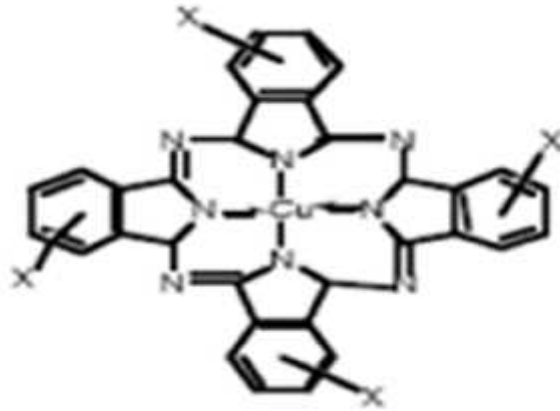
c) Les colorants xanthènes :

Le composé le plus connu est la fluorescéine. Ces composés sont dotés d'une intense fluorescence. Peu utilisés en tant que teintures, leur capacité à servir de marqueurs lors d'accidents maritimes ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est néanmoins bien établie.



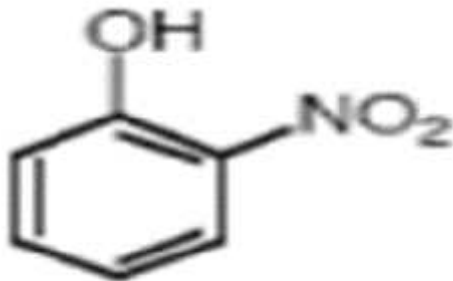
d) Les phtalocyanines :

Ces colorants 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.).



e) Les colorants nitrés et nitrosés :

Ces colorants forment une classe de colorants assez restreinte en nombre et relativement ancienne. Ils sont encore utilisés actuellement en raison de leur prix très modéré et de la simplicité de leur structure moléculaire, caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO₂) en position ortho par rapport à un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés).



II.2.2. Classification tinctoriale :

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant-substrat est de type ionique, hydrogène, Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes (Encyclopaedia Universalis, 2008).

a) Les colorants acides ou anioniques :

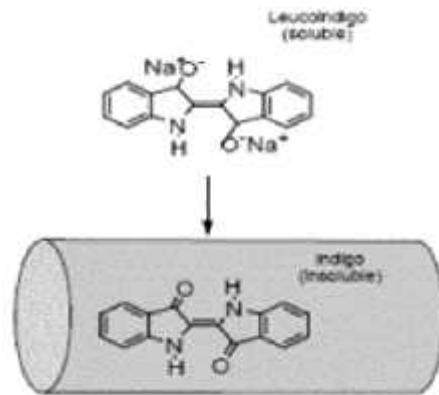
Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonates ou carboxylates et sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) ainsi que quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) dans un bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amines des fibres textiles.

b) Les colorants basiques ou cationiques :

Ils sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se forment entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En passe de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent d'obtenir des nuances très vives et très résistantes.

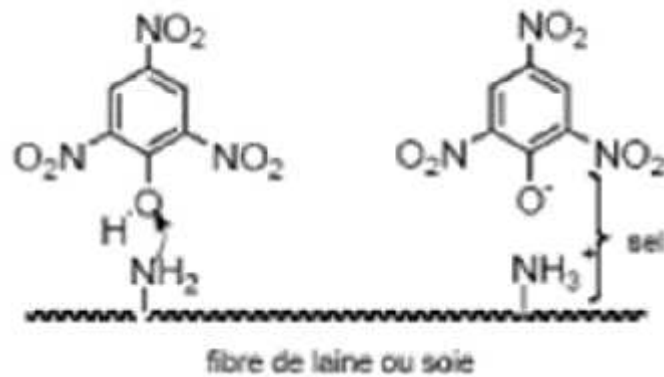
c) Les colorants de cuve :

Ils sont insolubles et doivent être transformés en leucodérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation, in situ, du colorant sous sa forme insoluble initiale. De plus, réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, ils sont encore utilisés, comme l'indigo, pour la teinture des articles en jean ou denim.



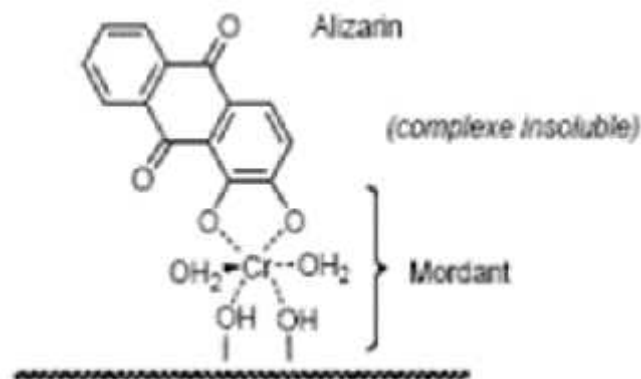
d) Les colorants directs :

Ils sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule.



e) Les colorants à mordants :

Ils contiennent généralement 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.

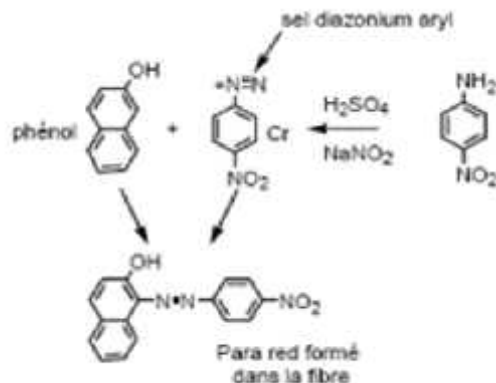


f) Les colorants réactifs :

Ces colorants contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent de plus en plus réquement dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides.

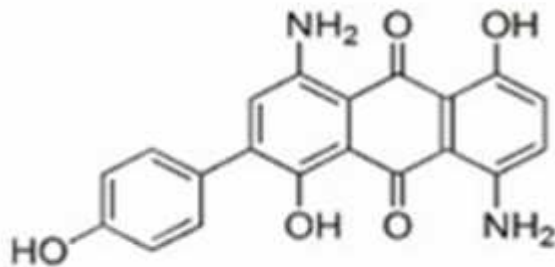
g) Les colorants développés ou azoïques insolubles :

Ces colorants sont formés directement sur la fibre. Au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphtol ou copulant. Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres, sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui par réaction de copulation, entraîne le développement immédiat du colorant azoïque.



h) Les colorants dispersés :

Ces colorants sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer.



III. Les colorants et leurs impacts environnementaux

III.1. Les dangers évidents :

III.1.1. Eutrophisation :

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes

III.1.2. Sous-oxygénation :

Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. Manahan (**M.M. Higuarashi et al., 2008**) estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau.

III.1.3. Couleur, turbidité, odeur :

L'accumulation de matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, la prolifération bactérienne, des odeurs pestilentielles et des colorations anormales. **Willmott et K. Macounova (2008)** ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de $5 \cdot 10^{-1}$ g/L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

III.2. Les dangers à long terme :

III.2.1. La persistance :

Les colorants organiques synthétiques sont des composés impossibles à épurer par des dégradations biologiques naturelles (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2008). Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique. Les composés insaturés sont moins persistants que les composés saturés. Les alcanes sont moins persistants que les composés aromatiques. La persistance des composés aromatiques augmente avec le nombre de substituants. Les substituants halogènes augmentent davantage la persistance des colorants que les groupements alkyles.

III.2.2. Bio-accumulation :

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, alors cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant aller jusqu'à cent mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau.

III.2.3. Santé humaine :

En teinture, les niveaux d'exposition aux dangers varient selon les postes de travail. C'est au niveau de la "cuisine" des couleurs que le maximum de précautions doit être pris. Le peseur de colorants est

le plus exposé (**G. Dupont, 2006**). Bien que la plupart des colorants ne soient ni corrosifs ni irritants pour la peau, ils peuvent causer des réactions allergiques et même être responsables de cancers.

a) Réactions allergiques :

Les allergies peuvent être de type dermique et/ou respiratoire (**N. Rosenberg, 2011**). En effet, plusieurs cas d'allergies respiratoires, de rhinite allergique, d'eczéma, de dermatite allergique de contact, de rhinite avec conjonctivite, d'asthme et d'urticaire, etc., ont été rapportés chez des sujets travaillant dans l'industrie textile, en particulier les manipulateurs de colorants. Ces cas ont été observés lors de cliniques et de quelques enquêtes épidémiologiques transversales menées sur des employés de ce type d'industries (**N. Rosenberg, 2011**).

b) Cancer :

Si la plupart des colorants ne sont pas directement toxiques, une portion significative de leurs métabolites l'est (**C. Galindo, P., et al., 2008**). Leurs effets mutagènes, tératogènes ou cancérigènes apparaissent après la dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation : des amines cancérigènes pour les colorants azoïques (**H. Ahmed, M., et al., 2007**), des leucoderivés pour les colorants triphénylméthanes (**I. Bouzaida, C., et al., 2008**).

III.2.4. Sous-produits de chloration (SPC) :

Le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former des trihalométhanes (THM) (**J.P. Percherancier, R., 2008**) pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Les SPC sont responsables du développement de cancers du foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme (**A.M. Peiro, J., et al., 2001**), (**T. Sauer, G., et al., 2008**).

Chapitre III : Procédés de traitement des effluents textiles

I. Méthodes chimiques :

Les techniques d'oxydation chimique sont généralement appliquées lorsque les procédés biologiques sont inefficaces. Elles peuvent ainsi être utilisées en tant qu'étape de prétraitement pour les procédés biologiques. L'oxydation chimique est souvent appliquée au traitement des eaux usées contenant des polluants non biodégradables et/ou toxiques, ainsi que des concentrations élevées que les autres procédés ne peuvent pas traiter ou transformer en produits biodégradables et/ou non toxiques. Ainsi, l'oxydation chimique se révèle être un procédé efficace de traitement des eaux usées. On distingue plusieurs méthodes d'oxydation chimique :

- Les procédés classiques d'oxydation chimique ;
- Les procédés d'oxydation avancée (cette partie sera traitée en détail dans le paragraphe (IV.2)).

Les procédés classiques d'oxydation chimique sont basés sur l'ajout d'un agent oxydant dans la solution à traiter. Les principaux agents oxydants sont :

- Cl_2 : représente un oxydant moyennement fort et est utilisé pour le traitement des eaux usées ou plutôt pour la désinfection comme l'ozone. En revanche, ils présentent l'inconvénient de produire des sous-produits halogénés cancérigènes pour l'homme ;
- O_2 : il est considéré comme un oxydant modéré, le coût tolérable de ce procédé le rend fréquemment choisi
- H_2O_2 : il est considéré parmi les oxydants les plus appropriés et les plus recommandés pour une grande variété de procédé, utilisé avec ou sans catalyseur. Toutefois, l'utilisation de cet oxydant seul n'est pas efficace pour la plupart des produits organiques ;
- O_3 : c'est un oxydant très fort qui a presque le même avantage que l'oxygène ou le peroxyde d'hydrogène. Le problème majeur lié à l'utilisation de cet oxydant est son instabilité, d'où la nécessité de production sur le site.

Il a été observé que l'oxydation chimique avec l'un de ces oxydants n'est pas toujours efficace pour le traitement des polluants organiques persistants. Dans ce cas, on fait appel aux procédés d'oxydation avancée.

II. Méthodes biologiques :

Les procédés d'épuration par voie biologique reposent sur la biotransformation microbienne des colorants. La majorité des colorants sont très stables et non biodégradables. Néanmoins, de nombreuses recherches ont démontré la biodégradation partielle ou complète des colorants par voie biologique (**Adosinda M., et al., 2003 ; Lopez C., et al., 2004**). Bien que ces techniques soient adaptées à un grand nombre de polluants organiques, elles ne sont pas toujours applicables aux effluents industriels en raison des fortes concentrations de polluants, de leur toxicité qui entraînerait la mort des microorganismes, ou de leur très faible biodégradabilité. De plus, ces techniques génèrent des quantités importantes de boues biologiques à retraiter. Selon Loehr (**Loehr R, 1977**), la biodégradation est favorable pour les eaux usées présentant un rapport DCO/DBO5 > 0,5, mais elle est très limitée lorsque ce rapport dépasse 0,2. Le rapport DBO5/DCO, appelé degré de dégradation biochimique, sert de mesure pour évaluer la biodégradation des polluants dans les eaux usées. Les eaux usées bio récalcitrantes nécessitent en effet d'autres techniques d'épuration. Parmi les choix basés sur l'oxydation des polluants, plusieurs possibilités s'offrent dans ce genre de situation, telles que l'incinération, l'oxydation par voie humide, ainsi que les procédés d'oxydation avancée (POA). En comparaison avec les deux premières méthodes, les POA ont l'avantage de pouvoir fonctionner à température ambiante et en condition de pression normale. De plus, les potentialités offertes par ces procédés peuvent être combinées avec un traitement biologique en procédant, en aval ou en amont de ce dernier, à une dégradation oxydante des substances toxiques réfractaires. Cependant, l'inconvénient majeur des POA est leur coût relativement élevé par rapport à un traitement biologique. Par conséquent, lorsque les produits intermédiaires d'oxydation peuvent être facilement biodégradés, il est recommandé de coupler ces procédés avec des procédés biologiques afin de réduire les coûts de traitement.

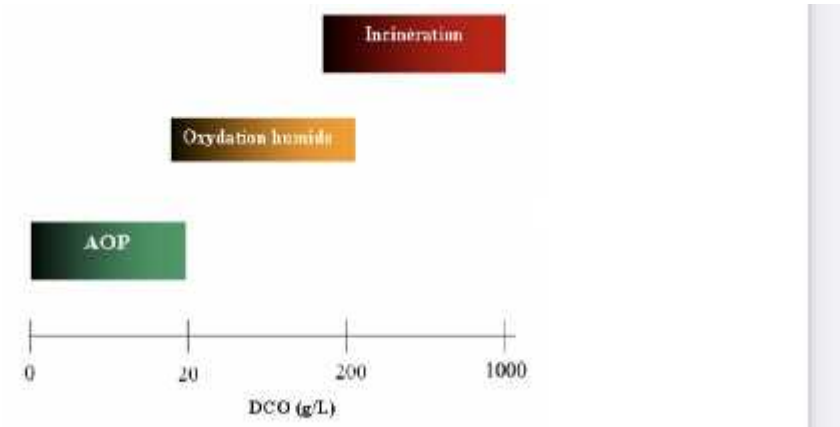


Figure 02 : Aptitude de diverses technologies de traitement des eaux usées selon leur teneur en DCO (Andreozzi R., et al, 1999)

Cependant, bien que les POA soient moins coûteux, l'incinération et l'oxydation par voie humide sont inévitables lorsque la charge polluante devient trop élevée. En effet, les effluents ayant une demande chimique en oxygène (DCO) importante nécessitent une quantité considérable de réactifs et par conséquent, comme le montre la Figure 02, seul des rejets avec des valeurs de DCO inférieures à 10 g L⁻¹ peuvent être traités par les POA.

III. Bio-remédiation :

Le processus de biodégradation/biorémédiation se produit naturellement grâce à une grande variété de micro-organismes adaptés, tels que les bactéries, les champignons, les algues et les levures présents dans les eaux usées et/ou les zones polluées (Khandegar, V. et al., 2014 ; Jorfi, S. et al., 2016). Ce processus peut également être induit en laboratoire à petite échelle en isolant et en criblant les micro-organismes appropriés, puis en les développant à plus grande échelle pour permettre le traitement et la décoloration des effluents textiles (Celia, M. et al., 2016 ; Bhole, B. et al., 2004 ; Durmus, Z. et al., 2019). Les micro-organismes responsables de la biodégradation utilisent plusieurs

techniques, telles que l'adsorption, la biosorption, la bioaccumulation, l'atténuation, l'élimination ou la minéralisation des substances nocives présentes dans les eaux usées, transformant ainsi ces molécules en produits non nocifs, voire bénéfiques (**Donkadokula, N. et al., 2020 ; Gupta, V. et al., 2008**). Cette technique a suscité un grand intérêt en raison de son respect de l'environnement, de sa sécurité, de sa propreté (pas de boues) et de son coût relativement bas, car elle peut être combinée avec d'autres technologies (**Zhao, Y. et al., 2020 ; El Haddad, M., 2016**). Les bactéries (**Wang, L. et al., 2021**) et les champignons (**Singh, L., 2015**) sont les principaux contributeurs à la dégradation des eaux usées en raison de leur capacité à produire des enzymes dégradantes (oxydoréductases, hydrolases, oxygénases, ligninases, peroxydases et laccases) responsables de la dégradation des molécules récalcitrantes (**Senthilkumar, S. et al., 2014 ; Garg, A. et al., 2015**). Cependant, la biorémédiation naturelle est un processus qui prend du temps, et la biodégradation induite n'est pas facilement reproduite. De plus, des concentrations élevées de composés toxiques peuvent empêcher la croissance des micro-organismes existants ou introduits (**Jamee, R. et al., 2019 ; Zapata-Castillo, P. et al., 2015**).

Tableau 02 : Bactéries utilisées pour le traitement des eaux usées de distillerie

Bactéries	Élimination de la DCO (%)	Suppression des couleurs (%)	Les références
<i>Lactobacillus hilgardii</i>		40	Ohmomo et al., 1988
<i>Gram-positive named I to VI</i>		80	Kumar and Viswanathan, 1991
<i>Lactobacillus L-A1</i>	41	37	Kumar et al., 1997a
<i>Lactobacillus D-2</i>	39	33	
<i>Lactobacillus D-2</i>	57	31	Kumar et al., 1997b
<i>Bacillus sp.</i>		36	Nakajima-Kambe et al., 1999
<i>Aeromonas formicans</i>	57	55	Jain et al., 2000
<i>Pseudomonas fluorescence</i>		76	Dahiya et al., 2001a
TA2		67	Asthana et al., 2001
TA4		64	
Mixed (TA2+TA4)		75	

Synthèse bibliographique

<i>Oscillatoria boryana</i>		60	Kalavathi et al., 2001
<i>Oscillatoria sp.</i>		96	Patel et al., 2001
<i>Lyngbya sp.</i>		81	
<i>Synechocystis sp.</i>		26	
<i>Pseudomonas putida</i>	44	60	Ghosh et al., 2002
<i>Aeromonas strain</i>	44		
<i>Bacillus cereus</i>	81	75	Jain et al., 2002
Acetogenic bacteria			Cibis et al., 2002
Acetogenic bacteria strain No. BP103	77	76	Sirianuntapiboon et al., 2004b
<i>Pseudomonas, Enterobacter, Stenotrophomonas, Aeromonas, Acinetobacter, Klebsiella</i>	44		Ghosh et al., 2004
<i>Bacillus thuringiensis, Bacillus brevis, Bacillus sp. (MTCC6506)</i>	36-64	29-51	Kumar and Chandra, 2006
<i>Microbacterium hydrocarbonoxydans Achromobacter xylosoxidans Bacillus (subtilis, megaterium, anthracis, licheniformis, cereus, thuringiensis) Achromobacter sp., Staphylococcus Epidermidis, Pseudomonas migulae Alcaligenes faecalis</i>	86	76	Chaturvedi et al., 2006
<i>Pseudomonas aeruginosa Stenotrophomonas maltophila Proteus mirabilis</i>	67	51	Mohana et al., 2007
<i>Bacillus species</i>	90		Krzywonos et al., 2008
<i>Alcaligenes faecalis</i>	67		Chandra et al., 2009
<i>Bacillus cereus</i>	63		
<i>Mixed</i>	74		

IV. Procédés d'oxydation avancée :

IV.1. Introduction :

Les Procédés d'Oxydation Avancés (POA) sont des méthodes de traitement des eaux qui opèrent à des pressions et des températures ambiantes, générant des radicaux fortement réactifs,

notamment des radicaux hydroxyles, en quantité suffisante pour purifier l'eau. Ils constituent désormais une alternative aux méthodes conventionnelles devenues inefficaces pour éliminer les polluants organiques persistants (Belhadj, 2011). Ces procédés sont caractérisés par leur capacité à produire in situ un oxydant très puissant : le radical hydroxyle $\bullet\text{OH}$ (Oturan *et al.*, 2004), capable d'oxyder un large éventail de sels, d'acides minéraux et de composés organiques (Kamal *et al.*, 2022). Leur objectif principal est la minéralisation des contaminants organiques en anhydride carbonique (CO_2), en eau (H_2O) et en éléments inorganiques (Saidi, 2013).

Les POA jouent un rôle crucial en raison de leur potentiel d'oxydation élevé et de leur faible sélectivité envers les composés organiques. Ces méthodes d'oxydation sont particulièrement adaptées aux effluents stabilisés car elles permettent d'oxyder les substances organiques jusqu'à leur niveau d'oxydation stable le plus élevé (Renou *et al.*, 2008). Ce traitement oxydant se distingue des autres méthodes, car il vise la dégradation des composés cibles plutôt que leur concentration ou leur transfert dans une phase différente (Kernani, 2010). Une autre caractéristique des POA réside dans leurs possibilités d'application : seuls les effluents présentant des valeurs de Demande Chimique en Oxygène (DCO) inférieures à 5 g/l peuvent être traités efficacement avec ces technologies, car des valeurs de DCO élevées nécessitent une consommation importante de réactifs. Ainsi, les eaux usées à forte charge polluante peuvent être traitées de manière plus efficace par oxydation humide ou incinération (figure 03) (Chergui Bouafia & Alloune, 2007).

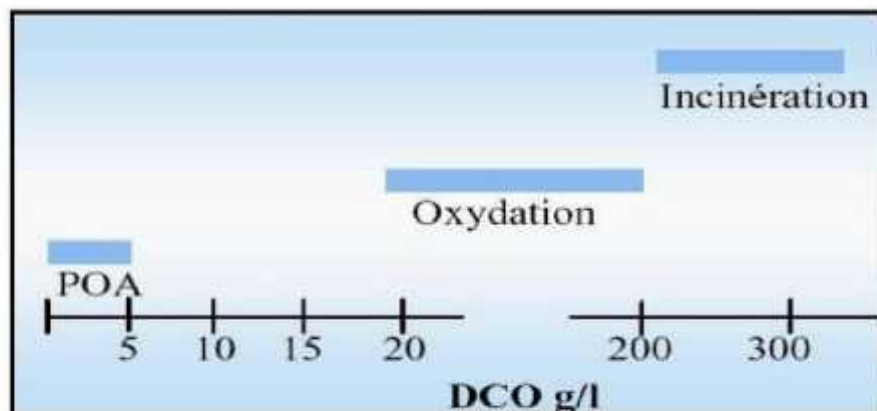


Figure 03 : Désignation des technologies de traitement des eaux usées selon leurs teneurs en DCO (Chergui Bouafia & Alloune, 2007)

IV.2. Définitions :

Les Procédés d'Oxydation Avancés (POA) ont été définis en 1987 par Glaze (**A. Rathi, et al., 2003**) et (**D. Bahnemann, 2004**) comme des méthodes de traitement des eaux et des colorants à des températures et pressions ambiantes. Ils permettent d'éliminer les composés organiques thermodynamiquement instables (**S. Bouafia, 2010**). Ces procédés sont efficaces pour atteindre un haut degré d'oxydation en faisant appel à des intermédiaires radicalaires, notamment les radicaux hydroxyles ($\text{HO}\cdot$) (**J. I. Ajona, et al., 2000**).

Le développement des POA pour le traitement des eaux contaminées et des colorants par des matières organiques vise à tirer avantage de la non-sélectivité et de la rapidité des réactions des $\text{HO}\cdot$. Le principe commun de ces procédés est de générer directement dans le milieu (in situ) des entités appelées radicaux libres, qui sont des intermédiaires radicalaires très réactifs (**A. Rathi, et al., 2003**).

- Le radical hydroxyle $\text{HO}\cdot$: le plus réactif
- Le radical super oxyde $\text{O}_2\cdot$: assez réactif
- L'ion ozonide $\text{O}_3\cdot$: peu réactif
- Le radical hydro peroxyde $\text{H}_2\text{O}\cdot$: inerte
- Le radical $\text{HO}_3\cdot$: inerte

Les radicaux libres sont capables de réagir rapidement et de manière non sélective sur la plupart des composés organiques, réputés difficilement oxydables par voie biologique ou par des traitements chimiques conventionnels.

Le pouvoir d'oxydation approprié à plusieurs oxydants chimiques est présenté sur le tableau (03) les valeurs montrent que les radicaux hydroxyles sont l'espèce chimique possédant le pouvoir d'oxydation le plus important parmi tous les oxydants à base d'oxygène, le radical hydroxyle est d'ailleurs l'espèce chimique la plus oxydante.

Tableau 03 : Potentiels d'oxydation de quelques oxydants utilisés en milieu aqueux (**Zaviska et al., 2009**).

Oxydant	Potentiel d'oxydation (V/ESH)
$\cdot\text{OH}$	2,80
O_3	2,07
H_2O_2	1,77
HO_2	1,70
MnO_4^-	1,67
ClO_2	1,50
HClO	1,49
Cl_2	1,36
O_2	1,23

V-I. Les radicaux hydroxyles

Les radicaux hydroxyles ont été choisis en raison de leur efficacité et de leurs caractéristiques uniques dans le traitement des effluents industriels et la dégradation des colorants. Ces radicaux répondent à un ensemble de critères d'exigence spécifiques.

V.1.Définitions :

Parmi l'ensemble des oxydants les plus puissants applicables à la dépollution des effluents industriels et à la dégradation des colorants, les radicaux hydroxyles sont sélectionnés en raison des raisons suivantes :

- Efficacité pour éliminer les composés organiques résistants et les composés inorganiques (J.M. Chacon, et *al.*, 2006).
- Capacité à minéraliser complètement les contaminants organiques en CO_2 , H_2O et sels (T. Krutzler, et *al.*, 2002).
- Production de sous-produits peu dangereux et absence d'induction de pollution secondaire (S. Esplugas, et *al.*, 2002).

-

- Vitesse réactionnelle très rapide et non sélectivité vis-à-vis des polluants (S. Chen, et al., 2007).

V.2. Réactivité des radicaux (OH•) :

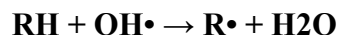
Le radical (OH•) est une espèce fortement réactive avec le plus grand pouvoir oxydant. Pour cette raison l'oxydation par (OH•) a été au centre des préoccupations de la plupart des concepteurs de technologies d'oxydation avancées. Les (OH•) sont considérés comme les radicaux libres les plus importants en chimie et biologie grâce à leurs multiples implications et applications (**Henze et al ; 2002**). Ils réagissent quasiment sur le lieu de leur production car ils ont une forte réactivité sur les composés organiques (**Land et Ebert ; 1967**).

V.3. Mécanismes réactionnels et mode d'action des radicaux hydroxyles

Les POA sont essentiellement fondés sur la chimie des radicaux hydroxyles. Le radical hydroxyle (OH•) est le plus important réactif intermédiaire responsable de l'oxydation des composés organiques. Ces radicaux peuvent dégrader des composés organiques principalement grâce à 3 mécanismes différents (**Buxton et al ; 1988**)

a) Par arrachement d'un atome d'hydrogène (déshydrogenation) :

Ce type de mécanisme est réalisé sur les chaînes hydrocarbonées saturées au niveau desquelles se créent des sites radicalaires attaqués par l'oxygène. Ce processus mène à la rupture homolytique d'une liaison C-H.

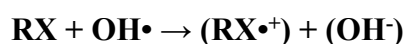


b) Par addition d'électrophile sur une liaison non saturée(hydroxylation) : Cette addition donne naissance à des radicaux hydroxyalkyles ou hydroxyaryles par attaque sur une chaîne linéaire éthylénique ou cyclohexadiényle lorsqu'il s'agit d'un noyau aromatique



c) Par transfert d'électrons (oxydoréduction) :

C'est un mécanisme qui vient après l'impossibilité des réactions par addition électrophile ou abstraction d'atomes d'hydrogène, Ce phénomène d'oxydation conduit à l'ionisation de la molécule. Ce mode d'action ne s'observe pas souvent avec les composés organiques. Il a lieu essentiellement par réaction avec les ions. **(Brillas et al ; 2009).**



V.4. Principaux procédés d'oxydation avancés (POAs)

Les POA offrent différentes possibilités pour la formation des radicaux hydroxyles où l'activation peut être de nature catalytique, électrochimique et/ou photochimique. Le Tableau (4), présentes une classification facile des POA.

Tableau 04 : Différents procédés d'oxydation avancés

Procédés photochimiques	Procédés non photochimiques
UV/ H ₂ O ₂	Peroxonation (O ₃ /H ₂ O ₂)
UV/NaClO	Fenton (Fe ²⁺ / H ₂ O ₂)
UV/ H ₂ O ₂ /O ₃	Sonochimie
Photo-Fenton	Radiolyse
Photo catalyse hétérogène	Electro-Fenton
Sonophotocatalyse	Oxydation électrochimique
Photolyse de l'eau (UV/H ₂ O)	

V.5. La photo-oxydation par le système UV/NaClO

C'est un processus prometteur pour la désinfection de l'eau et la dégradation des polluants organiques.

- **Chloration et ses limites :**

La chloration est couramment utilisée pour la désinfection dans les stations d'épuration des eaux (STEP) en raison de son coût abordable et de sa capacité à inactiver les micro-organismes pathogènes. Cependant, les protozoaires tels que *Cryptosporidium parvum* et *Giardia lamblia* résistent à la chloration. De plus, la réaction entre les acides humiques (HA), principaux contaminants organiques des eaux de surface, et le chlore génère des sous-produits de désinfection par chloration (CDBP) potentiellement cancérigènes.

- **Irradiation UV et oxydation avancée :**

L'irradiation UV est efficace contre les protozoaires résistants au chlore.

Le couplage des UV avec un oxydant tel que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) permet de dégrader les micropolluants organiques. Cependant, la présence de résidus de peroxyde d'hydrogène peut nécessiter une étape d'élimination distincte.

- **Photo-oxydation UV/NaClO :**

L'utilisation de l'agent de chloration NaClO (hypochlorite de sodium) en combinaison avec l'irradiation UV produit des radicaux hydroxyles ($\cdot OH$).

Ces radicaux hydroxyles transforment la désinfection et la photolyse en un processus d'oxydation avancée (AOP). Des recherches ont été menées sur l'homogénéisation de la photo-oxydation UV/NaClO dans le traitement des eaux usées et l'eau potable.

- **Réactions impliquées :**

Le chlore libre existe sous forme d'acide hypochloreux (HOCl) et d'hypochlorite (OCl^-). Seule la forme neutre (HOCl) est responsable de la désinfection. L'irradiation UV du NaClO produit des radicaux hydroxyles ($\cdot OH$) et des radicaux chlore ($Cl\cdot$). Le couplage des UV avec la chloration permet d'associer la désinfection à l'oxydation avancée.

- **Applications et avantages :**

- L'irradiation UV est efficace contre les protozoaires résistants au chlore.

- L'AOP est capable de dégrader de nombreux polluants organiques émergents.
- La dose UV est un paramètre fiable pour la mise à l'échelle du laboratoire à l'échelle réelle.

En somme, la photo-oxydation UV/NaClO offre une solution prometteuse pour améliorer la qualité de l'eau potable et réduire l'impact des contaminants organiques.

VI. Traitement hybride

Le traitement des eaux et des effluents est un domaine complexe qui nécessite des approches variées pour éliminer les polluants et améliorer la qualité de l'eau. Le couplage de différentes opérations unitaires, ainsi que l'utilisation de procédés hybrides, permet d'optimiser les performances et d'obtenir des résultats plus efficaces. Les procédés hybrides peuvent combiner entre deux procédés ou plus.

- **Biodegradation aérobie :**

La biodegradation aérobie repose sur l'action de microorganismes (bactéries, champignons, etc.) pour dégrader les composés organiques (substrats). Ces réactions d'oxydation se produisent dans un milieu aqueux, en présence de consortiums microbiens. Les substrats peuvent être plus ou moins facilement biodégradables, et certains sont qualifiés de récalcitrants. Parmi les résultats possibles de la biodegradation :

- Transformation en biomasse et en énergie.
- Oxydation complète ou minéralisation.
- Dégradation partielle avec formation de composés stables par biotransformation ou polymérisation.

- **Photo-oxydation UV/NaClO :**

Ce procédé hybride combine l'irradiation UV avec l'agent de chloration NaClO (hypochlorite de sodium). L'irradiation UV génère des radicaux hydroxyles ($\bullet\text{OH}$) et des radicaux chlore ($\text{Cl}\bullet$).

Les radicaux hydroxyles activent la désinfection et la photolyse, transformant le processus en une oxydation avancée (AOP).

V.I.1. Avantages des procédés hybrides :

- Maximisation de l'efficacité en combinant différentes approches.
- Réduction des coûts et des impacts environnementaux.
- Adaptabilité aux caractéristiques spécifiques des eaux à traiter.

En somme, les procédés hybrides offrent une solution complète pour le traitement des eaux, en exploitant la synergie entre différentes étapes.

VIII. Conclusion

La synthèse bibliographique révèle que les eaux usées, provenant de diverses sources, posent un problème majeur pour l'environnement et la santé humaine. Leur caractère non biodégradable et toxique est principalement attribué à la présence de substances synthétiques telles que les colorants, largement utilisés dans de nombreux secteurs industriels et rejetés dans l'environnement sans traitement préalable. Ces colorants sont difficiles à éliminer par les procédés d'épuration classiques.

Pour résoudre ce problème, les procédés d'oxydation avancée (POA) offrent une alternative aux techniques de purification traditionnelles qui conduisent à une dégradation partielle des polluants organiques de poids moléculaire élevé. Les POAs produisent des sous-produits facilement biodégradables par un traitement utilisant les microorganismes (traitement hybride ou couplage de traitement). Dans les meilleures conditions, ces procédés permettent une minéralisation complète des polluants.

Matériel et méthodes

1. Site de prélèvement

La wilaya de Batna, capitale des Aurès, est située au nord-est de l'Algérie (figure 01). Elle se trouve à environ 425 km au sud de la capitale, Alger, et à 113 km au sud-ouest de Constantine. Sa superficie est de 12 038,76 km². Cette région est caractérisée par un climat semi-aride. En hiver, les températures descendent en dessous de 0°C. En été, la température peut atteindre 45 °C (Sefouhi et al., 2010b).



Figure 01 : Localisation géographique de la wilaya de Batna (Louiza & Zeroual, 2020)

2. Présentation de l'industrie textile EATIT en Algérie-Batna

La Wilaya de Batna se distingue par plusieurs industries, dont l'industrie textile, où la première entreprise a été créée en 1979 (la Société Industrielle et Technique Textile (EATIT), située dans la zone industrielle de Kashida. Elle représente le plus grand complexe industriel de Batna et fabrique tous les vêtements militaires au niveau national.

À ce propos, l'industrie du textile est l'une des industries consommatrices d'énormes quantités d'eau et engendre en parallèle une grande pollution via les effluents industriels, qui présentent un caractère toxique et provoquent une dégradation de l'écosystème.



Figure 02 : Zone de l'industrie textile Eatait (Algérie-Batna)

3. Matériel et méthodes

3.1. Prélèvement de l'échantillon

Dans cette étude, L'effluent industriel proviennent du l'industrie textile de Wilaya de Batna, le prélèvement a été effectué sur terrain (in situ), selon la procédure suivante :

- L'effluent industriel qui s'écoule à travers de la conduite de l'eau usée a été recueilli dans des bouteilles en plastique (**figure 03**) d'une capacité de 05 litres (préalablement rincées avec de l'eau Distillée).
- Pour Les échantillons consacrés à l'analyse microbiologique (**figure 04**) ils ont été prélevés dans des tubes stériles d'un volume de 50 ml.

Le tout sera transporté au laboratoire dans une glacière de 4°C afin de préserver la qualité du l'effluent industriel en particulier sa qualité bactériologie.



Figure 03 : Effluent industriel prélevé



Figure 04 : Prélèvements d'effluent Industriel pour l'analyse microbiologique

3.2 Appareillage

Tableau 01 : Le matériels et l'appareillage utilise dans l'analyse des différents paramètres.

Paramètres	Matériels et appareillage	Références
Température T(°C)	✓ Thermomètre	(Bollags JIM 1973 ; Rodier et al, 2005).
pH	✓ pH mètre (Seven Excellence)	(Rodier et al., 2009)

Matériels et méthodes

Conductivité	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conductimètre (consort C6030) 	(Rodier et al., 2009)
Salinité	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conductimètre 	(Rodier et al., 2009)
Total des Solide Dissous (TDS)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conductimètre (consort C603) 	(Rodier et al., 2009)
Ortho phosphates (RODIER)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Spectrophotomètre De 700 à 800 nm ✓ Cuve en quartz ✓ Fiole jaugée ✓ Micropipette (1ml) 	(RODIER, 2009 ; ISO 15681-1 : 2013)
Matière en suspension (MES)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ la rampe a filtre ✓ Erlenmeyer ✓ Membrane cellulose (0,45um) ✓ La pompe 	(BOURRIER.R, 2008)
Azote kjeldahl	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minéralisateur Kjeldahl ✓ Distillateur Kjeldahl (Büchi K-355) ✓ Balance de précision ✓ Agitateur magnétique Barrou magnétique ✓ Support de titration ✓ Erlenmeyers ✓ Eprouvette graduée ✓ Burette graduée ✓ Béchers ✓ Les matras Kjeldahl 	(Rodier et al., 2009 ; ISO 5663-1984 (F))
Nitrite	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Spectrophotomètre a 435 Nm ✓ Agitateur magnétique (STUART) ✓ Barrou magnétique ✓ Micropipette ✓ Bain marie ✓ Cuve en quartz ✓ Fiole jaugée 	(Rodier et al., 2009 ;ISO 6777-4984 (F))
Nitrate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Etuve ✓ Capsule de 60 ml ✓ Spectrophotomètre à 415 m ✓ Cuve en quartz ✓ Fiole jaugée ✓ Bain marie ✓ Micropipette (1ml) 	(Rodier et al., 2009 ;ISO 7890-3 1988)
Demande biologique d'oxygène (DBO₅)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Enceinte thermostat (WTW: Oxi Top Box) ✓ Flacons d'incubation ✓ Oxy-mètre ✓ Agitateur magnétique (STUART) ✓ Barrou magnétique ✓ Pastilles de KOH 	(Rodier et al., 2009)

Demande chimique d'oxygéné (DCO)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tubes DCO ✓ Bloc chauffant (WTW : CR 2200) ✓ Micropipette (1ml) ✓ Balance de précision ✓ Spectrophotomètre : HELIOS ZETA (UV-VIS) ✓ Cuves en quartz 	(Rodier et al., 2009)
Carbone organique total (TOC)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Analyseur de TOC (TELEDYNE TEKMAR) ✓ Verreries TOC ✓ Bécher ✓ Filtre seringue (0.22µm) ✓ Micropipette (10ml) 	(Rodier et al., 2009)

3.3 Étude de l'effluent de l'industrie textile

3.3.1. Détermination de la température (Bollags JIM 1973 ; Rodier et al, 2005) :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C.

3.3.2. Détermination de potentiel hydrogéné (pH) (Rodier et al., 2009) :

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogéné présent dans l'effluent industriel ou dans les solutions. Les deux paramètres ont été mesuré à l'aide d'un paramètre pH mètre.

But d'analyse

- Détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'effluent industriel.

La mesure est effectuée à l'aide du pH-mètre.



Figure 05 : pH mètre (Seven Excellence)

3.3.3. Détermination de la conductivité électrique et de la salinité (Rodier et *al*, 2009) :

La conductivité est la propriété de l'eau qui facilite le passage du courant électrique grâce à la présence d'ions dans le milieu pouvant se déplacer dans un champ électrique, et elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leur concentration. La température et la viscosité affectent également la conductivité car la mobilité des ions augmente avec la température et diminue avec la viscosité. La valeur de conductivité est un paramètre cumulatif de la concentration en ions de la solution à mesurer. Plus une solution contient de sels, d'acides ou de bases, plus sa conductivité est élevée. La conductivité du l'effluent industriel est généralement exprimée en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



Figure 06 : Conductimètre (consort C603)

3.3.4. Détermination de la matière en suspension (MES) (BOURRIER.R, 2008) :

Représentent la fraction non solubilisée ou non colloïdale, donc retenue par un filtre. Les MES sont composées des parties minérales et organiques. Elles constituent un paramètre important qui indiquent le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Elles permettent ainsi une mesure directe de la turbidité et une bonne corrélation avec les autres paramètres. L'analyse au laboratoire s'effectue selon la méthode par filtration ou par centrifugation. Les MES s'expriment en milligramme par litre d'effluent (mg/l) ou en gramme par habitant et par jour (g /hab. /j).



Figure 07 : Photo rampe de filtration sous vide

3.3.5. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅) (Rodier *et al*, 2009) :

L'échantillon est dilué dans de l'eau distillée et est introduit dans une enceinte thermostat (figure 08) est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq jours. La présence de micro-organismes consomme l'oxygène dissous, qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air contenu dans la bouteille, ce qui entraîne une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par OXI TOP.

Elle se résume à la réaction suivante :

Substrat + Microorganisme + O₂ + CO₂ + H₂O + Energie + Biomasse

La lecture de la valeur se fait après 5 jours en utilisant la formule suivante :

DBO₅ (mg/l) = Lecteur × Facteur



Figure 08 : Photo de l'enceinte thermique (WTW OxiTo)

3.3.6. Détermination de l'azote Kjeldahl (ISO 5663-1984 (F))

Minéralisation de l'échantillon pour former du sulfate d'ammonium, libération et distillation de l'ammoniac puis dosage par titrimétrie (figure 09).

Transformation des composés de l'azote dosables par la méthode en sulfate d'ammonium par minéralisation de l'échantillon Techniques expérimentales avec de l'acide sulfurique contenant une concentration élevée de sulfate de potassium destiné à élever le point d'ébullition du mélange, et en présence de sélénium comme catalyseur. Libération de l'ammoniac du sulfate d'ammonium par ajout d'une base, puis distillation dans une solution d'acide borique et indicateur.

Dosage de l'ion ammonium du distillat par titrimétrie avec de l'acide titré.

Réactifs :

- ✓ Acide sulfurique (H_2SO_4).
- ✓ Catalyseur en pastille.
- ✓ Acide borique 4% (H_3BO_4).
- ✓ Hydroxyde de sodium (NaOH) à 40 %.
- ✓ Indicateur coloré (Toshiro).
 - Vert de bromocrésol ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$).
 - Ethanol : Red méthyle ($C_{15}H_{15}N_3O_2$)

Méthode de calcul :

$$\left[\frac{(V_1 - V_2) * C * 14.01 * 1000}{V_0} \right]$$

V_0 : Le volume de la prise d'essai (ml).

V_2 : Le volume de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage (ml).

V_1 : Le volume de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage du blanc (ml).

C : La concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisée pour le titrage.



Figure 09 : Minéralisateur (**Büchi K-355**), distillateur Kjeldahl (**FOSS**) et Le dosage

3.3.7 Détermination des nitrates (ISO 7890-3 1988)

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium ($C_7H_5NaO_3$) à 5%.
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré $d = 1.84$.

- Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium :
 - Hydroxyde de sodium (NaOH).
 - Tartrate double de sodium et de potassium (C₄H₄KNaO₆).
 - Eau distillé.
- Solution mère étalon d'azote nitrique à 0.1 (g/l) :
 - Nitrate de potassium anhydre (KNO₃).
 - Chloroforme (CHCl) : pour la conservation.
 - Eau distillé
- Solution fille étalon d'azote nitrique à 0.005(g/l).

Établissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de capsule de 50 ml on introduit successivement :

Tableau 02 : les valeurs de dosage de la courbe d'étalonnage nitrates

Numéros de capsule	Témoin	1	2	3	4
Solution fille (ml)	0	1	2	5	10
Eau distillé (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1
NaOH	QLQG	QLQG	QLQG	QLQG	QLQG

- ✓ Evaporer à sec au bain marie ou dans une étuve portée à 75-80°C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps).
- ✓ Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement.
- ✓ Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau bidistillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et se tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- ✓ Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 420 nm. Soustraire des densités optiques lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin.
- ✓ Construire la courbe d'étalonnage. (**Annexes 01**)

Mode opératoire ;

- ✓ Introduire 10 ml d'effluent industriel dans un cristalliseur de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg, opérer une dilution).
- ✓ Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium.
- ✓ Ajouter 1 ml de solution de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme la courbe d'étalonnage.
- ✓ Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin.

3.3.8 Détermination des nitrites (ISO 6777-4984 (F))

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol forme avec les ions de NO un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites

Réactifs :

- Ammoniaque pure (NH₄OH) d = 0.925
- Réactif de Zambelli :
 - Acide chlorhydrique pur (HCl) d = 1.19.
 - Acide sulfanilique (NH₂C₆H₄SO₃H).
 - Phénol cristallisé (C₆H₆O).
 - Chlorure d'ammonium (NH₄Cl).

Établissement de la courbe d'étalonnage :

- Préparation de l'échantillon : dilution de l'échantillon 1/20
- Solution mère :
 - Nitrite de sodium 0.23 g
 - Eau distillée 10ml
- Solution fille :
 - Amener 1 ml de la solution mère à 100ml avec de l'eau distillée.

Procédure

- ✓ Dans des fioles de 50 ml, introduire une solution étalon de nitrite à 2 mg d'azote des nitrites /litre, selon le tableau (03)
- ✓ Introduire dans chaque fiole 25 ml de la prise d'essai.

Tableau 03 : les valeurs de dosage de la courbe d'étalonnage nitrites

Numéro de fiole	Témoin	1	2	3	4
Solution fille (ml)	0	1	5	10	15
Eau distillé (ml)	50	49	45	40	35
Zambelli (ml)	2	2	2	2	2
ammoniaque pur (ml)	2	2	2	2	2

Mode opératoire :

- ✓ Ajouter 2 ml de réactif de Zambelli.
- ✓ Agiter et laisser au repos 10 minutes.
- ✓ Ajouter ensuite 2 ml d'ammoniaque pur.
- ✓ Effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 435 nm et tenir compte de la valeur pour le témoin.
- ✓ Construire la courbe d'étalonnage. (**Annexes 02**)

3.3.9 Détermination d'ortho phosphates (*RODIER, 2009 ; ISO 15681-1 : 2013*)

Les phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium. L'acide molybdophosphorique qui en résulte est ensuite réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène. Cette réaction est catalysée par le tartrate d'oxyde d'antimoine potassique. L'absorbance du colorant bleu formé est mesurée de 700 à 880 nm

Réactifs :

- Solution : acide ascorbique
- Solution d'acide sulfurique (d=1.84)
- Solution tartrate double d'antimoine et de potassium.
- Solution molybdate ammonium
- Réactif combiné (catalyseur) :

- 50ml de la solution d'acide sulfurique ($d=1.84$) (15%)
- 5ml de la solution tartrate double d'antimoine et de potassium ;
- 15 ml de molybdate ammonium
- Compléter à 100 ml Eau d'ionisée. (Conserver le réactif au réfrigérateur à 4°C)

Solution mère : 50mg/l phosphore.

- ✓ 219,7mg dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100°C ;
6,21979 100ml.
- ✓ 100 ml eau d'ionisée.

Solution fille étalon : à 1 mg/l de phosphore :

- ✓ Diluer au 1/50 (49 SM + 1ml H₂O D) la solution précédente avec de l'eau d'ionisée au moment de l'emploi

Établissement de la courbe d'étalonnage :

- ✓ Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :
- ✓ Préparation de la courbe d'étalonnage du phosphore

Tableau 04 : les valeurs de dosage de la courbe d'étalonnage orthophosphates

Numéro de fiole	Témoin	1	2	3	4	5
Solution éthanol de phosphore (ml)	0	1	5	10	15	20
H ₂ O D (ml)	20	19	15	10	5	0
A.Ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif combiné (ml)	4	4	4	4	4	4

Mode opératoire :

- ✓ Introduire dans chaque fiole 1ml de solution d'acide ascorbique.
- ✓ Agiter puis ajouter 4ml de réactif.
- ✓ Mélanger soigneusement, et compléter éventuellement le volume à 25ml.
- ✓ Attendre 30minutes la stabilisation de la coloration
- ✓ Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm.
- ✓ Construire la courbe d'étalonnage. (**Annexes 03**)

3.3.10. Détermination du Carbone Organique Total (TOC) :

Le carbone organique total est l'un des paramètres les plus importants pour évaluer la charge organique de l'eau. L'analyseur TOC TELEDYNE TEKMAR (**figure 16**) fonctionne selon le principe de base de l'oxydation du carbone organique et de l'analyse quantitative du dioxyde de carbone (CO₂) formé dans un photomètre NDIR. Le processus d'oxydation peut se dérouler soit thermiquement (dans un réacteur à haute température), soit par voie chimique humide (à l'aide de rayons UV, un agent oxydant chimique comme le persulfate).

Objectif : Un paramètre important pour définir la qualité d'une eau, ou son degré de pollution.

Réactifs :

- Eau ultra pure
- Acide phosphorique (H₃PO₄) 85 %.
- Les cristaux d'hydrogénophthalate de potassium (KHP)

Préparation de l'échantillon :

Chaque échantillon a été dilué 10 fois et filtré dans un filtre seringue de 0.22µm et transféré dans des flacons d'échantillonnage ombré.



Figure 10 : Analyseur TOC (TELEDYNE TEKMAR).

3.3.11. Détermination de la demande chimique en oxygène DCO (AFNOR T90-101)

La DCO est l'une des principales méthodes qui sert à déterminer la pollution organique globale des eaux résiduaires ou naturelles. Cette technique est basée sur :

- ✓ L'oxydation des matières organiques de l'échantillon, à chaud et en milieu sulfochromique concentré.
- ✓ Le dosage du chrome hexavalent résiduel.

L'intérêt de la DCO réside dans la facilité de mise en œuvre de la méthode, dans sa normalisation et surtout dans l'échec relatif des méthodes instrumentales de substitution comme la demande totale en oxygène et le carbone organique total.

Réactifs :

- Solution acide : sulfate d'argent cristallise (Ag_2SO_4) + Acide sulfurique (H_2SO_4)
- Sulfate de mercure (HgSO_4)
- Dichromate de potassium (K_2CrO_7)

Mode opératoire :

L'analyse nécessite en premier temps le nettoyage rigoureux des tubes et leurs séchages dans

L'étuve afin d'éliminer toute trace d'humidité. Puis, nous avons introduit les réactifs suivants :

- ✓ 03 ml de la solution acide (0,66 g de sulfate d'argent cristallise dans 100 ml d'acide sulfurique concentré).
- ✓ 0,1 g de sulfate de mercure.
- ✓ 02 ml d'échantillon (dilué 1000 fois) prélevé de chacune des solutions colorées préparées préalablement (ou d'eau ultra pure pour le blanc).
- ✓ 1 ml de dichromate de potassium ($8,33 \times 10^{-3}$ M).

Après fermeture hermétique et homogénéisation des différents échantillons, nous avons placé les tubes dans un bloc chauffant de modèle WTW CR2200 (figure 09) pendant 2 h à 148°C .

L'absorbance de différents échantillons préparés, ci-dessus, ont été déterminés par spectrophotométrie UV-visible à la longueur d'onde de 440 nm (cette longueur d'onde correspond à l'absorption maximale du dichromate de potassium).

La valeur de la DCO (mg/l) = $[K_2Cr_2O_7]$ initiale - $[K_2Cr_2O_7]$ résiduelle



Figure 11 : Photo du bloc chauffant (WTW CR2200)

3.3.12. Analyse par spectrophotométrie UV/visible

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre "Helios - Unicam Spectronic" piloté par un ordinateur. Les spectres UV-Vis sont obtenus directement par balayage automatique entre 200 et 800 nm. Des cuves en quartz de 1 cm de trajet optique sont utilisées.



Figure 12 : Photo du spectrophotomètre à double faisceaux (Helios - Unicam Spectronic)

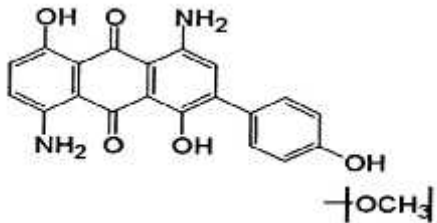
3.3.13. Choix du colorant :

Le choix du colorant répond aux critères suivants :

- Solubilité élevée dans l'eau,
- Tension de vapeur faible voire nulle,
- Analyse par spectrophotomètre UV/visible,
- Stabilité permanente.

L'ensemble des propriétés du **Bleu dispersé** est récapitulé dans le tableau ci-dessous (**Tableau 05**).

Tableau 05: Tableau résume les principales caractéristiques physico-chimiques de colorant Bleu dispersé

Nom Usuel	Bleu dispersé
Nom chimique	Disperse Blue BGL
Formule empirique	$C_{20}H_{14}N_2O_5$
Structure	
Masse molaire	362.34 g
Classe	Anthraquinones
Ionisation	Basic
Absorption maximale	540 nm
Visuel transition	PH=2,5 mauve PH=12,7 bleu
Aspect	Solide (mauve foncé)
Odeur	Inodore
Solubilité dans l'eau	Soluble dans l'eau
Utilité	Textile

3.3.14. Préparation des solutions

Les solutions mères du Bleu dispersé (100 ppm) ont été préparées par dissolution respective de son sel dans l'eau distillée. Les solutions filles devant servir à l'analyse, ont été obtenues par des dilutions successives jusqu'aux concentrations désirées. La droite d'étalonnage représentant la densité optique D.O, au maximum de la bande d'absorption, en fonction de la concentration initiale, a été établie pour déterminer les concentrations résiduelles pour les deux techniques expérimentales.

3.3.15. Etalonnage

L'étalonnage se fait par une méthode simple, qui consiste à préparer une série de solutions de concentrations bien déterminées. Celles-ci sont, par la suite analysées par spectrophotométrie. Nous établissons ainsi, dans les deux techniques (traitement chimique et hybride), la droite d'étalonnage représentant la densité optique D.O, au maximum de la bande d'absorption, en fonction de la concentration initiale C (ppm).

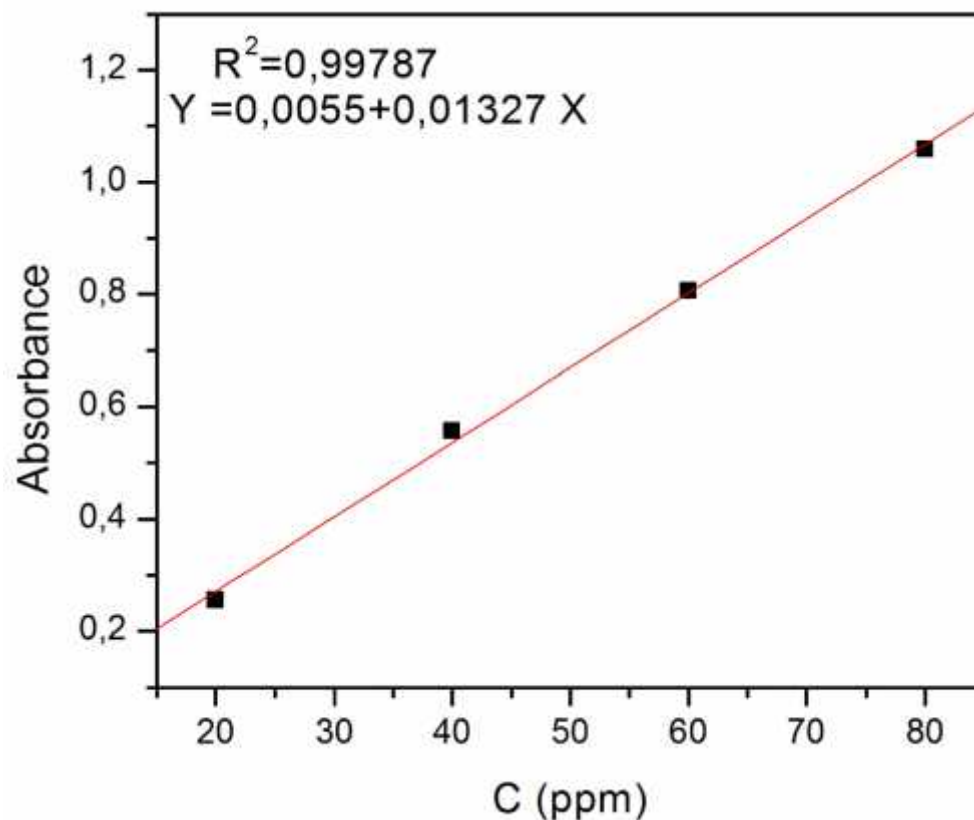


Figure 13 : Courbe d'étalonnage du Bleu dispersé.

3.3.16. Etude spectrale du colorant

La figure 14 représente le spectre du Bleu dispersé à différents pH. A pH naturel (7) le colorant montre l'existence d'une bande maximale à 544 nm. Le pH influe sur le comportement du Bleu dispersé, principalement en milieu alcalin ($\text{pH} < 10$), où l'on a observé de visu, un changement de couleur de la solution, virant ainsi du bleu au violet. En ce milieu alcalin ($\text{pH} = 12,5$) nous avons constaté un élargissement et un déplacement de la bande la plus intense du spectre.

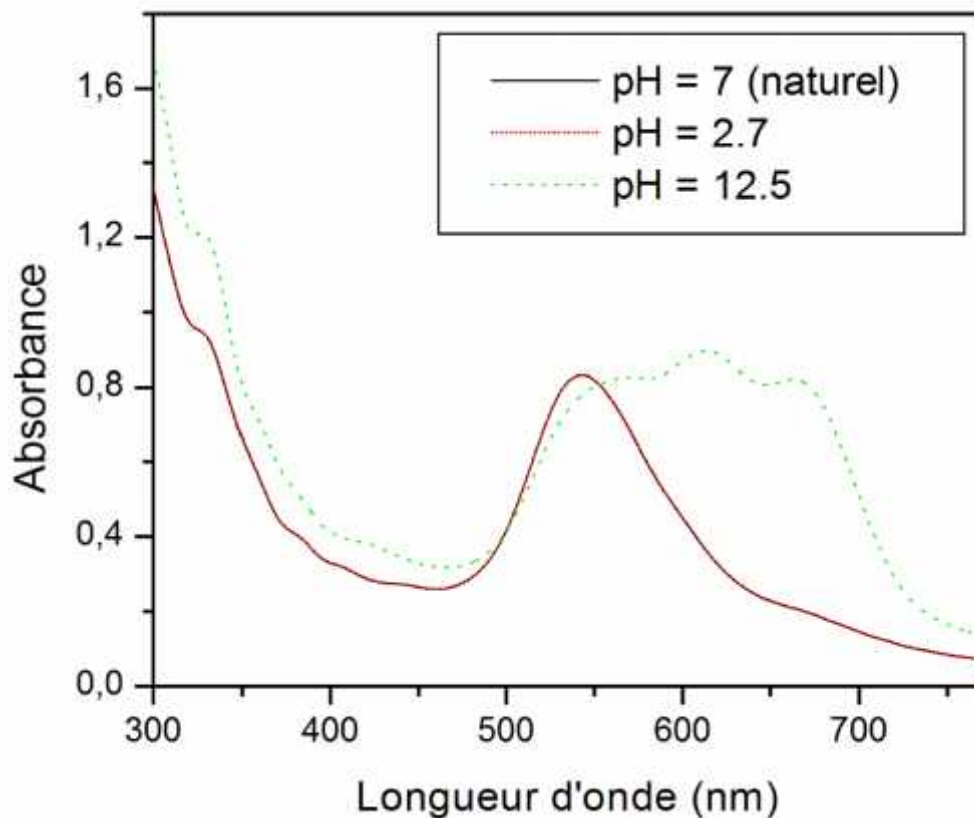


Figure 14 : Spectre UV-Vis du Bleu dispersé a différents pH.

4. Étude microbiologique

4.1. Préparation des milieux de culture

- **Préparation de gélose nutritive :**

28 g de poudre de GN ont été dissous dans 1000 ml d'eau distillé ensuite la solution est portée à ébullition avec une homogénéisation fréquente pour éviter la décantation de l'agar-agar et sa combustion ; par la suite ils ont été distribués dans des flacons en verre et portés pour la stérilisation.

- **Préparation de bouillon nutritive :** 13 g de poudre de BN ont été dissous dans 1000 ml d'eau

Distillée, ensuite agiter lentement jusqu'à dissolution complète pour éviter la décantation.

Répartir en tubes ou en flacons et stériliser à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes. Refroidir le bouillon à température ambiante.

- **Préparation de solution mère (eau physiologie) :** 9g poudre de Na Cl ont été dissous dans 1000 ml d'eau distillée ensuite agiter la solution pour homogénéisation et pour éviter la décantation.

- **Préparation de milieu minimum (Un milieu de sels minéraux contenant (g/l)) :**

- ✓ NaCl (0.5)

- ✓ (NH₄)₂SO₄ (0.1)

- ✓ NaNO₃ (0.2)

- ✓ MgSO₄.7H₂O (0.025)

- ✓ K₂HPO₄.3H₂O (1.0)

- ✓ KH₂PO₄ (0.4)

A chaque fois on met un produit et on continue l'agitation et ajuster par l'eau distillée jusqu'à 800 ml à un pH 7.



Figure 15 :les milieux de culture (GN, BN ,MM ,SM)

4.2. Recherche des micro-organismes présents dans effluent industriel :

4.2.1. Préparation des dilutions décimale et ensemencement : Une série de dilution est effectuée sur eau physiologique en transférant aseptiquement 1 ml de l'effluent industriel qui représente la suspension mère (SM) vers un premier tube contenant 9 ml de diluant stérile. Après agitation vigoureuse, l'opération est répétée 7 fois jusqu'à la dilution 10^{-7} .

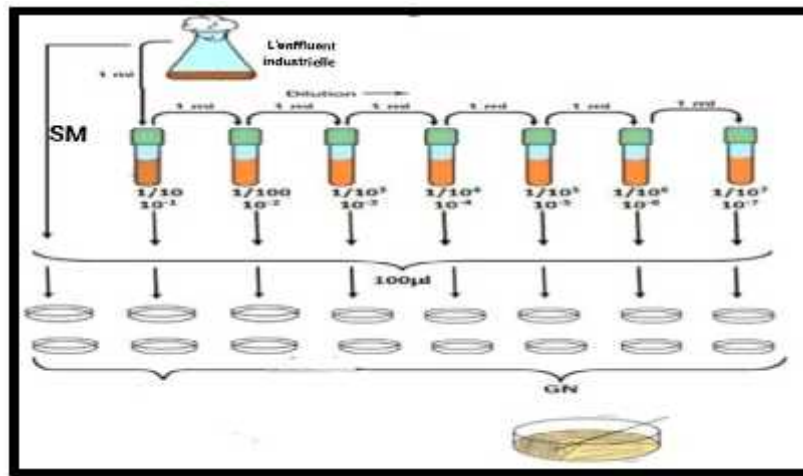


Figure 16 : Schéma représentant les étapes de dilution et ensemencement

4.3. La recherche des bactéries mésophile revifiable :

a) **Dénombrement gélose nutritive (GN) à pH=7** : estensemencée par stries d'épuisement avec 100 µl prélevé à partir de la dilution 10^{-1} jusqu'à la dilution 10^{-7} avec une répétition de deux boîtes pour chacune. Une incubation à 30°C pendant 72 h est effectuée.

a) **Isolement et purification des souches microbiennes** : Après incubation, on a constaté que plusieurs types de colonies bactériennes se sont développés. Six colonies avec des aspects macroscopiques différents ont été choisies pour l'isolement. Pour cela, on repique plusieurs fois par des stries d'épuisements sur le même milieu de cultures jusqu'à avoir des souches pures.

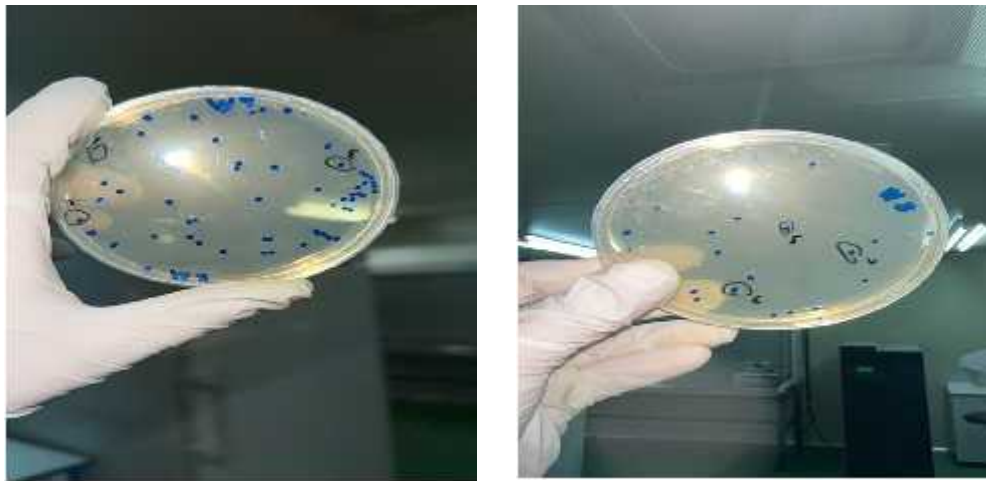


Figure 17 : Les cinq différentes souches

4.3.1. Purification à différents pH: Après la première purification

À pH = 7 : Nous avons remarqué la croissance des 5 souches

Nous effectuons une deuxième purification à un pH différent sur GN (cette fois en augmentant le pH de GN).

À pH = 8.5: Nous avons remarqué la croissance des 5 souches.

À pH =10 : Nous avons remarqué la croissance des 5 souches

À pH =11 : Nous avons remarqué la croissance des 5 souches

4.4. Coloration de Gram :

A partir des boîtes de pétri : Vous recevez 5 boîtes de pétri contenant 5 souches de bactéries différentes (**Annexes 04**).

3. Traitement par le Procédé d'Oxydation Avancée (POA) (NaClO/UV) (chimique) :

En raison de la forte concentration de matières organiques présentes dans l'effluent industriel et les colorants, un traitement chimique est nécessaire pour dégrader ce polluant organique qui persiste jour après jour. Dans ce traitement de procédé d'oxydation avancée le mode opératoire est très simple et il comporte les étapes suivantes :

3.1. Pour le traitement chimique de l'effluent

- ✓ Dans un Erlenmeyer de 250 ml, on ajoute un volume de 250 ml de l'effluent industriel.
- ✓ Dans le même Erlenmeyer et à l'aide d'une pipette, on ajoute aussi un volume de 49,29 ml d'hypochlorite de sodium (NaClO), qui va permettre d'avoir une concentration de 0,2M.
- ✓ La solution est ensuite exposée au rayon solaire sous une agitation continue pendant 60 min.
- ✓ Les échantillons ont été prélevés à différents temps de réaction (0 min ,5 min ,10 min, 15min ,20 min, 30 min, 45min, 60 min) à l'aide d'une pipette pour la mesure de différents paramètres (Analyse DO 200 à 800 nm, TOC, DCO).
- ✓ L'intensité de la lumière a été mesurée à l'aide d'un radiomètre (UVX) (figure 27) à différentes longueurs d'ondes 254 nm, 310 nm et 365 nm avec le radiomètre (**Annexes05**).



Figure 18 : Photo du radiomètre

Les différentes concentrations du colorant (100ppm ,120ppm, 140ppm, 160ppm) ont été traitées comme suit :

- ✓ Dans un erlenmeyer de 250 ml, on ajoute 200 ml de milieu minimum et un masse précis de colorant est différent pour chaque concentration et ajuster par l'eau distille stérile à 250 ml.
- ✓ On ajoute aussi un volume de 49,29 ml d'hypochlorite de sodium (NaClO) à l'aide d'une éprouvette, qui va permettre d'avoir une concentration de 0,2 M.
- ✓ La solution est ensuite exposée au rayon solaire sous une agitation continue pendant 60 min
- ✓ Les échantillons ont été prélevés à différents temps de réaction (0 min ,5 min ,10 min, 15 min ,20 min, 30 min, 45min, 60 min) à l'aide d'une pipette pour la mesure de différents paramètres (Analyse DO 300 à 800 nm, TOC, DCO).

3.2. Traitement Hybride (NaClO/UV + Biodégradation biologique)

- a) **Réification des souches** : Dans cette première étape, on prélève de chaque boîte des colonies pures et on les inocule dans un bouillon à (30) °C. (à PH=7).
- b) **Consortium** : mélange les souches contenantes dans le BN dans un flacon stérile.

La Solution de consortium à ADO = 0,803



Figure 19 : Solution de consortium

❖ Pour le traitement biologique de l'effluent :

- ✓ Dans un erlenmeyer stérile de 250 ml, on ajoute sous haute un volume de 250 ml de l'effluent industriel
- ✓ On prélève 13 ml de consortium qui est déjà préparer et ajouter dans le même erlenmeyer

- ✓ Dans le même erlenmeyers et à l'aide d'une éprouvette stérile et micropipette, on ajoute aussi sous haute un volume de 49,29 ml d'hypochlorite de sodium (NaClO), qui va permettre d'avoir une concentration de 0,2M.
- ✓ La solution est ensuite exposée au rayon solaire sous une agitation continue pendant 60 min.
- ✓ Les échantillons ont été prélevés à différents jours (0, 4, 8, 12, 16,21) à l'aide d'une pipette pour la mesure de différents paramètres (la charge microbienne 620 nm, analyse DO, TOC et DCO).
- ❖ **Pour le traitement biologique du colorant**

Nous avons travaillé sur différentes concentrations 100ppm ,120ppm, 140ppm, 160ppm

- ✓ Dans un Erlenmeyer de 250 ml, on ajoute 200 ml de milieu minimum stérile sous haute et une masse précise de colorant mesure est différent pour chaque concentration et ajuster par l'eau distille stérile a 250 ml
- ✓ On prélevé 13 ml de consortion qui est déjà préparer et ajouter dans le même erlenmeyer
- ✓ On ajoute aussi un volume de 49,29 ml d'hypochlorite de sodium (NaClO) à l'aide d'une éprouvette, qui va permettre d'avoir une concentration de 0,2 M.
- ✓ La solution est ensuite exposée au rayon solaire sous une agitation continue pendant 60 min
Les échantillons ont été prélevés à différents jours (0,4, 8,12, 16, 21) à l'aide d'une pipette pour la mesure de différents paramètres (la charge microbienne 620 nm, analyse DO, TOC et DCO).

4. Biologie moléculaire

4.1. Extraction de l'ADN bactérien :

L'ADN total est extrait par la méthode décrite par Leblond et al. (1966).

• Préparation des solutions :

- Tris-HCL 2M (pour 1000ml) :
 - Tris base : 242g
 - H₂O UP : 1000ml
 - Le pH est ajusté à 8 avec du NaOH 2N
- EDTA 0,5M (pour 1000ml) :

- EDTA : 146,1g
- H₂O UP : 1000ml
- Le pH est ajusté à 8 avec du NaOH 2N ensuite la solution est autoclave à 120°C pendant 15min.
- SDS sodium dodecyl sulfate 10% (pour 100ml) :
 - SDS: 10g
 - H₂O UP: 100ml
 - Le pH est ajusté à 7.2 avec du NaOH 2N ensuite la solution est autoclave à 120°C pendant 15min.
- Lysozyme (pour 1ml) :
 - Lysozyme : 50mg
 - H₂O UP : 1ml
- Protéinase K (pour 1ml) :
 - Protéinase K : 20mg
 - H₂O UP : 1ml
- Acétate de potassium 3M (pour 10ml) :
 - Acétate de potassium à 5M : 2,94g/6ml.
 - Acide acétique : 1,15ml
 - H₂O UP : 2,85ml
- ❖ **Mode opératoire :**
- ✓ A partir de culture de 24h sur bouillon nutritif centrifugée, 1ml de Tris-Hel à 10 mM est ajouté au culot ensuite centrifugé à 11000 rpm pendant 10 min à 4°C. Le surnagent est par la suite pipeté et 500µl de Tris-Hcl a 10 mM est ajouté au culot et vortexé.
- ✓ Ajouter 20 µl de lysozyme 50mg/ml au tube. Vortexer et incuber au bain sec à 37°C pendant 40 min).
- ✓ Ajouter 60 µl d'EDTA à 0.5M et 10 µl proteinase K 20mg/ml et incuber à 37°C pendant 10min.
- ✓ Ajouter 60 µl SDS 10% et incuber à 50°C pendant 40min.
- ✓ Ajouter 350 µl d'acétate de potassium 3M et placer au bain de glace pendant 10 min.
- ✓ Centrifuger à 12000rpm pendant 10min et récupérer le surnagent.
- ✓ Ajouter 1ml isopropanol au surnagent, récupéré et agiter, l'ADN précipité est observé.
- ✓ Centrifuger à 10000 rpm pendant 1min, récupérer le culot.

- ✓ Ajouter 1ml éthanol 70% au culot récupéré.
- ✓ Centrifuger à 10000 rpm pendant 1min, et récupérer le culot.
- ✓ Laisser ouvert les tubes à l'air libre pendant 30 min ensuite ajouter 50 µl d'eau ultra pur.
- ✓ Mesurer la concentration et la pureté de l'ADN génomique à l'aide d'un spectrophotomètre (nanodrop).
- ✓ Les échantillons ainsi récupérés sont congelés à -20°C.

Les résultats de l'extraction génomique dans la photo (**Annexes 06**)



Figure 20 : spectrophotomètre (**nanodrop 8000**)

4.2. Mesure de la concentration et la pureté de l'ADN Génomique :

Le dosage de l'ADN se fait par mesure de l'absorbance à 260 et 280 nm, selon la formule suivante : $C (\mu\text{g/ml}) = (A_{260}) \times 50$. La pureté de l'ADN est donnée par le rapport (A_{260}/A_{280}) . Ce rapport doit être voisin de 1,8. Un rapport plus élevé indique une contamination par les ARN, alors que les protéines ou le phénol diminuent cette valeur. Les mesures d'absorbances sont effectuées grâce au spectrophotomètre (Nano Drop 8000 ThermoScientific) La concentration de l'ADN dans l'échantillon doit être au minimum 20µg/ml, alors que le rapport d'absorbance entre 2 260 et 2280nm enregistrées est compris entre 1.6 et 1.8.

4.3. PCR pour les bactéries :

La PCR est une méthode permettant d'obtenir rapidement une quantité importante d'un segment précis d'ADN génomique grâce à l'utilisation de deux amorces de polarités opposées encadrant le

fragment à amplifier, l'amplification de l'ADN étant exponentielle (Saiki *et al.*, 1985 ; Mullis *et al.*, 1986).

On utilise un kit d'amplification (Taq polymérase Invitrogen By life technologies).

Dans un tube eppendorf on met :

- Taq polymérase : 0,4μ
- MgCh : 3,2 μl
- DNTP : 0,8μl
- Tampon : 4 μl
- Amorces F : 1,6 μ
- Amorces R : 1,6 μ
- Extrait d'ADN : 1μl
- H₂O UP : 27,4 μ.

NB : les amorces utilisées sont des amorces universelles visant d'amplifier la partie d'ADN codante pour l'ARN16s et ayant une taille de 1500 pdb, à savoir : 27F (5'-AGA GTT TGA TCA TGG CTC AG-3') et 1492R (5'-GGT TAC CTT GTT ACG ACT T-3").

Témoin : Tous les ingrédients de la PCR sont mis dans un tube eppendorf à part l'extrait d'ADN.

Puis on procède à l'amplification dans un thermo-cycler (C 1000 Thermal cycler. BIO-RAD) (Figure 30) dans les conditions rapportées dans le tableau ci-dessous (Tian *et al.*, 2008).

Tableau 6 : Conditions de la PCR pour l'amplification

Dénaturation Initiale	94° C	4 min
30 cycles	94°C	1 min
	55°C	1 min
	72°C	2 min
Extension final	72°C	10 min
Maintenir	4°C	



Figure 21 : Déroulement de la PCR dans le Thermocycleur

4.4. Purification à partir de produit PCR

- ✓ Les produits PCR sont purifiés par le kit de purification (Invitrogen By life technologies)
- ✓ Ajouter 4 volumes du binding buffer (B2) (avec l'isopropanol) à 1 volume du produit PCR, (Environ 60 μ l à 15 μ l) bien agité ;
- ✓ Placer le tout dans la spine colonne et centrifuger à 10 000 g pendant 1 min puis jeter le culot
- ✓ Remettre la spine colonne dans le même tube et ajouter 650 μ l de wash buffer (W1) (avec l'éthanol) puis centrifuger à 10 000 g pendant 1 min ;
- ✓ Jeter le culot et centrifuger encore une fois au max speed pendant 3 min ;
- ✓ Place la spine colonne dans un nouveau tube et ajouter 30 μ l d'éluant buffer (E1) et incubé à température ambiante pendant 3 min puis centrifuger au max speed pendant 3 min.
- ✓ Les échantillons sont ensuite congelés à -20°C .

4.5. Electrophorèse

Afin de confirmer le bon déroulement de la PCR et l'amplification de la bonne partie de l'ADN, Les fragments amplifiés obtenus sont séparés selon leur poids moléculaire par électrophorèse sur gel d'agarose à 2 % dans les conditions suivantes :

- ✓ Tris, Borate, EDTA TBE *1 ;
- ✓ Gel stain pour la fluorescence ;
- ✓ Tampon de charge ;

- ✓ Le marqueur de taille utilisé est 50 pdb (Invitrogen By life technologies) ;
- ✓ Cuve d'électrophorèse à voltage 50 volts pendant 45min (Figure 31).



Figure 22 : plaque d'électrophorèse

Le gel est ensuite visualisé dans un system d'imagerie sur gel (Molecular Imager. Gel DOC XR+. BIORAD). Les résultats de la comparaison des fragments d'ADN amplifiés avec le marqueur de taille ont montré que la taille de ces fragments avoisine les 1500 paires de base (Figure 32)

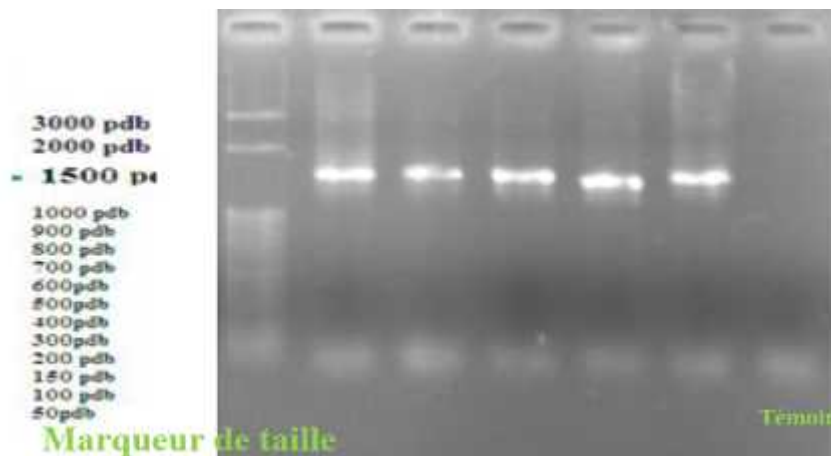


Figure 23 : Migration de l'ADNr 16s sur gel d'agarose

4.6. Séquençage

Une fois l'ADN purifié, on procède aux étapes suivantes :

PCR pour le séquençage (selon le manuel du séquenceur 3500XL Genetic Analyzer. Applied Biosystems / HITACHI)

- ✓ Dilution des échantillons à séquencer de façon à avoir une quantité d'ADN avoisinant les 35 ng dans 10 µl dans chaque puits de la microplaque du séquenceur ;
- ✓ Ajout de 1µl de solution d'amorces 27Fet 1492R dans chaque puits ;
- ✓ Ajout de 9 µl du mix pour la PCR (fourni avec le séquenceur et contenant cette fois des DNTP marquées) ;
- ✓ Puis, on procède à un PCR dans les conditions rapportées dans le tableau 07.

Tableau 07 : Conditions de la PCR pour le séquençage

Denaturation Initiale	96°C	1min
25 cycles	96°C	30 s
	50°C	10 s
	50°C	5 s
Extension Finale	60°C	4 min
Maintenir	4°C	

Séquençage (DNA Sequencing by Capillary Electrophoresis, Applied Biosystems Chemistry Guide, Third Edition)

Les séquençages directs des produits PCR ont été effectués par un séquenceur (3500XL Genetic Analyzer. Applied Biosystems / HITACHI) (Figure 33), selon la méthode de terminaison de Chaîne par didéoxynucléotides. Les résultats sont visualisés sur des chromatogrammes (Figure 34), les 4 types de ddNTP étant marqués par des fluorochromes différents.



Figure 24 : Séquenceur d'ADN

❖ Mode opératoire

- Préparation de la solution BigDye Xterminator :
 - 20 μ l de billes Xterminator
 - 90 μ l de solution SAM
 - Bien agiter.
- ✓ Ajouter, dans chaque puits de microplaque, les 110 μ l de la solution BigDye Xterminator à 20 μ l du produit PCR ;
- ✓ Agiter pendant 30 min ;
- ✓ Centrifuger 2000 g pendant 2 min ;
- ✓ Calibrer le séquenceur ;
- ✓ Procéder au séquençage par le module sequencing longned protocole. (BDxStdSeq50-PoP7xL-Z).
- ✓

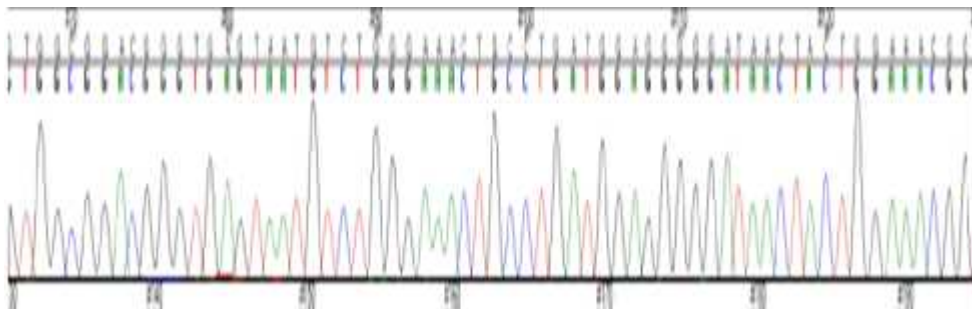


Figure 25 : Chromatogramme des séquences d'ADNr 16S

4.7. Correction et reconstitution des séquences

La correction et reconstitution des séquences a été faite sur PC grâce au logiciel qui permet de visualiser le résultat de séquençage sous forme d'électrophorégramme. Il permet la correction manuelle directe de la séquence et de supprimer le début ou la fin de séquences souvent illisible ou ayant des pics arrondis.

4.8. Recherche de similarités

Le recherche de similarités entre la séquence d'ADNr 16S et la banque d'ADN (Gen Bank) data base du National Center for Biotechnology Information (NCBI) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) grâce à l'outil d'alignement Basic Local Alignment Search Tool (BLAST). Cette étape permet l'identification des séquences par homologie avec d'autres séquences et affilier l'isolat étudié à un groupe taxinomique.

4.9 Construction d'arbres phylogénétiques

Une analyse génétique évolutive moléculaire le logiciel (Mega software) en utilisant le voisinage méthode (neighbor-joining method) a permis de générer une matrice de distance élaborée par comparaison des séquences d'ADN. Cette matrice est ensuite représentée sous forme d'un arbre phylogénétique.

5. La conservation des souches :

Les souches de cultures jeunes sont conservées dans des cryotubes à -20°C Pour des études à venir.



Figure 26 : Conservation des souches dans des cryotubes

Résultats et discussion

I. Propriétés physicochimiques du l'effluent industriel

La gestion des effluents industriels est en effet cruciale pour prévenir la contamination de l'environnement. Les propriétés physicochimiques de ces effluents varient considérablement en fonction du type d'industrie et des processus de production. Dans cette étude, nous avons examiné les propriétés physicochimiques de l'effluent industriel généré par l'industrie textile dans la wilaya de Batna. Nous avons analysé des données telles que le pH, la température, la conductivité, les solides totaux dissous (TDS), la salinité, la demande chimique en oxygène (DCO) et le carbone organique total (TOC) avant et après traitement, ainsi que l'azote Kjeldahl, les nitrates et les nitrites. L'objectif de cette analyse était de mieux comprendre les caractéristiques de l'effluent industriel et d'identifier les méthodes de traitement les plus efficaces pour minimiser l'impact environnemental. Les données clés que nous avons collectées in situ sur les propriétés physicochimiques de l'effluent industriel sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 01 : les résultats physicochimiques avant traitement (*in situ*).

Les différents paramètres mesurés	Unité	Valeurs limites	Valeurs obtenues
Température	°C	30	30
Potentiel d'Hydrogène (pH)	/	6,5-8,5	12,251
Conductivité électrique	mS/cm	/	18,88
Salinité	mg/l	/	9,3 T=12,4 °C
Total des Solide Dissous (TDS)	g/l	/	9,24 T=12,3°C
Matière en suspension (MES)	mg/l	35-40	130
orthophosphates (RODIER)	mg/l	10-15	0.0019
Azote kjeldahl	mg/l	30-40	22,4
Nitrate	mg/l	/	15,71
Nitrite	mg/l	/	0,038
Demande biologique d'oxygène (DBO ₅)	mg/l	35-40	50

Demande Chimique en Oxygène (DCO)	mg/l	300	1210
Carbone Organique Total (TOC)	ppm	/	620

Normes de rejets industriels (réglementation algérienne et européenne) (Annexes 07).

1. Température :

La température est un facteur qui détermine la nature des populations microbiennes actives pendant la dégradation des effluents industriels et des déchets, et elle contrôle ainsi les vitesses des cinétiques biochimiques. Elle est importante car elle révèle les réactions physico-chimiques et biologiques (Derwich et al., 2010). De plus, elle influence presque toutes les réactions physiques, chimiques et biologiques (Wage et al., 2020). La température de l'effluent industriel trouvée lors de notre analyse est d'environ 30 °C, ce qui indique qu'elle est conforme aux normes.

2. Le potentiel hydrogène (pH) physicochimique :

Le pH (potentiel hydrogène) est l'un des paramètres permettant de détecter l'acidité ou l'alcalinité d'un effluent. Au cours de notre étude, nous avons observé un pH fortement alcalin, atteignant la valeur de **12,25**. Cette valeur enregistrée dépasse largement les limites fixées par les normes pour les rejets d'effluents liquides industriels, qui sont généralement comprises entre **6,5** et **8,5**. Cette alcalinité excessive peut s'expliquer par l'utilisation intensive de produits chimiques dans les quatre sections de l'industrie textile, notamment le **NaOH** (hydroxyde de sodium), qui est considéré comme une **base forte**.

3. Conductivité électrique

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. En général, les sels minéraux en solution sont de bons conducteurs, tandis que les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique renseigne sur la quantité totale d'espèces chargées présentes dans l'effluent industriel, ce qui en fait un indicateur de contamination minérale (ADEME, 1999).

Par conséquent, la mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la quantité de sel dissous dans l'effluent. Lors de notre analyse, la conductivité enregistrée était d'environ **18,88 ms/cm**, indiquant une forte minéralisation de l'effluent de l'industrie textile.

4. La salinité

La mesure de la salinité apporte une information globale sur la masse de sels dissous dans une eau. L'unité de mesure utilisée est ppm (parties par million) ou mg/L (milligrammes par litre). La mesure de la conductivité et de la salinité constitue une bonne indication du degré de minéralisation d'une eau, car elles sont liées à la quantité de substances dissoutes dans l'eau. Le résultat obtenu pour ce paramètre est de **9,3 mg/l**.

5. Total des Solides Dissous (TDS)

Le TDS (Total Dissolved Solids) peut provenir de la dissolution des roches carbonatées (origine naturelle) ou des eaux usées et industrielles (origine anthropique). Il correspond à la mesure de la concentration totale des solides dissous présents dans un échantillon. La valeur enregistrée lors de notre étude est de **9,24 mg/L**. Des niveaux élevés de TDS pourraient refléter l'augmentation de la minéralisation de l'effluent, ce qui pourrait entraîner des modifications de ses paramètres, tels que la conductivité et la salinité (**Vadillo et al, 1999**).

6. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et d'autres microorganismes présents dans l'eau. Ces paramètres sont très importants à suivre, car ils affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière. Par conséquent, ils peuvent entraver la photosynthèse et gêner la respiration des poissons. De plus, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques, telles que les métaux, les pesticides, les huiles minérales, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les colorants (**Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement 2005**). Dans notre étude, les teneurs en MES (Matières En Suspension) des eaux d'effluent sont en moyenne égales à **130 mg/l**. Cette valeur mesurée dépasse les exigences de la norme algérienne pour le rejet d'effluents liquides industriels (qui est généralement comprise entre

35 et 40 mg/L). Cela indique que les rejets de l'effluent industriel sont fortement chargés en MES, et la nature de cette pollution est organique.

7. Azote Kjeldahl, nitrate et nitrite :

L'azote est un élément essentiel présent dans l'eau, et il peut exister sous différentes formes, à la fois organiques et minérales.

- **Azote organique :**

L'azote organique est principalement associé à des composés issus d'organismes vivants. Il se trouve dans des molécules complexes telles que les protéines, les polypeptides et les acides aminés.

Ces composés organiques sont essentiels pour la vie, car ils jouent un rôle dans la croissance, le métabolisme et la reproduction des organismes.

Cependant, l'azote organique existe généralement à de très faibles concentrations dans l'eau, car il est souvent recyclé et transformé par les processus biologiques (**Khatabi H, 2002**).

- **Azote minéral :**

L'azote minéral se présente sous forme d'ions dans l'eau. Les deux formes principales sont les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-).

Les nitrates sont plus stables et moins toxiques que les nitrites. Ils proviennent souvent de la décomposition des matières organiques et de l'utilisation d'engrais azotés.

Les teneurs spécifiques obtenus dans l'effluent de l'industrie textile de la wilaya de Batna sont comme suit :

Nitrate (NO_3^-): 15,71 mg/L

Nitrite (NO_2^-): 0,038 mg/L

Azote total : 22,4 mg/L

8. Le phosphore

Le phosphore et l'azote proviennent du processus de dégradation incomplète de la matière organique, principalement du métabolisme des protéines. Sans oublier une source non négligeable de phosphate, qui est présente dans les détergents utilisés lors des différentes opérations de lavage. L'excès de nutriments sous forme d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques récepteurs participe au phénomène d'eutrophisation. Ce phénomène se caractérise par une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques, qui peuvent pousser soit au fond, soit à la surface. Dans notre analyse, la valeur enregistrée est de **0,0019 mg/l**.

9. La Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours) est un indicateur de la pollution organique. Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique présente dans une eau pendant 5 jours. La DBO₅ permet donc de mesurer facilement la charge organique biodégradable. Dans notre étude, la valeur déterminée est d'environ **50 mg d'O₂/L**.

Cependant, cette valeur est supérieure à la valeur standard exigée par la norme algérienne pour le rejet d'effluents liquides industriels. Selon cette norme, la concentration d'oxygène dissous dans l'eau devrait se situer dans la fourchette de 35 à 40 mg d'O₂/L. (**Journal officiel de la République Algérienne, 2006**).

10. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) est un paramètre essentiel pour évaluer la qualité de l'eau et le degré de pollution par les matières organiques. Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour dépolluer une eau en oxydant les substances organiques et minérales qu'elle contient. La DCO est couramment utilisée pour le suivi, la planification et la réglementation des rejets d'eaux usées et résiduaires.

Dans notre étude, la valeur mesurée pour la DCO est de **1210 mg/l**. Cela signifie que l'eau analysée contient une quantité importante de matière organique susceptible d'être oxydée. Cependant, cette valeur est bien supérieure à la limite fixée par la norme algérienne pour les rejets d'eaux dans le milieu naturel.

11. Carbone Organique Total (COT)

Le Carbone Organique Total (COT) est un paramètre essentiel pour évaluer la qualité de l'eau et déterminer son degré de pollution. L'analyse du COT consiste à mesurer la quantité totale de carbone organique présente dans une solution. Contrairement aux techniques de spectroscopie, l'analyse du COT est non spécifique ; elle indique la teneur en composés organiques sans préciser leur nature. Cela en fait un critère largement utilisé pour la surveillance de divers types d'eau, notamment les eaux purifiées, les eaux de rivière et les eaux de rejet.

Dans notre étude, la valeur mesurée pour la COT est de **620 mg/l**. Cela signifie que l'eau contient une quantité importante de matière organique qui pourrait potentiellement affecter l'environnement.

II. Étude microbiologique de l'effluent industriel :

1. Dénombrement sur gélose nutritive (GN) à pH=7 :

Calculs de la FTAM :

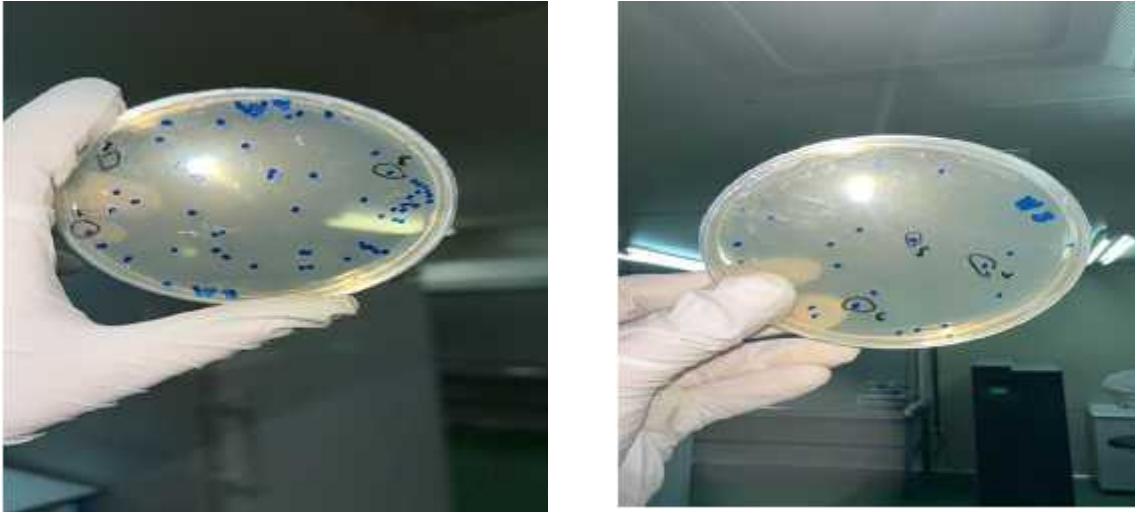


Figure 01 : Les différentes souches (solution mère et 10⁻¹)

Le tableau 02 : dénombrement des souches avant traitement

Répétition	Solution mère		10 ⁻¹	
	Boite 1	Boite 2	Boite 1	Boite 2
Nombre de cellules	70	25	11	14

N = le nombre total des colonies / V.(n1+0,1n2) d

N= (120/0,1(2+0,1x2)). 0,1

N=545 UFC/ml

$$N = \frac{\sum C}{V (n_1 + 0,1 n_2) \times d}$$

2. Isolement et repiquage des souches bactériennes avant traitement biologique :

A partir des caractéristiques macroscopiques des souches isolés à partir du l'effluent du l'industrie textile de Batna on a pu distinguer cinq souches bactériennes, les résultats du repiquage de ces isolats bactériennes avant traitement biologique à différentes pH sont représentés dans la figure 02, 03, 04 et 05.

- À pH = 7

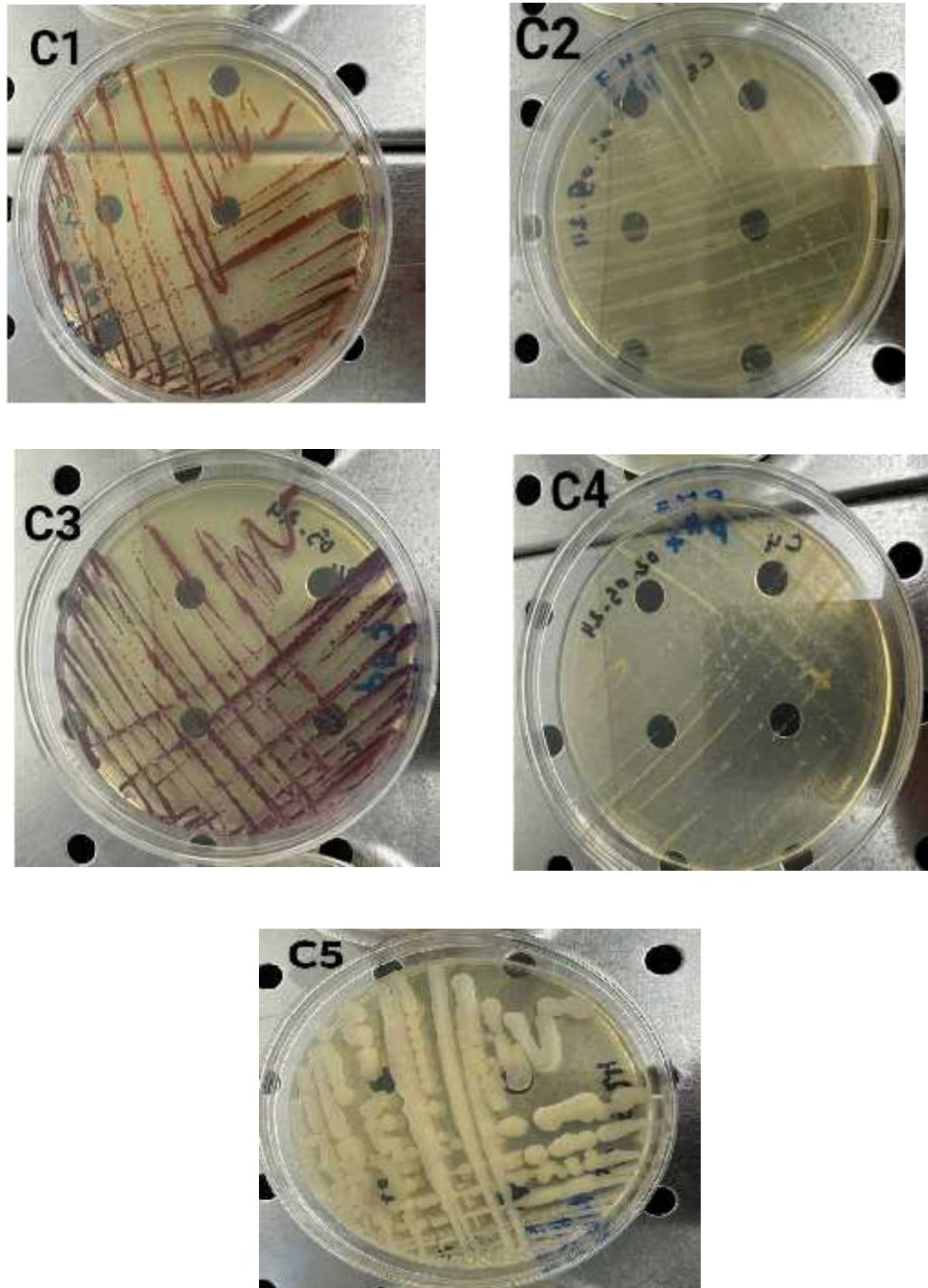


Figure 02 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =7

- À pH= 8,5

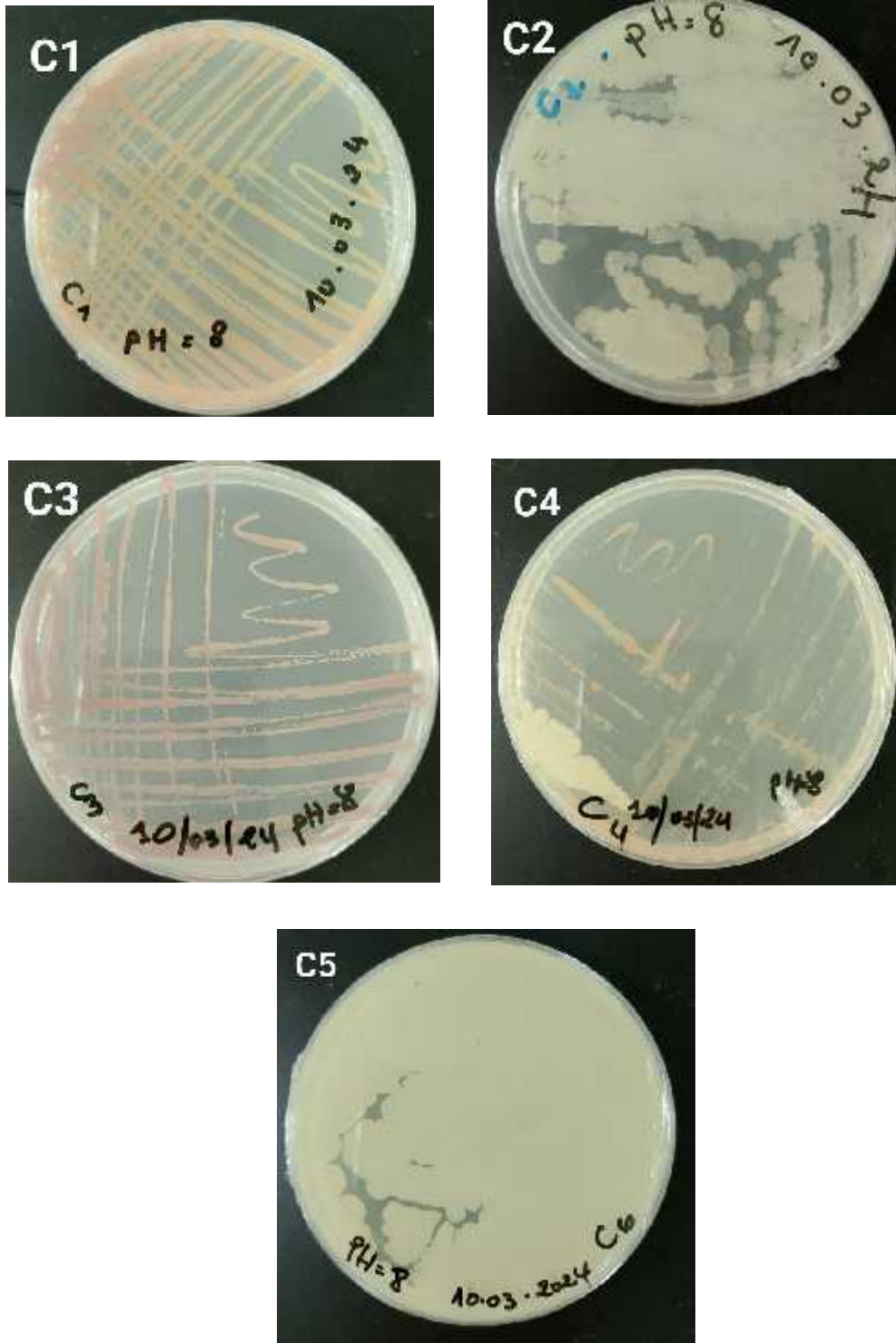


Figure 03 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =8,5

- À pH= 10

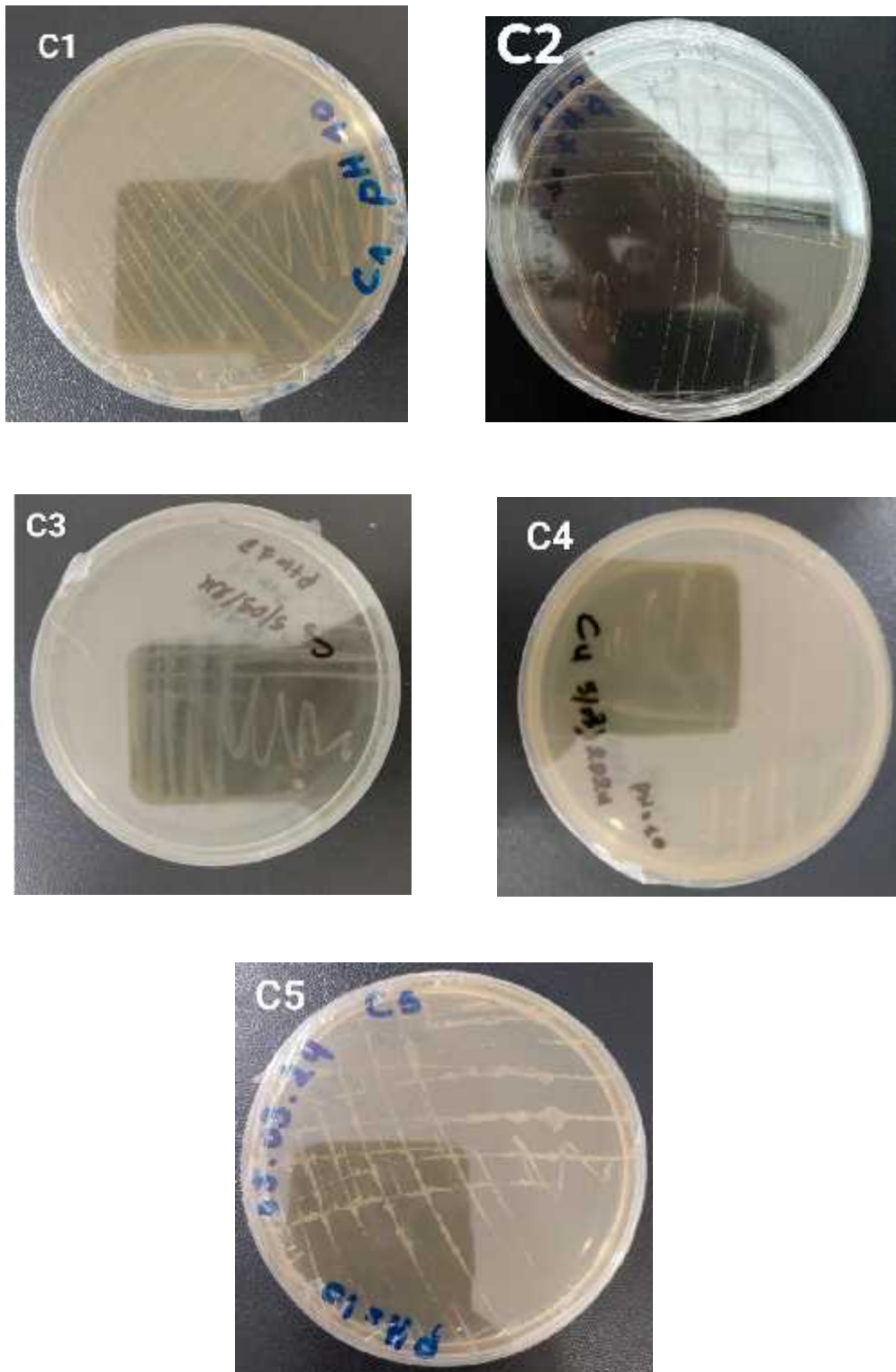


Figure 04 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =10

- À pH=11

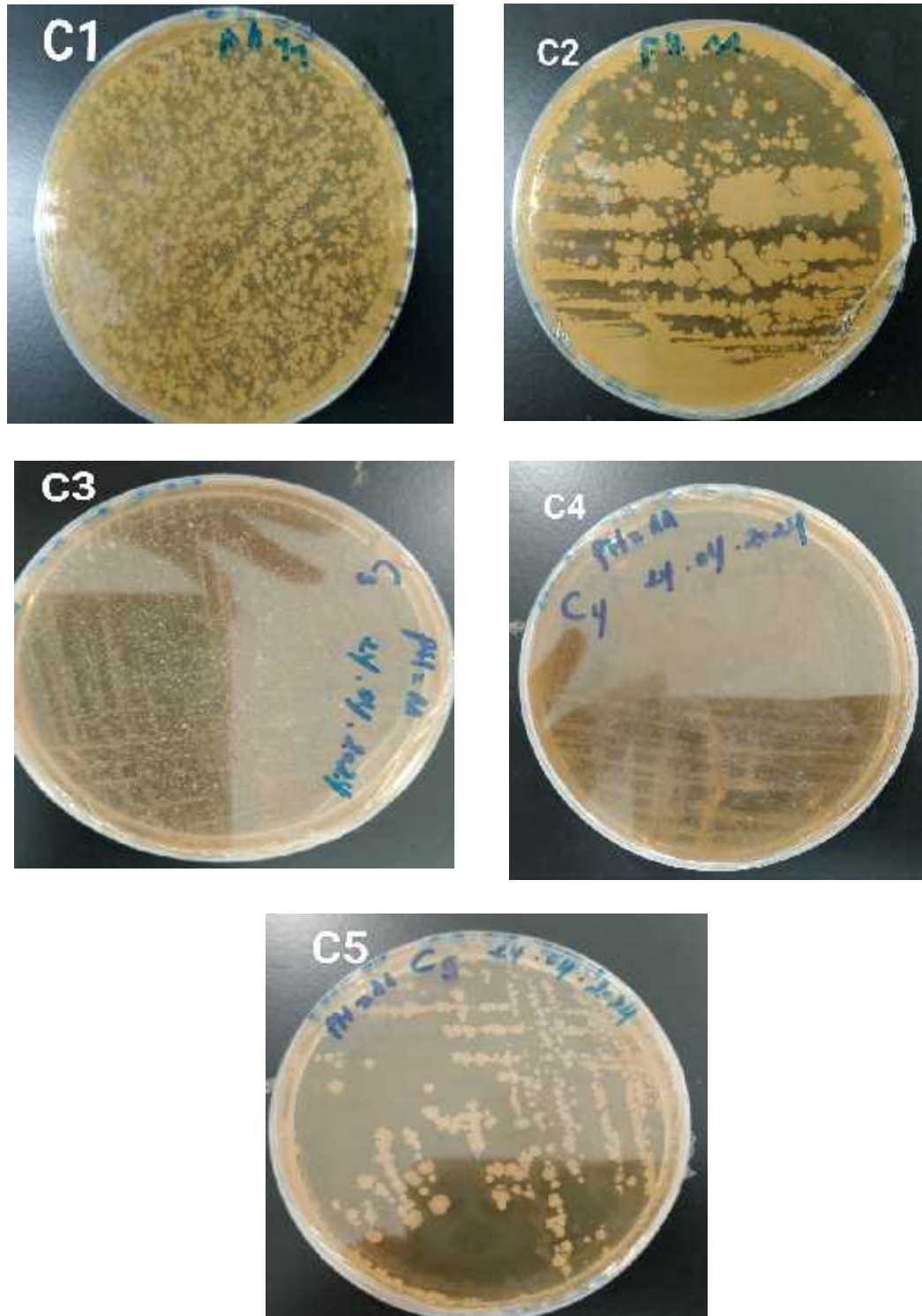


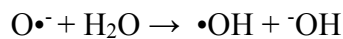
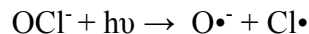
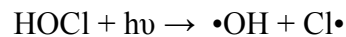
Figure 05 : Photos du repiquage des Cinq souches bactériennes isolé à partir du l'effluent industriel (EATIT) de Batna à pH =11

III. Étude de la dégradation du colorant « Bleu dispersé » par les différents systèmes

III.1. Traitement du Bleu Dispersé par le système NaClO/UV

Le travail présenté dans cette partie porte sur la photo-dégradation du colorant procédé d'oxydation avancé NaClO/UV ($[\text{NaClO}]_0 = 0,2 \text{ M}$ et sous irradiation solaire). La Figure 06 montre la cinétique de dégradation du Bleu Dispersé à différentes concentrations initiales. Le pourcentage de décoloration de la solution de notre colorant augmente lorsque la concentration initiale de ce dernier diminue. En effet, après 60 minutes de traitement, nous avons obtenu des abattements de l'ordre de : 73.47%, 65.02%, 60.86% et 57.09% pour les concentrations initiales 100, 120, 140 et 160 ppm respectivement. Cela pourrait être expliqué par la disparition progressive de la bande la plus intense située dans le visible (548 nm). Par ailleurs, ce processus pourrait être lié également à la destruction progressive du système conjugué, responsable de la couleur. L'efficacité de ce procédé, réside essentiellement, dans la contribution des radicaux $\bullet\text{OH}$ (oxydant puissant et non sélectif), produit in situ par la photolyse de NaClO sous irradiation solaire.

Le procédé NaClO/UV est capable de produire radicaux $\bullet\text{OH}$ et $\text{Cl}\bullet$ simultanément à travers les réactions suivantes :



Il a été rapporté aussi que les radicaux $\text{Cl}\bullet$ sont capables d'oxyder les polluants organiques et participent au processus de la dégradation.

Le terme final de tout ce processus, devrait être la minéralisation, qui sera caractérisée par la formation de CO_2 et H_2O , malheureusement ce n'est pas le cas de notre étude ce qui nécessite l'intervention d'autres procédés pour pouvoir arriver à la minéralisation totale.

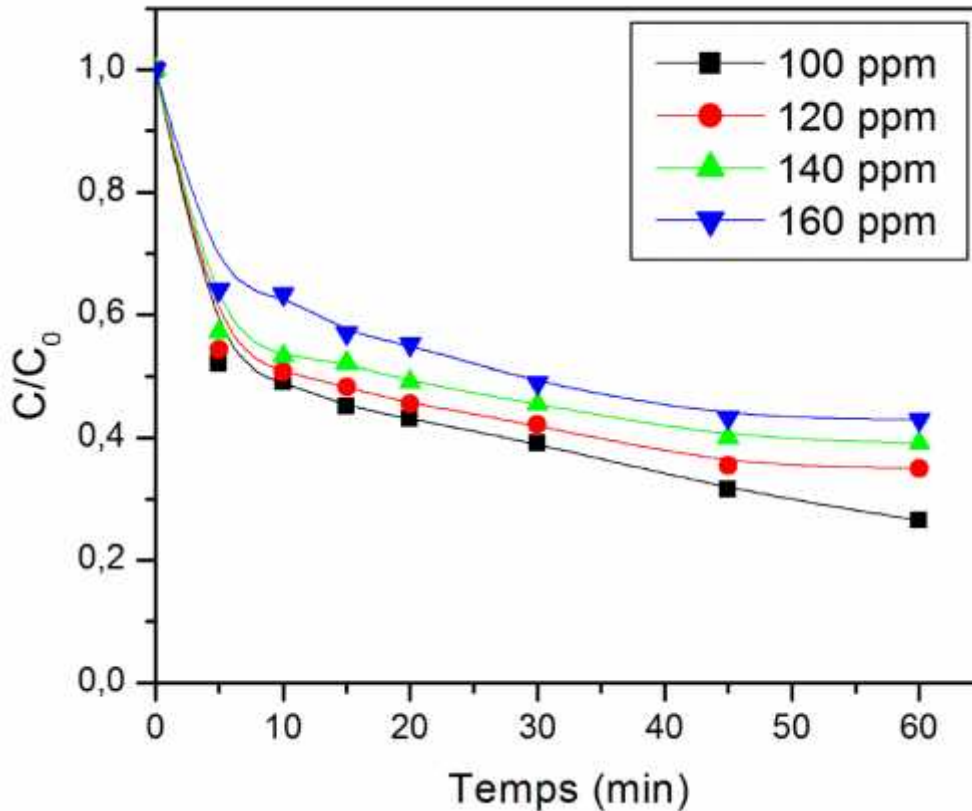


Figure 06 : Dégradation du colorant Bleu dispersé a différents concentrations par le système chimique NaOCl/UV.

III.2. Traitement Hybride du Bleu Disperse (NaClO/UV + Biodegradation)

A l'issue du traitement par le procédé d'oxydation avancé (NaOCl/UV), le surnageant est, alors, prélevé, afin d'être soumis à un traitement biologique par bactéries isolées à partir de l'effluents des rejets de l'industrie de textile de la wilaya de Batna. Dans le but d'améliorer l'efficacité du traitement les 05 souches bactériennes isolées ont été utilisé dans le processus de biodégradation.

La figure 07 représente l'évolution de l'abattement de la concentration du colorant en fonction du temps de traitement biologique appliqué (biodégradation par bactéries isolées à partir de l'effluent des rejets de l'industrie de textile de la wilaya de Batna après traitement par le système (NaOCl/UV).

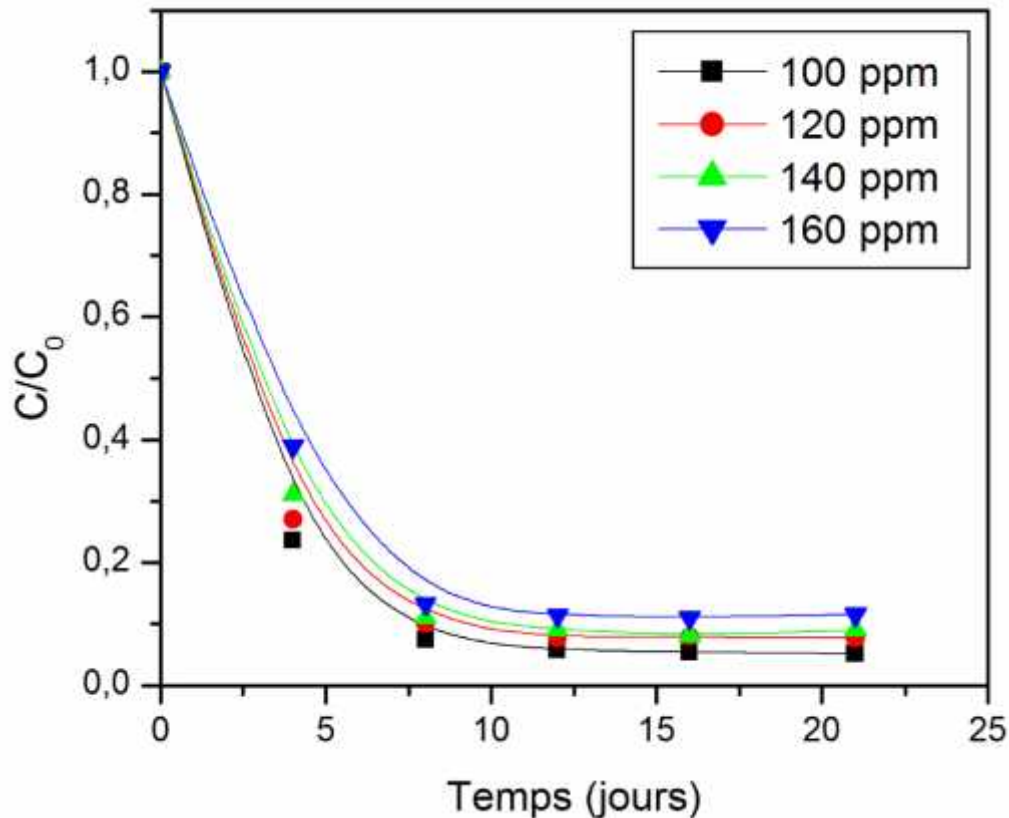


Figure 07 : Dégradation du colorant Bleu dispersé a différents concentrations par le système hybride (chimique NaOCl/UV + biodégradation par bactérie. ($[NaOCl]_0 = 0.2 M$; irradiation solaire ; pH = 7).

Notons que l'application du traitement combiné (POA + Biodegradation) permet d'atteindre une meilleure efficacité qu'avec le traitement par le POA seul (système NaOCl/UV) pour les différentes concentrations initiales utilisées. Les taux de dégradations été de plus de 95.05% après 21 jours de traitement dans la gamme des concentrations étudié avec une disparition complètement de la bande la plus intense du Bleu Dispersé située à 548 nm (figure 08). Ceci s'explique par l'intervention des bactéries, ces microorganismes présentent la capacité à utiliser la matière organique comme source de nutriment et d'énergie pour leur croissance et leur métabolisme, au fur et à mesure que les microorganismes consomment la matière organique, la concentration du colorant diminue dans le milieu de traitement.

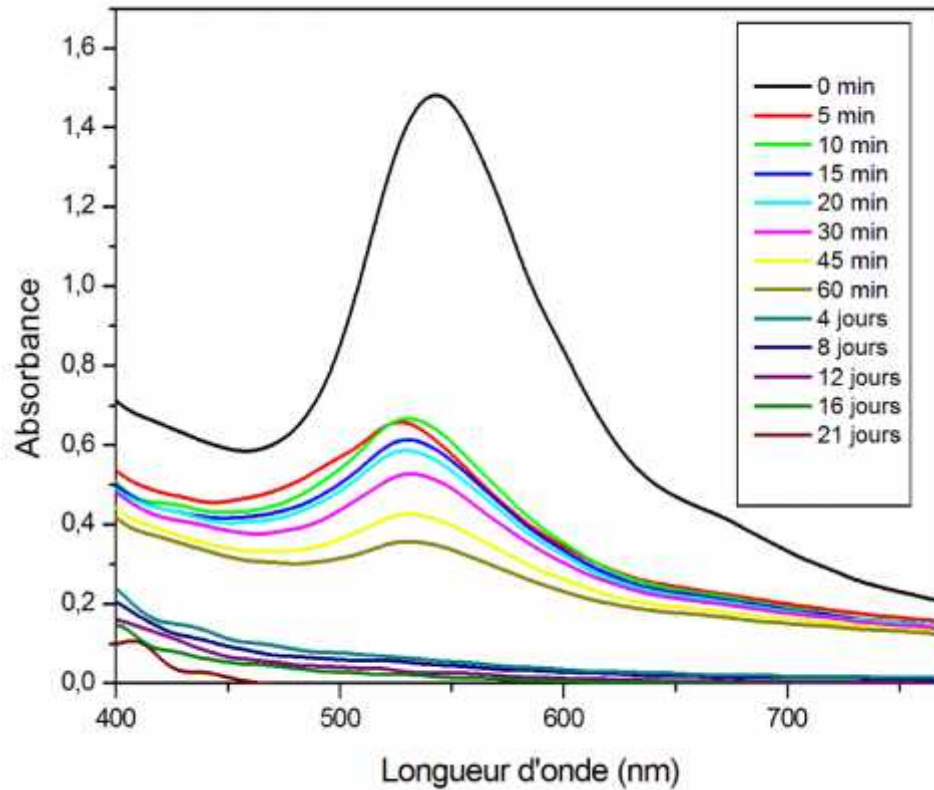


Figure 08 : Evolution spectrale de la dégradation du colorant Bleu dispersé par le système hybride (chimique NaOCl/UV + biodégradation par bactérie. ($[BD]_0 = 100$ ppm ; $[NaOCl]_0 = 0.2$ M ; irradiation solaire ; pH = 7).

III.3. Comparaison des différents systèmes de traitement pour la dégradation du Bleu Dispersé

Afin de comparer les performances des deux procédés utilisés pour la dégradation de notre colorant en milieu homogène, les résultats des expériences à différentes concentrations initiales (100, 120, 140, 160 ppm), ont été réunis, en considérant la même dose de l'oxydant NaOCl (0.2 M) sous irradiation solaire (traitement chimique obtenu après 60 minutes) suivi d'un traitement biologique (21 jours). Les résultats sont présentés sous forme d'histogramme (figure 09).

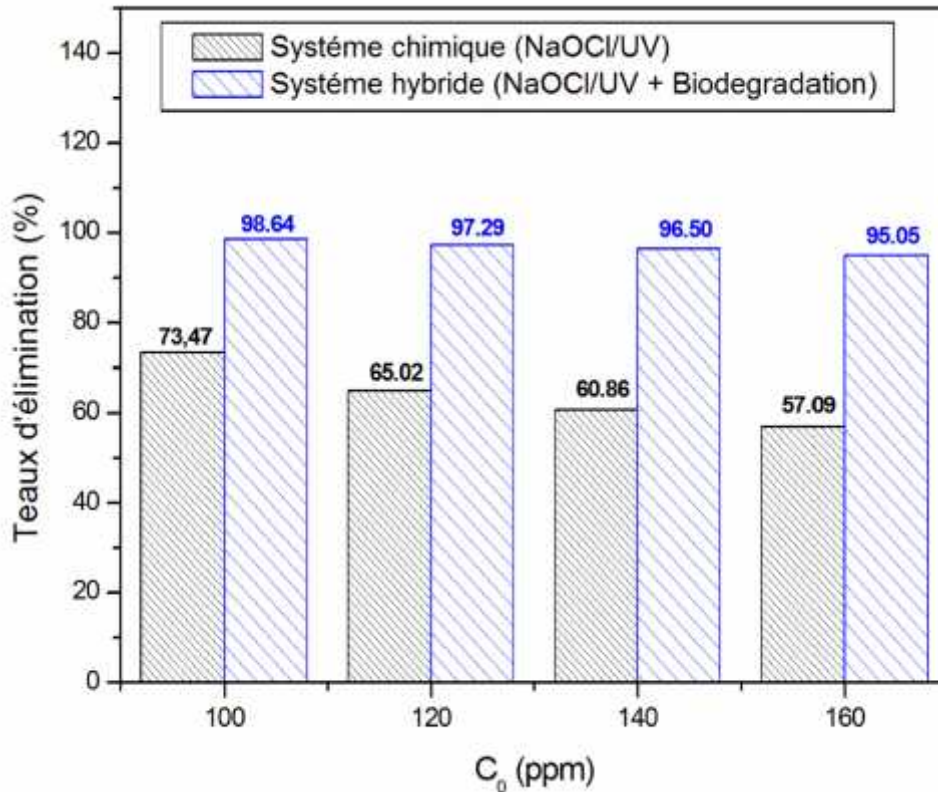


Figure 09 : Comparaison du taux d'élimination du colorant Bleu Dispersé par les différents systèmes

Dans nos conditions expérimentales, la comparaison de l'efficacité des différents procédés pour le la dégradation du Bleu Dispersé suit l'ordre suivant : Procédé hybride > Système (NaOCl/UV). De ces résultats nous pouvons conclure que le procédé hybride augmente le rendement et l'efficacité du traitement et peut aboutir à une minéralisation complète du polluant organique étudié.

A partir de l'ensemble des résultats on peut déduire que le système hybride (NaOCl/UV + Biodégradation) constitue une bonne alternative pour le traitement des colorants.

IV. Étude de la dégradation du l'effluent industriel par le système Hybride (NaClO/UV + Biodégradation)

Dans le cadre du traitement des effluents industriels, la variation du "Color Number" (CN) désigne les modifications de teinte observées au cours du processus de traitement de l'effluent. Le "Color Number" est une mesure employée pour estimer la concentration de substances colorantes présentes dans un échantillon d'effluent.

Le suivi de l'évolution du "Color Number" dans le traitement des effluents est important pour évaluer l'efficacité du processus de traitement et s'assurer que les objectifs de qualité de l'eau sont atteints. Cela peut également fournir des indications sur la nature et la concentration des composés organiques présents dans les effluents pollués, ce qui peut être utile pour ajuster les méthodes de traitement en conséquence.

Le calcul de cet indice se fait par repose sur la mesure du coefficient d'absorption spectrale dans la plage visible à trois longueurs d'onde différentes, comme indiqué par l'équation ci-dessous comme (El Mrabet et al, 2020) :

$$CN = \frac{(Abs_{436})^2 + (Abs_{524})^2 + (Abs_{600})^2}{Abs_{436} + Abs_{524} + Abs_{600}}$$

Dans laquelle : Abs 436, Abs 524, Abs 600 sont les mesures d'absorbance correspondant aux longueurs d'onde 436, 524 et 600 nm dans le spectre d'absorption UV-Vis (figure 10).

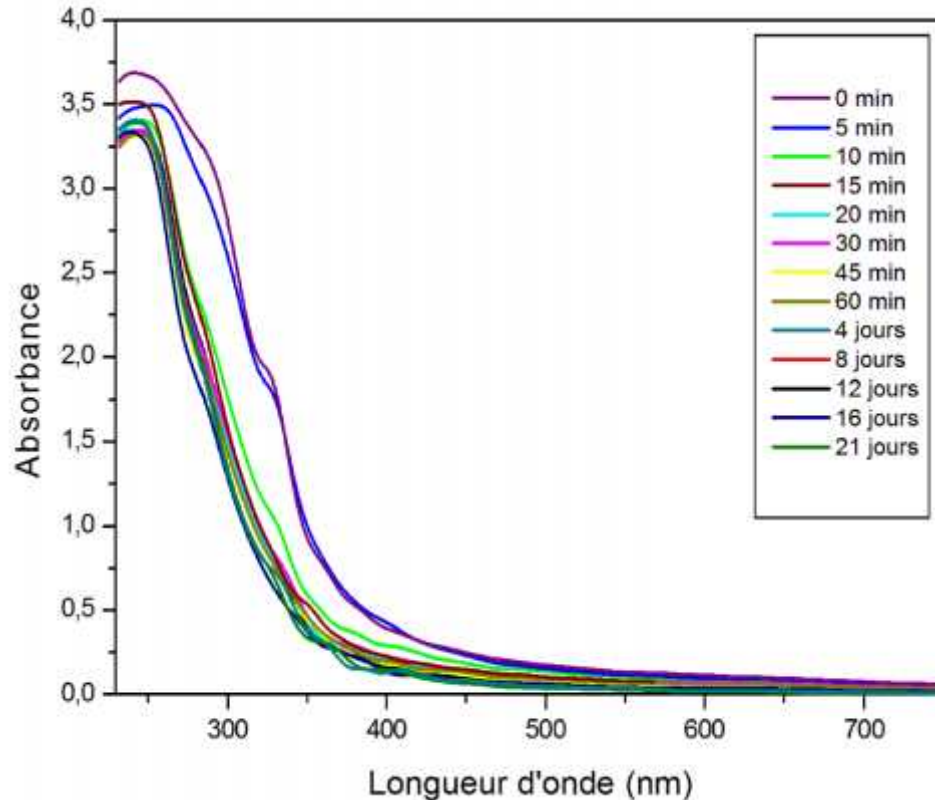


Figure 10 : Evolution spectrale de la dégradation de l'effluent par le système hybride (chimique NaOCl/UV + biodégradation par bactérie.)
 ([NaOCl]₀ = 0.2 M ; irradiation solaire ; pH = 7).

D'après les résultats obtenus (figure 11) on note que l'indice de couleur (CN) montre une diminution rapide et significative pour les deux systèmes.

Pour le traitement chimique, les valeurs du CN du système (NaClO/UV) passent de 0,20 à 0,12. Cela peut être attribué à la dégradation partielle des composés organiques contenues dans l'échantillon.

Pour le traitement combiné ou hybride, on remarque que dans lors des 12 premiers jours de traitement biologique une réduction remarquable des valeurs du CN est noté. Au-delà de cette période, on constate une baisse progressive, et la décoloration du l'effluent devient plus prononcée, atteignant une valeur CN de 0.05. Ceci indique une décomposition complète des composés organiques présents dans l'échantillon, ayant été préalablement traitée par le système chimique (NaClO/UV), ce qui entraîne une réduction de la coloration du l'effluent.

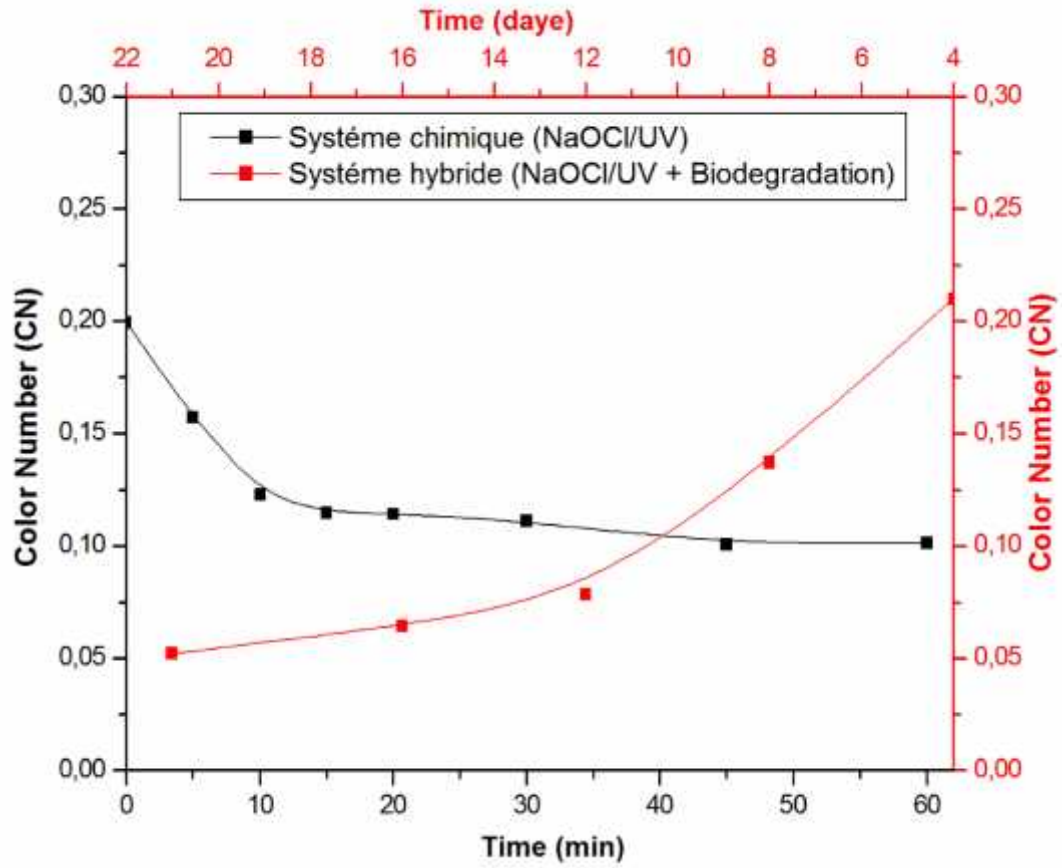


Figure 11 : Suivi de l'indice de couleur pour les deux systèmes utilisés.

V. isolement et repiquage des souches bactériennes après traitement biologique

La figure 12 représente les trois souches obtenues qui ont pu résister et prouver leur efficacité dans le traitement du effluent et colorant après 21 jours du traitement hybride, ce qui confirme leur résistance par rapport aux autres souches préalablement purifiées avant traitement. Ces résultats indiquent que ces souches n'ont pas été altérées par les conditions du milieu, ce qui prouve leur capacité à dégrader la matière organique.

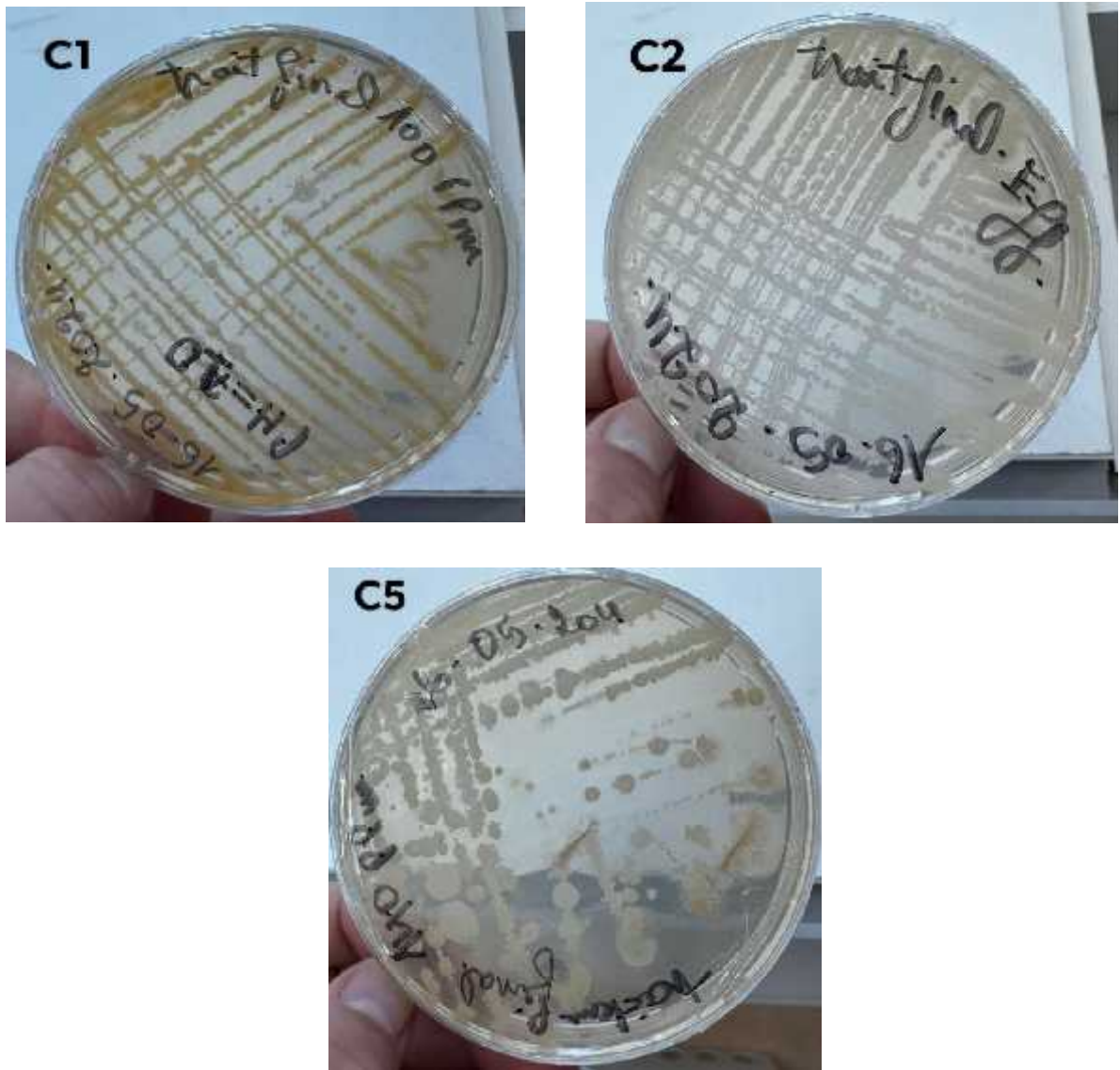


Figure 12 : Photos du repiquage des trois souches bactériennes isolé après traitement hybride à pH =7

VI. Identification moléculaire

V.I.1. Espèces bactériennes

Avec une taille d'environ 1 500 nucléotides et une structure séquencée entourant les domaines variables, Le gène de l'ARNr 16S présente l'avantage d'être hautement conservé, domaines variables environnants, et disposant d'une information appropriée séquence native. La figure 13 affiche l'ADNr 16S qui a été produit lors de l'amplification PCR.

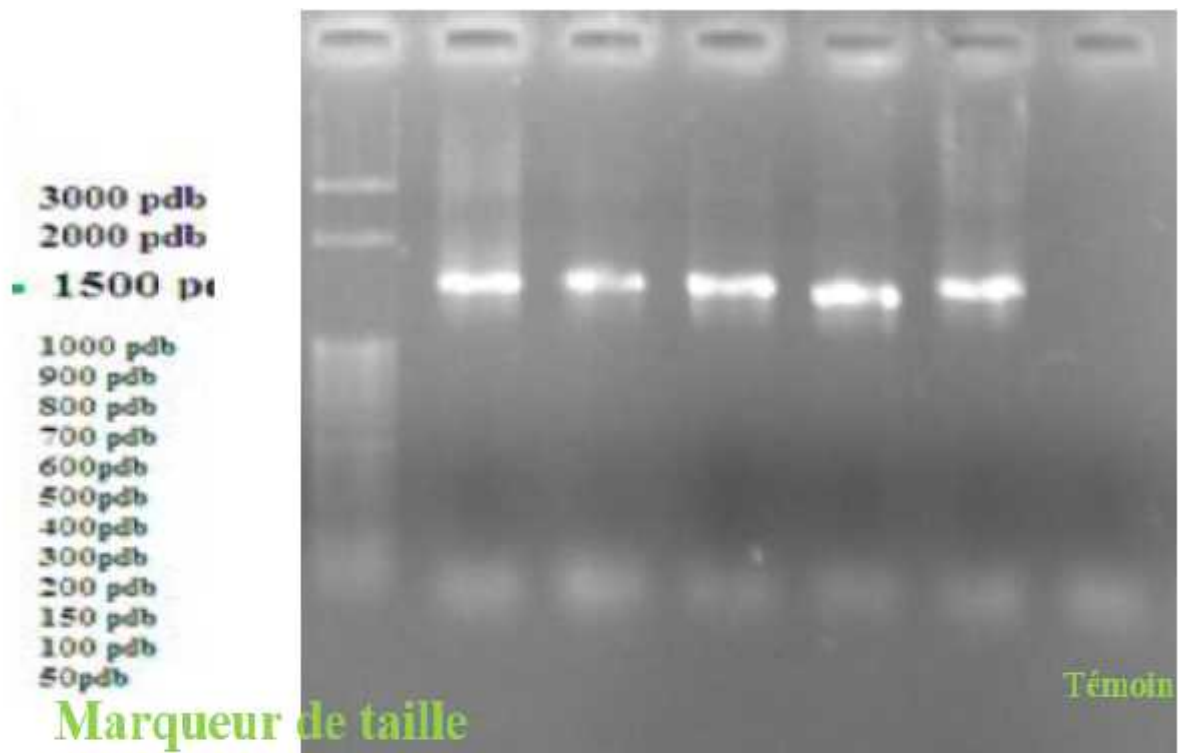


Figure 13 : Migration de l'ADNr 16s sur gel d'agarose

Les résultats de l'identification moléculaire des espèces bactérienne présentes dans l'effluent de l'industrie de textile, sont présentés dans le tableau suivant. :

Les souches les plus similaires ont été déterminées par l'outil NCBI Blast.

Tableau 03 : Identification des souches de bactéries selon les résultats de l'analyse ADNr 16s.

Les souches	strain	identification (GenBank accession number)	Number of nucleotides	Most similar type strain (GenBank accession number)	% of similarity
S1	BMSO BkBs 2024	<i>Microbacterium sp.</i> strain BMSO BkBs 2024 (PP748530.1)	1341 bp	<i>Microbacterium aurantiacum</i> strain kitami C2 (037048.2)	99.85%
S2	MSOsk 2024	<i>Bacillus sp.</i> (in: firmicutes) strain MSOsk 2024 (PP748531.1)	1371 bp	<i>Bacillus tequilensis</i> strain 10b (104919.1)	100.00%
S3	BAAA 2024	<i>Sporosarcina sp.</i> strain BAAA 2024 (PP748532.1)	751bp	<i>Sporosarcina aquimarina</i> strain SW28 (025049.1)	91.14%
S4	BMSO MsTr 2024	<i>Microbacterium sp.</i> strain BMSO MsTr 2024 (PP748533.1)	761 bp	<i>Microbacterium chocolatum</i> strain DSM 12507 (114984.1)	99.87%
S5	MSOsr 2024	<i>Bacillus sp.</i> (in: firmicutes) strain MSOsr 2024 (PP748534.1)	1391 bp	<i>Bacillus tequilensis</i> strain 10b (104919.1)	98.35%

Selon l'analyse de séquence du gène ADNr 16S, les souches S1, S2, S3, S4 et S5 ont été identifiées respectivement comme étant : *Microbacterium sp.* strain BMSO BkBs 2024 (PP748530.1), *Bacillus sp.* (in: firmicutes) strain MSOsk 2024 (PP748531.1), *Sporosarcina sp.* strain BAAA 2024 (PP748532.1), *Microbacterium sp.* strain BMSO MsTr 2024 (PP748533.1) et *Bacillus sp.* (in : firmicutes) strain MSOsr 2024 (PP748534.1) (tableau ?). Ces séquences sont comparées à la base de données NCBI GenBank en utilisant le programme BLAST, et les souches les plus similaires sont :

➤ **S1: *Microbacterium aurantiacum* strain kitami C2 (037048.2)**

Est une bactérie du genre *Microbacterium* qui a été isolés des eaux usées, elle présente forme bâtonnets courts ; positifs à la coloration de Gram ; non sporulée, pigmentés en orange ; immobile ; aérobie ; capable de croître à 37C. Cette espèce a été décrite pour la première fois par **Takeuchi et Hatano** en 1998.

Ce sont des germes banaux de l'environnement tellurique et aérien et des contaminants fréquents des produits laitiers et des denrées alimentaires. Ils sont rarement considérés comme des pathogènes pour l'humain, (**JACKMAN P.J.H. 1995**).

Il peut être cultivé à un pH de 6 à 8 avec un optimum de croissance à pH 7 et une température de 30 à 37 °C avec une température optimale de 30 °C.

➤ **S2: *Bacillus tequilensis* strain 10b (104919.1)**

Le genre *Bacillus* appartient à la famille des *Bacillaceae*, qui sont des bactéries à Gram positif, sporulées, en forme de bâtonnet. a été décrit pour la première fois à la fin du 19eme siècle par Ferdinand Cohn et Robert Koch (**Cohn, 1962; Koch, 1962**), ils peuvent être isolés des environnements aussi divers que l'eau douce, eau saline, sol, plantes, animaux et air (**Pignatelli et al., 2009**).

L'espace *Bacillus tequilensis* est une bactérie aérobie, à Gram-positif, en forme de bâtonnet, mobiles, isolée à partir d'un échantillon prélevé dans une tombe à puits vieille d'environ 2 000 ans située dans l'État mexicain de Jalisco, près de la ville de Tequila par (**Ash et al., 1991b**), Elle peut croître sur le sol à température optimale d'environ 28-37 °C et à un pH de 5, 5 – 8. Elle a une grande capacité à éliminer les couleurs sombres et dangereuses des effluents dans l'industrie du textile, et un grand potentiel de bio-remédiation et de dégradation des polluants organiques persistants, et elle est même utilisée pour la décontaminer des sites de distillerie. (**N. Rameshkumar et al.,2013**) .

➤ **S3: *Sporosarcina aquimarina* strain SW28 (025049.1)**

Le genre *Sporosarcina*, appartenant à la famille des *Bacillaceae*, a été décrit pour la première fois en 1936 par **Kluyver & van Niel**. Parmi les espèces de ce genre, on retrouve *Sporosarcina ureae*, la première à être décrite, ainsi que d'autres telles que *Sporosarcina aquimarina*, isolée de l'eau de mer. Ces bactéries se caractérisent par leur capacité à former des spores et à tolérer des conditions environnementales variées, notamment des niveaux élevés de salinité. Sur le plan taxonomique, les bactéries du genre *Sporosarcina* appartiennent aux Firmicutes, aux Bacilli, aux Bacillales et à la famille Planococcaceae.

Sporosarcina aquimarina, par exemple, est une bactérie hétérotrophe facultative, a un pH optimum de 6 et une température de croissance de 10 jusqu'à 37 °C, capable d'utiliser l'urée

grâce à l'enzyme uréase. En outre, elle a été étudiée pour son rôle bénéfique en agroécologie, notamment pour sa capacité à promouvoir la croissance des plantes en sols contaminés par des hydrocarbures ou en eau salée (**J H Yoon et al., 2001**).

Plus spécifiquement, *Sporosarcina pasteurii* a été utilisée avec succès dans des études de bioremédiation pour stabiliser les contaminants de plomb (Pb), de zinc (Zn) et de cadmium (Cd) dans le sol. Cette bactérie a démontré une réduction significative des concentrations de lixiviation des métaux lourds dans le sol traité, et favorisé la formation de liaisons carbonatées contribuant à la stabilisation des contaminants. En laboratoire, *Sporosarcina pasteurii* a également montré une capacité à remédier efficacement aux solutions contaminées par des métaux lourds tels que le cadmium et le chrome (**Xiaosong Huang et al., 2022**).

Ces résultats suggèrent que *Sporosarcina pasteurii* présente un potentiel prometteur pour la bioremédiation des sols et des solutions contaminées par des métaux lourds, offrant ainsi des perspectives d'applications dans des contextes variés de dépollution environnementale.

➤ ***S4: Microbacterium chocolatum strain DSM 12507 (114984.1)***

Est une bactérie aérobie obligatoire, à Gram positif, en forme de bâtonnet, isolée d'une contamination de culture par MH Knutsen en 1944 (**Clise, 1948**) d'eau de mer ou boue marine. Elle a une bonne croissance sur des supports solides dans l'air. La température optimale pour la croissance de ce genre de bactérie est d'environ 28 -37 °C. Par ailleurs, elle a un grand potentiel de bio-remédiation et de dégradation des polluants organiques persistants, et elle est même utilisée pour la décontamination des milieux récepteurs d'une grande variété de pesticides (**Gokhan Onder ERGUVEN et al., 2019**).

➤ ***S5: Bacillus tequilensis strain 10b (104919.1):***

Les analyses de séquençage et de BLAST révèlent que les souches 2 et 5 appartiennent à la même espèce, *Bacillus tequilensis*. Cette conclusion est soutenue par notre étude, où les boîtes de Pétri montrent que les deux souches sont morphologiquement presque identiques, avec quelques différences (Figure 14). La souche 2, identifiée à 100% comme *Bacillus tequilensis*,

forme des colonies légèrement plus petites que celles de la souche 5 qui présente une similitude de 98.35% seulement et une texture plus visqueuse.

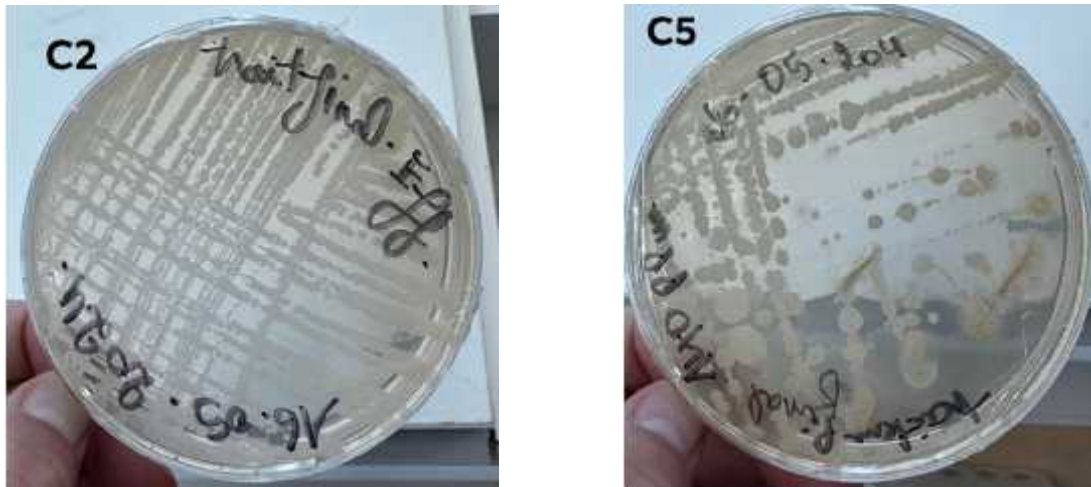


Figure 14 : Les deux souches plus similaires.

V.I.2. Construction d'arbre phylogénétique :

Un arbre phylogénétique présente les relations d'évolution entre les organismes. a chaque nœud correspond un regroupement de plusieurs organismes qui forment une unité taxinomique ou taxon. Les branches illustrent leurs relations généalogiques. Les longueurs des branches peuvent être proportionnelles à la distance d'évolution entre les organismes (M.S.O. Belahmadi et al., 2023). Les méthodes d'analyse phylogénétique cherchent à établir les relations phylogénétiques entre organismes, à partir de l'information contenue dans les acides nucléiques. Les arbres phylogénétiques sont une représentation des résultats obtenus. Le principe de l'analyse phylogénétique est le suivant : plus le nombre de substitutions entre deux séquences est élevé, plus la probabilité que ces deux séquences aient un ancêtre commun est faible. Les différentes méthodes visent donc à évaluer les divergences entre plusieurs séquences par observations de substitutions, et à reconstituer les liens généalogiques (M.S.O. Belahmadi et al., 2023). Les schémas des arbres phylogéniques des bactéries isolées du l'effluent industriel de cette étude sont représentés dans les figures 15, 16, 17,18, 19 et 20.

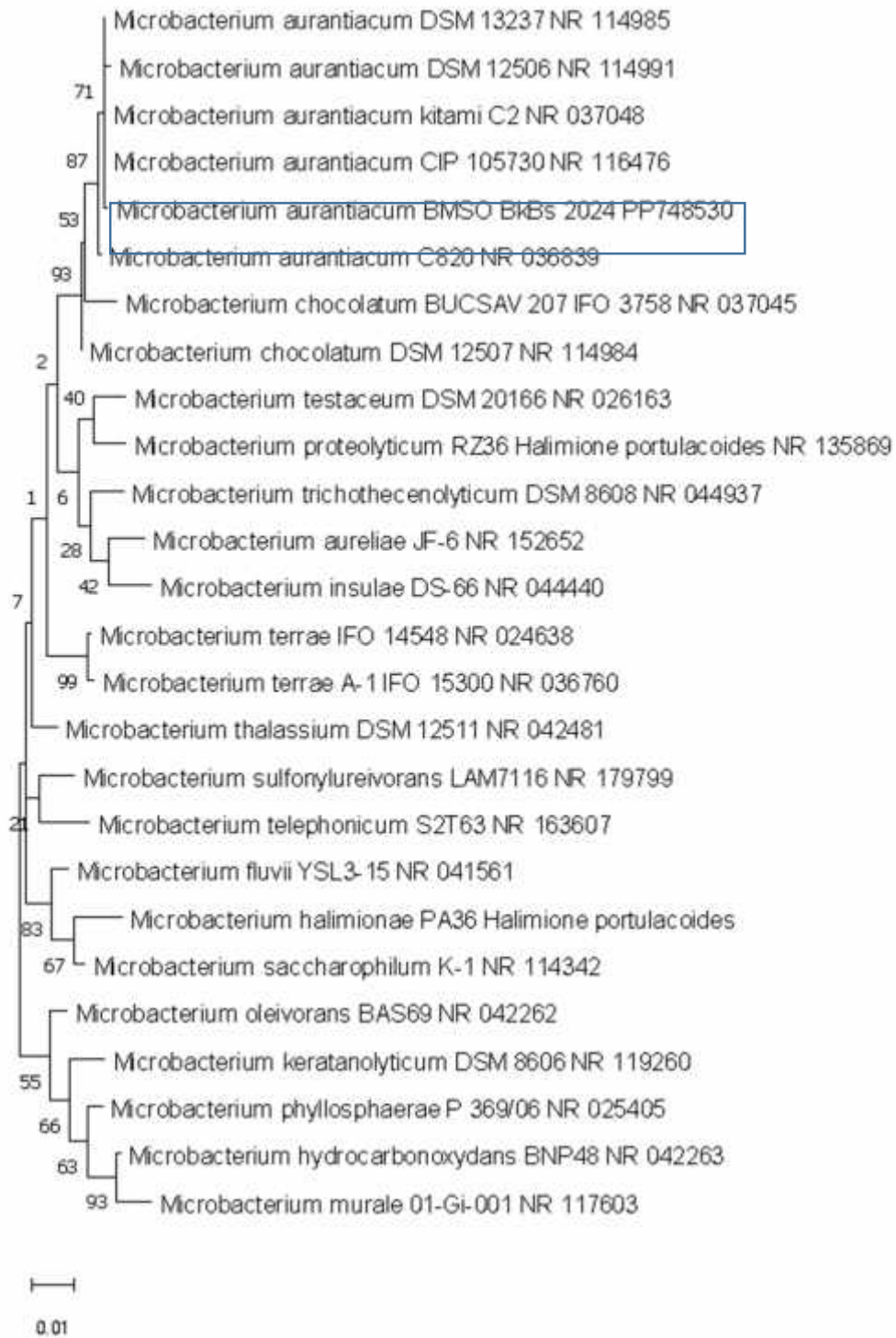


Figure 15 : Arbre phylogénétique de *Microbacterium* sp. strain BMSO BkBs 2024

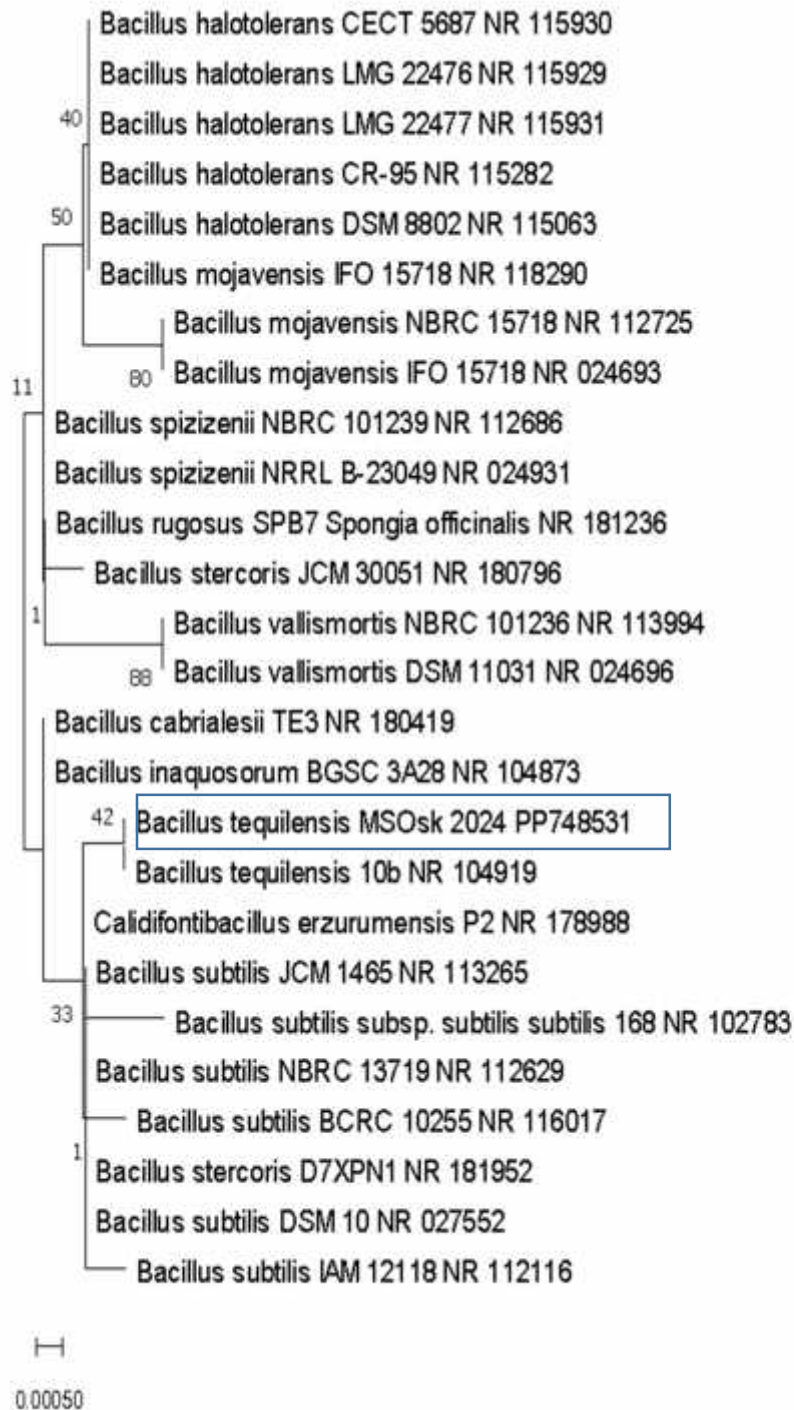


Figure 13 : Arbre phylogénétique de *Bacillus* sp. (in: firmicutes) strain MSOsk 2024

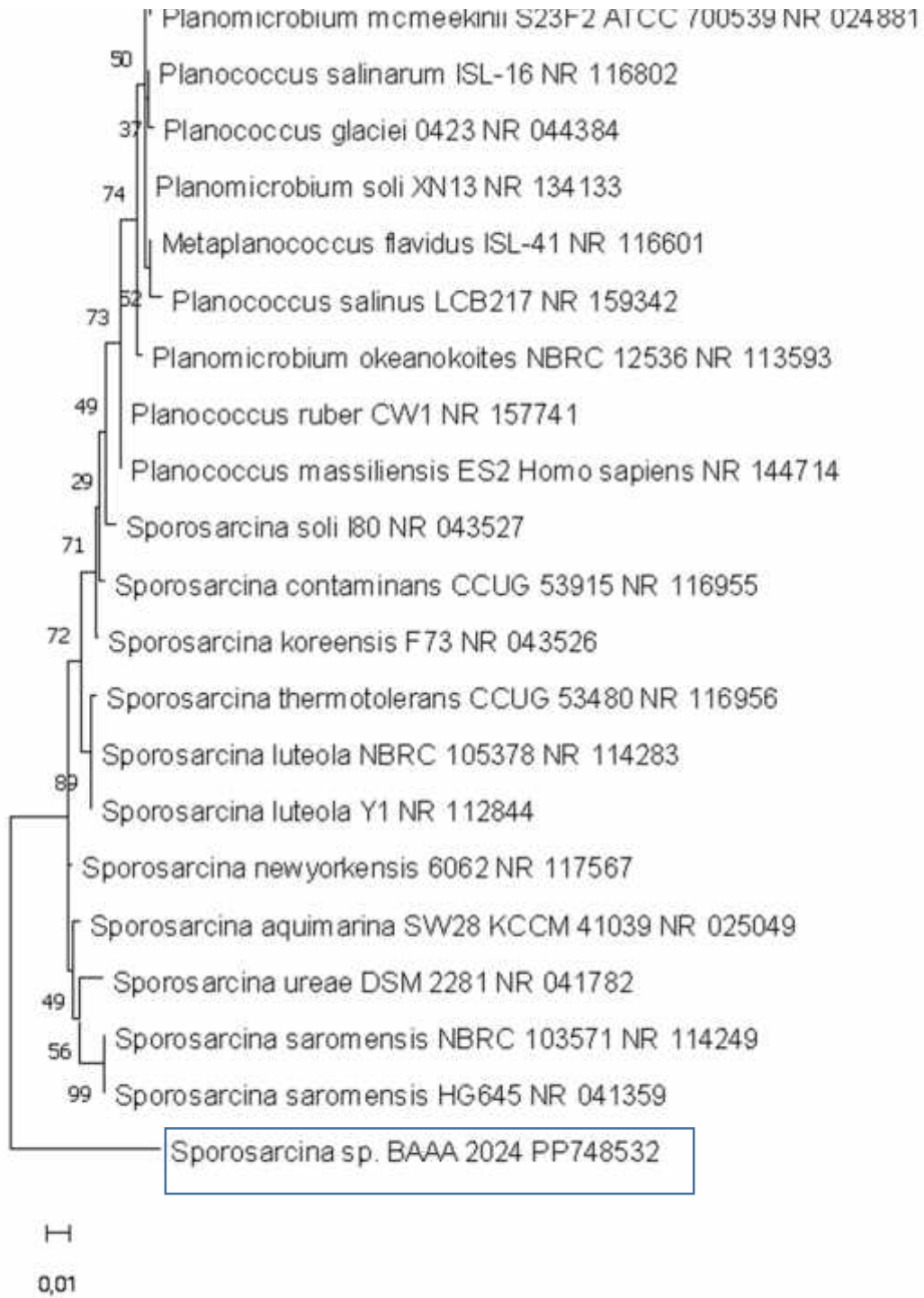


Figure 17 : Arbre phylogénétique de *Sporosarcina* sp. strain BAAA 2024

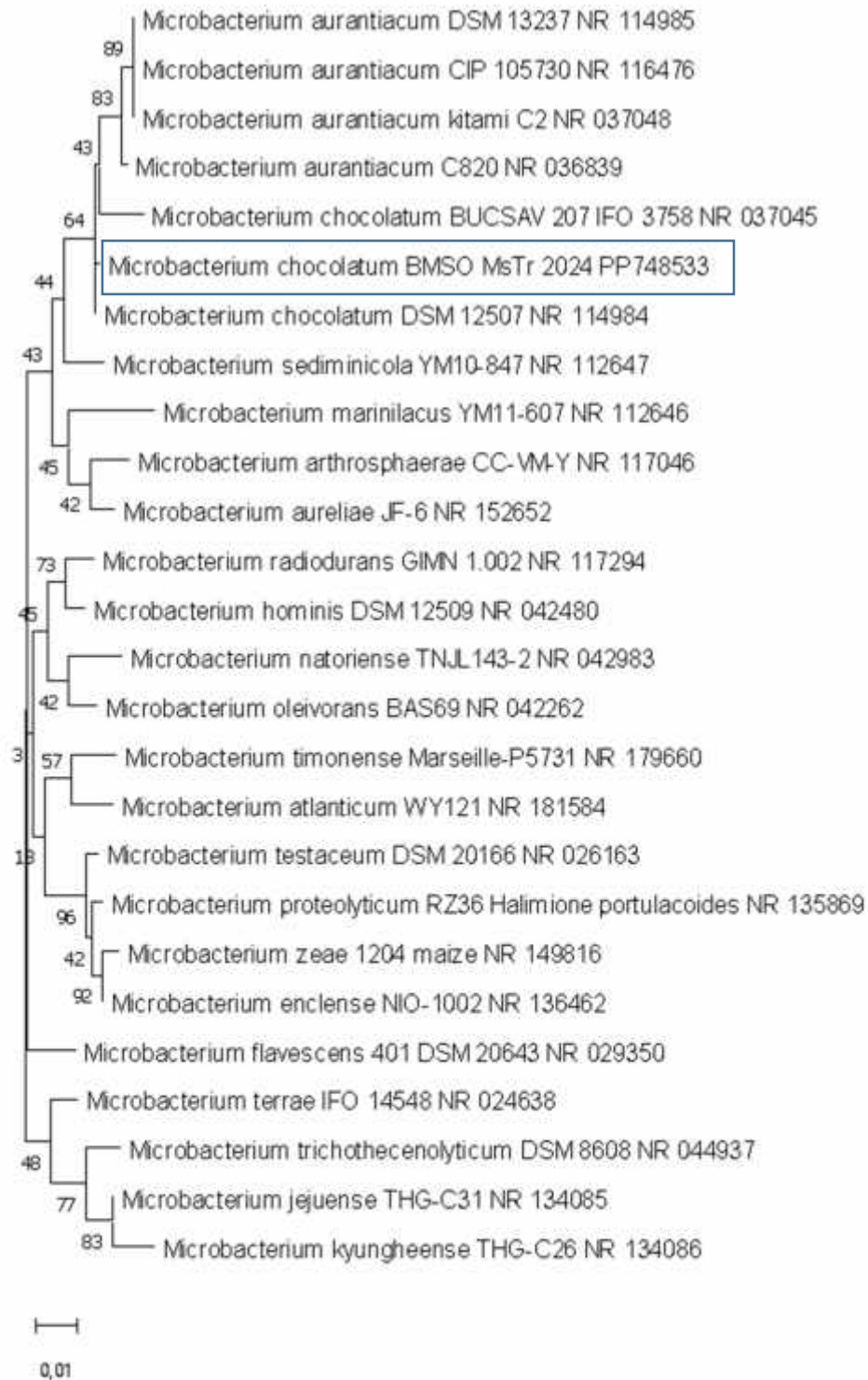


Figure 18 : Arbre phylogénétique de *Microbacterium* sp. strain BMSO MsTr 2024

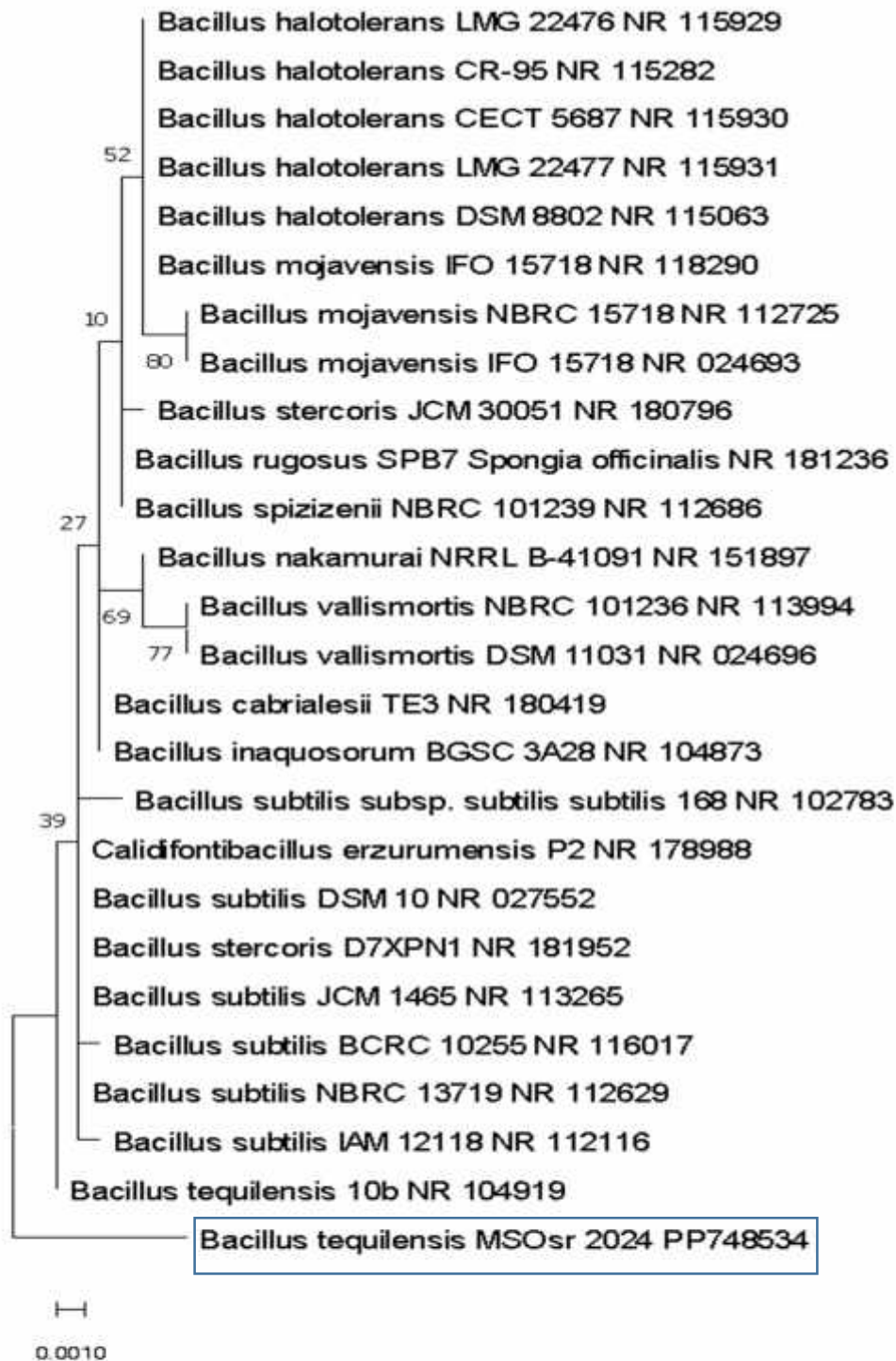


Figure 19 : Arbre phylogénétique de *Bacillus* sp. (in: firmicutes) strain MSOsr 2024

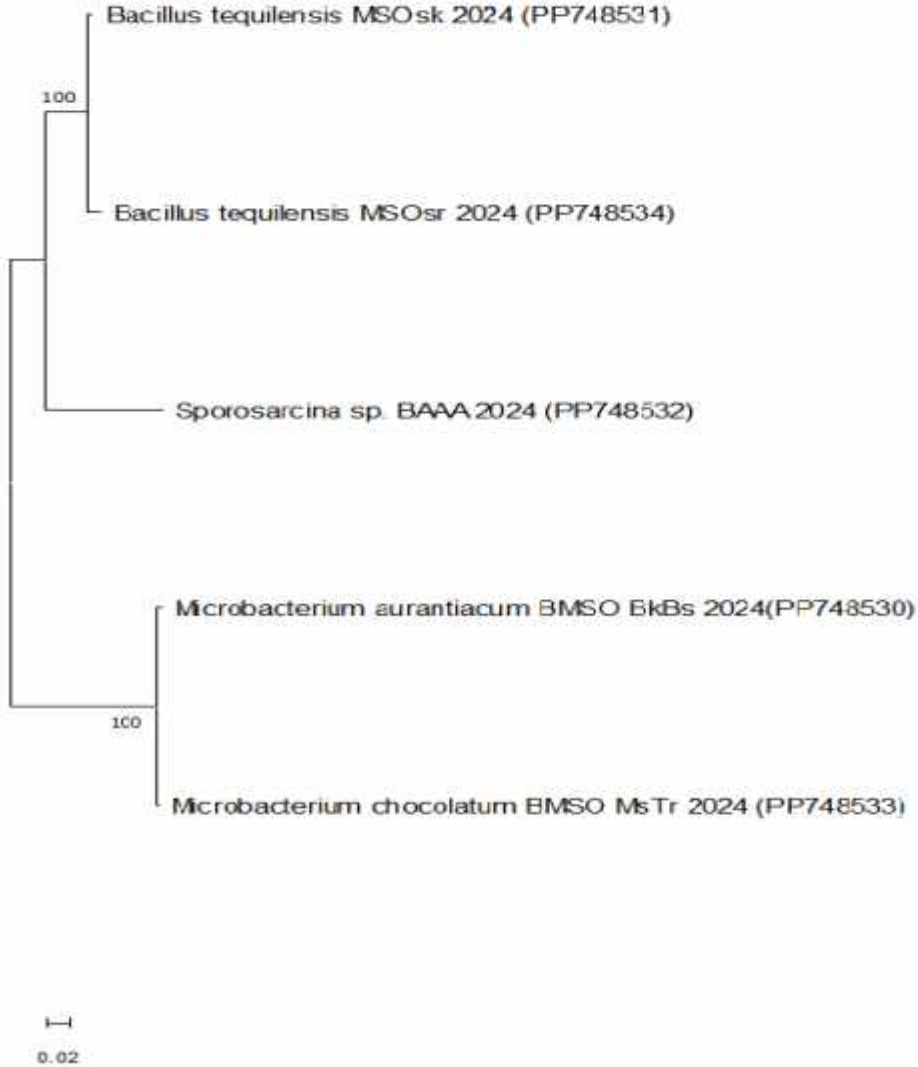


Figure 20 : Arbre phylogénétique entre les souches isolées

Conclusion générale

Conclusion générale

La production de colorants et leur utilisation génèrent des effluents persistants, bio-réfractaires, non biodégradables, fortement colorés, toxiques, carcinogènes et mutagènes. Il est impératif de traiter ces effluents avant de les rejeter dans l'environnement afin de prévenir la contamination des eaux souterraines et des sols.

Cette étude s'est concentrée en premier lieu sur la caractérisation physico-chimique d'un effluent provenant de la Société Industrielle et Technique Textile (SITT), située dans la zone industrielle de KASHIDA, dans la Wilaya de BATNA. De plus, elle a évalué l'efficacité de deux systèmes de traitement pour la dégradation d'un colorant cationique, le Bleu Dispersé, et est ensuite passée au traitement de l'effluent industriel récupéré. Le premier est un procédé d'oxydation avancée (NaOCl/UV) utilisant les irradiations solaires comme source d'UV, tandis que le deuxième système hybride combine le traitement par (NaOCl/UV) avec un traitement aérobie basé sur la dégradation via des microorganismes.

Les résultats obtenus ont conduit aux conclusions suivantes :

- ❖ Le traitement chimique de colorant industriel par le procédé d'oxydation avancée (NaClO/UV) a démontré une dégradation partielle du Bleu Dispersé au bout de 60 minutes de traitement et sous irradiation solaire. Ce système est efficace pour initier la dégradation du polluant mais il produit des sous-produits ou une pollution secondaire qui nécessite un autre traitement.
- ❖ Le procédé hybride utilisé qui combine traitement chimique et biologique parvint au bout de 21 jours de traitement par bactérie et cela après les 60 minutes de traitement par le système (NaOCl/UV) à aboutir à une décoloration total de la solution et une dégradation complète du colorant ce qui indique une préalable minéralisation totale des sous-produits organiques ou des polluants secondaires.
- ❖ Pour l'influence de la concentration initiale du colorant par le système (NaOCl/UV) et par le système hybride les résultats obtenus, montrent que les pourcentages de la décoloration diminuent avec l'augmentation de la concentration initiale. En effet, après 60 minutes de traitement

chimique des abattements de l'ordre de 73,47 % (100 ppm), de 65,02 % (120 ppm), de 60,68% (140 ppm) et de 57,09 % (160 ppm).

- ❖ Pour traitement hybride nous avons obtenus des abattements plus importants de l'ordre de 98,64% (100ppm), de 97,29 % (120 ppm), de 96,50% (140 ppm) et de 95,05 % (160 ppm).
- ❖ La comparaison de l'efficacité des différents procédés pour la dégradation du Bleu Dispersé suit l'ordre suivant : procédé hybride > système (NaOCl/UV).
- ❖ Pour le traitement de l'effluent industriel le suivi de l'indice de couleur (CN) a été utilisé pour évaluer l'efficacité du traitement pour les deux systèmes utilisés.
- ❖ Les valeurs du (CN) du système (NaClO/UV) passent de 0,20 0,10 ce qui indique une dégradation partielle.
- ❖ Pour le traitement hybride une baisse importante de (CN) de l'effluent est enregistrée atteignant une valeur de 0.05. Ceci indique une décomposition complète des composés organiques présents dans l'échantillon.

En conclusion, l'utilisation des Procédés d'Oxydation Avancés (POA) combinées avec le traitement biologique en présence des bactéries des dans le traitement des effluents industriel peut permettre une dégradation plus complète des polluants organiques, contribuant ainsi à réduire l'impact environnemental de ces décharges.

ADEME. (1999). La composition des ordures ménagères en France. ADEME édition, Paris, P60.

Belahmadi, Mohamed Seddik Oussama & Abdessemed, Ala. (2024). Enhancement of benzo[a]pyrene mineralization: symbiotic biodegradation by *Acinetobacter* sp. strain HAP1 in Association with *Cyanobacteriota* sp. S66. *Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes.* 59. 1-10. 10.1080/03601234.2024.2336554.

Belahmadi, Mohamed Seddik Oussama & Nabil, Charchar & Abdessemed, Ala & Gherib, Abdelfettah. (2023). Impact of petroleum refinery on aquatic ecosystem of Skikda Bay (Algeria): Diversity and abundance of viable bacterial strains. *Marine Pollution Bulletin.* 188. 10.1016/j.marpolbul.2023.114704.

Chiliveri, S. R., A. (2014). Novel thermostable, alkaline pectate lyase from *Bacillus tequilensis* SV11 with potential in textile industry, *Carbohydrate Polymers* pp. 89–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.065>

Clise E.H. (1948) ; Annexe au sous-ordre des Eubacteriineae. Dans le Manuel de bactériologie déterminante de Bergey , 6e. edn pp. 692-703 Edité par Breed R. S. , Murray E. GD , Hitchens A. P. Baltimore : Williams & Wilkins ; [Google Scholar].

Cohn, F., 1962. Studies on the biology of the bacilli. In: Brock, T.D. (Ed.), *Milestones*

Collins, M. D. & Kiedde, R. M. (1986). Genus *Microbacterium* Orla-Jensen 1909, 337AL. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol. 2, pp. 132G1322. Edited by P. H. A. Sneath, N. S. Mair, M. E. Sharpe & J. G. Holt. Baltimore : Williams & Wilkins

Derwich, E., Benaabidate, L., Zian, A., Sadki, O., & Belghity, D. (2010). Caractérisation Physico-chimique Des Eaux De La Nappe Alluviale Du Haut Sebou En Aval De Sa Confluence Avec Oued Fes

DIALYNAS E., DIAMADOPOULOS E. (2011). Integration of a membrane bioreactor. Etude d'un système autonome pour le traitement des eaux usées par les doctorants, Université de Chlef, (2011).

Du, Lin-Na & Li, Gang & Zhao, Yu-Hua & Xu, He-Kun & Wang, Yang & Zhou, Ying & Wang, Liang. (2015). Efficient metabolism of the azo dye methyl orange by *Aeromonas* sp. strain

DH-6: Characteristics and partial mechanism. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 105. 66-72. 10.1016/j.ibiod.2015.08.019.

ESPINDOLA J.C., SZYMANSKI K., CRISTOVÃO R.O. (2019). MENDES from aqueous solutions. *Journal of Cleaner Production*, (171), Pp 30–44.

Ganiyu, E.D. van Hullebusch, M. Cretin, G. Esposito, M.A. Oturan. (2015). Coupling of membrane filtration and advanced oxidation processes for removal of pharmaceutical residues: A critical review, *Separation and Purification Technology* (2015), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2015.09.059>

Huo, Yuning & Xie, Zongli & Wang, Xingdong & Li, Hexing & Hoang, Manh & Caruso, Rachel. (2013). Methyl orange removal by combined visible-light photocatalysis and membrane distillation. *Dyes and Pigments*. 98. 106–112. 10.1016/j.dyepig.2013.02.009

ISO (1988). ISO 7890-3:1988(fr) Qualité de l'eau — Dosage des nitrates — Partie 3: Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique

ISO (2013). Qualité de l'eau – Détermination de paramètres sélectionnés par des systèmes d'analyse discrète – Partie 1 : ammonium, nitrate, nitrite, chlorure, orthophosphate, sulfate et silicate par détection photométrique.

ISO. (1984). Qualité de l'eau - Dosage des nitrites - Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire. Consulte sur : <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/10531135-72d2-487d->

ISO. (1984). Qualité de l'eau — Dosage de l'azote Kjeldahl — Méthode après minéralisation au sélénium. Consulte sur <https://www.iso.org/fr/standard/11756.html>

JACKMAN P.J.H. (1982). Classification of *Corynebacterium* species from axillary skin by numerical analysis of electrophoretic patterns. *J Med Microbiol*. 1982; 15: 485-92

Journal officiel de la République Algérienne n° 26, 24. (2006). Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.

Jung, M. Y., Kim, J. S., Paek, W. K., Styra, I., Park, I. S., Sin, Y., Paek, J., Park, K. A., Kim, H., Kim, H. L., & Chang, Y. H. (2012). Description of *Lysinibacillus sinduriensis* sp. nov., and transfer of *Bacillus massiliensis* and *Bacillus odysseyi* to the genus *Lysinibacillus* as *Lysinibacillus massiliensis* comb. nov. and *Lysinibacillus odysseyi* comb. nov. with emended

description of the genus *Lysinibacillus*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 62(Pt 10), 2347–2355. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.033837-0>

Khattabi, H. (2002). Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour d'ordures ménagères d'Etueffont, Belfort. Thèse de Doctorat. Institut des Sciences de l'Environnement, France.

Koch, R., 1962. The etiology of anthrax, based on the life history of *Bacillus anthracis*. *Lett Appl Microbiol* 13, 202–206.

Louiza, H., & Zeroual, A. (2020). Management and Valorization of Urban Solid Waste: Landfills of the Batna City Case. *International Journal of Design & Nature*.

M. S. O. Belahmadi, A. Abdessemed, A. Gherib, N. Charchar, K. Houali, M. Houhamdi (2021). Management in Batna city and prospects for a sustainable development.

Nicholson W. L. and Fajardo-Cavazos P. (1997) DNA repair and the ultraviolet radiation resistance of bacterial spores: from the laboratory to the environment. *Recent Res. Dev. Microbiol.* 1: 125-140

Nicholson W. L. and Law J. F. (1999) Method for purification of bacterial endospores from soils: UV resistance of natural Sonoran desert soil populations of *Bacillus* spp. with reference to *B. subtilis* strain 168. *J. Microbiol. Methods* 35: 13-21

Pascal S. Thue a b, A. Carmalin Sophia c, Eder C. Lima a, Alfred G.N. Wamba a d, Wagner S. de Alencar a e, Glaydson S. dos Reis a f, Fabiano S. Rodembusch a, Silvio L.P. Dias a. (2018). Synthesis and characterization of a novel organic-inorganic hybrid clay adsorbent for the removal of acid red 1 and acid green 25 from aqueous solutions. *Journal of Cleaner Production*. Volume 171, (10) Pages 30-44

Pignatelli, M., Moya, A., & Tamames, J. (2009). EnvDB, a database for describing the environmental distribution of prokaryotic taxa. *Environmental microbiology reports*, 1(3), 191–197. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2009.00030.x>

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). L'analyse de l'eau : Biodégradabilité

ROLIL. (2005). L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} sédiments in Skikda bay, Algeria. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*.

Sefouhi, L., Kalla, M., & Aouragh, L. (2010). Trends and problems of municipal solid waste Spatiotemporal assessment and monitoring of hydrocarbons contamination of water and Sustainable Water & Environmental Systems, 1(1), 15-20.

Takeuchi, M., & Hatano, K. (1998). Union of the genera *Microbacterium* Orla-Jensen and *Aureobacterium* Collins et al. in a redefined genus *Microbacterium*. International journal of systematic bacteriology, 48 Pt 3, 739–747. <https://doi.org/10.1099/00207713-48-3-739>

Thue, P. S., Sophia, A. C., Lima, E. C., Wamba, A. G. N., de Alencar, W. S., dos Reis, G. S., (2005). Traitement des effluents industriels, Thèse de doctorat, l'INSA de Toulouse. Volume 238, Issues 1–3, March 2009, Pages 302-311

Thue, Pascal Silas & Sophia, Carmalin & Lima, Eder & Wamba, Alfred & Alencar, Wagner & Simões dos Reis, Glaydson & Rodembusch, Fabiano & Dias, Silvio. (2018). Synthesis and characterization of a novel organic-inorganic hybrid clay adsorbent for the removal of Acid Red 1 and Acid Green 25 from aqueous solutions. Journal of Cleaner Production. 271. 30-44. 10.1016/j.jclepro.2017.09.278.

Vadillo, Inaki & Carrasco, Fulvio & Andreo, B. & Torres, A. & Bosch, C.. (1999). Chemical composition of landfill leachate in a karst area with a Mediterranean climate (Marbella, southern Spain). Environmental Geology. 37. 326-332. 10.1007/s002540050391.

VITORVILARV JP., MOZIA S. (2021). Performance of hybrid systems coupling advanced coupled with reverse osmosis for advanced treatment of municipal wastewater, Desalination. Pp 274-280.

Annexes

1. Établissement de la courbe d'étalonnage nitrates



Figure 02 : virage de couleur obtenus dans la préparation de la courbe d'étalonnage de nitrates

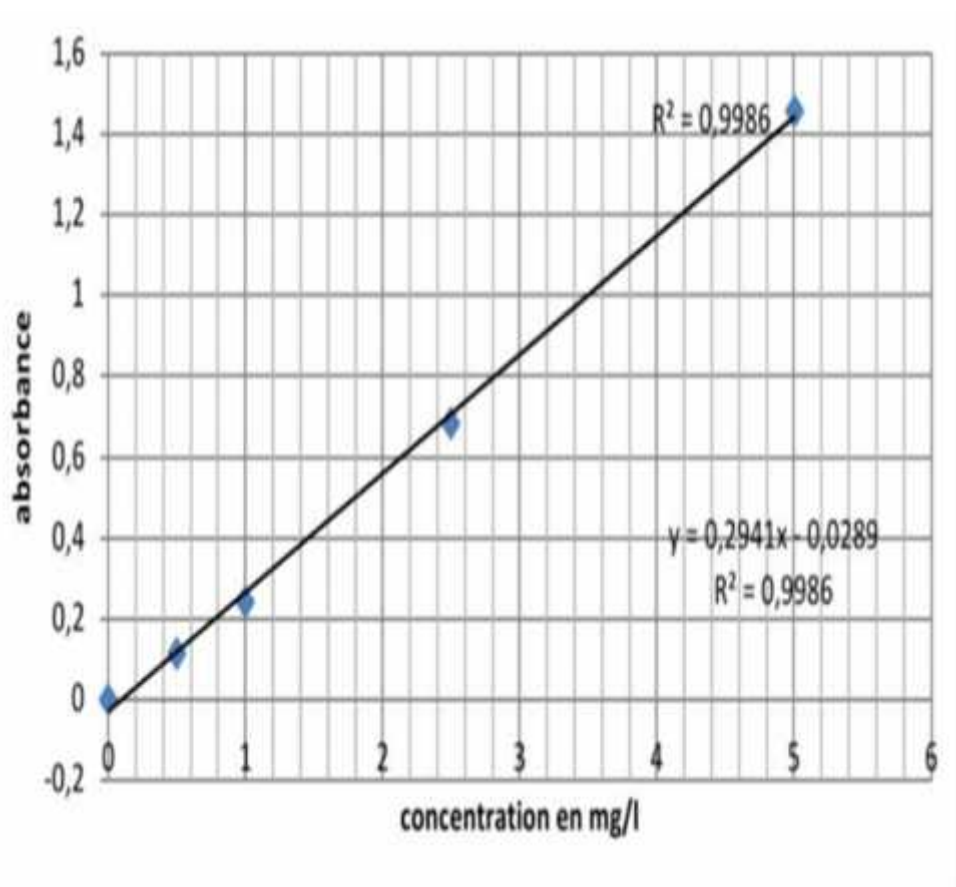


Figure 02 : Courbe d'étalonnage nitrate

2. Établissement de la courbe d'étalonnage nitrites

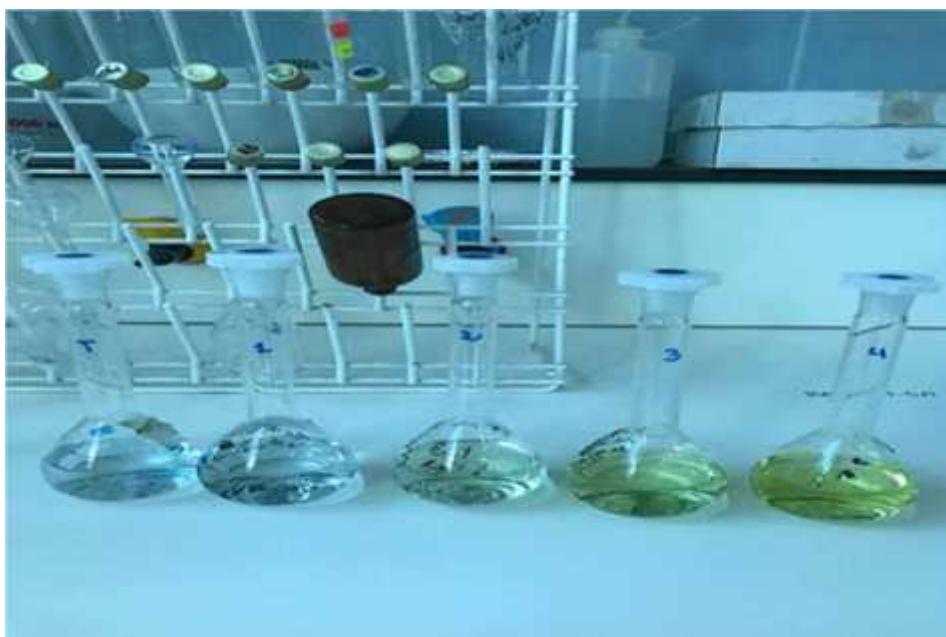


Figure 03 : virage de couleur obtenus dans la préparation de la courbe d'étalonnage de nitrites

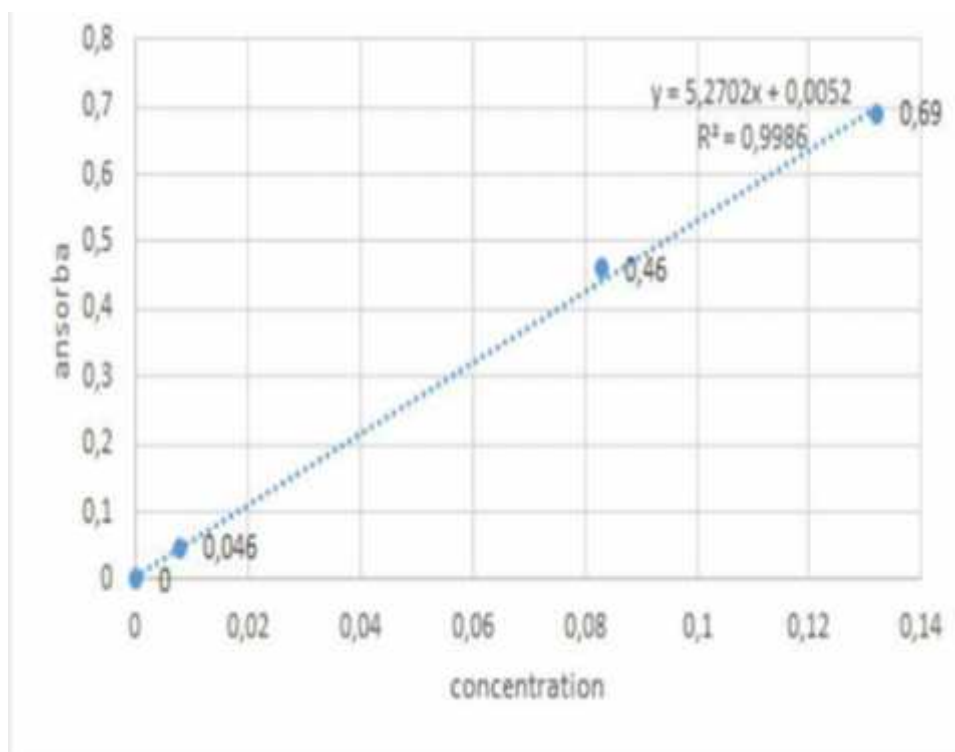


Figure 04 : Courbe d'étalonnage nitrite

3. Établissement de la courbe d'étalonnage d'ortho phosphates



Figure 05 : virage de couleur obtenus dans la préparation de la courbe d'étalonnage de ortho phosphates

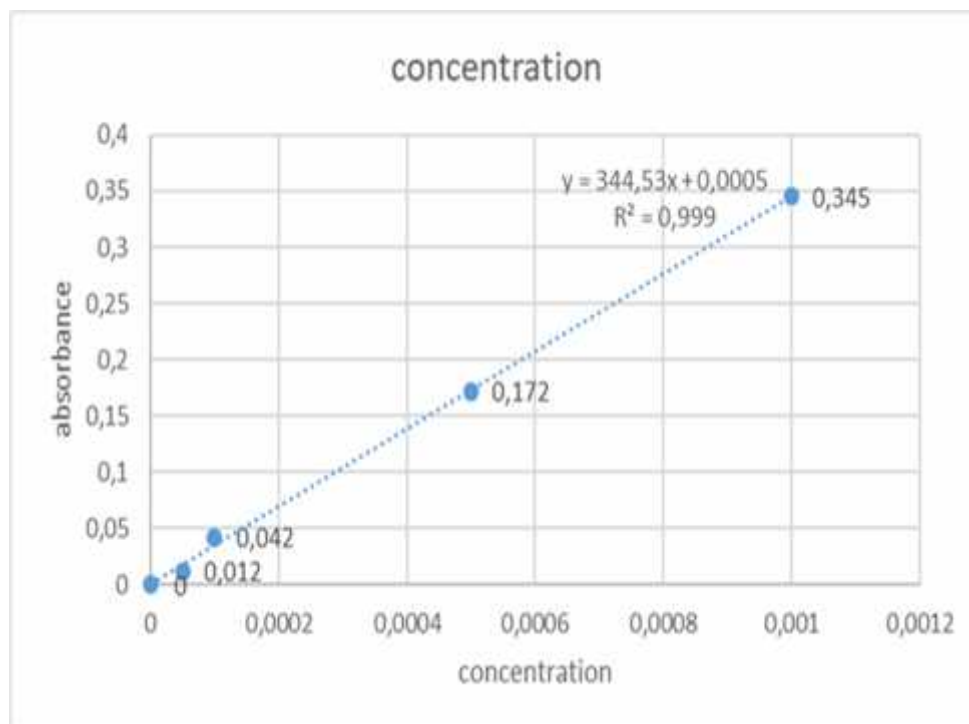


Figure 06 : Courbe d'étalonnage d'ortho phosphates

4. **Les résultats coloration de Gram:** à partir des boîtes de petri, Vous recevez 5 boîtes de petri contenant 5 souches de bactéries différentes.

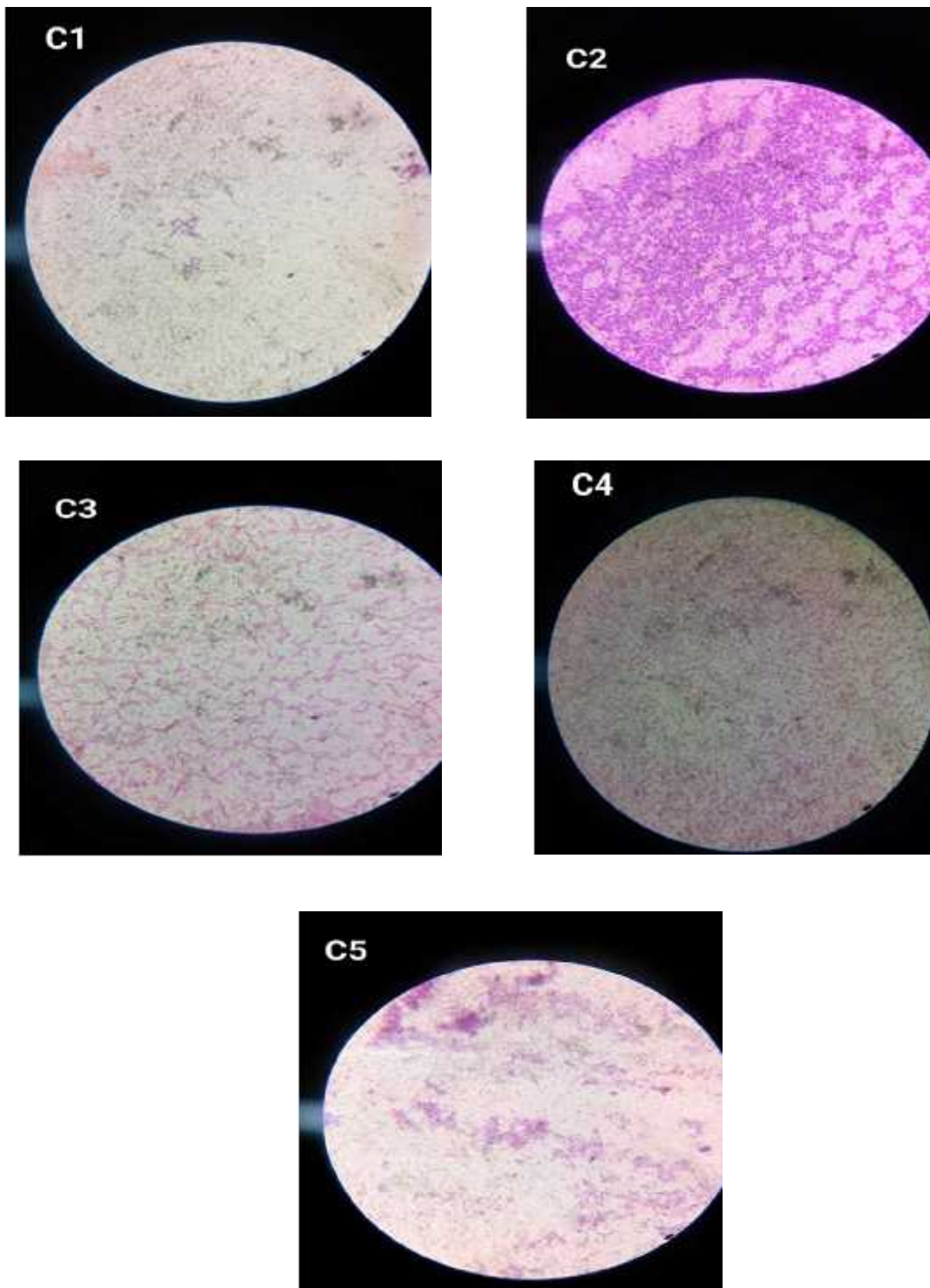


Figure 09 : Photos du Coloration de Gram des cinq souches de bactéries différentes.

Tableau 01 : les résultats du Coloration de Gram et les types des bactéries

	C1	C2	C3	C4	C5
Coloration de Gram(+ou-)	+	+	-	-	+
La bactérie	Microbacterium sp.	Bacillus sp.	Sporosarcina sp.	Microbacterium sp.	Bacillus sp.

5. L'intensité de la lumière au cours du traitement chimique et biologique par le procédé (NaClO/UV)

A l'aide d'un radiomètre, des mesures d'intensité lumineuse ont été effectuées régulièrement toutes les 60 minutes pendant la réaction de traitement, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

	Longueur d'onde		
	254 nm	310 nm	365 nm
Temps	intensité mesuré		
t= 0 min	0,12	1,07	1,97
t= 5 min	0,13	0,97	1,83
t= 10 min	0,14	1,13	1,97
t= 15 min	0,14	1,10	1,98
t= 20 min	0,15	1,21	2,00
t= 30 min	0,15	1,32	2,05
t= 45 min	0,15	1,33	2,14
t= 60 min	0,15	1,34	2,22

6. Les résultats de l'extraction d'ADN génomique :



7. Valeurs limites des Paramètres de rejets d'effluent liquide industriel

Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels :

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène
DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

Résumé

Le complexe industriel textile EATIT, situé dans la wilaya de Batna en Algérie, génère des eaux usées riches en matières organiques polluantes, notamment les colorants. Ces derniers sont souvent rejetés directement dans les cours d'eau sans aucun traitement préalable, ce qui en fait une cause majeure de pollution environnementale.

Cette étude vise à proposer un procédé efficace pour le traitement et l'élimination des colorants dans ce type d'effluent. Dans un premier temps, une caractérisation physico-chimique de l'effluent est effectuée afin d'évaluer le degré de pollution de ce type de rejet. D'autre part, un inventaire des espèces microbiennes présentes dans ce type de rejet est réalisé et celles-ci sont réutilisées dans un système hybride pour la dégradation du colorant Bleu Dispersé ainsi que pour le traitement de l'effluent récupéré.

Un prétraitement chimique utilisant le système ($\text{NaOCl}/\text{UV}_{\text{solaire}}$) est utilisé pour la dégradation de notre colorant ainsi que pour l'effluent. Les conditions initiales utilisées sont : $[\text{NaClO}]_0 = 0,2 \text{ M}$, $\text{pH} = 12,251$ pour l'effluent industriel et $\text{pH} = 7$ pour le Bleu Dispersé sous irradiation solaire. Ensuite un traitement biologique est appliqué afin d'améliorer la dégradation.

Les résultats ont montré que les taux de dégradation de la solution de notre colorant en utilisant le système de Procédé d'Oxydation Avancé (POA), (NaOCl/UV), augmentent lorsque la concentration initiale de ce dernier diminue. En effet, après 60 minutes de traitement chimique, nous avons obtenu des abattements de l'ordre de : 73.47%, 65.02%, 60.86% et 57.09% pour les concentrations initiales 100, 120, 140 et 160 ppm respectivement. L'application du traitement combiné ou hybride (POA + Biodégradation) permet d'atteindre une meilleure efficacité avec un taux de dégradations de plus de 95.05% après 21 jours de traitement pour toutes les concentrations initiales utilisées.

Pour le traitement des effluents industriels, on note que l'indice de couleur (CN) montre une diminution rapide et significative pour les deux systèmes.

Cette étude démontre qu'une approche hybride combinant les processus d'oxydations avancées et le traitement biologique constitue une alternative très efficace pour obtenir un traitement satisfaisant.

Mots clés : l'industrie textile, l'effluent industriel, procédés d'oxydation avancée (POA), traitement biologique, bactéries, carbone organique total.

Abstract

The EATIT textile industrial complex, located in the wilaya of Batna in Algeria, generates wastewater rich in polluting organic materials, notably dyes. The latter are often released directly into waterways without any prior treatment, making them a major cause of environmental pollution.

This study aims to propose an effective process for the treatment and elimination of dyes in this type of effluent. Firstly, a physicochemical characterization of the effluent is carried out in order to assess the degree of pollution of this type of discharge. On the other hand, an inventory of the microbial species present in this type of discharge is carried out and these are reused in a hybrid system for the degradation of the Dispersed Blue dye as well as for the treatment of the recovered effluent.

A chemical pretreatment using the system (NaOCl/UVsolar) is used for the degradation of our dye as well as for the effluent. The initial conditions used are: $[\text{NaClO}]_0 = 0.2 \text{ M}$, $\text{pH} = 12.251$ for industrial effluent and $\text{pH} = 7$ for Dispersed Blue under solar irradiation. Then a biological treatment is applied to improve the degradation.

The results showed that the degradation rates of our dye solution using the Advanced Oxidation Process (AOP) system (NaOCl/UV) increase as the initial concentration of the latter decreases. Indeed, after 60 minutes of chemical treatment, we obtained reductions of the order of: 73.47%, 65.02%, 60.86% and 57.09% for the initial concentrations 100, 120, 140 and 160 ppm respectively. The application of the combined or hybrid treatment (POA + Biodegradation) makes it possible to achieve better efficiency with a degradation rate of more than 95.05% after 21 days of treatment for all the initial concentrations used.

For the treatment of industrial effluents, we note that the color index (CN) shows a rapid and significant decrease for both systems.

This study demonstrates that a hybrid approach combining advanced oxidation processes and biological treatment constitutes a very effective alternative to obtain a satisfactory treatment.

Key words : textile industry, industrial effluent, advanced oxidation processes (AOP), biological treatment, bacteria, total organic carbon.

ملخص

يولد المجمع الصناعي للنسيج EATIT ، الواقع في ولاية باتنة بالجزائر، مياه صرف صحي غنية بالمواد العضوية الملوثة، ولا سيما الأصباغ. وغالباً ما يتم إطلاق هذه الأخيرة مباشرة في المجاري المائية دون أي معالجة مسبقة، مما يجعلها سبباً رئيسياً للتلوث البيئي.

تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح عملية فعالة لمعالجة وإزالة الأصباغ في هذا النوع من النفايات السائلة. أولاً، يتم إجراء التوصيف الفيزيائي والكيميائي للنفايات السائلة من أجل تقييم درجة التلوث لهذا النوع من التصريف. ومن ناحية أخرى، يتم إجراء جرد للأنواع الميكروبية الموجودة في هذا النوع من التصريف ويتم إعادة استخدامها في نظام هجين لتحلل الصبغة الزرقاء المشتتة وكذلك لمعالجة النفايات السائلة المستردة.

يتم استخدام المعالجة الكيميائية باستخدام النظام (NaOCl/UVsolar) لتحلل الصبغة وكذلك للنفايات السائلة. الشروط الأولية المستخدمة هي $[NaClO]_0 = 0.2 \text{ M}$ ، ودرجة الحموضة = 12.251 للنفايات السائلة الصناعية ودرجة الحموضة = 7 للأزرق المشتت تحت الإشعاع الشمسي. ثم يتم تطبيق المعالجة البيولوجية لتحسين التدهور.

أظهرت النتائج أن معدلات تحلل محلول الصبغة الخاص بنا باستخدام نظام عملية الأكسدة المتقدمة (NaOCl/UV) (AOP) تزداد مع انخفاض التركيز الأولي للأخير. في الواقع، بعد 60 دقيقة من المعالجة الكيميائية، حصلنا على تخفيضات في حدود: 73.47%، 65.02%، 60.86% و 57.09% للتركيزات الأولية 100، 120، 140 و 160 جزء في المليون على التوالي. يتيح تطبيق المعالجة المركبة أو الهجينة (POA + التحلل الحيوي) تحقيق كفاءة أفضل بمعدل تحلل يزيد عن 95.05% بعد 21 يوماً من المعالجة لجميع التركيزات الأولية المستخدمة.

وبالنسبة لمعالجة مياه الصرف الصناعي نلاحظ أن مؤشر اللون (CN) يظهر انخفاضاً سريعاً وكبيراً لكلا النظامين.

توضح هذه الدراسة أن النهج الهجين الذي يجمع بين عمليات الأكسدة المتقدمة والعلاج البيولوجي يشكل بديلاً فعالاً للغاية للحصول على علاج مرض.

الكلمات المفتاحية: صناعة النسيج، النفايات الصناعية السائلة، عمليات الأكسدة المتقدمة (AOP)، المعالجة البيولوجية، البكتيريا، الكربون العضوي الكلي.

Année universitaire : 2023-2024	Présenté par : MERIBAI Sirine TOUAMI Rahma
Procédés de d'Oxydations Avancées (POA's) comme étape de pré-oxydation pour le traitement biologique d'un colorant contenu dans les rejets de l'industrie de textile de la wilaya de Batna	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Biothérapie	
<p>Résumé :</p> <p>Le complexe industriel textile EATIT, situé dans la wilaya de Batna en Algérie, génère des eaux usées riches en matières organiques polluantes, notamment les colorants. Ces derniers sont souvent rejetés directement dans les cours d'eau sans aucun traitement préalable, ce qui en fait une cause majeure de pollution environnementale.</p> <p>Cette étude vise à proposer un procédé efficace pour le traitement et l'élimination des colorants dans ce type d'effluent. Dans un premier temps, une caractérisation physico-chimique de l'effluent est effectuée afin d'évaluer le degré de pollution de ce type de rejet. D'autre part, un inventaire des espèces microbiennes présentes dans ce type de rejet est réalisé et celles-ci sont réutilisées dans un système hybride pour la dégradation du colorant Bleu Dispersé ainsi que pour le traitement de l'effluent récupéré.</p> <p>Un prétraitement chimique utilisant le système (NaOCl/UVsolaire) est utilisé pour la dégradation de notre colorant ainsi que pour l'effluent. Les conditions initiales utilisées sont : $[NaClO]_0 = 0,2 \text{ M}$, $pH = 12,251$ pour l'effluent industriel et $pH = 7$ pour le Bleu Dispersé sous irradiation solaire. Ensuite un traitement biologique est appliqué afin d'améliorer la dégradation.</p> <p>Les résultats ont montré que les taux de dégradation de la solution de notre colorant en utilisant le système de Procédé d'Oxydation Avancé (POA), (NaOCl/UV), augmentent lorsque la concentration initiale de ce dernier diminue. En effet, après 60 minutes de traitement chimique, nous avons obtenu des abattements de l'ordre de : 73.47%, 65.02%, 60.86% et 57.09% pour les concentrations initiales 100, 120, 140 et 160 ppm respectivement. L'application du traitement combiné ou hybride (POA + Biodégradation) permet d'atteindre une meilleure efficacité avec un taux de dégradations de plus de 95.05% après 21 jours de traitement pour toutes les concentrations initiales utilisées.</p> <p>Pour le traitement des effluents industriels, on note que l'indice de couleur (CN) montre une diminution rapide et significative pour les deux systèmes.</p> <p>Cette étude démontre qu'une approche hybride combinant les processus d'oxydations avancées et le traitement biologique constitue une alternative très efficace pour obtenir un traitement satisfaisant.</p>	
Mots clés : l'industrie textile, l'effluent industriel, procédés d'oxydation avancée (POA), traitement biologique, bactéries, carbone organique total.	
Laboratoires de recherche : Centre de Recherche en Biotechnologie (C.R.Bt Constantine).	
Président du jury : Dr. MOSBAH Asma	(MCA – UFM, Constantine 1)
Encadrant : Dr. ABDESSEMED Ala	(MRA – C.R.Bt, Constantine)
Examinatrice : Dr. HARZALLAH Besma	(MCA – UFM, Constantine 1)