

République algérienne démocratique et populaire REPUBLIQUE  
ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département Génie de l'environnement

## *Mémoire*

Présenté pour obtenir  
LE DIPLOME DE MASTER  
Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Par  
➤ Mehsas Mohammed  
Intitulé

# Utilisation d'un biofloculant pour réduire la turbidité des eaux usées

*Soutenu le : 14/06/2023*

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
Hellati Abdelhak	Professeur	Président	Univ-BBA
Dilmi Abdelkader	MCB	Encadreur	Univ-BBA
Benmakhlouf Abdelfattah	MCB	Co-encadreur	Univ-BBA
Boufassa Samia	MCA	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُوا الْأَلْبَابِ

# *Remerciement*

Cher Professeur **Abd El Kader Dilmi**,

Au moment où je termine mon parcours universitaire, j'aimerais profiter de cette occasion pour vous exprimer ma profonde gratitude et vous présenter cette note de remerciement. Votre soutien inestimable, votre dévouement et votre expertise ont été essentiels pour ma réussite et ma croissance académique.

Tout au long de mon cursus universitaire, vous avez été bien plus qu'un simple professeur pour moi. Vous avez été un mentor attentionné, qui a toujours encouragé et nourri ma passion pour le domaine de génie des procédés d l'environnement. Votre passion pour l'enseignement et votre engagement envers vos étudiants se sont révélés à maintes reprises.

Je me souviendrai toujours de vos cours dynamiques, de vos discussions stimulantes et de votre volonté de nous pousser à atteindre notre plein potentiel. Vous avez su susciter en moi un intérêt profond pour la matière et m'avez montré comment l'appliquer de manière pratique dans la vie réelle.

En dehors de la salle de classe, vous vous êtes également montré disponible pour discuter de nos projets, de nos préoccupations et de nos objectifs. Votre générosité et votre bienveillance ont créé un environnement propice à l'apprentissage et à l'épanouissement personnel.

Je tiens à vous remercier sincèrement pour tous les efforts que vous avez déployés pour me guider tout au long de mon mémoire de fin d'études. Vos commentaires constructifs et vos conseils éclairés ont grandement contribué à l'amélioration de mon travail. Votre expertise et votre disponibilité ont été d'une valeur inestimable.

Et je remercie **M. Benmakhlouf Abdelfattah**, qui m'a aidé et a été derrière moi dans la réalisation du programme Plan Expériences, et je le remercie pour son professionnalisme, son bon traitement et sa défense de chaque petit et grand

Veillez accepter mes sincères remerciements et mes meilleurs vœux pour l'avenir.

Nous tenons à remercier tous les enseignants du département du Génie des procédés d l'enveniment (Faculté du Science de la Technologie, Université De Mohamed El Bachir El Ibrahimi Willaya de BBA) qui nous ont aidés et qui ont contribué à notre formation

Durant la période de nos études universitaires.

Cordialement.

**Mohammed mehsas**

# *Dédicaces*

Chère maman **Ben Cheikh Fahima**, cher mon père **Mehsas Faissal**, chers frères,  
Au moment où je termine mon parcours universitaire et que je rédige ma thèse de fin d'études, je souhaite vous exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance. Votre soutien inconditionnel, votre amour et votre encouragement constant ont été essentiels à ma réussite académique.

Maman, tu as été ma source d'inspiration depuis le début. Ta force, ta persévérance et ta sagesse m'ont guidé tout au long de mon parcours éducatif. Tu as toujours cru en moi et m'as encouragé à poursuivre mes rêves. Tes encouragements chaleureux et ta présence réconfortante ont été mon moteur dans les moments de doute et de difficulté.

Papa, ta sagesse et ton soutien inébranlable ont été des piliers solides dans ma vie. Tu m'as montré l'importance du travail acharné, de la discipline et de l'intégrité. Tes conseils avisés et ton exemple ont façonné ma vision du monde et m'ont incité à donner le meilleur de moi-même dans tous les aspects de ma vie.

Mes chers frères, vous avez été mes compagnons de route tout au long de cette aventure. Votre soutien inconditionnel, vos encouragements et votre fierté à mon égard ont été une source de motivation constante. Nous avons partagé des moments de joie, d'entraide et de complicité, et je suis reconnaissant(e) d'avoir pu compter sur vous à chaque étape de ma vie.

Cette thèse de fin d'études est dédiée à vous, ma famille bien-aimée. Vos valeurs, votre éducation et votre amour inconditionnel ont été les fondations sur lesquelles j'ai pu bâtir mon parcours universitaire. Vous m'avez donné les outils nécessaires pour réussir, et je suis profondément reconnaissant(e) pour cela.

Je vous remercie du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre soutien infaillible et votre amour inconditionnel ont été ma plus grande bénédiction. Je suis honoré(e) d'avoir une famille aussi merveilleuse que la vôtre.

Avec tout mon amour et ma reconnaissance,

**Mohammed mehsas**

## ملخص

يهدف العمل الذي تم تنفيذه إلى فحص تأثير مواد التخثر المختلفة ، مثل كبريتات الألومنيوم والتوزان والمادة الحيوية (المورنغا الوفيرا ) على تقليل عكارة الماء. تم إجراء الاختبارات في ظل ظروف تشغيل مختلفة على المياه العكرة. وبالتالي، تم فحص تأثير العوامل الفيزيائية والكيميائية المختلفة، مثل تركيز الرقائق الحيوية والتخثر المستخدم، وتأثير الأس الهيدروجيني على التجميع، وسرعة التحريك، وما إلى ذلك. أدت المعالجة التقليدية القائمة على الترسيب والتخثر والتلبد إلى تقليل التعكر بشكل كبير ، مع التركيز على مبادئ التخثر والتلبد والترسيب.

**الكلمات المفتاحية:** مياه الصرف الصحي ، مواد التخثر - التلبد ، مواد التخثر ، كبريتات الألومنيوم، المورنغا الوفيرا ، البوليمر الكاتيوني.

## Résumé

Le travail réalisé a pour but d'examiner l'effet de différents coagulants à savoir le Sulfate d'aluminium, et bio flocculant (mornga olivaire) sur l'abattement de la turbidité de l'eau. Les essais ont été réalisés dans différentes conditions opératoires sur une eau turbide. Ainsi, il a été examiné l'influence de différents paramètres physicochimiques, tels que la concentration du bio flocculant et coagulants utilisés, l'effet du pH sur l'agrégation, la vitesse d'agitation, etc. Un traitement conventionnel basé sur la décantation, coagulation-floculation a permis de réduire considérablement la turbidité, en axant les principes de coagulation, floculation et décantation.

**Mots clés :** Eaux usées, coagulation-floculation, coagulants, le Sulfate d'aluminium, Bio flocculant, mornga olivaire.

## Summary

The work carried out aims to examine the effect of different coagulants, namely aluminum sulphate, and bio flocculant (mornga olivaire) on the reduction of water turbidity. The tests were carried out under different operating conditions on turbid water. Thus, it was examined the influence of different physicochemical parameters, such as the concentration of the bioflocculant and coagulants used, the effect of pH on the aggregation, the speed of agitation, etc. A conventional treatment based on settling, coagulation-flocculation has considerably reduced turbidity, focusing on the principles of coagulation, flocculation and settling.

**Keywords:** Wastewater, coagulation-flocculation, coagulants, aluminum sulphate, bio flocculant, mornga olivaire.

# Table des matières

I.	Introduction générale .....	1
I.	CHAPITRE I: .....	3
I.1.	Introduction : .....	3
I.2.	Origine des eaux usées : .....	3
I.2.1.	Eaux usées domestiques : .....	3
I.2.2.	Eaux usées industrielles : .....	3
I.2.3.	Eaux de pluie : .....	4
I.2.4.	Les eaux usées d'origine agricole : .....	4
I.3.	Les pollutions des eaux usées : .....	4
I.3.1.	Polluants biologiques : .....	4
I.3.2.	Polluants chimiques : .....	4
I.3.3.	Pollution physique : .....	5
I.4.	Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées : .....	5
I.4.1.	Caractéristiques physico-chimiques : .....	5
I.4.2.	Caractéristiques bactériologiques : .....	6
I.5.	Paramètres microbiologique : .....	7
I.6.	Normes de rejets : .....	7
I.7.	Procédés d'épurations des eaux usées : .....	8
I.8.	Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux Usées : .....	9
I.9.	Etapes de traitement des eaux usées : .....	10
I.9.1.	Les procédés physiques : .....	10
I.9.1.1.	Le dégrillage : .....	10
I.9.1.2.	La dilacération : .....	11
I.9.1.3.	Le dessablage : .....	12
I.9.1.4.	Degraissage-deshuilage : .....	13
I.9.2.	Procédés physico-chimiques : .....	14
I.9.2.1.	La coagulation-floculation : .....	14
I.9.2.2.	La décantation : .....	14
I.9.3.	Procédés biologiques : .....	15
I.9.4.	Lits bactériens : .....	16
I.10.	Conclusion : .....	16
I.	CHAPITRE II: .....	17

II.1.	Introduction :	17
II.2.	Les solutions colloïdes :	17
II.2.1.	Matières en suspension et colloïdes :	18
II.2.2.	Les suspensions colloïdales :	18
II.3.	Théorie de la double couche :	19
II.3.1.	Théorie de Helmholtz :	20
II.3.2.	Théorie de Gouy-Chapman :	20
II.3.3.	Théorie de Stern :	21
II.4.	Potentiel Zêta :	21
II.5.	La coagulation :	22
II.5.1.	Les types de coagulants :	22
II.5.2.	Les coagulants de type sels métallique :	23
II.5.3.	Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ :	24
II.6.	Biofloculant Moringa oleifera :	25
II.6.1.	Introduction :	25
II.6.2.	Historique :	25
II.6.3.	Structure chimique du Moringa oleifera :	26
II.6.4.	Préparation du Moringa oleifera:	27
II.6.5.	Caractéristiques physico-chimiques de la Moringa oleifera :	27
II.7.	Mécanismes de la coagulation-floculation avec les polymères cationiques :	28
II.7.1.	Les avantages et inconvénients de l'utilisation du biofloculant Moringa oleifera :	29
II.7.2.	Facteurs influençant la coagulation-floculation avec le biofloculant Moringa oleifera :	30
I.	CHAPITRE III:	18
III.1.	Introduction :	31
III.2.	Echantillonnage :	31
III.3.	Caractérisation de l'échantillon :	31
III.4.	Procédure de coagulation floculation sur Jar Test:	32
III.5.	Réactifs et Appareillage :	32
III.5.1.	Réactifs :	32
III.5.2.	Appareillage :	33
III.6.	Préparation du bio floculant :	33
III.6.1.	Approches méthodologiques employées :	34
III.6.1.1.	Préparation de solution Mar de Moringa oleifera pour le traitement des eaux :	34
III.6.1.2.	Mode opératoire :	34
III.7.	Coagulant à base de sulfate d'aluminium $Al_2SO_4$ :	35

III.7.1.	Détermination de la dose optimale du coagulant : .....	35
III.7.3.	Détermination du pH optimal pour la coagulation floculation .....	36
III.7.4.	Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées	36
III.6.5.	Détermination de la durée optimale de coagulation floculation .....	36
III.8.	Mode opératoire dans le cas de l'utilisation d'un Biofloculant à base de Moringa oleifera ...	37
III.8.2.	Détermination de la dose optimale du biofloculant : .....	37
III.8.3.	Détermination du pH optimal pour la coagulation floculation .....	38
III.8.4.	Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées	38
III.8.5.	Détermination de la durée optimale de coagulation floculation .....	39
IV.1.	Introduction : .....	40
IV.2.	Essai de Coagulation-Floculation de Sulfate d'aluminium et avec le polymère cationique : .	40
IV.2.1.	Optimisation de la dose du coagulant sulfate d'aluminium.....	40
IV.2.2.	Optimisation de la dose du Floculant.....	41
IV.2.3.	Optimisation du pH : .....	42
IV.2.4.	Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation par ajout du floculant.....	43
IV.3.	Essai de bio-floculation avec Moringa oleifera : .....	43
IV.3.1.	Optimisation de la dose de la coagulante solution prépare sulfate d'aluminium : .....	44
IV.3.2.	Optimisation de la dose du bio-floculation de Moringa oleifera : .....	45
IV.3.3.	Optimisation du pH : .....	45
IV.3.4.	Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation par ajout du biofloculant : .....	47
IV.4.	Application du plan d'expériences : .....	48
IV.4.1.	Choix des facteurs d'étude : .....	48
IV.4.2.	Modélisation : .....	49
IV.5.	Diagramme de Pareto pour la turbidité : .....	50
IV.6.	Le coefficient de détermination $R^2$ pour la turbidité : .....	51
IV.6.1.	Diagrammes des effets principaux : .....	52
IV.6.2.	Diagrammes des effets d'interactions des facteurs : .....	53
IV.6.3.	Les graphiques de contour pour la turbidité : .....	54
V.	Conclusion générale.....	56

## Liste des tableaux :

<b>Tableau I-1</b> : les normes algériennes de rejet.....	11
<b>Tableau II-3</b> : les avantages et les inconvénients d'utilisation biofloculant <i>Moringa oleifera</i> .....	13
<b>Tableau III.1</b> : Principes et références des méthodes d'analyse.....	22
<b>Tableau IV.1</b> : Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l'eau.....	27
<b>Tableau IV.2</b> : Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l'eau.....	32
<b>Tableau IV.3</b> : Facteurs et domaine d'étude.....	34
<b>Tableau IV.4</b> Les essais et les réponses du plan box-Behnken.....	35

## Liste des tableaux

<b>Figure I-1</b> : le fonctionnement du dégrillage.....	11
<b>Figure I-2</b> : le descriptif du dessablage.....	13
<b>Figure II-1</b> : potentiel électrique des particules colloïdales.....	22
<b>Figure II-2</b> :représentation de l'origine du Moringa oleifera.....	27
<b>Figure III.1</b> : Appareil de jar test.....	33
<b>Figure III.3</b> : La plante de Moringa oleifera.....	35
<b>Figure III.4</b> Les étapes de préparation de la solution de bio floculant.....	36
<b>Figure IV.1</b> : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant $Al_2SO_4$ .....	42
<b>Figure IV.2</b> : la turbidité en fonction de différentes doses du floculant polymère de cationique.....	42
<b>Figure IV.3</b> : Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du coagulant floculant.....	43
<b>Figure IV.4</b> :Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation .....	44
<b>Figure.VI.5</b> :réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation.....	44
<b>Figure IV.6</b> : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant de solution prépare $Al_2SO_4$ .....	45
<b>Figure IV.7</b> : la turbidité en fonction de différentes doses du biofloculant Moringa oleifera.....	46
<b>Figure IV.8</b> : Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du coagulant biofloculant.....	47
<b>Figure IV.9</b> :Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation .....	48
<b>Figure.VI.10</b> :réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation.....	48
<b>Figure VI.11</b> : Diagramme de Pareto des effets normalisés de la turbidité .....	51
<b>Figure VI.12</b> : Diagramme des effets principaux pour la turbidité.....	52
<b>Figure VI.13</b> : Diagramme d'interactions pour la turbidité.....	53
<b>Figure VI.14</b> : Graphique de contour du taux d'élimination de turbidité, coagulant et la biofloculant.....	53
<b>Figure VI.15</b> : Graphique de contour du taux d'élimination de turbidité, coagulant et la biofloculant et PH.....	54
<b>Figure VI.16</b> : Présentation des surfaces de réponse dans un espace a trois dimensions ; en fonction de la concentration en coagulant et la concentration en biofloculant .....	55

## Liste des abréviations

---

**CE** : conductivité électrique.

**CF** : coliformes fécaux.

**COT** : carbone organique total.

**DA** : degré d'acétylation.

**DBO** : demande biochimique en oxygène.

**DCO** : demande chimique en oxygène.

**DDA** : degré de désacétylation.

**ERI** : eaux résiduaires industrielles

**M.T.H** : Maladies à transmission hydrique.

**MES** : matière en suspension.

**MMS** : matières minérales en suspension.

**MO** : matières organiques.

**MVS** : matières volatiles en suspension.

**N**: azote.

**NGL**: azote global.

**NTU** : unité néphélobométrique de turbidité.

**OMS** : organisation mondiale de la santé.

**FeCl<sub>3</sub>**: Chlorure de fer.

**P** : phosphore.

**pH** : potentiel hydrogène.

**PT**: phosphore total.

**STEP**: station d'épuration.

**TRT** : taux de réduction de la turbidité..

**μS** : micro siemens.

# **I. Introduction générale**

## **I.Introduction générale**

L'eau est une ressource vitale pour tous les êtres vivants sur Terre. Cependant, la pollution et la dégradation de la qualité de l'eau sont devenues des problèmes mondiaux majeurs. Les eaux usées industrielles et municipales sont souvent chargées de particules en suspension, ce qui entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. La turbidité de l'eau est non seulement indésirable d'un point de vue esthétique, mais elle peut également compromettre la santé humaine et l'écosystème aquatique.

Par conséquent, la recherche de solutions efficaces pour réduire la turbidité des eaux usées revêt une importance capitale. Parmi les méthodes de traitement couramment utilisées, l'utilisation de flocculants chimiques a été privilégiée en raison de leur efficacité. Cependant, ces produits chimiques peuvent être coûteux, toxiques et avoir des effets néfastes sur l'environnement.

Dans ce contexte, l'utilisation de bioflocculants d'origine végétale a suscité un intérêt croissant. Les bioflocculants sont des substances naturelles capables d'agglomérer les particules en suspension dans l'eau, formant ainsi des flocs qui peuvent être facilement éliminés. Le *Moringa olifera*, également connu sous le nom "d'arbre miracle", est l'une de ces plantes qui présente un potentiel prometteur en tant que bioflocculant.

Le *Moringa olifera* est un arbre originaire des régions tropicales et subtropicales. Ses graines contiennent des protéines cationiques, appelées peptides cationiques antimicrobiens (AMPs), qui ont la capacité de neutraliser les charges négatives présentes sur les particules en suspension dans l'eau. En conséquence, les particules sont agglomérées et peuvent être facilement séparées de l'eau.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'utilisation d'un bioflocculant à base de *Moringa olifera* pour réduire la turbidité des eaux usées. Pour atteindre cet objectif, différentes méthodes d'extraction des peptides cationiques antimicrobiens du *Moringa olifera* seront examinées, en mettant l'accent sur les méthodes respectueuses de l'environnement et économiquement viables.

L'étude comprendra également une évaluation de la capacité des extraits de *Moringa olifera* à flocculer les particules en suspension dans l'eau. Des expériences en laboratoire seront réalisées, ainsi que des tests sur des échantillons d'eaux usées réelles. De plus, les paramètres clés tels que la dose optimale de biofloculant, le temps de floculation et les conditions de pH seront analysés pour maximiser l'efficacité du processus de clarification.

Outre l'évaluation de l'efficacité du biofloculant à base de *Moringa olifera*, cette étude abordera également les aspects économiques et environnementaux liés à son utilisation. Les coûts de production et de mise en œuvre de cette méthode de traitement des eaux usées seront évalués par rapport aux flocculants chimiques traditionnels. De plus, les avantages environnementaux de l'utilisation de bioflocculants d'origine végétale, tels que le *Moringa olifera*, seront discutés, mettant en évidence leur faible impact sur l'environnement et leur potentiel de durabilité.

En conclusion, l'utilisation d'un biofloculant à base de *Moringa olifera* représente une approche prometteuse et durable pour réduire la turbidité des eaux usées. Cette étude vise à fournir des informations scientifiques et techniques sur l'utilisation du *Moringa olifera* en tant que biofloculant, ainsi que des recommandations pour son application pratique dans le traitement des eaux usées. L'adoption de cette méthode pourrait contribuer à l'amélioration de la qualité de l'eau et à la préservation des écosystèmes aquatiques, tout en réduisant les coûts. Cette recherche ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour le traitement des eaux usées, en combinant les avantages de l'efficacité de la floculation avec des produits naturels et durables. En outre, l'utilisation de bioflocculants d'origine végétale peut offrir des solutions plus abordables, en particulier dans les régions où l'accès aux flocculants chimiques est limité.

Il convient de souligner que cette étude ne se limite pas seulement à l'évaluation de l'efficacité du biofloculant à base de *Moringa olifera*, mais elle constitue également une contribution à la recherche sur les méthodes de traitement des eaux usées respectueuses de l'environnement. Les résultats de cette étude pourraient encourager la mise en œuvre de pratiques plus durables dans le traitement des eaux usées, contribuant ainsi à la préservation de l'eau en tant que ressource précieuse pour les générations futures.

# **I. CHAPITRE I:**

## **Généralités sur les eaux usées**

### I.1. Introduction :

Essayer de trouver de nouvelles sources qui répondent aux besoins de la population en eau douce est l'une des solutions les plus importantes recherchées par les gouvernements. Par conséquent, connaître les sources des eaux usées et les moyens de les traiter est nécessaire à l'heure actuelle. Là où le développement qu'ont connu divers pays du monde, l'augmentation de la population et l'élévation du niveau de vie ont entraîné une augmentation de la demande en eau.

L'une de ces sources est le traitement des eaux usées. Cette eau peut être utilisée dans plusieurs domaines mentionnés ci-dessus.

Il existe de nombreuses utilisations de l'eau à des fins différentes. Ensuite, ces eaux usées sont dirigées vers les flux d'eaux usées, qui sont transportés par le réseau d'égouts vers les stations d'épuration, qui effectuent plusieurs opérations afin de se débarrasser des effets négatifs et des risques associés de cette eau dans le cas où elle n'est pas traitée. Ce chapitre a pour objectif de donner une idée sur les origines des eaux usées, leurs systèmes d'évacuations, ainsi que les différentes techniques utilisées pour leur épuration.

### I.2. Origine des eaux usées :

- Eau provenant d'usages domestiques et commerciaux tels que les écoles, les hôtels
- Eau générée à partir d'utilisations industrielles
- L'eau de la pluie
- Eau générée à partir d'utilisations agricoles

#### I.2.1. Eaux usées domestiques :

Elle est généralement constituée d'eau, de vaisselle contenant des déchets alimentaires, de graisse, d'eau d'excréments humains, de matières organiques phosphorées et de germes. On l'appelle eau noire en raison de sa couleur proche du noir.

Et parfois, il est dangereux pour la vie et la santé humaines car il provoque des maladies (paludisme) et les bactéries, et l'une des choses les plus importantes que l'humanité ait faites est de limiter la propagation de ces maladies par le travail des canaux d'égouts avec l'élaboration de règles et d'opérations d'assainissement, y compris le développement des Réseaux d'assainissement [1]

#### I.2.2. Eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles ne sont pas complètement similaires aux eaux usées [3]

domestiques, car elles diffèrent par de nombreuses caractéristiques d'une industrie à l'autre et contiennent des produits azotés, organiques, phosphorés, toxiques, des solvants, des métaux lourds et des micro-organismes

### **I.2.3. Eaux de pluie :**

L'eau de pluie est de bonne qualité pour la consommation humaine lorsqu'il pleut, elle provient du ruissellement superficiel de l'eau chargée de nombreux polluants solides et liquides, qu'elle entraîne avec elle dans le réseau d'assainissement. [2]

À partir de sa on peut dire que l'eau industrielle la plus dangereuse en raison de la présence de métaux lourds il est difficile à dissoudre

### **I.2.4. Les eaux usées d'origine agricole :**

C'est l'eau qui est polluée en raison d'utilisations agricoles parce que l'agriculteur utilise deux produits de nature agricole ou industrielle qui peuvent affecter la qualité de l'eau et être principalement pollués pour l'environnement, qui devient une eau polluée par une action agricole

## **I.3. Les pollutions des eaux usées :**

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles [3]

Les pollutions des eaux usées font référence à la contamination de l'eau qui est utilisée dans les ménages, les industries et les institutions, et qui est ensuite évacuée via les égouts et les systèmes de traitement des eaux usées. Cette pollution peut être causée par des déchets organiques et inorganiques, des produits chimiques toxiques, des matières fécales, des résidus pharmaceutiques, des métaux lourds, des huiles, des graisses et d'autres substances nocives. Les eaux usées polluées peuvent avoir des effets graves sur l'environnement et la santé publique s'ils ne sont pas traités correctement.

### **I.3.1. Polluants biologiques :**

Les eaux usées peuvent contenir des matières organiques d'origine animale ou végétale qui peuvent être décomposées par des bactéries et des micro-organismes dans l'eau, ce qui peut réduire l'oxygène disponible pour les plantes et les animaux aquatiques.

### **I.3.2. Polluants chimiques :**

Les eaux usées peuvent contenir des produits chimiques toxiques tels que les métaux lourds, les produits chimiques industriels, les pesticides et les médicaments. Ces produits

chimiques peuvent causer des problèmes de santé pour les êtres humains et les animaux qui consomment de l'eau contaminée.

### **I.3.3. Pollution physique :**

La pollution physique fait référence à la présence de matériaux non naturels ou d'objets dans l'environnement qui peuvent causer des dommages ou des perturbations. Cette forme de pollution peut prendre différentes formes, telles que la présence de déchets solides sur les plages ou dans les océans, les débris dans les rivières ou les lacs, les emballages en plastique ou en papier jetables, les véhicules abandonnés, les équipements des électroniques, les matériaux de construction abandonnés, et d'autres objets qui ne se dégradent pas facilement dans l'environnement.

La pollution physique peut avoir de graves répercussions sur l'environnement et la santé publique. Elle peut nuire aux écosystèmes en perturbant les habitats naturels des animaux et des plantes, et causer des blessures ou la mort des animaux marins et terrestres. Elle peut également obstruer les voies navigables, provoquer des inondations et des glissements de terrain, et causer des accidents de la route. Enfin, la pollution physique peut être coûteuse à éliminer et peut avoir des répercussions économiques négatives sur les communautés locales. [4]

### **I.4. Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées :**

Les eaux usées sont des eaux qui ont été utilisées dans des activités domestiques, industrielles ou agricoles et qui ont été rejetées dans l'environnement. Elles peuvent contenir une grande variété de polluants, tels que des matières organiques, des nutriments, des métaux lourds, des produits chimiques toxiques et des micro-organismes pathogènes.

Voici les principales caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées.

#### **I.4.1. Caractéristiques physico-chimiques :**

- **potentiel hydrogène (pH) :** le pH des eaux usées peut varier entre 4,5 et 9,0 en fonction de la source de pollution.
- **Température :** la température des eaux usées peut varier en fonction de la saison et de la source de pollution. Elle peut avoir une influence sur la croissance des micro-organismes.
- **Matières en suspension :** les eaux usées peuvent contenir des matières en suspension, telles que des particules de sable, de boue ou de matières organiques.

- **Demande biochimique en oxygène (DBO)** : la DBO est une mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer les matières organiques dans les eaux usées par les micro-organismes. Elle est utilisée pour évaluer la pollution organique des eaux.
- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : la DCO est une mesure de la quantité d'oxydant nécessaire pour décomposer les matières organiques et inorganiques dans les eaux usées. Elle est utilisée pour évaluer la pollution totale des eaux.
- **Nutriments** : les eaux usées peuvent contenir des nutriments, tels que l'azote et le phosphore, qui peuvent causer des problèmes de prolifération de micro-organismes dans les eaux réceptrices.

### I.4.2. Caractéristiques bactériologiques :

Les eaux usées contiennent souvent des micro-organismes tels que des bactéries, des virus, des champignons et des parasites. Les bactéries sont l'un des types de micro-organismes les plus courants dans les eaux usées.

Les paramètres organoleptiques dans les eaux usées peuvent inclure des caractéristiques qui peuvent être détectées par les sens humains tels que l'odorat, le goût, la couleur et la turbidité. Les caractéristiques organoleptiques peuvent être utilisées pour évaluer la qualité de l'eau, notamment en termes d'acceptabilité pour différents usages tels que l'irrigation, la pêche, la baignade ou la consommation humaine.

Voici quelques exemples de paramètres organoleptiques couramment mesurés dans les eaux usées :

- **Odeur** : les eaux usées peuvent avoir une odeur désagréable en raison de la présence de gaz tels que le sulfure d'hydrogène, le méthane et l'ammoniac. Ces gaz sont produits par la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées. Des odeurs fortes peuvent indiquer la présence de matières organiques en décomposition avancée ou d'autres substances nocives pour la santé humaine ou l'environnement.
- **Goût** : les eaux usées peuvent avoir un goût désagréable en raison de la présence de matières organiques, de sels ou de métaux dissous. Ces substances peuvent affecter le goût de l'eau et la rendre inacceptable pour la consommation humaine ou pour d'autres utilisations.
- **Couleur** : les eaux usées peuvent avoir une couleur brunâtre ou noire en raison de la présence de matières organiques ou de métaux dissous. Une couleur anormale peut indiquer la présence de substances nocives pour la santé humaine ou l'environnement.

- **Turbidité :** la turbidité mesure la quantité de matière en suspension dans l'eau. Les eaux usées peuvent avoir une turbidité élevée en raison de la présence de matières organiques en suspension, de sédiments ou d'autres substances. Une turbidité élevée peut rendre l'eau inacceptable pour certaines utilisations, comme l'irrigation ou la pêche.

Il est important de mesurer et de contrôler les paramètres organoleptiques dans les eaux usées pour s'assurer qu'elles sont traitées de manière adéquate et qu'elles ne représentent pas un risque pour la santé humaine ou l'environnement.

### **I.5. Paramètres microbiologique :**

Les paramètres microbiologiques sont des mesures utilisées pour évaluer les caractéristiques microbiologiques d'un échantillon donné. Ces paramètres sont généralement mesurés en laboratoire et peuvent inclure des caractéristiques telles que la présence ou l'absence de certaines espèces bactériennes, la quantité de bactéries dans un échantillon donné, la résistance aux supposées et la capacité de croissance dans des conditions spécifiques.

Les paramètres microbiologiques peuvent être utilisés pour évaluer la sécurité et la qualité des aliments et des boissons, des produits pharmaceutiques, des produits cosmétiques et d'autres produits. Ils peuvent également être utilisés pour surveiller l'environnement et les écosystèmes, y compris la qualité de l'eau, de l'air et du sol.

Les paramètres microbiologiques peuvent varier en fonction du type d'échantillon et de l'application spécifique. Les laboratoires utilisent souvent des références pour interpréter les résultats des tests microbiologiques et déterminer si les niveaux de bactéries dans un échantillon donné sont acceptables ou non. Les références peuvent être des normes réglementaires, des directives industrielles ou des normes de l'industrie. [5]

### **I.6. Normes de rejets :**

Les normes de rejet des eaux usées varient selon les pays et les régions, mais généralement, elles sont établies par les autorités compétentes en matière de traitement des eaux usées. Les normes de rejet sont conçues pour protéger l'environnement et la santé publique en limitant la quantité de polluants rejetés dans les cours d'eau, les lacs et les océans.

Les polluants couramment mesurés dans les eaux usées comprennent les matières en suspension, les matières organiques, les nutriments tels que l'azote et le phosphore, les métaux lourds, les produits chimiques toxiques, les bactéries et les virus.

Les normes de rejet peuvent inclure des limites de concentration pour chaque polluant, des exigences de traitement avant le rejet, des limites de débit ou de volume total de rejet, ainsi que

des exigences de surveillance et de rapport. Les entreprises et les installations de traitement des eaux usées doivent se conformer à ces normes pour éviter des amendes et des sanctions réglementaires. [6]

**Tableau I-1** : les normes algériennes de rejet. [7]

Chrome hexa valent	0.1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0.1
DBO5	500
DCO	1000
Etain	0.1
Fer	1
Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
MES	600
Magnésium	300
Nickel	0.01
Nitrites	2
Phosphore totale	0.1
Phénol	50
Plomb	1
Sulfures	0.5
Sulfates	400
Zinc et composés	2

### I.7. Procédés d'épurations des eaux usées :

Il existe plusieurs procédés d'épuration des eaux usées, chacun ayant des avantages et des inconvénients en termes de coût, d'efficacité et de facilité d'utilisation. Voici quelques exemples de procédés couramment utilisés [8] :

**Traitement biologique** : Ce procédé utilise des micro-organismes pour décomposer les matières organiques dans les eaux usées. Le traitement biologique peut se faire par aération, où de l'air est injecté dans l'eau pour encourager la croissance des bactéries, ou par boues activées,

où les eaux usées sont mélangées avec des boues qui contiennent déjà des bactéries.

**Filtration** : La filtration peut être utilisée pour éliminer les solides en suspension, les particules, les matières organiques et les produits chimiques. Les filtres peuvent être de différents types, tels que les filtres à sable, les filtres à gravier, les filtres à charbon actif, les filtres à membrane, etc.

**Décantation** : La décantation consiste à laisser les particules lourdes se déposer au fond d'un réservoir. Les eaux usées sont laissées en repos pendant un certain temps, et les solides en suspension se déposent au fond du réservoir. L'eau clarifiée est ensuite retirée de la partie supérieure du réservoir.

**Ozonation** : L'ozonation est un traitement chimique qui utilise de l'ozone pour oxyder les polluants présents dans l'eau. L'ozone est un gaz très réactif qui peut éliminer efficacement les virus, les bactéries, les champignons et les produits chimiques toxiques.

**Ultrafiltration** : L'ultrafiltration est une technique de filtration membranaire qui utilise des membranes à pores très fins pour éliminer les solides en suspension, les virus, les bactéries, les matières organiques et les produits chimiques. L'ultrafiltration est souvent utilisée en combinaison avec d'autres procédés d'épuration.

**Traitement physico-chimique** : Le traitement physico-chimique utilise des réactions chimiques pour éliminer les polluants de l'eau. Les réactions chimiques peuvent impliquer l'ajout de produits chimiques, tels que le chlore, le sulfate d'aluminium, le charbon actif, etc., pour éliminer les polluants.

**Évaporation** : L'évaporation est utilisée pour éliminer l'eau des eaux usées en les faisant chauffer. L'eau évaporée est collectée et condensée en une eau propre, tandis que les solides restants sont éliminés.

Ces procédés peuvent être utilisés seuls ou en combinaison, en fonction des caractéristiques des eaux usées à traiter et des exigences réglementaires locale [9]

### **I.8. Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux Usées :**

Le choix de la technologie de traitement des eaux usées dépend de plusieurs facteurs clés, notamment :

1. **La qualité de l'eau brute** : Il est important de déterminer la qualité de l'eau brute avant de choisir une technologie de traitement des eaux usées. Les caractéristiques telles que la

concentration de contaminants, le pH, la turbidité et la température peuvent affecter le choix de la technologie de traitement appropriée.

2. **Les normes environnementales** : Les réglementations environnementales établies par les autorités locales ou nationales doivent être prises en compte pour garantir que les effluents rejetés répondent aux normes de qualité de l'eau.
3. **La capacité de traitement** : La quantité d'eau à traiter doit être prise en compte pour déterminer la capacité de traitement requise pour une technologie de traitement donnée.
4. **La fiabilité** : La fiabilité de la technologie de traitement doit être évaluée pour assurer un traitement efficace et régulier des eaux usées.
5. **La durabilité** : Les coûts d'exploitation et de maintenance, ainsi que l'impact environnemental de la technologie de traitement, doivent être pris en compte pour assurer une durabilité à long terme.
6. **La flexibilité** : La capacité de la technologie de traitement à s'adapter aux fluctuations de la qualité de l'eau brute et à la demande de traitement doit être prise en compte pour garantir une efficacité maximale.
7. **Les coûts** : Les coûts de capital et d'exploitation doivent être évalués pour déterminer la faisabilité économique de la technologie de traitement choisie.

En fin de compte, le choix de la technologie de traitement des eaux usées dépendra de la combinaison de ces facteurs clés, ainsi que des besoins spécifiques de chaque projet. [10]

### **I.9. Etapes de traitement des eaux usées :**

Le traitement des eaux usées se compose de plusieurs étapes successives, chacune jouant un rôle spécifique dans l'élimination des polluants et la production d'un effluent traité de qualité suffisante pour être rejeté en toute sécurité dans l'environnement ou pour une réutilisation. Les étapes de traitement couramment utilisées sont les suivantes :

#### **I.9.1. Les procédés physiques :**

##### **I.9.1.1. Le dégrillage :**

Le dégrillage est la première étape de prétraitement des eaux usées, visant à éliminer les débris grossiers tels que les branches, les feuilles, les papiers, les emballages et autres déchets

qui pourraient endommager les pompes ou les équipements de traitement situés en aval.

Le dégrillage est réalisé en faisant passer l'eau brute à travers un équipement de tamisage (appelé dégrilleur), qui est généralement constitué de barres ou de plaques en acier inoxydable disposées en parallèle, de manière à former une grille. Les débris sont ainsi piégés sur la grille et sont retirés du processus de traitement par un râteau ou un système de lavage.

Les dégrilleurs sont disponibles en plusieurs tailles et configurations en fonction des besoins spécifiques de chaque projet. Ils peuvent être équipés de râteaux motorisés pour le nettoyage continu des débris piégés, ou de systèmes de lavage pour évacuer les débris vers un bac de collecte. Les dégrilleurs peuvent être placés en ligne ou en parallèle, et peuvent être équipés de grilles de différentes tailles pour s'adapter aux caractéristiques des eaux usées à traiter.

Le dégrillage est une étape importante du prétraitement des eaux usées, car il protège les équipements de traitement en aval et assure la continuité de l'opération. Les débris retirés du processus de traitement sont généralement acheminés vers une installation de traitement des déchets solides pour une élimination appropriée. [11]

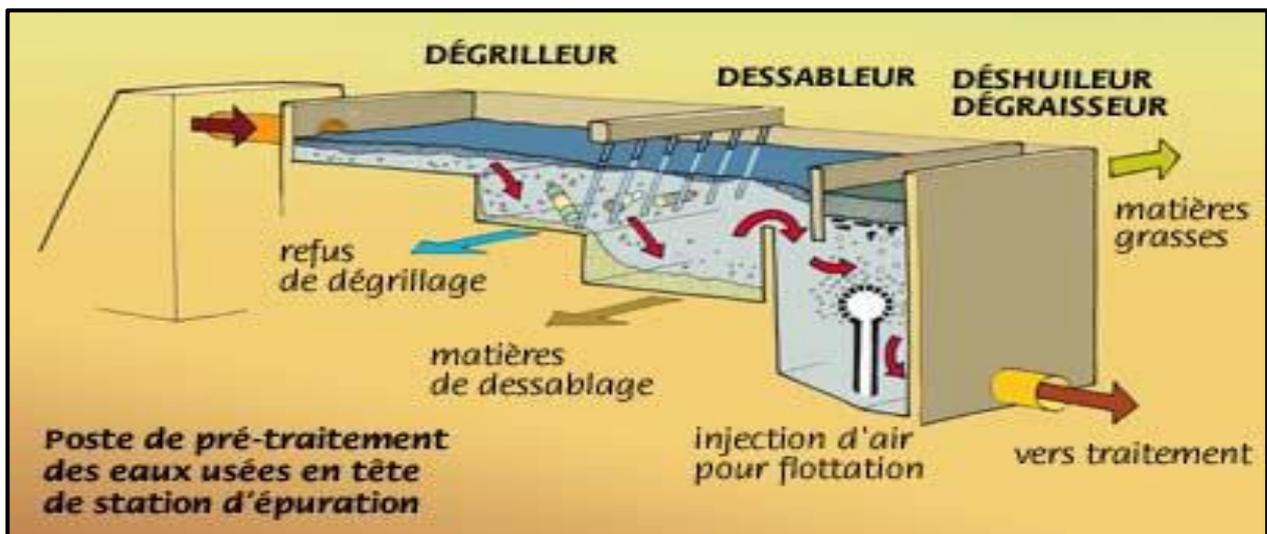


Figure I-1 : le fonctionnement du dégrillage

### I.9.1.2. La dilacération :

La dilacération (ou déchiquetage) est une étape de prétraitement des eaux usées qui consiste à réduire la taille des matières solides afin de faciliter leur traitement ultérieur. Cette étape est souvent combinée avec le dégrillage.

Le processus de dilacération consiste à faire passer les eaux usées à travers un dispositif de broyage qui réduit la taille des matières solides en petits fragments. Ces fragments sont alors plus

facilement traitables par les équipements de traitement en aval.

La dilacération peut être effectuée à l'aide de différents types de dispositifs, tels que des broyeurs à lames ou à marteaux, des broyeurs à vis, des broyeurs à disques, ou encore des broyeurs à cylindres. Le choix du dispositif dépendra de plusieurs facteurs, notamment la taille et la nature des matières solides à traiter, ainsi que la capacité de traitement requise.

La dilacération permet de réduire les risques d'obstruction des équipements de traitement en aval, tels que les pompes et les tuyaux, et d'augmenter la performance globale du processus de traitement des eaux usées. Les matières solides déchiquetées peuvent être ensuite envoyées vers les étapes suivantes du traitement, telles que la décantation, la filtration ou la digestion anaérobie.

Il convient de noter que la dilacération ne doit pas être considérée comme une solution de traitement en soi, mais plutôt comme une étape de prétraitement visant à faciliter le traitement ultérieur des eaux usées.

### **I.9.1.3. Le dessablage :**

Le dessablage est une étape de prétraitement des eaux usées qui consiste à éliminer les matières en suspension plus lourdes que l'eau, telles que les sables et les graviers. Cette étape est souvent combinée avec le dégrillage et la dilacération.

Le processus de dessablage consiste à faire passer les eaux usées à travers un bassin de décantation où les matières en suspension plus lourdes que l'eau vont se déposer au fond du bassin. Les matières plus légères flottent à la surface et sont éliminées par un déversoir. Les matières solides déposées au fond du bassin sont ensuite retirées à l'aide d'un équipement de curage.

Le dessablage permet de protéger les équipements de traitement en aval, tels que les pompes et les tuyaux, des dommages causés par les matières solides abrasives, comme le sable. Il contribue également à réduire les risques d'obstruction des équipements de traitement et à augmenter la performance globale du processus de traitement des eaux usées.

Le choix du bassin de dessablage dépendra de plusieurs facteurs, tels que la quantité et la taille des matières en suspension, ainsi que la capacité de traitement requise. Les bassins peuvent être construits en béton, en acier, ou en matériau synthétique.

Il convient de noter que le dessablage ne doit pas être considéré comme une solution de traitement en soi, mais plutôt comme une étape de prétraitement visant à faciliter le traitement ultérieur des eaux usées. [12]



Figure I-2 : le descriptif du dessablage.

#### I.9.1.4. Dégraissage-déshuilage :

Le dégraissage et le déshuilage sont des étapes importantes de prétraitement des eaux usées qui visent à éliminer les graisses, les huiles et les matières flottantes de la surface de l'eau. Ces matières peuvent provenir de diverses sources, telles que les cuisines commerciales, les industries alimentaires et les ateliers mécaniques.

Le processus de dégraissage-déshuilage se déroule généralement dans un bassin de séparation où les matières flottantes sont séparées de l'eau par différence de densité. Les graisses et les huiles se rassemblent à la surface du bassin, tandis que les matières solides plus lourdes se déposent au fond. Les matières flottantes sont ensuite éliminées à l'aide d'un skimmer ou d'un système d'écumage.

Le choix du type de bassin de dégraissage-déshuilage dépendra de plusieurs facteurs, tels que la quantité de graisses et d'huiles présentes dans les eaux usées et la capacité de traitement requise. Les bassins peuvent être construits en béton, en acier, en matériau synthétique ou être des cuves à flotteurs.

L'objectif du dégraissage-déshuilage est de protéger les équipements de traitement en aval, tels que les pompes et les tuyaux, des obstructions causées par les matières grasses. Il contribue également à améliorer la qualité du traitement en aval, en réduisant les quantités de matières en suspension et en augmentant l'efficacité du traitement biologique.

Il convient de noter que les graisses et les huiles éliminées lors du dégraissage-déshuilage doivent être éliminées de manière appropriée, conformément aux réglementations locales. Ces matières peuvent être recyclées ou éliminées dans une installation de traitement des déchets appropriée.

En résumé, le dégraissage-déshuilage est une étape importante du processus de traitement des eaux usées qui vise à éliminer les graisses, les huiles et les matières flottantes de la surface de l'eau, pour améliorer la qualité du traitement en aval et protéger les équipements de traitement. [13]

### **I.9.2. Procédés physico-chimiques :**

Les procédés physico-chimiques sont des méthodes de traitement des eaux usées qui visent à éliminer les contaminants en utilisant des réactions chimiques et/ou des processus physiques tels que la filtration, la décantation et la coagulation-floculation. Voici quelques exemples de procédés physico-chimiques utilisés dans le traitement des eaux usées [14] :

#### **I.9.2.1. La coagulation-floculation :**

Cette méthode consiste à ajouter des produits chimiques (coagulants et floculant) à l'eau usée pour former des particules plus grosses qui peuvent être plus facilement éliminées par décantation.

Ces procédés physico-chimiques peuvent être utilisés seuls ou combinés avec d'autres méthodes de traitement pour atteindre les normes de qualité requises pour le rejet ou la réutilisation des eaux usées traitées. Les choix de procédés dépendent de la qualité de l'eau brute, de la qualité de l'eau traitée requise, des réglementations locales et des coûts économiques et environnementaux. [15]

#### **I.9.2.2. La décantation :**

La décantation est une méthode de traitement des eaux usées qui utilise la gravité pour séparer les particules en suspension dans l'eau. Elle consiste à faire circuler l'eau usée dans des bassins de décantation où les particules plus lourdes que l'eau, telles que les boues et les matières en suspension, se déposent au fond du bassin. L'eau épurée est ensuite recueillie à la surface et peut être envoyée vers les étapes de traitement suivantes.

Il existe plusieurs types de décantation, notamment la décantation primaire et la décantation secondaire. La décantation primaire est la première étape de traitement des eaux usées et permet de séparer les matières en suspension les plus lourdes, telles que les sables et les

graisses, ainsi que les matières organiques solides. La décantation secondaire est une étape supplémentaire qui permet de séparer les matières organiques dissoutes restantes à l'aide de bactéries.

Les avantages de la décantation sont sa simplicité de conception et de fonctionnement, son efficacité pour éliminer les particules en suspension et sa fiabilité. Cependant, la décantation a également ses limites, notamment la nécessité de grands bassins pour atteindre une efficacité de traitement élevée, le risque de colmatage du lit de sédimentation et la production de boues qui nécessitent une élimination appropriée.

La décantation est souvent utilisée en combinaison avec d'autres méthodes de traitement, telles que la filtration, la coagulation-floculation ou l'aération, pour atteindre les normes de qualité requises pour le rejet ou la réutilisation des eaux usées traitées.

Le choix de la méthode de traitement dépend de la qualité de l'eau brute, des réglementations locales, des coûts économiques et environnementaux et des exigences de qualité de l'eau traitée. [16]

### I.9.3. Procédés biologiques :

Les procédés biologiques sont une méthode courante pour le traitement des eaux usées. Ces procédés utilisent des micro-organismes pour décomposer les polluants organiques dans les eaux usées. Voici quelques exemples de procédés biologiques de traitement des eaux usées

1. **Procédé d'aération prolongée** : ce procédé consiste à faire circuler de l'air dans un bassin d'aération pour permettre la croissance de bactéries aérobies qui décomposent les matières organiques.
2. **Lit bactérien** : ce procédé utilise des bactéries aérobies qui sont attachées à un support solide. Les eaux usées sont ensuite pompées sur le lit bactérien, où les bactéries décomposent les matières organiques.
3. **Réacteur à boues activées** : ce procédé consiste à faire circuler les eaux usées à travers un réacteur où les bactéries sont maintenues en suspension dans les eaux usées. Les bactéries décomposent les matières organiques et les boues résultantes sont séparées des eaux usées.
4. **Filtres plantés** : ce procédé utilise des plantes et des micro-organismes pour décomposer les matières organiques dans les eaux usées. Les eaux usées sont pompées à travers des

bassins remplis de plantes et de supports solides pour permettre la croissance de bactéries aérobies.

Ces procédés biologiques sont efficaces pour traiter les eaux usées et peuvent être utilisés seuls ou en combinaison avec d'autres procédés de traitement pour éliminer une large gamme de polluants. [17]

### **I.9.4. Lits bactériens :**

Les lits bactériens, également connus sous le nom de filtres bactériens, sont des systèmes de traitement biologique des eaux usées. Le principe de base des lits bactériens consiste à faire passer de l'eau usée à travers un lit de matériau de support (tel que du gravier ou des billes en plastique) sur lequel se développent des colonies de micro-organismes.

Les micro-organismes dans les lits bactériens se nourrissent des matières organiques dans l'eau usée et les convertissent en substances plus simples et moins polluantes, telles que le dioxyde de carbone, l'eau et des sels minéraux. Les lits bactériens peuvent également être utilisés pour éliminer les nutriments tels que l'azote et le phosphore de l'eau usée.

Il existe plusieurs types de lits bactériens, notamment les lits bactériens aérés, les lits bactériens non-aérés, les lits bactériens intermittents, les lits bactériens submergés, les lits bactériens à flux descendant, etc. Chacun de ces types a ses propres avantages et inconvénients et peut être adapté aux besoins spécifiques d'une installation de traitement des eaux usées.

Les lits bactériens sont largement utilisés dans les petites et moyennes stations de traitement des eaux usées, ainsi que dans les applications industrielles. Ils sont efficaces pour réduire la charge polluante de l'eau usée, sont relativement faciles à construire et à maintenir, et sont généralement moins coûteux que les autres technologies de traitement des eaux usées. [18]

### **I.10. Conclusion :**

En conclusion, les eaux usées sont un sujet d'une importance capitale pour la santé publique, l'environnement et le développement durable. Leur gestion adéquate est essentielle pour prévenir la pollution de l'eau, protéger les écosystèmes aquatiques et assurer la disponibilité d'une eau propre et sûre pour tous.

Les eaux usées peuvent être traitées et réutilisées de différentes manières, ce qui présente de nombreux avantages. Les technologies de traitement des eaux usées se sont considérablement améliorées au fil du temps, permettant d'éliminer efficacement les contaminants et de produire de l'eau traitée de haute qualité.

**I. CHAPITRE II:**  
**Coagulation-Floculation**

### II.1. Introduction :

La coagulation-floculation est un processus clé utilisé dans le traitement des eaux, tant pour les eaux de surface que pour les eaux usées. Il s'agit d'une étape de prétraitement qui permet de réduire la turbidité et d'éliminer les matières en suspension, les particules colloïdales et certains polluants présents dans l'eau. La coagulation-floculation est largement utilisée dans les usines de traitement des eaux potables, les stations d'épuration des eaux usées et d'autres installations de traitement des eaux.

L'objectif principal de la coagulation-floculation est de regrouper les particules et les impuretés en suspension dans l'eau pour les rendre plus facilement éliminables par les étapes ultérieures du traitement. Le processus implique l'ajout d'un coagulant, tel que le sulfate d'aluminium (alun) ou le chlorure ferrique, qui favorise la formation de floccs. Les coagulants neutralisent les charges électriques des particules en suspension, ce qui provoque leur regroupement et leur agglomération en floccs plus gros.

Une fois que les floccs se sont formés, la floculation intervient pour favoriser leur croissance et leur agglutination en particules plus volumineuses. Cela se fait généralement en agitant doucement l'eau pendant une période définie, permettant aux floccs de se rencontrer et de s'agréger davantage. Les agents flocculant, tels que les polymères, peuvent également être utilisés pour faciliter ce processus.

Lorsque les floccs sont suffisamment gros, ils peuvent être séparés de l'eau par des étapes de sédimentation ou de flottation, en fonction de leur densité. Le flocc précipité peut ensuite être éliminé, laissant une eau clarifiée prête pour les étapes ultérieures de traitement.

La coagulation-floculation est un processus essentiel dans le traitement des eaux, car il permet de réduire efficacement la turbidité et d'éliminer les impuretés en suspension. Il contribue à améliorer la qualité de l'eau, à protéger la santé publique et à préserver l'environnement. En comprenant les principes et les techniques de la coagulation-floculation, il est possible de mettre en œuvre des systèmes de traitement de l'eau efficaces et durables. [19]

### II.2. Les solutions colloïdes :

Les solutions colloïdales sont des mélanges dans lesquels de petites particules (appelées colloïdes) sont dispersées dans un milieu liquide. Les colloïdes sont des particules solides ou liquides dont la taille est généralement comprise entre 1 nanomètre et 1 micromètre. Dans une

solution colloïdale, les particules colloïdales restent en suspension dans le liquide sans se dissoudre ou se déposer rapidement.

### **II.2.1. Matières en suspension et colloïdes :**

Les matières en suspension et les colloïdes font toutes deux références à des particules présentes dans un liquide, mais ils diffèrent principalement par leur taille et leur comportement dans l'eau.

Les matières en suspension sont des particules solides de taille relativement plus grande (généralement supérieure à 1 micromètre) qui restent en suspension dans l'eau sans se dissoudre. Elles peuvent être visibles à l'œil nu et ont tendance à se déposer rapidement sous l'effet de la gravité. Les matières en suspension peuvent provenir de diverses sources, telles que les sédiments, les particules organiques ou inorganiques, les débris végétaux, les déchets industriels, etc. Elles contribuent à la turbidité de l'eau et peuvent être éliminées par des processus de filtration ou de sédimentation.

Les colloïdes, en revanche, sont des particules beaucoup plus petites, généralement de l'ordre de quelques nanomètres à quelques micromètres. Les colloïdes peuvent être des particules solides, liquides ou gazeuses dispersées dans un milieu liquide. Ils sont suffisamment petits pour rester en suspension dans l'eau sans se déposer ou se dissoudre facilement. Les colloïdes peuvent être chargés électriquement, ce qui les maintient dispersés dans le liquide en raison de forces électrostatiques. Les colloïdes jouent un rôle crucial dans de nombreux phénomènes physiques et chimiques, tels que la stabilité colloïdale, la réaction chimique, l'adsorption et la diffusion. Pour éliminer les colloïdes de l'eau, des techniques spécifiques de traitement, comme la coagulation-floculation, peuvent être nécessaires.

Il est important de noter que les matières en suspension peuvent inclure des particules colloïdales si elles sont suffisamment grandes, mais tous les colloïdes ne sont pas considérés comme des matières en suspension. Les colloïdes sont une

Catégorie distincte de particules qui ont des propriétés particulières en raison de leur petite taille et de leurs interactions avec le liquide environnant. [20]

### **II.2.2. Les suspensions colloïdales :**

Les suspensions colloïdales sont des systèmes dans lesquels des particules colloïdales sont dispersées dans un liquide. Une suspension colloïdale est caractérisée par des particules de taille comprise entre 1 nanomètre et 1 micromètre qui restent en suspension sans se dissoudre ou se déposer rapidement. Les particules colloïdales peuvent être des solides, des liquides ou des gaz.

Les suspensions colloïdales présentent des propriétés particulières en raison de l'interaction entre les particules dispersées et le liquide environnant. Ces particules sont souvent chargées électriquement, ce qui entraîne une répulsion électrostatique entre elles, les empêchant de se regrouper ou de se déposer. Cette stabilité colloïdale peut être influencée par des facteurs tels que la taille et la charge des particules, ainsi que les conditions environnementales.

Les suspensions colloïdales jouent un rôle crucial dans de nombreux domaines scientifiques et industriels. Elles sont présentes dans des applications variées, allant de la pharmacologie à l'industrie des cosmétiques en passant par la chimie des matériaux et la fabrication de produits alimentaires. Les propriétés spécifiques des suspensions colloïdales, telles que leur viscosité, leur opalescence, leur stabilité ou leur réactivité, sont souvent exploitées dans ces domaines.

La stabilité des suspensions colloïdales peut être altérée par divers facteurs tels que le pH, la concentration en ions, la température ou l'ajout de substances chimiques. Dans certains cas, il peut être souhaitable de provoquer la coagulation ou la floculation des particules colloïdales afin de faciliter leur séparation ou leur élimination. [21]

### II.3. Théorie de la double couche :

La théorie de la double couche est une théorie importante en chimie des colloïdes qui décrit l'interaction électrique entre les particules colloïdales et le milieu liquide qui les entoure. Elle explique comment les particules colloïdales peuvent rester dispersées dans un liquide en raison de la formation de deux couches électriques autour de chaque particule.

La double couche électrique se forme à la surface de chaque particule colloïdale en raison des forces électrostatiques entre les charges électriques présentes sur la surface de la particule et les ions présents dans le milieu liquide. La double couche est composée de deux régions principales :

1. **La couche diffuse ou couche externe :** Cette couche contient les ions du milieu liquide qui sont attirés vers la particule en raison de la charge électrique. Ces ions forment une atmosphère diffuse autour de la particule, où leur concentration diminue progressivement avec la distance de la surface de la particule. La couche diffuse joue un rôle important dans la répulsion électrostatique entre les particules de même charge, empêchant leur agglomération.
2. **La couche compacte ou couche interne :** Cette couche est plus proche de la surface de la particule et contient des ions de contre-ionisation qui sont fortement adsorbés à la

surface de la particule. Ces ions de contre-ionisation neutralisent partiellement la charge de la particule, formant une couche de charges opposées. La couche compacte contribue à la stabilité de la double couche en maintenant un équilibre électrostatique.

### **II.3.1. Théorie de Helmholtz :**

La théorie de Helmholtz, également connue sous le nom de théorie de la double couche de Helmholtz, est une théorie fondamentale en chimie des colloïdes qui explique la formation d'une couche électrique compacte à la surface des particules colloïdales. Cette théorie a été développée par le physicien et physiologiste allemand Hermann von Helmholtz au milieu du 19e siècle.

Selon la théorie de Helmholtz, les particules colloïdales portent une charge électrique à leur surface en raison de la dissociation de certains groupes fonctionnels présents sur la particule ou de la présence d'impuretés ioniques. Cette charge électrique crée un champ électrique à la surface de la particule, qui attire les ions de contre-ionisation opposés chargés de manière opposée. Ces ions de contre-ionisation se concentrent près de la surface de la particule, formant une couche électriquement compacte connue sous le nom de couche de Helmholtz. [22]

### **II.3.2. Théorie de Gouy-Chapman :**

La théorie de Gouy-Chapman est une théorie physique utilisée pour décrire le comportement des ions dans une solution électrolytique près d'une surface chargée. Elle a été développée indépendamment par Louis Gouy et David Chapman au début du XXe siècle.

Selon cette théorie, lorsqu'une surface solide est chargée électriquement, des ions de charge opposée se rapprochent de cette surface, formant une couche diffuse appelée "double couche électrostatique". Cette double couche se compose d'une couche de contre-ions, qui est attirée par la charge de surface, et d'une région diffuse de co-ions, qui est repoussée par la charge de surface.

La densité d'ions dans la double couche diminue exponentiellement à mesure que l'on s'éloigne de la surface chargée. Cette diminution exponentielle est décrite par l'équation de Gouy-Chapman, qui relie la concentration des ions à la distance par un paramètre appelé "longueur de Debye". Cette longueur de Debye dépend de la concentration des ions et de la température.

La théorie de Gouy-Chapman est largement utilisée en chimie et en physique des surfaces pour comprendre les phénomènes électrochimiques, tels que l'adsorption, la formation de films électrolytiques et les processus de corrosion. Elle fournit une description quantitative de l'équilibre électrostatique entre les charges de surface et les ions dans la solution, et permet de

prédire des quantités telles que le potentiel électrique près de la surface et les forces d'interaction entre les particules chargées. [23]

### **II.3.3. Théorie de Stern :**

La théorie de Stern, également connue sous le nom de double couche électrocinétique de Stern, est une théorie complémentaire à la théorie de Gouy-Chapman. Elle a été développée par Otto Stern dans les années 1920 pour décrire le comportement des ions près d'une surface chargée dans des solutions électrolytiques.

La théorie de Stern prend en compte les interactions spécifiques entre les ions et la surface chargée, en supposant qu'il y a une adsorption sélective des ions à la surface. Selon cette théorie, les ions de charge opposée à la surface sont fortement adsorbés à celle-ci, formant une couche étroitement liée appelée "couche de Stern". Cette couche est composée d'ions spécifiquement adsorbés et ne se comporte pas de manière diffuse comme dans la théorie de Gouy-Chapman.

La couche de Stern est suivie par une région diffuse similaire à la double couche électrostatique décrite par la théorie de Gouy-Chapman. Cette région est composée d'ions mobiles qui sont moins fortement liés à la surface et qui contribuent à l'équilibre électrostatique global.

La théorie de Stern permet de mieux rendre compte des effets spécifiques d'adsorption des ions à la surface et peut être utilisée pour décrire des phénomènes tels que l'adsorption sélective, la formation de couches d'ions spécifiques et les processus de charge et de décharge des surfaces électriques.

Il est important de noter que la théorie de Gouy-Chapman et la théorie de Stern sont souvent utilisées conjointement pour décrire le comportement des ions près des surfaces chargées dans les solutions électrolytiques. [24]

### **II.4. Potentiel Zêta :**

Le potentiel zêta, également connu sous le nom de potentiel de surface, est une grandeur électrocinétique utilisée pour caractériser la charge électrique à la surface d'une particule colloïdale ou d'une surface solide en contact avec un liquide.

Le potentiel zêta est défini comme le potentiel électrique à la hauteur de la couche de Stern (une couche étroitement liée d'ions à la surface) par rapport à la potentielle électrocinétique de la solution environnante. Il représente donc la différence de potentiel électrique entre la surface et le liquide environnant, et il est mesuré par des techniques telles que la micro-électrophorèse ou la spectroscopie d'impédance électrochimique.

Le potentiel zêta est influencé par plusieurs facteurs, notamment la nature des ions présents dans la solution, la concentration des électrolytes, le pH de la solution et les propriétés de la surface. Il est utilisé pour évaluer la stabilité des colloïdes, l'adsorption d'espèces chimiques à la surface, les interactions électrostatiques entre les particules et la prédiction du comportement de dispersion et d'agrégation.

La mesure et l'interprétation du potentiel zêta sont essentielles dans de nombreux domaines, tels que la chimie des colloïdes, la formulation de produits pharmaceutiques, la science des matériaux, la technologie des revêtements et la recherche en biologie et en biochimie. [25]

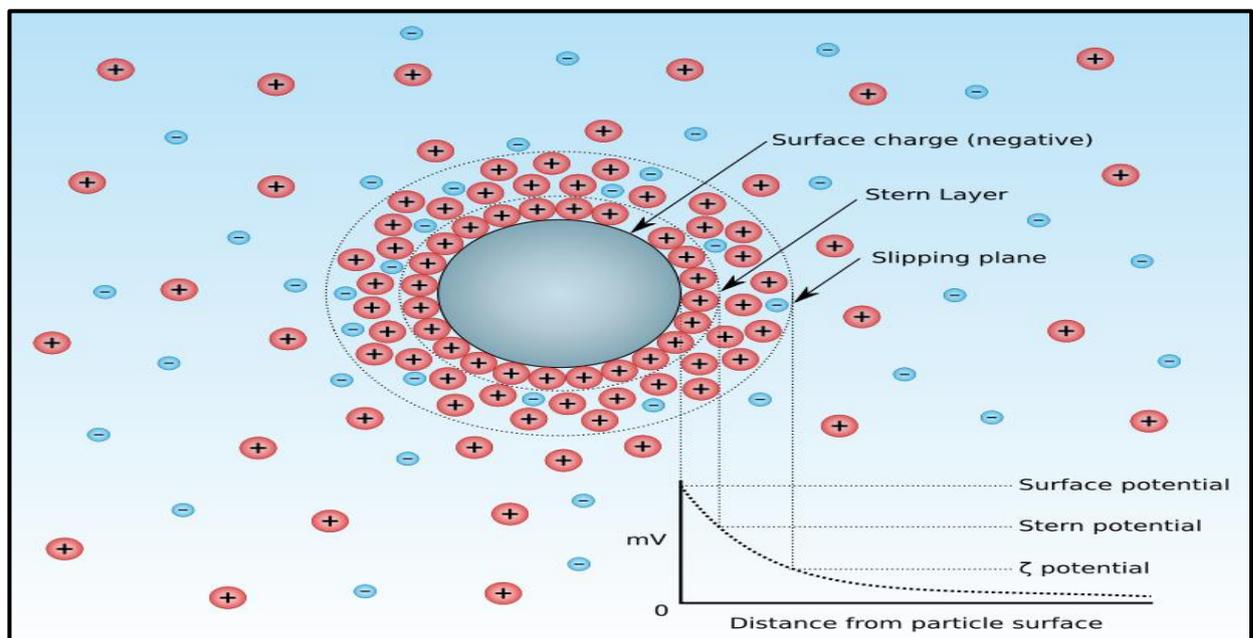


Figure II-1 : potentiel électrique des particules colloïdales.

### II.5. La coagulation :

La coagulation, se réfère à un processus de regroupement et de formation de grumeaux dans un liquide ou une suspension colloïdale. Cela se produit lorsque les particules dispersées ou les molécules dissoutes s'agglutinent pour former des agrégats plus grands.

#### II.5.1. Les types de coagulants :

Il existe plusieurs types de coagulants utilisés pour faciliter le processus de coagulation. Voici quelques-uns des types couramment utilisés :

1. **Sels métalliques :** Les sels de métal, tels que le chlorure de fer (III) ( $\text{FeCl}_3$ ), le sulfate d'aluminium (alun) ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), et le chlorure de poly aluminium (PAC), sont largement

utilisés comme coagulants. Ils fonctionnent en neutralisant la charge électrique des particules dispersées et en favorisant leur agrégation.

2. **Polymères organiques** : Les polymères organiques, tels que le chlorure de poly électrolyte et le polyacrylamide, sont utilisés comme coagulants. Ils agissent en formant des ponts entre les particules dispersées, favorisant ainsi leur regroupement.
3. **Coagulants inorganiques spécifiques** : Certains coagulants inorganiques spécifiques sont utilisés pour des applications particulières. Par exemple, l'hydroxyde de calcium (chaux vive) est utilisé dans le traitement de l'eau potable pour éliminer les particules et ajuster le pH.
4. **Coagulants naturels** : Certains coagulants naturels, tels que les extraits de plantes, les graines de *Moringa oleifera* et les extraits d'algues, ont été utilisés traditionnellement pour la coagulation de l'eau. Ils contiennent des substances qui agissent comme des coagulants et facilitent la formation de floes.

Il est important de noter que le choix du coagulant dépend de plusieurs facteurs tels que la nature des particules à coaguler, les caractéristiques de l'eau ou du liquide à traiter, les considérations économiques et les réglementations environnementales. Les doses de coagulant utilisées peuvent également varier en fonction de ces facteurs. [26]

### II.5.2. Les coagulants de type sels métallique :

Les coagulants de type sels métalliques sont largement utilisés dans le processus de coagulation. Voici quelques exemples de coagulants de ce type :

1. **Sulfate d'aluminium (alun) ( $Al_2(SO_4)_3$ )** : Le sulfate d'aluminium est l'un des coagulants les plus couramment utilisés. Il est efficace pour neutraliser la charge négative des particules et favoriser leur agglomération. Il est souvent utilisé dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées.
2. **Chlorure de fer (III) ( $FeCl_3$ )** : Le chlorure de fer (III) est un coagulant puissant qui peut être utilisé pour traiter les eaux potables, les eaux de surface et les eaux usées. Il est particulièrement efficace pour la coagulation des particules colloïdales et des matières organiques.
3. **Chlorure de poly aluminium (PAC)** : Le chlorure de poly aluminium est un coagulant à base d'aluminium largement utilisé. Il est disponible sous différentes formes, telles que PAC liquide ou PAC en poudre. Il offre une performance de coagulation améliorée par rapport à l'alun et peut être utilisé dans une variété d'applications de traitement de l'eau et

des eaux usées.

4. **Sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ )** : Le sulfate ferrique est un autre coagulant à base de fer utilisé pour la coagulation et la floculation. Il est couramment utilisé dans le traitement de l'eau potable, des eaux de surface et des eaux usées.

Ces coagulants à base de sels métalliques agissent en hydrolysant dans l'eau, libérant des cations métalliques qui neutralisent les charges électriques des particules, favorisant ainsi leur agrégation et leur précipitation. Ils sont souvent choisis en fonction des caractéristiques spécifiques de l'eau à traiter, de la nature des particules à coaguler et des considérations économiques et réglementaires. [27]

### II.5.3. Sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ :

Le sulfate d'aluminium, également connu sous le nom d'alun, est un coagulant largement utilisé dans le traitement de l'eau et des eaux usées. Il est composé de sulfate d'aluminium [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ], qui se présente sous forme de poudre blanche ou de cristaux.

Le sulfate d'aluminium agit en hydrolysant dans l'eau, libérant des ions d'aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) et des ions sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Les ions d'aluminium neutralisent les charges négatives des particules dispersées dans l'eau, favorisant ainsi leur agglomération et leur floculation. Cela permet de regrouper les particules en flocs plus gros qui peuvent être facilement éliminés par décantation ou filtration.

Les avantages du sulfate d'aluminium en tant que coagulant comprennent sa disponibilité et son coût relativement faible. Il est efficace pour la coagulation des matières en suspension, des particules colloïdales et de certaines substances organiques. De plus, il peut aider à réduire la turbidité de l'eau, à éliminer les métaux lourds et à contrôler certains microorganismes.

Cependant, il est important de doser le sulfate d'aluminium avec précision, car une surdose peut entraîner une sur coagulation et une sous-dose peut réduire son efficacité. De plus, l'utilisation excessive de sulfate d'aluminium peut augmenter la teneur en aluminium dans l'eau traitée, ce qui peut avoir des implications pour la santé humaine.

Dans le domaine du traitement de l'eau, des études sont menées pour évaluer l'efficacité et les impacts du sulfate d'aluminium, ainsi que pour optimiser son utilisation en fonction des caractéristiques spécifiques de l'eau à traiter. [28]

### II.6. Biofloculant *Moringa oleifera* :

#### II.6.1. Introduction :

La recherche de solutions écologiques et durables pour le traitement de l'eau et des effluents industriels constitue un enjeu majeur de notre époque. Dans cette optique, le *Moringa oleifera*, un arbre originaire d'Asie du Sud, a récemment suscité un intérêt croissant en tant qu'alternative naturelle et efficace aux coagulants chimiques traditionnels. En effet, ses graines contiennent des protéines cationiques spécifiques, appelées lectines, qui ont démontré des propriétés de coagulation et de floculation prometteuses.

Le présent mémoire vise à étudier l'utilisation du *Moringa oleifera* comme biofloculant dans le traitement de l'eau et des effluents industriels. L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité de ce biofloculant naturel, ainsi que ses avantages en termes de durabilité et de respect de l'environnement.

On présentera les résultats expérimentaux de l'étude. Des tests de coagulation et de floculation seront réalisés en utilisant le *Moringa oleifera* comme biofloculant sur des échantillons d'eau et d'effluents contaminés. Nous évaluerons l'efficacité du biofloculant en termes de turbidité, de concentration en matières en suspension et d'élimination des contaminants spécifiques.

En conclusion, ce mémoire contribuera à une meilleure compréhension de l'utilisation du *Moringa oleifera* comme biofloculant dans le traitement de l'eau et des effluents industriels. Il mettra en évidence les avantages potentiels de ce biofloculant naturel en termes de coagulation, de floculation et d'élimination des contaminants, tout en soulignant sa durabilité et son respect de l'environnement. Cette étude ouvrira la voie à de nouvelles recherches et applications pratiques pour l'utilisation du *Moringa oleifera* dans le domaine du traitement des eaux. [29]

#### II.6.2. Historique :

L'histoire du *Moringa oleifera* remonte à des milliers d'années et est étroitement liée à son utilisation traditionnelle dans diverses cultures à travers le monde. Voici un bref historique du *Moringa oleifera* :

**Origines en Asie du Sud :** Le *Moringa oleifera* est originaire de l'Inde et des régions avoisinantes de l'Asie du Sud. Cette plante a été cultivée et utilisée depuis des siècles dans ces régions pour ses propriétés médicinales et nutritionnelles.

**Propagation à travers les continents :** Au fil du temps, le *Moringa oleifera* s'est répandu dans d'autres régions tropicales et subtropicales du monde, notamment en Afrique, en Amérique [25]

latine, aux Caraïbes et en Asie du Sud-Est. Il s'est adapté à différents climats et sols, devenant ainsi une ressource précieuse pour les populations locales. [30]

### II.6.3. Structure chimique du *Moringa oleifera* :

La structure chimique du *Moringa oleifera* peut être divisée en plusieurs composants clés, notamment :

1. **Glucosinolates** : Le *Moringa oleifera* contient des glucosinolates, qui sont des composés soufrés présents dans de nombreux légumes crucifères. Ces composés sont responsables de l'odeur et du goût caractéristiques du *Moringa* et jouent un rôle dans ses propriétés médicinales.
2. **Flavonoïdes** : Les flavonoïdes sont des composés phénoliques présents dans le *Moringa oleifera*. Ils agissent comme antioxydants et ont démontré des effets anti-inflammatoires, anticancéreux et neuroprotecteurs.
3. **Alcaloïdes** : Le *Moringa oleifera* contient également des alcaloïdes, tels que la spiréatine, la niazirine et la niazinine. Ces composés ont montré des activités antimicrobiennes, antifongiques et antiparasitaires.
4. **Protéines** : Les graines de *Moringa oleifera* sont riches en protéines, qui représentent environ 30% de leur composition. Ces protéines sont également appelées lectines et jouent un rôle clé dans les propriétés de coagulation et de floculation du *Moringa* en tant que biofloculant.
5. **Acides gras** : L'huile extraite des graines de *Moringa oleifera* contient divers acides gras, notamment l'acide oléique, l'acide palmitique et l'acide linoléique. Ces acides gras ont des effets bénéfiques pour la santé, notamment en aidant à réduire le cholestérol et à améliorer la santé cardiovasculaire.

Il convient de noter que la composition chimique exacte du *Moringa oleifera* peut varier en fonction de divers facteurs, tels que les conditions de croissance, le stade de développement de la plante et les méthodes d'extraction utilisées. Les composés chimiques mentionnés ci-dessus représentent certains des composants couramment étudiés et identifiés dans le *Moringa oleifera*, mais d'autres composés peuvent également être présents en quantités moindres. [31]



**Figure II-2** : structure chimique du Moringa oleifera

#### **II.6.4. Préparation du Moringa oleifera**

Il est important de noter que la préparation du Moringa oleifera en tant que biofloculant peut nécessiter des ajustements et des méthodes spécifiques en fonction des conditions locales et des exigences spécifiques de l'application. Il est recommandé de consulter des études scientifiques ou des protocoles de recherche sur l'utilisation du Moringa oleifera comme biofloculant pour obtenir des instructions détaillées et spécifiques à votre cas d'utilisation. [32]

#### **II.6.5. Caractéristiques physico-chimiques de la Moringa oleifera :**

La Moringa oleifera est une plante qui possède les caractéristiques physico-chimiques suivantes :

- **Apparence** : La Moringa oleifera est un petit arbre à feuilles caduques, atteignant généralement une hauteur de 8 à 12 mètres. Ses feuilles sont composées de folioles ovales et sont d'un vert vif.
- **Composition chimique** : Les feuilles de Moringa oleifera sont riches en nutriments essentiels tels que les vitamines (A, C, E, etc.), les minéraux (calcium, fer, potassium, etc.) et les acides aminés. Elles contiennent également des composés photochimiques bénéfiques tels que les flavonoïdes, les polyphénols et les glucosinolates.
- **Valeur nutritionnelle** : La Moringa oleifera est considérée comme une plante nutritive.

Ses feuilles sont particulièrement riches en protéines, en vitamine C, en vitamine A et en minéraux. Elles sont également une bonne source de fibres alimentaires.

- **Propriétés anti oxydantes** : Les composés photochimiques présents dans la *Moringa oleifera*, tels que les flavonoïdes et les polyphénols, lui confèrent des propriétés antioxydantes. Ces propriétés peuvent aider à neutraliser les radicaux libres dans le corps, réduisant ainsi les dommages oxydatifs et le stress oxydatif.
- **Propriétés antimicrobiennes** : Certaines études ont suggéré que la *Moringa oleifera* possède des propriétés antimicrobiennes, ce qui signifie qu'elle peut aider à combattre les infections bactériennes, fongiques et virales.
- **Autres utilisations** : En plus de ses qualités nutritionnelles, la *Moringa oleifera* est également utilisée dans d'autres domaines. Par exemple, l'huile extraite des graines de *Moringa oleifera* est utilisée dans l'industrie cosmétique et dans la production de biodiesel.

En résumé, la *Moringa oleifera* est une plante riche en nutriments essentiels et en composés phytochimiques bénéfiques. Elle possède des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, et est utilisée à la fois comme aliment nutritif et dans d'autres applications industrielles. [33]

### II.7. Mécanismes de la coagulation-floculation avec les polymères cationiques :

Les polymères cationiques sont couramment utilisés dans les processus de coagulation-floculation pour éliminer les particules et les contaminants présents dans l'eau. Voici quelques mécanismes de la coagulation-floculation avec les polymères cationiques :

1. **Neutralisation de la charge** : Les polymères cationiques présentent des charges positives qui permettent d'interagir avec les particules chargées négativement présentes dans l'eau. Les groupes cationiques du polymère attirent et neutralisent les particules chargées négativement, ce qui réduit la répulsion électrostatique entre les particules et favorise leur agglomération.
2. **Pontage** : Les polymères cationiques peuvent former des ponts physiques entre les particules en suspension. Les segments du polymère s'adsorbent sur plusieurs particules, créant ainsi des liaisons entre elles. Cela favorise la formation de flocs plus gros et plus lourds qui peuvent être plus facilement éliminés par sédimentation ou filtration.
3. **Enrobage** : Les polymères cationiques peuvent également se déposer autour des

particules en suspension, formant une couche protectrice ou un enrobage. Cela rend les particules plus susceptibles de se regrouper en floccs plus volumineux et facilite leur élimination ultérieure.

4. **Augmentation de la viscosité :** L'ajout de polymères cationiques peut augmenter la viscosité de l'eau, ce qui favorise la collision et l'agrégation des particules en suspension. Une viscosité accrue peut également améliorer l'efficacité de la sédimentation ou de la filtration des floccs formés.

Il est important de noter que les mécanismes de coagulation-flocculation avec les polymères cationiques peuvent varier en fonction des caractéristiques spécifiques du polymère utilisé, des propriétés des particules en suspension et des conditions de traitement. Différents types de polymères cationiques peuvent être utilisés, tels que les poly électrolytes cationiques et les sels d'ammonium quaternaire. Le choix du polymère dépendra des caractéristiques de l'eau à traiter et des objectifs du processus de coagulation-flocculation. [34]

### **II.7.1. Les avantages et inconvénients de l'utilisation du bioflocculant *Moringa oleifera* :**

**III Tableau II-3 :** les avantages et les inconvénients d'utilisation bioflocculant *Moringa oleifera*

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abondance et disponibilité : Le <i>Moringa oleifera</i> est une plante largement répandue dans de nombreuses régions du monde, ce qui en fait une ressource facilement accessible pour la préparation de bioflocculant.</li> <li>2. Coût économique : Comparé à d'autres produits chimiques utilisés dans la coagulation-flocculation, le <i>Moringa oleifera</i> peut être une option économiquement avantageuse, car il peut être obtenu localement à moindre coût.</li> <li>3. Potentiel de réduction de la turbidité : Le <i>Moringa oleifera</i> a la capacité de réduire efficacement la turbidité de l'eau en agglomérant les particules en suspension et en facilitant leur élimination ultérieure.</li> <li>4. Caractère naturel : Le <i>Moringa oleifera</i> est considéré comme une alternative naturelle aux produits chimiques de traitement de l'eau, ce qui peut être préférable dans certaines applications, notamment pour l'eau destinée à la</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Variabilité de la composition : La composition chimique du <i>Moringa oleifera</i> peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la variété de la plante, les conditions de croissance et les méthodes de préparation. Cette variabilité peut influencer l'efficacité du bioflocculant et rendre difficile une standardisation précise.</li> <li>2. Stockage et conservation : Le <i>Moringa oleifera</i> peut se dégrader avec le temps, ce qui peut affecter sa qualité et son efficacité en tant que bioflocculant. Il est important de mettre en place des méthodes appropriées de stockage et de conservation pour préserver ses propriétés.</li> <li>3. Sensibilité aux conditions environnementales : Le <i>Moringa oleifera</i> peut être influencé par les conditions environnementales telles que la température, le pH et la dureté de l'eau. Certaines variations de ces</li> </ol>

consommation humaine.	conditions peuvent affecter l'efficacité du biofloculant.
-----------------------	---

### II.7.2. Facteurs influençant la coagulation-floculation avec le biofloculant *Moringa oleifera* :

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'efficacité de la coagulation-floculation avec le biofloculant *Moringa oleifera*. Voici quelques-uns des facteurs clés :

1. **Qualité de l'eau** : La composition chimique et les caractéristiques physiques de l'eau à traiter peuvent avoir un impact sur l'efficacité du *Moringa oleifera* en tant que biofloculant. Des paramètres tels que la turbidité, la concentration en matières organiques, le pH, la dureté de l'eau et la présence d'ions métalliques peuvent influencer la performance du biofloculant.
2. **Dosage du biofloculant** : Le dosage optimal du *Moringa oleifera* est crucial pour obtenir une bonne coagulation-floculation. Un sous-dosage peut conduire à une inefficacité dans la formation de floccs, tandis qu'un surdosage peut entraîner une sur coagulation et une perte de l'efficacité du traitement.
3. **Prétraitement de l'eau** : Dans certains cas, un prétraitement de l'eau peut être nécessaire pour optimiser l'efficacité du *Moringa oleifera*. Des étapes telles que la neutralisation de l'acidité, le pré floculation ou l'ajout de coagulants inorganiques complémentaires peuvent être nécessaires pour améliorer la performance du biofloculant.
4. **Temps de mélange et de décantation** : Le temps de mélange et de décantation est important pour permettre la formation et la croissance des floccs. Un temps de mélange insuffisant peut ne pas permettre une dispersion adéquate du biofloculant, tandis qu'un temps de décantation insuffisant peut entraîner une faible efficacité de la sédimentation des floccs formés.
5. **Température** : La température peut influencer la performance du *Moringa oleifera* en tant que biofloculant. Des variations de température peuvent affecter la réactivité chimique et la stabilité du biofloculant, ce qui peut à son tour influencer la coagulation-floculation.

Il est important de noter que ces facteurs peuvent interagir et varier en fonction des conditions spécifiques de chaque application. Des études expérimentales et des essais pilotes peuvent être nécessaires pour optimiser les conditions de coagulation-floculation avec le biofloculant *Moringa oleifera* dans un contexte donné [35]

**I. CHAPITRE III:**  
**Partie Expérimentale**

### III.1. Introduction :

Les études ont porté sur l'utilisation d'un agent biologique pour réduire la turbidité des eaux usées par un processus physico-chimique. Coagulation et floculant utilisant un coagulant de sulfate d'aluminium, un biofloculant de *Moringa oleifera* et un autre floculant polymère. L'efficacité du traitement sera jugée par le taux de réduction de la turbidité après une certaine période de stabilité.

Les différents paramètres à étudier sont:

1. Le pH
2. La dose de coagulant
3. La dose du Biofloculant.
4. La dose du floculant
5. La vitesse d'agitation
6. La durée de coagulation.

### III.2. Echantillonnage :

Nous préparons l'échantillon en remplissant 5 litres d'eau du robinet et en y ajoutant 15 grammes de bentonite pour obtenir une eau trouble que nous conservons au laboratoire

### III.3. Caractérisation de l'échantillon :

Afin de caractériser nos échantillons, des analyses physico-chimiques ont été effectuées ; les méthodes et les normes sont résumées dans le tableau III.1.

**Tableau III.1** : Principes et références des méthodes d'analyse

Paramètres	Méthodes	Normes
Température	Mesure directe avec thermomètre	-
pH	pH-mètre	NFT 90-008
Conductivité	Mesure directe avec conductimètre	NFT 90-008
Turbidité	Turbidimètre	ISO 7027

### III.4. Procédure de coagulation floculation sur Jar Test:

1. Lors des essais de coagulation-floculation, nous avons utilisé un jar test à (06) postes.
2. Les essais sont réalisés dans des béchers contenant 500 ml d'échantillon.
3. Le pH est ajusté par ajout du NaOH et HCl
4. Etape rapide Durée 5 min et Nombre de tours par minute 150
5. Etape lente Durée 25 min et Nombre de tours par minute 30
6. Phase de décantation 40 min

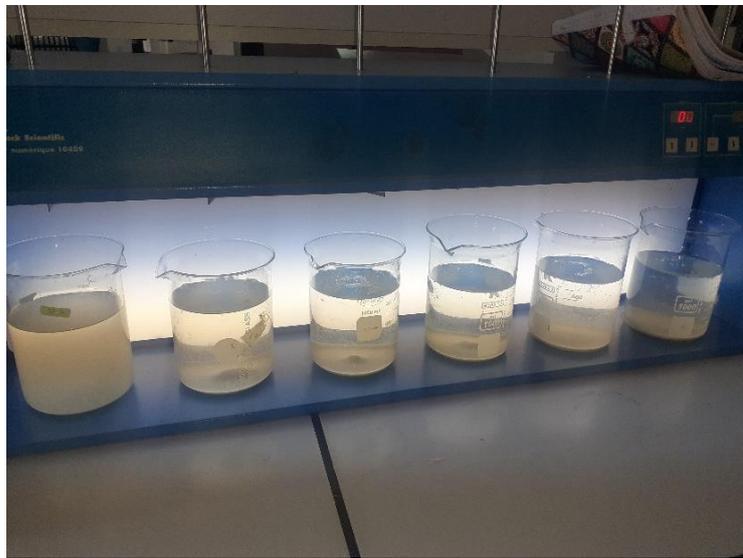


Figure III.1 : Appareil de jar test.

### III.5. Réactifs et Appareillage :

#### III.5.1. Réactifs :

- a) **Effluents à traiter** : Eau contaminée par la bentonite

#### Sulfate d'aluminium

- Sa formule à l'état pur est  $Al_2SO_4$ .
- Pour le traitement des eaux, il est uniquement utilisé sous forme de solution aqueuse.
- La gamme de pH d'utilisation est de 4,5 à 8,5 (Optimum 8).

- b) **Floculant utilisé** :

Le Bio-floculant utilisé dans notre étude est:

- Solution mère de (*Moringa oleifera*)

Le flocculant utilise dans notre étude :

- polymère cationique

c) **Réactifs pour ajuster le pH :**

- Solution NaOH
- Solution HCl

### III.5.2. Appareillage :

- Jar test ;
- Conductimètre ;
- Balance de précision ;
- pH-mètre ;
- Système de filtration et papier filtre ;
- Verrerie courante de laboratoire ;
- Turbidimètre.

### III.6. Préparation du bio flocculant :

Pour préparer le *Moringa oleifera* en tant que bioflocculant, voici les étapes générales :

1. **Récolte des feuilles de *Moringa oleifera* :** Choisissez des feuilles fraîches de *Moringa oleifera*. Assurez-vous de les récolter dans des conditions hygiéniques.
2. **Nettoyage :** Lavez soigneusement les feuilles pour éliminer les impuretés et les contaminants.
3. **Broyage :** Broyez les feuilles pour obtenir une poudre fine. Vous pouvez utiliser un moulin à café, un mortier et un pilon, ou tout autre appareil de broyage approprié.
4. **Extraction :** Placez la poudre de *Moringa oleifera* dans de l'eau propre. Laissez reposer pendant plusieurs heures, idéalement toute la nuit, pour permettre l'extraction des composés actifs.
5. **Filtration :** Après l'extraction, filtrez soigneusement le liquide à l'aide d'un tissu fin ou d'un filtre pour éliminer les particules solides. Vous pouvez répéter cette étape plusieurs fois si nécessaire pour obtenir un liquide clair.
6. **Utilisation :** Le liquide filtré obtenu peut être utilisé comme bioflocculant dans le traitement de l'eau. Il est recommandé de suivre les instructions spécifiques pour l'utilisation du *Moringa oleifera* en tant que bioflocculant, car les concentrations et les méthodes peuvent varier en fonction des besoins.



**Figure III.3 :** La plante de *Moringa oleifera*

*Moringa oleifera* remonte à des milliers d'années et est étroitement liée à son utilisation traditionnelle dans diverses cultures à travers le monde. Voici un bref historique du *Moringa oleifera* :

Origines en Asie du Sud : Le *Moringa oleifera* est originaire de l'Inde et des régions avoisinantes de l'Asie du Sud. Cette plante a été cultivée et utilisée depuis des siècles dans ces régions pour ses propriétés médicinales et nutritionnelles.

Propagation à travers les continents : Au fil du temps, le *Moringa oleifera* s'est répandu dans d'autres régions tropicales et subtropicales du monde, notamment en Afrique, en Amérique latine, aux Caraïbes et en Asie du Sud-Est. Il s'est adapté à différents climats et sols, devenant ainsi une ressource précieuse pour les populations locales.

### **III.6.1. Approches méthodologiques employées :**

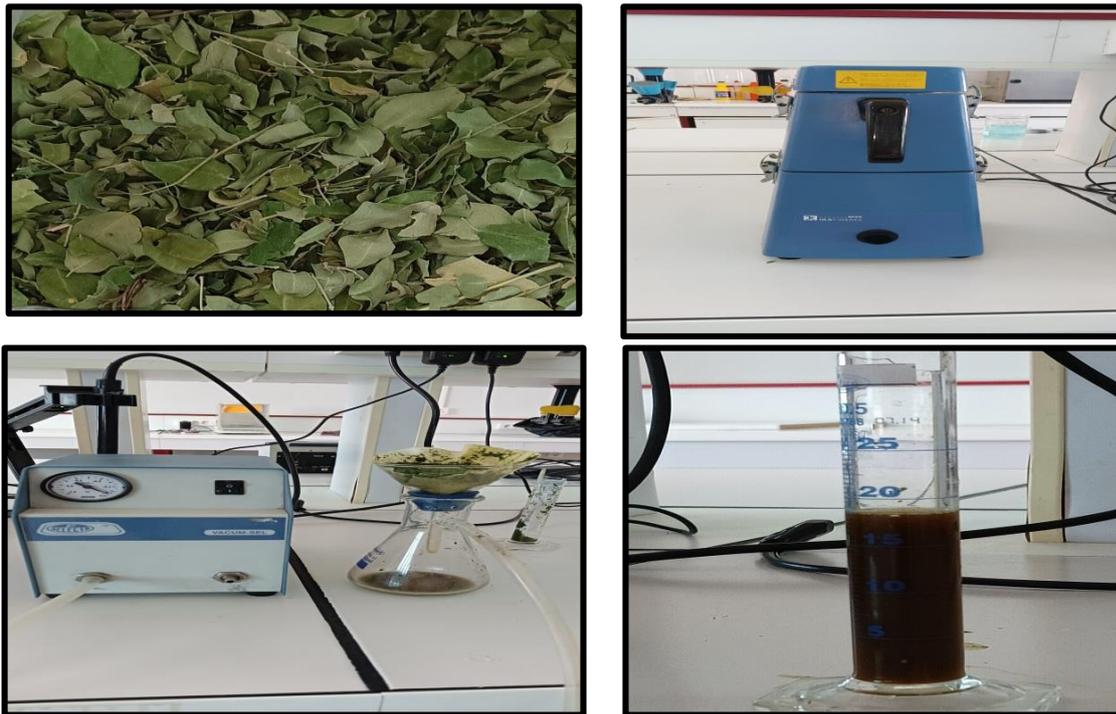
#### **III.6.1.1. Préparation de solution Mar de *Moringa oleifera* pour le traitement des eaux :**

Il existe différents types de méthodes utilisées dans la production d'une solution aqueuse de *Moringa oleifera*, qui est utilisée dans le traitement de l'eau (coagulation et floculation ou bio-absorption). Nous le préparons sous forme de poudre pour le préparer en plusieurs étapes.

#### **III.6.1.2. Mode opératoire :**

##### **a. Préparation de la solution de bio floculant (figue de *Moringa oleifera*) :**

Nous avons broyé toutes les feuilles de l'herbe *Moringa oleifera* dans un mixeur, puis pesé 12,5 g de la poudre obtenue. Nous l'avons mise dans un erlenmeyer avec l'ajout d'un 25 ml d'eau distillée et laissons agiter pendant une heure, puis nous filtrons à l'aide de papier filtre pour obtenir la solution à utiliser dans notre expérience.



**Figure III.4** Les étapes de préparation de la solution de bio flocculant

### III.7. Coagulant à base de sulfate d'aluminium $Al_2SO_4$

#### III.7.1. Détermination de la dose optimale du coagulant :

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose du Coagulant  $Al_2SO_4$  entre (25 à 150 mg/l) 5 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose optimale du flocculant 50 mg/l de polymère et Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min,

#### III.7.2. Détermination de la dose optimale du flocculant :

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale du Coagulant  $Al_2SO_4$  pendant 5 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose croissante du flocculant entre (5mg/l à 50mg/l) et Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min,

### III.7.3. Détermination du pH optimal pour la coagulation floculation

Le pH est une variable importante à prendre en considération au moment de la coagulation pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation est optimale.

Varié le pH de la solution entre (4.4 et 10) (pour chaque béccher du jar test) en ajoutant soit du HCl ou du NaOH

Procéder à la coagulation en ajoutant une dose Optimale de (125 mg/l).

- Agiter rapidement du Coagulant  $AL_2SO_4$  (150t/min) pendant 5 min,
- Ajouter une dose optimale du flocculant (trouvée précédemment en traçons le graphe de la turbidité en fonction des différents doses de flocculant) puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min

### III.7.4. Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées

Dans une série de bécchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
  - Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des bécchers du coagulant (trouvé précédemment) pendant 5 min à 150 tr/min
  - Ajouter une dose optimale fixe de flocculant puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min.
1. Refaire la même expérience pour des Vitesses d'agitations comprissent entre (80 à 200 tours/ min).

### III.6.5. Détermination de la durée optimale de coagulation floculation

Dans une série de bécchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des bécchers du coagulant (trouvé précédemment) pendant 2 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose optimale et fixe du flocculant pour l'ensemble des bécchers puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min,

2. Refaire la même expérience pour des temps de coagulations floculations compris entre 2 à 10 minutes. (2min, 4min ; 6 min, 8min ; 10min ;)

### **III.8. Mode opératoire dans le cas de l'utilisation d'un Biofloculant à base de *Moringa oleifera***

#### **III.8.1. Détermination de la dose optimale du coagulant :**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose du Coagulant  $Al_2SO_4$  entre (20 à 120 mg/l) 5 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose optimale du biofloculant 200 mg/l de polymère et Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min.

#### **III.8.2. Détermination de la dose optimale du biofloculant :**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale du Coagulant  $Al_2SO_4$  pendant 5 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose croissante du biofloculant entre (50 à 500mg/l) et Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min.

### III.8.3. Détermination du pH optimal pour la coagulation floculation

Le pH est une variable importante à prendre en considération au moment de la coagulation pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation est optimale.

Varié le pH de la solution entre (4 et 10) (pour chaque béccher du jar test) en ajoutant soit du HCl ou du NaOH

Procéder à la coagulation en ajoutant une dose Optimale de (80 mg/l).

- Agiter rapidement du Coagulant  $AL_2SO_4$  (150t/min) pendant 5 min,
- Ajouter une dose optimale du biofloculant (trouvée précédemment en traçons le graphe de la turbidité en fonction des différents doses de bio floculant) puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min

### III.8.4. Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées

Dans une série de bécchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
  - Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des bécchers du coagulant (trouvé précédemment) pendant 5 min à 150 tr/min
  - Ajouter une dose optimale fixe de biofloculant puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
1. Refaire la même expérience pour des Vitesses d'agitations comprissent entre (100 à 200 tours/ min).

### III.8.5. Détermination de la durée optimale de coagulation floculation

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
  - Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des béchers du coagulant (trouvé précédemment) pendant 2 min à 150 tr/min
  - Ajouter une dose optimale et fixe du biofloculant pour l'ensemble des béchers puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 25 min,
  - Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 40 min,
1. Refaire la même expérience pour des temps de coagulations bio floculations compris entre 2 à 10 minutes. (2min, 3min ; 4 min, 5min ; 6min ;)

## **IV. Chapitre Résultat et discussion**

**IV.1. Introduction :**

Le but de cette expérience est de trouver la dose appropriée pour le traitement de l'eau par un processus physico-chimique (coagulation et floculation) afin d'atteindre une dose en petite quantité avec de bons résultats.

Les différents paramètres à étudier sont:

1. Le pH
2. La dose de coagulant
3. La dose du Biofloculant.
4. La dose du floculant
5. La vitesse d'agitation
6. La durée de coagulation

**IV.2. Essai de Coagulation-Floculation de Sulfate d'aluminium et avec le polymère cationique :**

1. Coagulant sulfate d'aluminium
2. Floculant polymère cationique

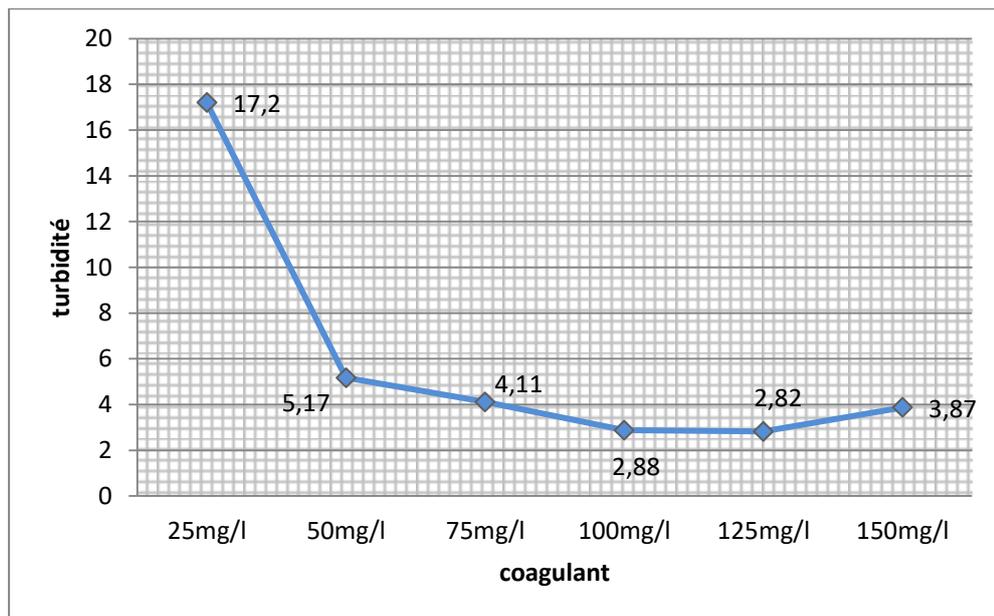
**Tableau IV.1 :** Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l'eau.

<b>Paramètres</b>	<b>Valeur trouvée</b>
<b>Température (°C)</b>	21.3
<b>PH</b>	7.8
<b>Conductivité</b>	1489 $\mu\text{s/cm}$
<b>Turbidité</b>	140 NUT

**IV.2.1. Optimisation de la dose du coagulant sulfate d'aluminium**

Dans le but d'étudier l'effet de la dose de coagulant  $\text{Al}_2\text{SO}_4$  sur le processus de la coagulation-floculation, des séries d'essai sont été effectuées à plusieurs doses de coagulant: allant de 25 à 150 mg/L. Le choix de la dose optimale du coagulant sera jugé en fonction de l'abattement de la turbidité.

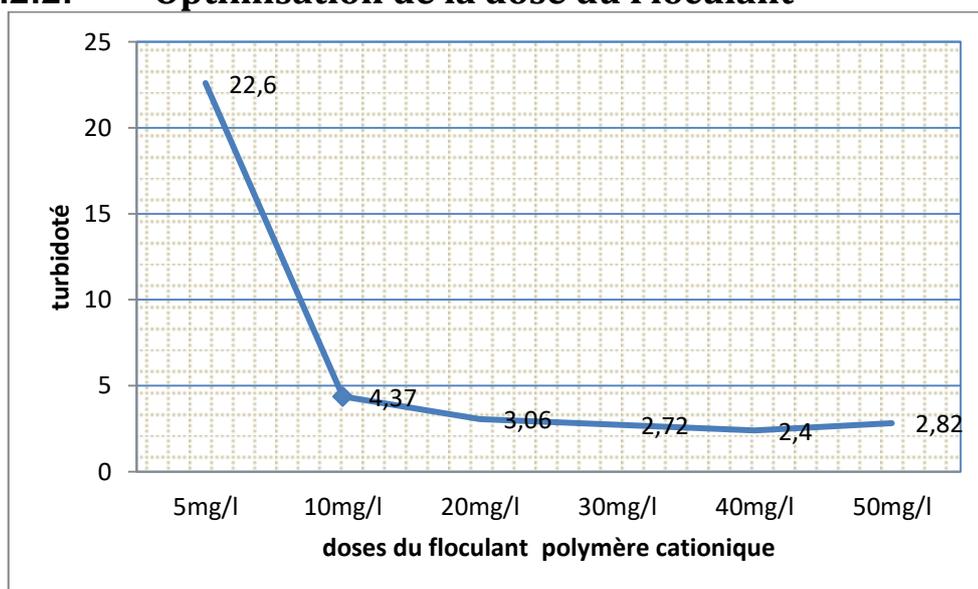
La variation de la turbidité en fonction des différentes doses appliquées est représentée sur le graphe suivant :



**Figure IV.1 :** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant  $Al_2SO_4$

L'allure de la courbe représentant l'évolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant  $Al_2SO_4$ , montre la diminution progressive de la turbidité avec l'augmentation de la dose du coagulant jusqu'à atteindre une valeur minimale de 2.82 NTU. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau. Nous pouvons confirmer d'après le graphe que la concentration optimale pour l'élimination des turbidités situe autour de 125 mg/l.

#### IV.2.2. Optimisation de la dose du Flocculant

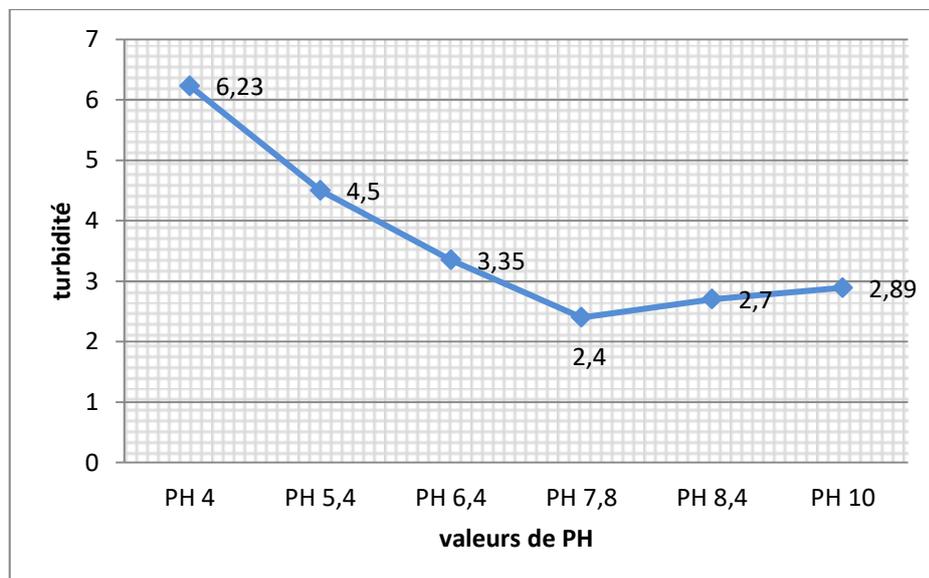


**Figure IV.2 :** la turbidité en fonction de différentes doses du flocculant polymère cationique

Les masses du floculant gel de polymère cationique ajoutés varient de 5mg à 50 mg par 500 ml d'échantillons à une température de 21.3°C. On remarque d'après la figure que le pouvoir coagulant diminue au fur et à mesure de l'ajout du floculant pour atteindre une valeur maximale à une masse de 50 mg/l. La Dose optimale du floculant est atteinte pour une valeur de 40 mg/l correspondant à une turbidité est égale à 2.4 NTU. Au-delà de cette dose c'est-à-dire au surdosage le taux de réduction de turbidité diminue ce qui est justifié par la rentabilisation stérique des particules colloïdales.

### IV.2.3. Optimisation du pH :

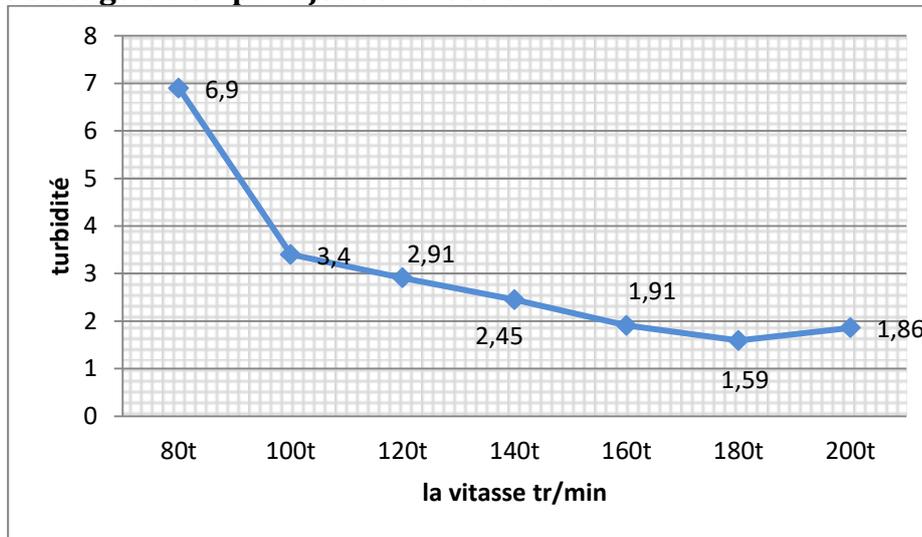
Dans le but de déterminer le pH optimal correspondant aux meilleurs taux de réductions, nous avons réalisé plusieurs essais en Jar Test où on a fait varier le pH des échantillons de 4 à 10 et nous avons suivi le taux de réduction et la structure des floes formés pour une masse optimale de coagulant (125mg/l) est une masse optimale de floculant (40mg/l).



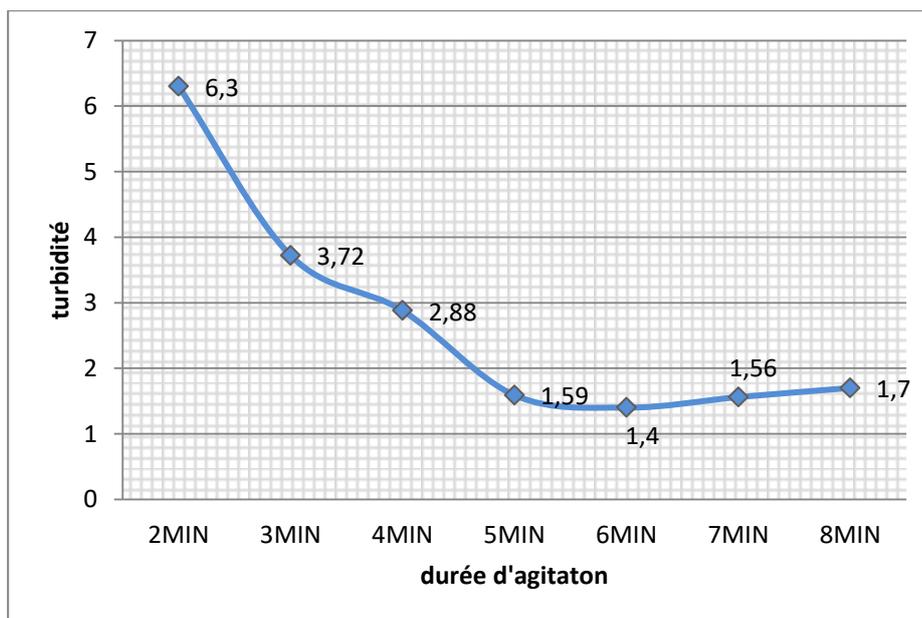
**Figure IV.3 :** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du coagulant floculant.

D'après la figure VI.3 on remarque que la turbidité diminue au fur et à mesure que le pH augmente jusqu'à un pH optimale qui est de l'ordre de 7.8 correspondant à une turbidité de l'ordre de 2.4 NTU. En comparant ces résultats pas d'autres études réalisées sur le cactus on remarque que notre gel offre une plage de pH beaucoup plus large de (8 à 10). Mais on a remarqué que la structure des floes change en fonction du pH

**IV.2.4. Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation par ajout du floculant**



**Figure IV.4 :** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation



**Figure.VI.5 :** réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation

D'après les Figures (IV.4et IV.5) et pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la floculation a été maintenue à 180tr/min et cela durant un temps optimal de 06 min.

**IV.3. Essai de bio-floculation avec Moringa oleifera :**

1. Coagulant solution prépare de sulfate d'aluminure
2. Solution Mar de biofloculant Moringa oleifera

Paramètres	Valeur trouvée
Température (°C)	21
PH	7.8
Conductivité (mS.cm <sup>-1</sup> )	1453 µs/cm
Turbidité	140 NUT

Tableau IV.2 : Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l'eau

### IV.3.1.Optimisation de la dose de la coagulante solution prépre sulfate d'aluminium :

Dans le but d'étudier l'effet de la dose de coagulant Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur le processus de la coagulation-floculation, des séries d'essai sont été effectuées à plusieurs doses de coagulant : allant de 40 à 80ml. Le choix de la dose optimale du coagulant sera jugé en fonction de l'abattement de la turbidité.

La variation de la turbidité en fonction des différentes doses appliquées est représentée sur le graphe suivant :

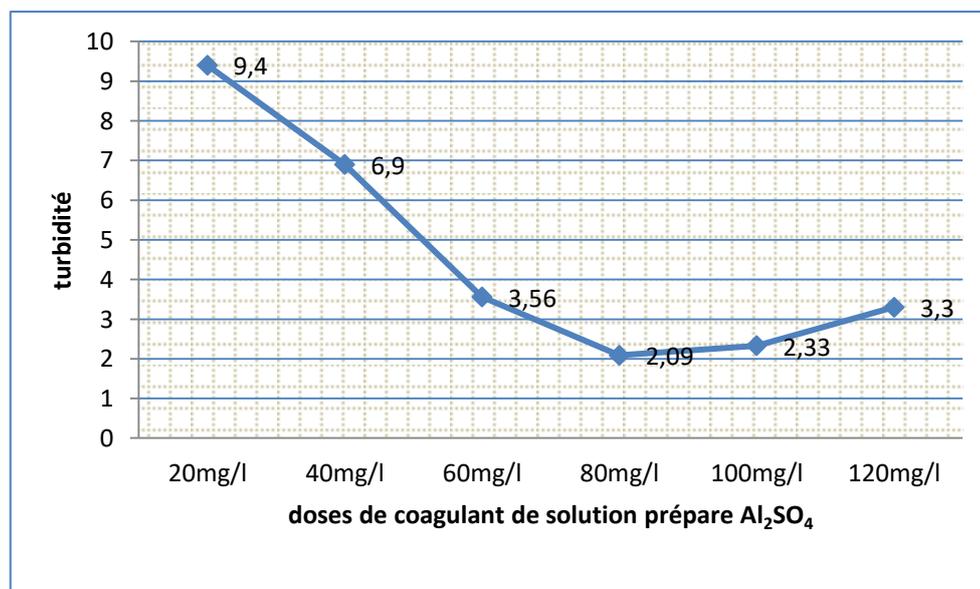
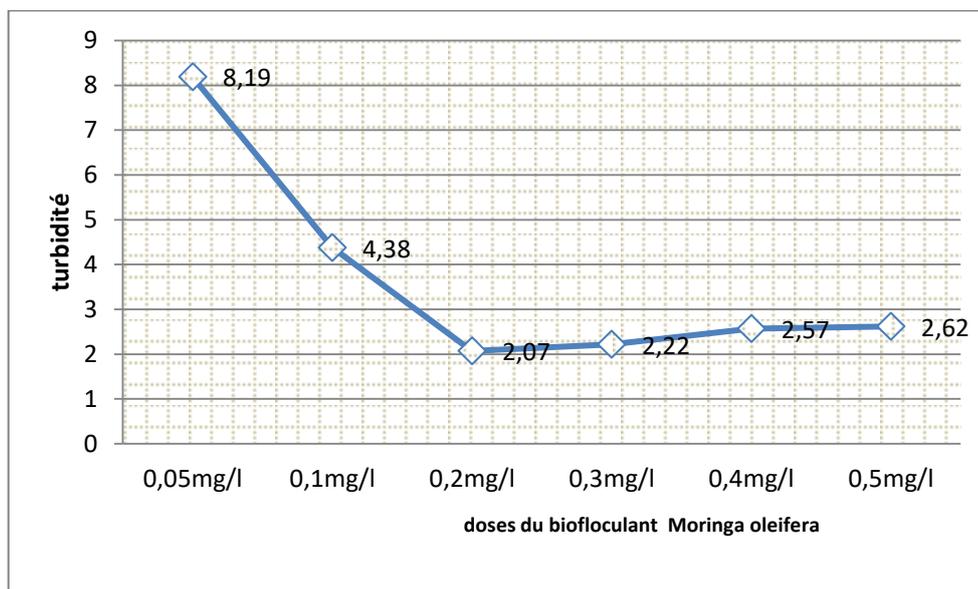


Figure IV.6 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant de solution prépre Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

L'allure de la courbe représentant l'évolution de la turbidité en fonction des

doses de la coagulante solution prépare  $Al_2SO_4$ , montre la diminution progressive de la turbidité avec l'augmentation de la dose du coagulant jusqu'à atteindre une valeur minimale de 2.09NTU. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau. Nous pouvons confirmer d'après le graphe que la concentration optimale pour l'élimination des turbidités situe autour de 80mg/l

#### IV.3.2. Optimisation de la dose du bio-floculation de *Moringa oleifera* :



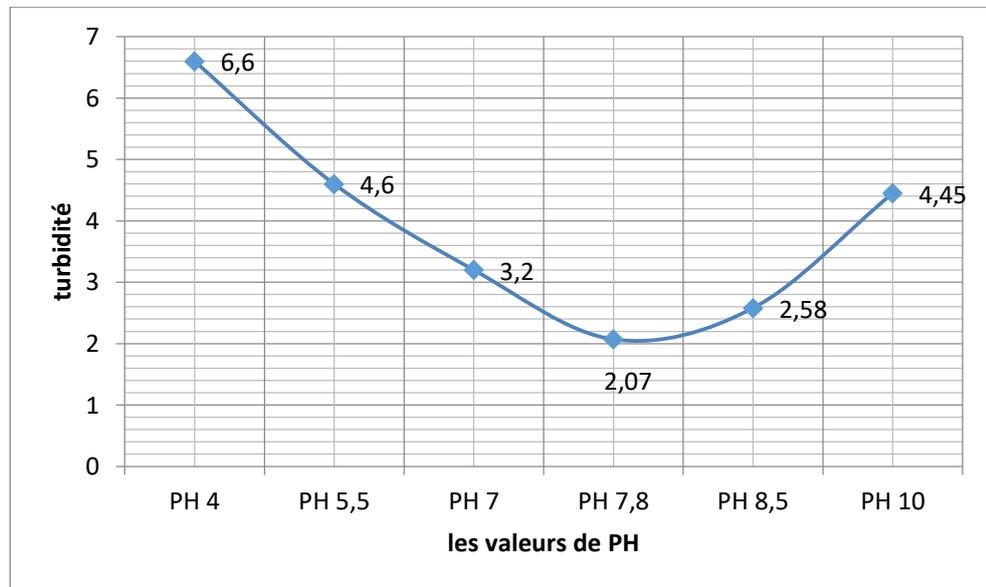
**Figure IV.7 :** la turbidité en fonction de différentes doses du biofloculant *Moringa oleifera*

Les masses du biofloculant de *Moringa oleifera* ajoutés varient de 50mg/l à 0.5mg/l par 500 ml d'échantillons à une température de 21°C. On remarque d'après la figure que le pouvoir coagulant diminue au fur et à mesure de l'ajout du floculant pour atteindre une valeur maximale à une masse de 0.5mg/l. La Dose optimale du floculant est atteinte pour une valeur de 0.2mg/l correspondant à une turbidité est égale à 2.07 NTU. Au-delà de cette dose c'est-à-dire au surdosage le taux de réduction de turbidité diminue ce qui est justifié par la rentabilisation stérique des particules colloïdales

#### IV.3.3. Optimisation du pH :

Dans le but de déterminer le pH optimal correspondant aux meilleurs taux de réductions, nous avons réalisé plusieurs essais en Jar Test où on a fait varier le pH

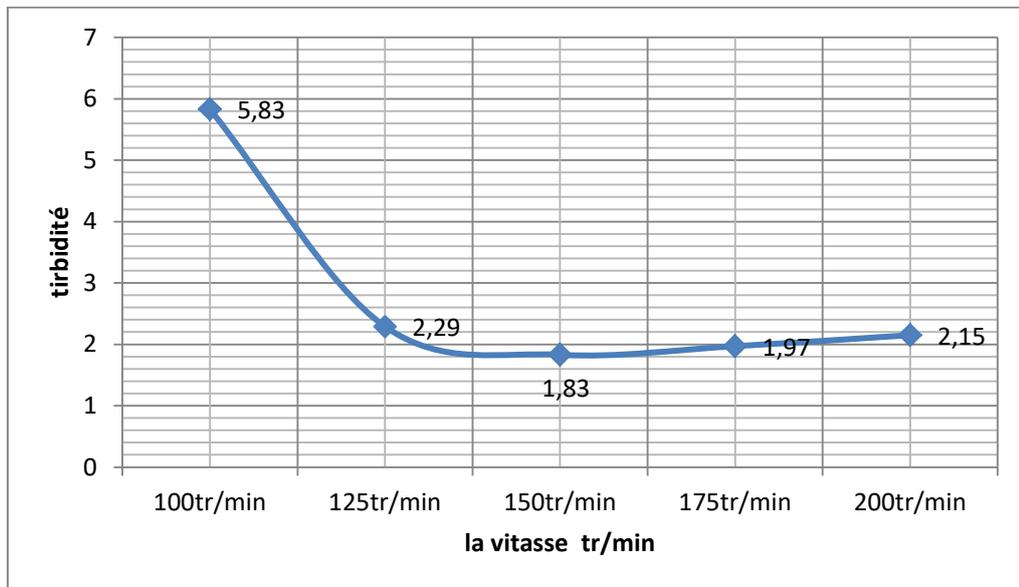
des échantillons de 4 à 10 et nous avons suivi le taux de réduction et la structure des floccs formés pour une masse optimale de coagulant (80ml) est une masse optimale de bioflocculant (0.2mg/l).



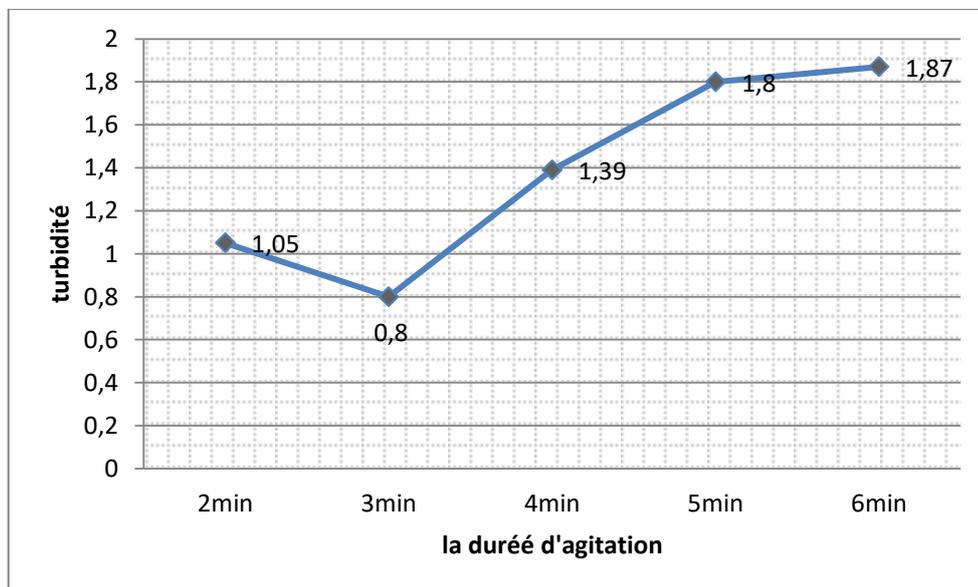
**Figure IV.8 :** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du coagulant bioflocculant.

D'après la figure VI.7 on remarque que la turbidité diminue au fur et à mesure que le pH augmente jusqu'à un pH optimale qui est de l'ordre de 7.8 correspondant à une turbidité de l'ordre de 2.07 NTU. En comparant ces résultats pas d'autres études réalisées sur le cactus on remarque que notre gel offre une plage de pH beaucoup plus large de (8 à 10). Mais on a remarqué que la structure des floccs change en fonction du pH.

**IV.3.4. Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation par ajout du biofloculant :**



**Figure IV.9 :** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation



**Figure.VI.10 :** réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation

D'après les Figures (IV.9et IV.10) et pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la floculation a été maintenue à 150tr/min et cela durant un temps optimal de 03 min.

**Un résumé :**

Nous concluons de la comparaison entre le floculant et le biofloculant que le meilleur est le biofloculant en termes de turbidité de l'eau, car il a donné un résultat de 0,80NUT. Quant au floculant, ses résultats sont également bons, avec une note de 1,40NUT.

Scientifiquement, nous recommandons d'utiliser ce dernier pour garantir ses résultats, mais il peut entraîner des risques chimiques, et le biofloculant est respectueux de l'environnement

Bref, le floculant et la biofloculant ont donné de bons résultats.

**IV.4. Application du plan d'expériences :**

**IV.4.1. Choix des facteurs d'étude :**

La sélection des facteurs d'étude sur la mise en œuvre du dispositif expérimental est l'un des points les plus importants de notre étude. L'impact actuel sur trois facteurs qui affectent directement la turbidité de l'eau :  $x_1$  coagulant solution de sulfate d'aluminium,  $x_2$  biofloculant Moringa oléifère, et  $x_3$  le PH .

$x_1$  = COA = coagulant solution de sulfate d'alumine

$x_2$  = BIOF = biofloculant solution du Moringa oléifère

$x_3$  = PH

	<b>Facteurs</b>	<b>Niveau -1</b>	<b>Niveau 0</b>	<b>Niveau +1</b>
$X_1$	La Concentration du coagulant sulfate d'alumine (mg/l)	60	80	100
$X_2$	La Concentration du biofloculant Moringa oléifère (mg/l)	0.1	0.2	0.3
$X_3$	PH	6.8	7.8	8.8

**Tableau IV.3 :** Facteurs et domaine d'étude.

**IV.4.2. Modélisation :**

Notre objectif consiste à optimiser les paramètres considérés par la maximisation de l'indice de La turbidité.

La matrice d'expériences de Box-Behnken et les résultats expérimentaux (réponses), obtenus lors de la réalisation des 15 essais, sont présentés dans **Tableau IV.4**

N° d'essai	(x1)	(x2)	(x3)	Indice de la turbidité
1	-1	-1	0	2.19
2	1	-1	0	1.89
3	-1	1	0	2.90
4	1	1	0	2.40
5	-1	0	-1	2.72
6	1	0	-1	2.37
7	-1	0	1	1.53
8	1	0	1	1.08
9	0	-1	-1	2.58
10	0	1	-1	3.14
11	0	-1	1	2.50
12	0	1	1	2.44
13	0	0	0	0.80

14	0	0	0	0.80
15	0	0	0	0.80

**Tableau IV.4** Les essais et les réponses du plan box-Behnken

Le logiciel (minitab 19) a été utilisé pour le calcul des coefficients du modèle et des écarts types correspondants.

En remplaçant les différents coefficients dans l'équation du modèle appliqué, nous avons obtenu l'équation mathématique suivante (III.1)

**Equation de régression en unités non codées**

D'après les résultats obtenus par logiciel (minitab 19), l'équation du modèle faisant intervenir le poids des facteurs et des interactions influentes s'écrit donc :

$$\begin{aligned}
 \text{Turbidité} = & \mathbf{0,800} - \mathbf{0,200} \text{ COA} + \mathbf{0,215} \text{ BIOF} - \mathbf{0,408} \text{ PH} \\
 & + \mathbf{0,402} \text{ COA*COA} + \mathbf{1,143} \text{ BIOF*BIOF} \qquad \dots \text{ III.1} \\
 & + \mathbf{0,723} \text{ PH*PH} - \mathbf{0,050} \text{ COA*BIOF} - \mathbf{0,025} \text{ COA*PH} \\
 & - \mathbf{0,155} \text{ BIOF*PH}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Turbidité} = & \mathbf{0,800} - \mathbf{0,200} x_1 + \mathbf{0,215} x_2 - \mathbf{0,408} x_3 + \mathbf{0,402} x_1^2 \\
 & + \mathbf{1,143} x_2^2 + \mathbf{0,723} x_3^2 - \mathbf{0,050} x_1*x_2 - \mathbf{0,025} x_1*x_3 \qquad \dots \text{ III.2} \\
 & - \mathbf{0,155} x_2*x_3
 \end{aligned}$$

**IV.5. Diagramme de Pareto pour la turbidité :**

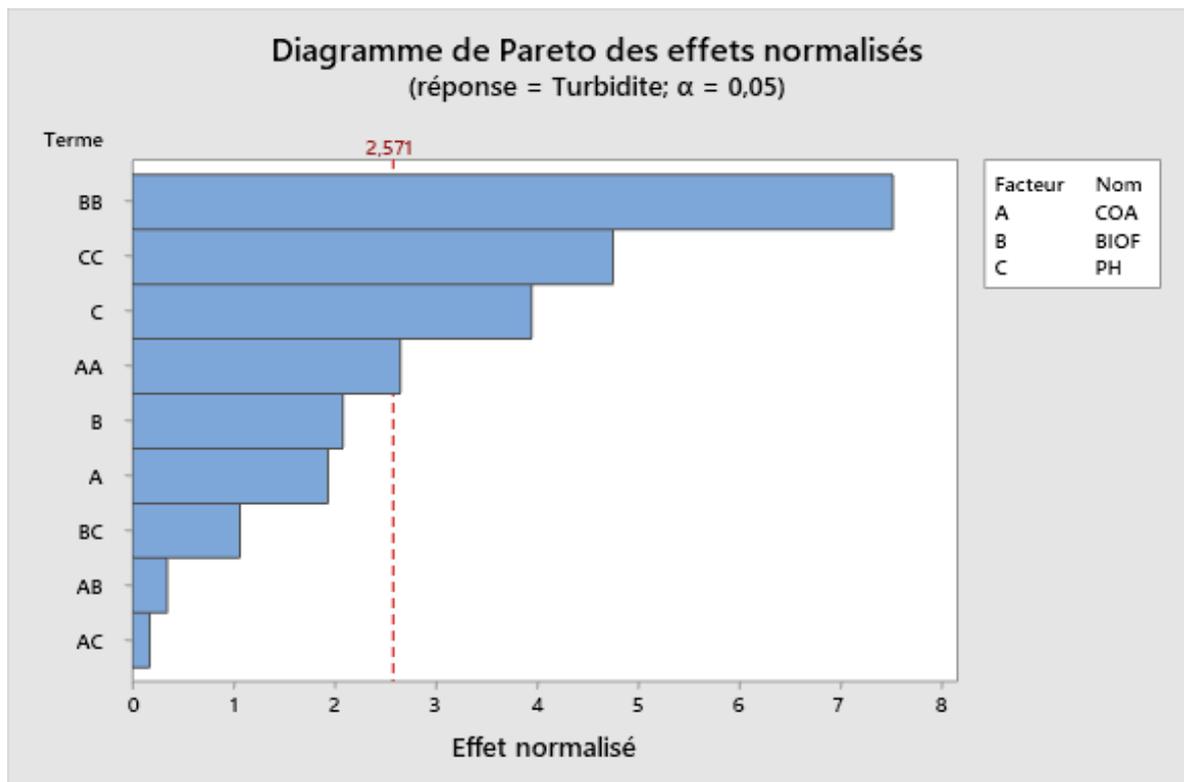


Figure VI.11 : Diagramme de Pareto des effets normalisés de la turbidité

Ce diagramme (figure 5) permet d'extraire les paramètres les plus importants. Parmi tous les facteurs étudiés et au niveau de confiance choisi ( $\alpha = 0,05$ ), le pH et la coagulant et la biofloculant apparaissent comme des facteurs très influents, la dose peut d'après ce même diagramme avoir un effet sur la réponse.

#### IV.6. Le coefficient de détermination $R^2$ pour la turbidité :

La valeur du coefficient de détermination  $R^2 = 95,34 \%$  est bonne et  $R^2_{prév} = 25,41 \%$ , nous pouvons déduire que le modèle mathématique est donc satisfaisant et peut être accepté. Donc il existe une bonne corrélation entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées.

Coefficients codés

Terme	Coeff	Coef ErT	Valeur		FIV
			de T	de p	
Constante	0,800	0,169	4,75	0,005	
A	-0,200	0,103	-1,94	0,110	1,00
B	0,215	0,103	2,08	0,092	1,00
C	-0,408	0,103	-3,95	0,011	1,00
A*A	0,402	0,152	2,65	0,045	1,01
B*B	1,143	0,152	7,52	0,001	1,01
C*C	0,723	0,152	4,76	0,005	1,01
A*B	-0,050	0,146	-0,34	0,746	1,00
A*C	-0,025	0,146	-0,17	0,871	1,00
B*C	-0,155	0,146	-1,06	0,337	1,00

Récapitulatif du modèle

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
0,291908	95,34%	86,95%	25,41%

Equation de régression en unités non codées

$$R = 0,800 - 0,200 A + 0,215 B - 0,408 C + 0,402 A*A + 1,143 B*B + 0,723 C*C - 0,050 A*B - 0,025 A*C - 0,155 B*C$$

IV.6.1. Diagrammes des effets principaux :

Le diagramme des effets principaux nous renseigne sur l'influence simultanée de tous les facteurs sur le taux d'élimination de la turbidité.

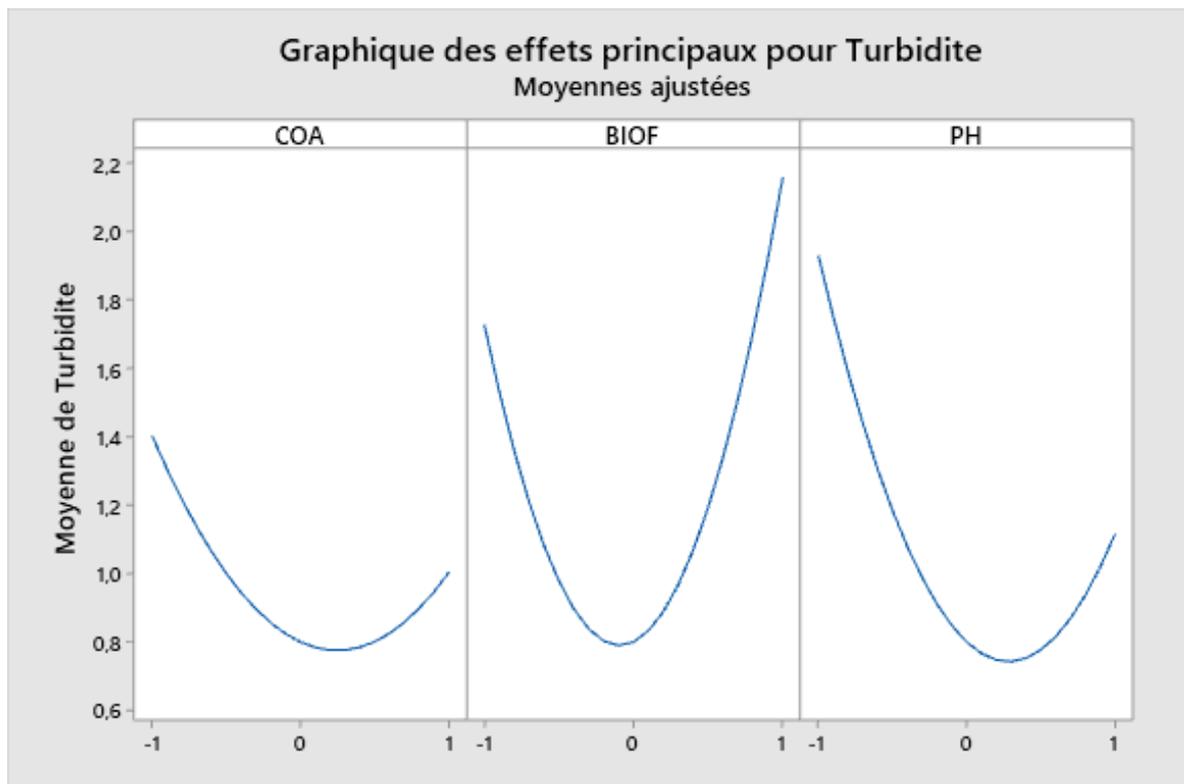


Figure VI.12 : Diagramme des effets principaux pour la turbidité

- Quand on considère l'effet du coagulant sur l'enlèvement de la turbidité, nous remarquons qu'il a un point optimale entre 0 et 1, c'est-à-dire entre :  $80\text{ml} \leq \text{coagulant} \leq 100\text{ml}$
- Quand on considère l'effet du biofloculant sur l'enlèvement de la turbidité, nous remarquons qu'il a un point optimale entre -1 et 0, c'est-à-dire entre :  $0.1\text{ml} \leq \text{biofloculant} \leq 0.2$
- Quand on considère l'effet du pH sur l'enlèvement de la turbidité, nous remarquons qu'il a un point optimal entre 0 et 1, c'est-à-dire entre :

$$7.8 \leq \text{PH} \leq 8.8$$

#### IV.6.2. Diagrammes des effets d'interactions des facteurs :

L'effet des factures est représenté graphiquement sur la figure VI.13. Pour interpréter les résultats suggérés par ce type de graphique, il suffit de comparer entre elles, les pentes de chacun des segments des droites dont les extrémités correspondent aux effets moyens calculés aux niveaux -1 et +1. Plus la pente de la droite caractérisant l'effet est grand plus le poids du facteur est important.

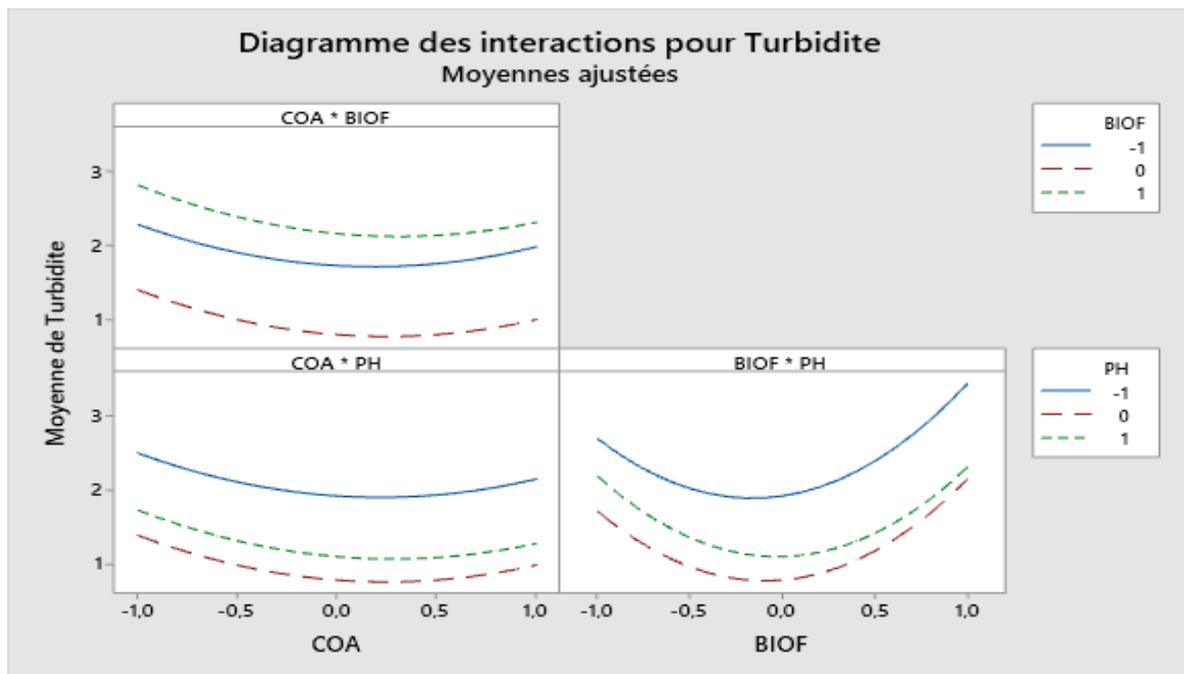


Figure VI.13 : Diagramme d’interactions pour la turbidité

La concentration du coagulant a une pente plus importante donc une influence plus importante sur la réponse, figure VI.13

### IV.6.3. Les graphiques de contour pour la turbidité :

Les Représentations graphiques en deux dimensions illustrent l’évolution de la réponse (le taux d’élimination de la turbidité) en fonction des niveaux de deux facteurs à savoir la concentration du Coagulant (COA) et la concentration du Biofloculant.

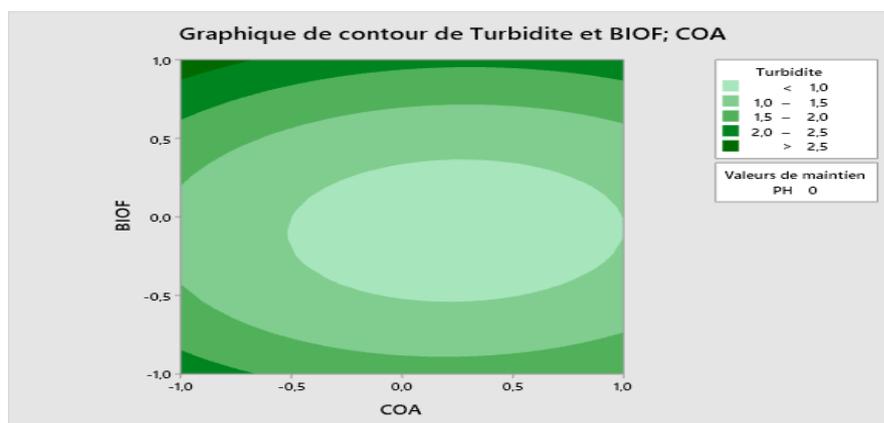


Figure VI.14 : Graphique de contour du taux d’élimination de turbidité des deux facteurs coagulant et biofloculant

La Figure VI.14 représente le diagramme de contour des deux facteurs coagulant et la biofloculant.

Les deux facteurs nous renseignent sur l'évolution de la réponse. Pour la combinaison des Facteurs coagulant et biofloculant, il apparait une région verte dans laquelle le taux d'élimination de La turbidité est plus élevé (supérieur à 80 %) pour un intervalle de dose compris entre -0.5 g et 1, et un biofloculant du milieu entre [-0.5 ; 0.25].

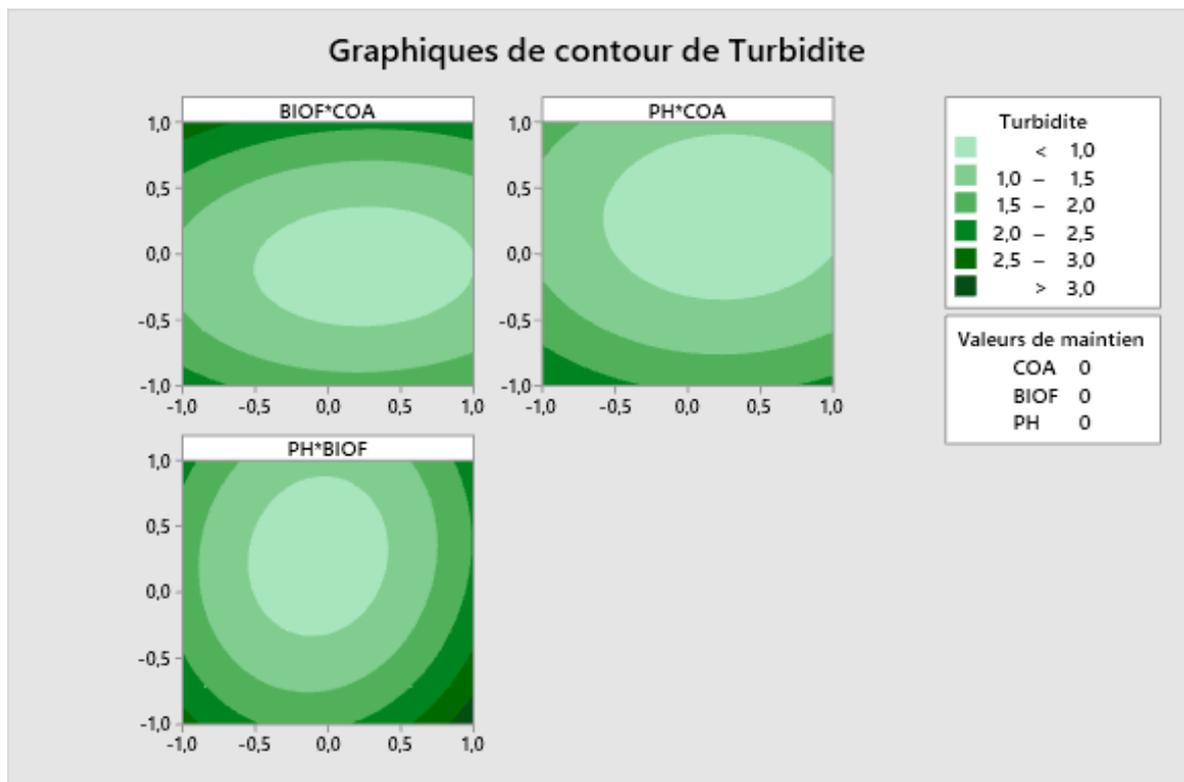
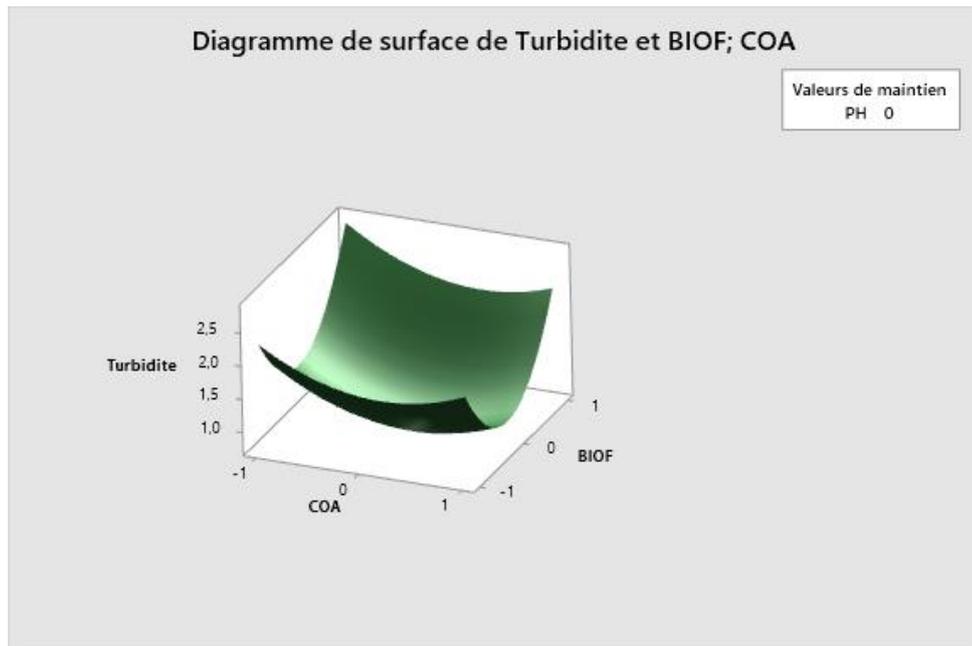


Figure VI.15 : Graphique de contour du taux d'élimination de turbidité

#### IV.6.4. Représentation graphique des surfaces de réponse

Les résultats du plan expérimental étudié pour l'élimination de la turbidité par le processus de coagulation floculation ont permis d'obtenir les surfaces de réponse et les contours illustrés par la figure VI.15 . L'exploitation des graphes permet de visualiser et de déterminer les conditions optimales dans le domaine d'étude défini. En fixant le niveau d'une variable indépendante au centre du domaine expérimental de suivre l'évolution de l'autres variable et son influence sur le pourcentage d'élimination de la turbidité.



**Figure VI.16 :** Présentation des surfaces de réponse dans un espace a trois dimensions ; en fonction de la concentration en coagulant et la concentration en biofloculant

D'après les graphes qui représente les surfaces de réponse de nos trois facteurs, nous constatons que les courbes possèdent des optimums sur tous les côtés et par conséquent le plan d'expériences est en accord avec nos résultats expérimentaux. La surface de réponse possède une concavité dirigé vers le bas c'est à dire il Possède un minimum.

**Conclusion générale :**

## V. Conclusion générale :

En conclusion, l'utilisation d'un biofloculant à base de *Moringa olifera* pour réduire la turbidité des eaux usées présente un potentiel prometteur. Ce mémoire a examiné l'efficacité de cette approche alternative en se concentrant sur les méthodes d'extraction des peptides cationiques antimicrobiens du *Moringa olifera*, les expériences en laboratoire et les tests sur des échantillons d'eaux usées réelles. Les résultats de cette étude ont démontré que le biofloculant à base de *Moringa olifera* était capable de flocculer efficacement les particules en suspension dans l'eau, réduisant ainsi la turbidité. Les peptides cationiques antimicrobiens présents dans les graines de *Moringa olifera* ont montré leur capacité à neutraliser les charges négatives des particules, favorisant leur agglomération et leur élimination ultérieure. De plus, cette approche présente des avantages économiques et environnementaux significatifs. Comparé aux flocculants chimiques traditionnels, l'utilisation d'un biofloculant à base de *Moringa olifera* peut réduire les coûts de production et de mise en œuvre, ce qui en fait une solution plus abordable, notamment dans les régions où l'accès aux produits chimiques est limité. De plus, les bioflocculants d'origine végétale tels que le *Moringa olifera* sont plus respectueux de l'environnement, car ils évitent l'utilisation de produits chimiques toxiques et réduisent les impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques. Cette recherche ouvre la voie à de nouvelles perspectives dans le domaine du traitement des eaux usées. L'utilisation de bioflocculants à base de *Moringa olifera* peut être considérée comme une alternative durable et efficace pour réduire la turbidité des eaux usées, améliorant ainsi la qualité de l'eau et préservant les écosystèmes aquatiques.

Cependant, il convient de noter que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les paramètres de dosage, de temps de flocculation et de conditions de pH afin de maximiser l'efficacité du processus de clarification. De plus, des études complémentaires sur l'application pratique du biofloculant à base de *Moringa olifera* dans différents contextes et types d'eaux usées sont recommandées pour évaluer sa faisabilité à grande échelle.

En conclusion, l'utilisation d'un biofloculant à base de *Moringa olifera* présente des avantages significatifs en termes d'efficacité, de coûts et d'impact environnemental. Cette approche offre une alternative durable et économiquement viable pour réduire la turbidité des eaux usées. Il est donc essentiel de continuer à explorer et à développer ces méthodes de traitement respectueuses de l'environnement afin de préserver et de protéger nos ressources en eau pour les générations futures.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1]**Raymond D**, le traitement des eaux ;deuxième édition revue et enrichie, janvier (1990)
- [2]**Raymond D**, le traitement des eaux ;deuxième édition revue et enrichie, janvier (1990)
- [3]**Bourezg,Nadji**, ETUDES DES PERFORMANCES DU CHITOSANE COMME COAGULANT POUR L'ENLEVEMENT DE LA TURBIDITE DES EAUX USEES au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj Université Mohamed El Bachir Elibrahimi - Master de Génie des procédés de l'environnement(2022).
- [4]**Mostefa NAIMI**, Cahier technique - 2 : Techniques de contrôle microbiologiques Universitaire Nour Bachir - El-Bayadh Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (2018).
- [6] **Annie Massicotte** : Guide pour l'établissement des normes de rejet d'une installation de traitement des eaux usées d'origine domestique Révision avril (2020)
- [7]**Belgarmi Abdelmoumen** : ETUDES DES PERFORMANCES DU CHITOSANE COMME COAGULANT POUR L'ENLEVEMENT DE LA TURBIDITE DES EAUX USEES au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj Université Mohamed El Bachir Elibrahimi - Master de Génie des procédés de l'environnement (2022).
- [8] **Zahir BAKIRI**, TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR DES PROCEDES, BIOLOGIQUES CLASSIQUES : EXPERIMENTATION ET MODELISATION au niveau de la ville de SETIF UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF UFAS (ALGERIE) MAGISTER Génie Chimique (2007).
- [9] **D'Okun** : Chaque probleme de traitement des eaux usees est unique et sa resolution doit etre adaptee aux ressources locales en eau, en hommes et en materiaux.(1976)
- [10]**Marie-Christine Gromaire**, Contribution à l'étude des sources et flux de contaminants dans les eaux pluviales urbaines Mémoire présenté pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches (2012).
- [11]**Pr Jean-Marie MOUCHEL** DYNAMIQUE DE LA CONTAMINATION VIRALE DANS UN ENVIRONNEMENT HYDRIQUE URBAIN UNIVERSITÉ PARIS-EST École doctorale : Sciences, Ingénierie et Environnement Thèse de doctorat Mention Sciences et Techniques de l'environnement
- [12] **Régis Bourrier Marc Satin et Béchir Selmi** , Traitement des eaux usées - Guide technique (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) (2017)
- [13] **Manuel Lucas**, Procédés physico-chimiques de traitement des eaux résiduaires (2013)

[14] **ELIAS ASSAAD**, ÉTUDE DU PROCESSUS DE COAGULATION-FLOCCULATION DU SYSTÈME MONTMORILLONITE-CHITOSANE DANS L'ÉLIMINATION DE MÉTAUX DE TRANSITION UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL (2006).

[15] **MEZILI Salaheddine** , Analyse de la cinétique de dégradation de la pollution carbonée, cas des stations d'épuration de Sidi Marouane, Oued Athmania (W. Mila), Ain Beida (W. Oum Elbouaghi), et Timgad (W. Batna) Université Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi (2017).

[16] **RE Simard, G Busque et RR Riel**, Traitement biologique des eaux usées de croustilles par les levures - Canadian Institute of Food Science, Elsevier (1973).

[17]. Les procédés d'épuration des petites collectivités DU BASSIN RHIN-MEUSE éléments de comparaison techniques et économiques (2007)

[18] **Jean-Pierre Canler**, Traitements des eaux : Coagulation-Floculation, édition Tec & Doc Lavoisier, (2007).

[19] **Laure Tessier**, Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine : identification de signatures naturelles et anthropiques (2004).

[20] **Mouhamad KHALIL**, Suspensions colloïdales concentrées sous écoulement la thèse de doctorat Strasbourg (2010).

[21] **Chimie des interfaces** : Concepts et méthodes par Jean-Louis Lacroix et François Ganachaud, édition De Boeck Supérieur, (2008).

[22] **DJEBBARA LEILA**, CONTRIBUTION Á L'ÉTUDE DES INTERACTIONS ÉLECTROSTATIQUES DANS LES SOLUTIONS DE POLYÉLECTROLYTES MAGISTER EN PHYSIQUE Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen Faculté des Sciences (2012).

[23] **Soumaya Ben-Jabrallah**. Electrolytes aux interfaces : accès aux premiers nanomètres par la technique des ondes stationnaires.. Physique [physics]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, (2016)

[24] **Verwey, E. and Overbeek, J**, Theory of the stability of lyophobic colloids, Elsevier, Amsterdam, New York (1948).

[25] **M'selka Mustafa Karim** , influence particules argileuse sur coagulation floculation université Tlemcen (2013)

[26] **LATRECHE Mohammed Seghir ZERROUKI Abdelkrim** : TRAITEMENT DES EAUX HUILEUSES DE L'UNITÉ DE DÉSHUILAGE DE HASSI R'MEL UNIVERTITÉ KASDI MERBAH OUARGLA (2019)

[27] **RAKOTONIRINA Heritiana Jeannelle** : CONTRIBUTION A LA PREPARATION ET A L'ETUDE DE SYNERGIE DES FLOCCULANTS LOCAUX DANS LES TRAITEMENTS

DES EAUX UNIVERSITE D'ANTANANARIVO (2020)

[28] **Naif Al-Jadabi 1 , Mohamed Laouan:** The Dual Performance of Moringa Oleifera Seeds as Eco-Friendly Natural Coagulant and as an Antimicrobial for Wastewater Treatment: A Review (2023)

[29] **Jed W. Fahey, Sc.D.** Moringa oleifera: A Review of the Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties(2005)

[30]**Jed W. Fahey, Sc.D.** Moringa oleifera: A Review of the Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties (2005)

[31]**BENSEGHIR Chaima . NAMULODI Phiona:** Extraction, Isolation and Characterization of Lectins from Moringa oleifera seeds University of Mentouri Brothers Constantine 1 (2018)

[32] **Anselme Ndabigengesere, K Subba Narasiah:** Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds (1998)

[33]**BARDI OMAR FANNI SALAH:** Les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de poudre de feuilles du Moringaoleifera Université d'Adrar (2015)

[34]**Mounia.Achak,Fatima,Elayadi and ,Wafaa Boumya :** Chemical Coagulation/Flocculation Processes for Removal of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater: A Comprehensive Review American Journal of Applied Sciences (2019)

[35] **M. N. Alo, C. Anyim, and M. Elom :** Coagulation and Antimicrobial Activities of Moringa oleifera Seed Storage at 3°C Temperature in Turbid Water (2012)

# ANNEXES

## Les tableaux du floculant polymère cationique et coagulant sulfate d'aluminium :

### I. Variation de la turbidité en fonction de différentes des doses de coagulant sulfate d'aluminium

Coagulant		25 mg/l	50 mg/l	75 mg/l	100 mg/l	125 mg/l	150 mg/l
Turbidité	157 NUT	17.2 NUT	5.17 NUT	4.11 NUT	2.88 NUT	2.82 NUT	3.87 NUT

### II. Variation de la turbidité en fonction de différentes des doses de floculant polymère cationique

Floculant		50 mg/l	100 mg/l	200 mg/l	300 mg/	400 mg/l	500 mg/l
Turbidité	157 NUT	22.6 NUT	4.37 NUT	3.06 NUT	2.72 NUT	2.40 NUT	2.82 NUT

### III. Variation de la turbidité en fonction de différentes de PH

PH	7.8	4	5.4	6.4	7.8	8.4	10
Turbidité	157 NUT	6.23 NUT	4.50 NUT	3.35 NUT	2.40 NUT	2.70 NUT	2.89 NUT

### IV. Variation de la turbidité en fonction de différentes de Vitesse d'agitation

Vitesse tr/min		80	100	120	140	160	180	200
turbidité	157 NUT	6.90 NTU	3.40 NTU	2.91 NTU	2.45 NTU	1.91 NTU	1.59 NTU	1.86 NTU

**V. Variation de la turbidité en fonction de différentes de la durée d'agitation**

dur		2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min
turbidité	157	6.30 NUT	3.72 NTU	2.88 NTU	1.59 NTU	1.40 NTU	1.56 NTU	1.70 NTU

**Les tableaux du biofloculant mornga olivaire et coagulant sulfate d'aluminium :**

**I. Variation de la turbidité en fonction de différentes des doses de coagulant sulfate d'aluminium**

coagulant		20 mg/l	40 mg/l	60 mg/l	80 mg/l	100 mg/l	120 mg/l
Turbidité	140 NUT	9.40 NUT	6.90 NUT	3.56 NUT	2.09 NUT	2.33 NUT	3.20 NUT

**II. Variation de la turbidité en fonction de différentes des doses de biofloculant mornga olivaire**

biofloculant		0.05mg/l	0.1mg/l	0.2mg/l	0.3mg/l	0.4mg/l	0.5mg/l
Turbidité	140 NUT	8.19 NUT	4.38 NUT	2.07 NUT	2.22 NUT	2.57 NUT	2.62 NUT

**III. Variation de la turbidité en fonction de différentes de PH**

PH		4.5	5.5	6.5	7.8	8.5	10
turbidité	140 NUT	6.60 NUT	4.60 NUT	3.20 NUT	2.07 NUT	2.58 NUT	4.45 NUT

#### IV. Variation de la turbidité en fonction de différentes de Vitesse d'agitation

La vitesse tr/min		100	125	150	175	200
La turbidité	140 NUT	5.83 NUT	2.29 NUT	1.83 NUT	1.97 NUT	2.15 NUT

#### V. Variation de la turbidité en fonction de différentes de la durée d'agitation

Dure (min)		2	3	4	5	6
La turbidité	140 NUT	1.05 NUT	0.80 NUT	1.39 NUT	1.80 NUT	1.87 NUT