

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**

**UNIVERSITÉ de BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie des Procédés**



**Mémoire**

**En vue de l'obtention du diplôme de  
MASTER EN GENIE DES PROCEDES  
Spécialité : Génie de l'environnement**

Intitulé du mémoire

**Réduction des Acides Humiques par  
Coagulation-Floculation en utilisant un  
Coagulant naturel : les graines de  
MORINGA**

Présenté par :  
NOUMA Yousra Sara  
TAGUEMOUNT Lydia

Dirigée par :  
Dr. N. TAOUALIT  
Dr. N. BENSACIA

Année universitaire 2019/2020

---

« *A partir de l'eau, Nous avons constitué toute chose vivante* »  
**Coran**, Sourate des Prophètes (v-30).

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو الحد من الأحماض الدبالية عن طريق التخثر والتلبد باستخدام مخثر طبيعي. حبوب المورينجا أوليفيرا.

تم إجراء دراسة مقارنة بين مختلف مواد التخثر: الكيمائية والطبيعية بناء على دراسة بيليوغرافية. تعتمد آليات التخلص من الأحماض الدبالية عن طريق التخثر والتلبد، سواء باستخدام مادة تخثر كيميائية أو طبيعية، على معايير التشغيل مثل جرعة مادة التخثر، درجة الحموضة، التركيز الأولي للأحماض الدبالية، إلخ. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن عملية التخثر الحيوي فعالة للغاية ويمكن أن تحل محل العملية التقليدية لتقليل المواد العضوية في الماء مثل الملونات والعكارة و COD ، والمواد الصلبة العالقة ، إلخ.

## الكلمات المفتاحية

الأحماض الدبالية التخثر والتلبد مخثر طبيعي درجة الحموضة والمواد الصلبة العالقة العكارة

## Résumé :

L'objectif principal de cette étude est la réduction des acides humiques par coagulation-floculation en utilisant un coagulant naturel ; les grains de MORINGA Oleifera.

Une étude comparative entre différents coagulants : chimiques et naturels a été réalisée sur la base d'une synthèse bibliographique.

Les mécanismes d'élimination des acides humiques par coagulation-floculation, que ce soit avec un coagulant chimique ou naturel, dépendent des paramètres opératoires tels que la dose du coagulant, le pH, la concentration initiale des acides humiques ... etc.

Les résultats obtenus ont montré que la bio-coagulation-floculation est très efficace et peut remplacer le procédé conventionnel pour réduire la matière organique dans les eaux telle que les colorants, la turbidité, la DCO, les matières solides en suspension... etc

**Mots clés :** acides hmiques ,coaguant naturel ,coagulation-floculation, pH, turbidité,DCO, matières solide en suspension.

## Abstract:

The main objective of this study is the reduction of humic acids by coagulation-floculation using a natural coagulant; the grains of MORINGA Oleifera.

A comparative study between different coagulants: chemical and natural ones, was carried out based on a bibliographic synthesis.

The elimination mechanisms of humic acids by coagulation-floculation, whether with a chemical or natural coagulant, depend on operating parameters such as the dose of the coagulant, the pH, the initial concentration of humic acids, etc.

The obtained results showed that bio-coagulation-floculation is very effective and can replace the conventional process to reduce organic matter in water such as colorants, turbidity, COD, suspended solids, etc.

**Key words:** hmic acids, natural coagulant, coagulation-floculation,pH, turbidity, COD, suspended solids.

---

## Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions le Dieu tout puissant qui nous a donné le courage, la patience, et la persévérance pour élaborer ce modeste travail.*

*A cette occasion, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre promotrice, qui a su nous orienter, nous cadrer, nous prodiguer ses précieux conseils et orientations pour finaliser ce projet.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury, qui nous feront l'honneur de juger ce travail, qui jalonne la fin de notre cursus universitaire.*

*Nos remerciements vont également à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, de par leur soutien moral ou encouragement.*

---

# Dédicaces

*A mes très chers parents,*

*Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte. Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de longs mois de persévérance et d'abnégation. Votre amour, soutien et vos encouragements m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie. Chaque ligne de cette thèse chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents ;*

*A mon frère Hichem ;*

*A mon cher époux ainsi que ma belle-famille ;*

*A toute ma famille.*

*NOUMA Yousra Sara*

---

# Dédicaces

*A mes très chers parents*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance aussi, c'est tout simplement que je dédie ce mémoire.*

*A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.*

*Chaque ligne de cette thèse chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents*

*Mes très chers frères Abdelaziz, Badr Eddine et Nassim  
ET Ma chère sœur Sonia*

*TAGUEMOUNT Lydia*

## Table des Matières

Introduction.....	01
CHAPITRE 1 : Rappel bibliographique sur le procédé coagulation- floculation, les graines de Moringa et sur les acides humiques	
1.1 Processus de coagulation –floculation.....	02
1.1.1 Principe de coagulation-floculation.....	03
1.1.2 Particules mises en jeu.....	04
A. Matières en suspension.....	04
B. Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres).....	04
C. Particules colloïdales.....	04
1.1.3 Classification des suspensions colloïdales.....	04
A. Colloïdales hydrophiles.....	04
B. Colloïdales hydrophobes.....	05
1.1.4 Modes de déstabilisation des particules colloïdales.....	05
1.1.5 Théorie de la double couche.....	05
A. Théorie de Helmholtz.....	05
B. Théorie de Gouy-Chapman.....	06
C. Théorie de Stern.....	06
1.1.6 Jar-Test.....	07
1.1.7 Coagulant.....	07
a Choix du Coagulant.....	07
b Coagulants utilisés.....	08
c Facteurs influençant la Coagulation.....	10
1.1.8 Phénomène de la floculation.....	12
1.1.8.1 Principe de Floculation.....	12
a Floculation précinétique.....	13
b Floculation orthcinétique.....	13
1.1.8.2 Flocculant.....	13
1.1.8.3 Flocculants utilisés.....	13
a Flocculants minéraux.....	13
b Flocculants organiques.....	13
c Flocculants polymères d'origine naturelle.....	13
1.1.9 Inconvénients de la coagulation-floculation.....	14
1.1.10 Domaines d'application de la coagulation-floculation.....	14
1.2 Généralités sur les graines de Moringa Oleifera.....	15
1.2.1 Dénomination et taxonomie.....	16
1.2.2 Différentes espèces de Moringa dans le monde.....	17
1.2.3 Importance socio-économique.....	17
1.2.4 Utilisation du Moringa Oleifera.....	17
1.2.5 Conditions écologiques.....	17
1.2.6 Différentes parties de la plante Moringa Oleifera.....	18
1.2.6.1 Graines de Moringa Oleifera.....	18
1.2.6.2 Composition chimique des graines de Moringa Oleifera.....	19
1.2.6.3 Utilisation des graines de Moringa dans le traitement des eaux.....	19

1.2.6.4 Avantages et inconvénients d'utilisation de Moringa en traitement des Eaux.....	20
1.3 Les acides humiques.....	23
1.3.1 Composition, caractéristiques et structure des acides humiques.....	23
1.3.2 Effets indésirables de la présence des acides humiques dans les eaux de Surface.....	25
1.3.2 Techniques d'élimination des acides humiques.....	26
CHAPITRE 2: Synthèse bibliographique.....	27
Conclusion.....	36

## Liste des Figures

<b>Figure 1.1</b> Schéma illustrant le procédé de coagulation –floculation.....	04
<b>Figure 1.2</b> Potentiel électrique de particules colloïdales.....	06
<b>Figure 1.3</b> Mécanismes et produits dérivés du sulfate d'aluminium lors de la Coagulation.....	09
<b>Figure 1.4</b> L'arbre Moringa Oleifera.....	15
<b>Figure 1.5</b> Principales utilisation des différentes parties de Moringa Oleifera.....	17
<b>Figure 1.6</b> Parties de l'arbre Moringa Oleifera.....	18
<b>Figure 1.7</b> Graines de Moringa Oleifera avec coque et sans coque.....	19
<b>Figure 1.8</b> Mécanisme de coagulation –floculation par la protéine cationique du Moringa Oleifera.....	20
<b>Figure 1.9</b> Modèle de la structure de l'acide humique selon STEVENSON.....	23

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1.1</b> Dérivés des sels d'aluminium et sels de fer.....	08
<b>Tableau 1.2</b> Classification systématique de Moringa Oleifera.....	08
<b>Tableau 1.3</b> Exigences environnementales du Moringa.....	16
<b>Tableau 1.4</b> Composition chimique des graines de Moringa Oleifera.....	19
<b>Tableau 1.5</b> Composition des acides humiques (AH) et fulviques (AF) des sols,des milieux aquatiques et des lixiviats.....	25
<b>Tableau 1.6</b> Quelques techniques d'élimination des acides humiques.....	26

---

## **Introduction générale**

L'eau est l'élément essentiel et source de la vie (l'eau c'est la vie). Elle est non seulement indispensable à toute forme de vie, mais aussi utilisée quotidiennement dans toutes les activités humaines.

L'organisation mondiale (OMS) a donné une grande importance sur la qualité de l'eau potable ou bien l'eau destinée soit à la consommation quotidienne humaine, à l'irrigation ou bien rejetée dans l'environnement. Une eau de normes potables, doit être claire, inodore de saveur agréable [1].

Le problème de l'eau a pris une dimension telle que l'on a dû avoir recours à la mobilisation des eaux superficielles qui peuvent être contaminées ou polluées par de différentes sources.

L'élimination des matières en suspension qui troublent l'eau, est considérée comme l'un des objectifs majeurs du traitement de l'eau. Cependant, la décantation préliminaire peut contribuer dans une certaine mesure à cette clarification, mais ne supprime pas toutes les matières aptes à se sédimenter. De plus, elle n'élimine pas les matières colloïdales. Parmi ces dernières, il y a lieu de noter que les matières humiques qui, tout en contribuant à la turbidité de l'eau, lui confèrent des teintes jaunâtres ou brunâtres qu'on observe souvent. Enfin, l'élimination des virus, des bactéries et les autres micro-organismes de fine taille reste également importante et nécessaire.

Le processus d'élimination presque totale de ces diverses substances de nature colloïdale, est possible. Les utilisateurs ont souvent recours aux procédés physico-chimiques et biologiques pour le traitement des eaux polluées tels que les techniques membranaires, l'adsorption, la précipitation, la coagulation-floculation...etc. [2].

La technique de la coagulation-floculation vise à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration.

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressées à la réduction des matières colloïdales notamment les acides humiques en appliquant la technique de coagulation-floculation.

Le coagulant le plus utilisé est le sulfate d'aluminium qui présente souvent des inconvénients. Il provoque la maladie d'Alzheimer et d'autres maladies sur le plan sanitaire et sur le plan environnemental, et enfin le cout qui est relativement élevé pour les pays en voie de développement [3].

---

Trouver un coagulant naturel alternatif s'est avéré une bonne solution. Parmi les coagulants naturels les plus connus sont : les graines de Moringa, le Tanfloc, les racines *Vetiveria zizanoides*, le cactus, la colocasia esculenta... etc

L'utilisation des coagulants organiques naturels comme alternatifs aux coagulants inorganiques chimiques possède un intérêt sur le plan environnemental car ils sont biodégradables et inoffensifs pour la santé.

Notre étude a pour but de réduire les acides humiques contenues dans les eaux superficielles en utilisant le procédé classique la coagulation –floculation à l'aide d'un coagulant organique naturel ; les graines de *Moringa Oleifera* (biocoagulant) qui contiennent des principes actifs (Polyélectrolytes cationiques) permettant de clarifier l'eau [4].

Le présent mémoire est subdivisé en deux chapitres. Le Chapitre 1 concerne un rappel bibliographique sur le procédé de la coagulation-floculation, les acides humiques et sur les graines de Moringa.

Le second chapitre est consacré à une synthèse bibliographique des différents travaux réalisés ayant une relation avec notre travail sur l'utilisation des biocoagulants dans le domaine de traitements des eaux. Enfin, nous terminons par une conclusion générale relatant les principaux résultats des articles traités.

---

# CHAPITRE 1

---

## **1.1. Processus de Coagulation-Floculation**

La coagulation-floculation est un traitement physique qui permet d'éliminer tous ou une partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux matières en suspension et les macromolécules colloïdales.

Dans ce cadre, la coagulation-floculation facilite l'élimination des matières en suspension et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floes. Leur séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration.

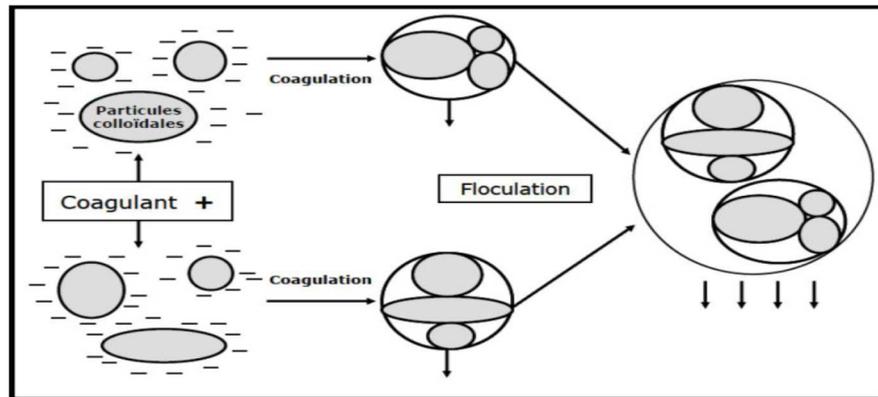
La durée de décantation des particules coagulées reste tributaire du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique. Ce temps oscille entre une seconde pour du gravier coagulé ayant un diamètre de 10 mm et une surface spécifique de  $6 \cdot 10^2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , à 20 ans pour du colloïde de  $10^{-2} \text{ }\mu\text{m}$  ayant une surface spécifique de  $6,108 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Par conséquent, il est donc fort improbable que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement.

Pour obtenir la décantation de ces particules, il est nécessaire d'assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100  $\mu\text{m}$ . Cependant, ces particules induisent entre elles des forces de répulsion de nature électrostatique empêchant leur assemblage.

Donc, la déstabilisation des entités en suspension passe par des phénomènes d'adsorption expliqués par la théorie de la double couche, qui explique la méthodologie de traitement des colloïdes par coagulation [5].

### **1.1.1. Principe de la Coagulation-Floculation**

L'opération de la coagulation-floculation a pour principal but la croissance des particules (qui sont essentiellement des colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis, formation de floes par adsorption et agrégation. Par la suite, les floes ainsi formés seront décantés et filtrés (Figure 1.1) [6].



**Figure 1.1:** Schéma illustrant le procédé de coagulation-floculation [6].

### 1.1.2. Particules mises en jeu

#### A. Matières en suspension

Les matières en suspension peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles...) ou, organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques). Par ailleurs, d'autres composés (les micro-organismes) tels que bactéries, plancton, algues et virus sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur.

#### B. Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres)

Elles sont constituées généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , ...)

#### C. Particules colloïdales

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, etc...). Elles ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1 $\mu$ m. La plupart de ces particules induisent des charges primaires négatives qui engendrent des forces de répulsion inter colloïdales qui sont responsables de la grande stabilité de ces particules dans leur milieu aqueux [6].

### 1.1.3 Classification des suspensions colloïdales

Les colloïdes sont répartis, en deux groupes principaux :

#### A. Colloïdes hydrophiles :

Ils sont issus de substances solubles présentant une affinité pour l'eau, et qui adsorbent une couche d'eau liée, protectrice. Dans ce groupe se trouvent également les protéines, les carbohydrates et les produits organiques [6].

---

## **B. Colloïdes hydrophobes :**

Ils sont généralement de plus grande dimension et dépourvus de couche protectrice. Ils proviennent de substances peu ou pas solubles tels que les métaux, leurs oxydes et/ou leurs hydroxydes. De manière générale, ce sont des produits minéraux.

L'existence des systèmes colloïdaux dépend de l'interaction entre deux particules. Elle met en exergue deux forces contraires :

- Une force de répulsion électrostatique qui tend à écarter les particules les unes des autres. Cette force est tributaire de la charge des particules qui sont de même signe.
- Une force d'attraction (type de Van der Waals) liée à la structure et à la forme des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu [6].

### **1.1.4. Modes de déstabilisation des particules colloïdales**

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules tendent à séparer les particules les unes des autres et, par conséquent, à les déstabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. Cette dernière est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactifs chimiques. Ce procédé permet d'augmenter de façon substantielle l'efficacité des traitements ultérieurs (décantation et/ou filtration).

La déstabilisation des particules et leurs agglomérations peuvent être expliquées par quatre (04) mécanismes et qui se déclinent comme suit [7] :

- Compression de la double couche,
- Adsorption et neutralisation des charges,
- Emprisonnement des particules dans un précipité,
- Adsorption et pontage.

### **1.1.5. Théorie de la double couche**

Les colloïdes sont généralement de charges négatives. Afin de neutraliser cette dernière, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde. Plusieurs théories expliquent ce phénomène.

**A. Théorie de Helmholtz :** une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).

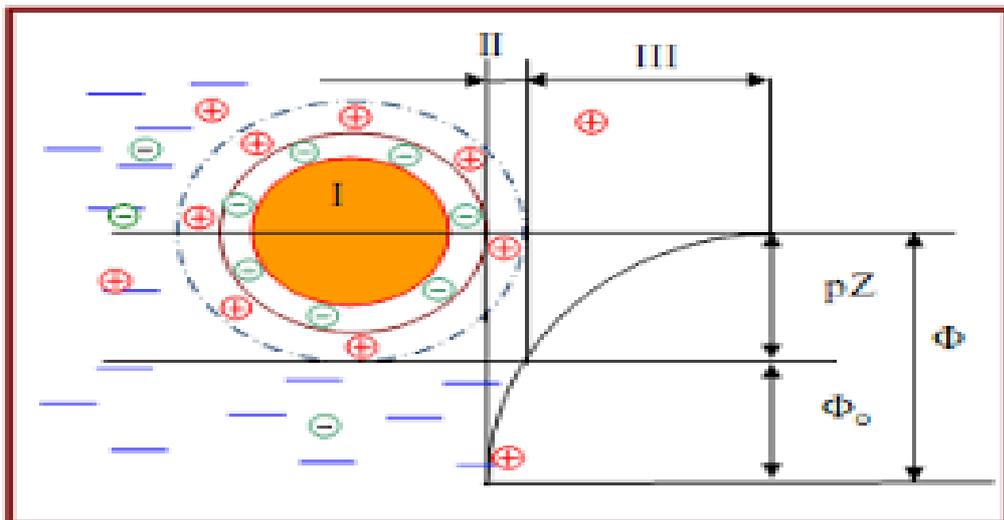
**B. Théorie de Gouy-Chapman :** la couche des ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde. La neutralité s'obtient à une plus grande distance (couche diffuse).

**C. Théorie de Stern :** elle s'articule simultanément sur les deux théories précédentes et considère la formation de deux couches. La première est formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant. Le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis une diminution plus lentement est observée à mesure que la distance augmente jusqu'à son annulation au point isoélectrique.

La figure 1.2 illustre les différentes couches et le potentiel électrique des particules colloïdales [7].

Un colloïde se caractérise par deux potentiels.

- Potentiel thermodynamique ou potentiel de Nernst
- Potentiel zêta ou potentiel électrocinétique



**Figure1.2 :** Potentiel électrique de particules colloïdales [7]

**I :** Particule colloïdale

**II :** Couche adhérente de Stern

**III :** Couche diffuse de Gouy-Chapman

**Φ :** Potentiel total à l'interface

**Φ<sub>o</sub> :** Potentiel différentiel dans la couche adsorbée

**pZ :** Potentiel zêta

#### 1.1.6. Jar-Test

Le « Jar-Test » est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de floculants dans le domaine du traitement de l'eau et ce depuis plus de 50 ans.

---

Un exemple d'étude permet de présenter des essais expérimentaux de déphosphoration pères au laboratoire. Les jars tests sont réalisés sur un banc d'essai dans des béchers de 1 litre.

Dans chaque bécher, on dépose grâce à un cylindre gradué, un litre de la solution à traiter de concentration en phosphore totale connue.

La séquence d'ajout des réactifs se fait en deux périodes. En premier lieu est d'ajouter la solution de chitosane et ensuite, la solution de chlorure ferrique. Un bécher témoin permet de confirmer la concentration initiale en phosphore total. Une fois le coagulant et le floculant ajoutés, la coagulation-floculation est effectuée et sera suivie d'une période de décantation [8].

### **1.1.7. Coagulant**

C'est une substance chimique favorise l'agglomération des particules fines par compensation des charges des substances par apport à des charges opposées positives de cations trivalents ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , ...) et permet ainsi, de former un précipité gélatineux dans l'eau pouvant ensuite être filtré [9].

#### **a. Choix du coagulant**

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Cependant, son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est importante. Par ailleurs, on ne peut négliger les effets secondaires comme les fuites en  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Al}^{3+}$ . Il est utile de noter que le sulfate ferrique contient du manganèse sous forme de  $\text{Mn}^{2+}$  à raison de 0,057 g pour 100 g de coagulant. Le traitement d'eau chargée en matières organiques exige du sulfate ferrique.

Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée très faible en turbidité. Le Jar-Test est nécessaire pour la vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre.

En général, les sels d'aluminium sont très largement utilisés dans le domaine de l'eau potable.

Les sels de fer sont plutôt destinés aux eaux résiduaires et en particulier pour l'élimination physico-chimique du phosphore. Le chlorure ferrique peut être utilisé dans les filières de traitement des boues hydroxydes ou organiques [10].

---

## b. Coagulants utilisés

- **Coagulants de type sels métalliques**

L'efficacité de la clarification reste tributaire du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont les sels de métaux à base d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau suivant :

**Tableau1.1** : Dérivés des sels d'aluminium et sels de fer [6]

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium	$Al_2 (SO_4)_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2 (SO_4)_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Chlorure ferrique	$Fe_2 Cl_3$
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeS O_4$

Ce type de coagulants peut être utilisé pour traiter des eaux usées industrielles et domestiques, mais son utilisation peut concerner aussi plusieurs autres domaines : l'adoucissement de l'eau, l'élimination des métaux lourds (industrie métallurgique), des huiles et des graisses, du phosphate des eaux de lavage et d'autres type d'effluents [11]. Ces agents chimiques sont donc d'excellents outils pour réaliser le polissage et la récupération des matières particulaires.

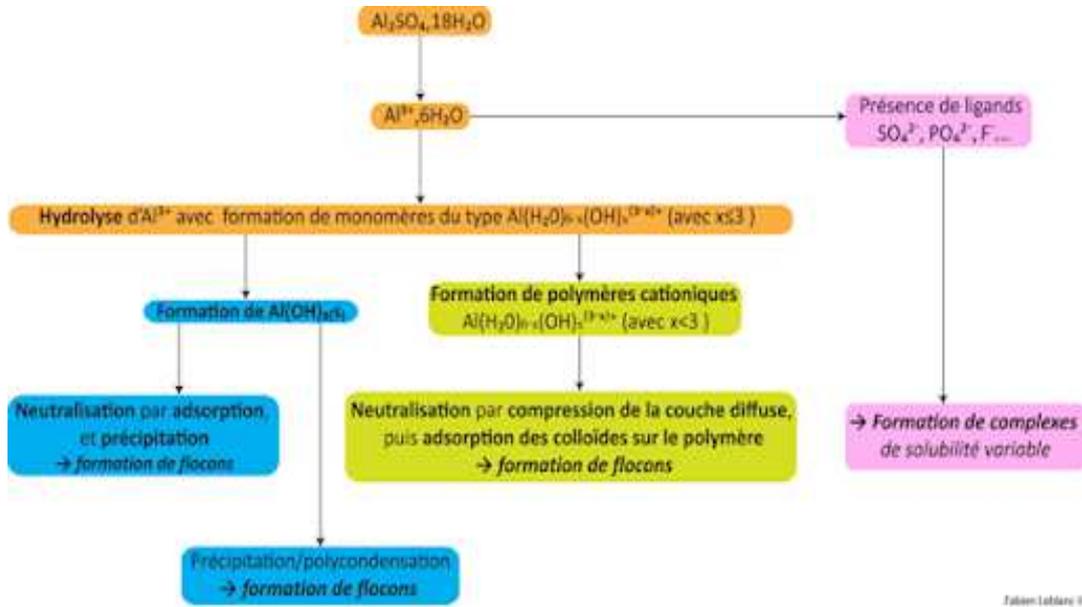
La figure 1.3 illustre les différents mécanismes de la coagulation en utilisant le sulfate d'aluminium ainsi que ces produits dérivés [12].

En effet, l'hydrolyse de l'aluminium permet de former des radicaux hydroxy-alumineux (monomères) qui à leur tour forment le précipiter  $Al(OH)_3$  ou des espèces polycationiques. Ces dernières agissent sur les particules colloïdales par compression, neutralisation et adsorption et permettent la formation de floes.

La formation de précipités  $Al(OH)_3$ , voie principale en coagulation, nécessite des doses élevées d'aluminium et favorise l'emprisonnement des particules dans un précipité. Parallèlement à la formation de radicaux hydroxy-alumineux, il y a complexation avec des ligands contenus dans l'eau si leur quantité est suffisante. Le degré de complexation varie en fonction du pH. La complexation avec des ligands expliquerait, dans plusieurs cas, la présence d'aluminium résiduel dans l'eau décantée.

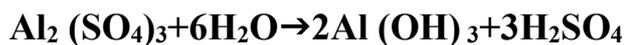
Les précipités à base de fer sont formés de la même façon. Ils forment la base des floes qui emprisonnent les particules colloïdales. L'efficacité de ces coagulants reste tributaire du pH et la température de l'eau [13].

Il est important de noter que la coagulation qui facilite l'élimination des MES et colloïdes, modifie les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter [14].



**Figure 1.3** : Mécanismes et produits dérivés du sulfate d'aluminium lors De la coagulation [15].

- ❖ le sulfate d'aluminium est un coagulant efficace pour déstabiliser les particules et produire des flocons selon la réaction suivante : [16]



### c. Facteurs influençant la coagulation

L'optimisation de la coagulation reste tributaire de plusieurs facteurs qui sont en inter relations, comme le pH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, les conditions de mélange, la turbidité et la couleur. A l'heure actuelle, ces inter relations complexes interdisent toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants [17].

#### pH

Le pH est un facteur dont l'influence est primordiale sur la coagulation. Les caractéristiques d'une eau permettent de déterminer un pH optimal permettant la meilleure coagulation. Cette dernière est fonction du coagulant utilisé, de la concentration et de la

---

composition de l'eau à traiter. Le pH doit être compris dans une zone optimale de 4 à 6 pour les sels de fer et entre 5 et 7 pour les sels d'aluminium [18].

### **Température**

La température est également un facteur important dans la coagulation. Dans ce cadre, une température basse, entraîne une augmentation de la viscosité de l'eau, et crée une série de difficultés dans le déroulement du processus, la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces contraintes, une solution préconisée consiste à changer de coagulant en fonction des saisons [18].

### **Turbidité**

La turbidité est, elle aussi, un paramètre dont l'influence est importante sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant [18].

### **Type et la concentration du coagulant**

Le choix du coagulant ainsi que de sa dose se fait à l'aide de jar tests. En règle générale, les sels de fer sont utilisés pour traiter les eaux riches en matières organiques.

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Une dose de coagulant excessive entraîne une réstabilisation des particules colloïdales qui sont susceptibles de la charge de surface et entraîne une augmentation du coût d'exploitation. En parallèle, un dosage insuffisant conduit à une qualité insuffisante de l'eau traitée [19].

### **Sels dissous**

La présence de sels dissous modifiera le temps de floculation. Une bonne coagulation est tributaire d'une plage de pH optimal et de la dose de coagulant requis.

### **Timing de mélange**

La coagulation nécessite un mélange vigoureux sur une courte durée (maximum 120 secondes) et ce, afin de disperser de façon uniforme le coagulant. Par contre, la floculation nécessiterait un mélange lent d'une durée moyenne de 5 à 60 min.

### **Grosseurs et concentration des particules colloïdales**

Du point de vue dimensionnel, un seuil propice est requis, pour la coagulation. Pour les particules dont les dimensions sont inférieures au micron, les forces de surface deviennent prépondérantes vis-à-vis des forces de masse, ce qui induit un état de dispersion stable dû aux effets conjugués du mouvement Brownien [20].

---

## **Valence des colloïdes**

Le processus de coagulation est plus ou moins favorisé en tenant compte de la nature des particules colloïdales et leur interaction vers le milieu aqueux, c'est à dire leur facilité d'échange des cations périphériques selon son amplitude (faible ou forte), [21].

## **Hydratation**

L'hydratation est un phénomène complexe dont les effets impactent le taux d'agrégation des colloïdes. Dans une solution aqueuse, les particules microscopiques s'hydratent et s'enveloppent de liquide inter-micellaire. Cette monocouche d'eau adsorbée chimiquement sur les surfaces des particules (ex : les oxydes métalliques, les argiles et le quartz) produit l'effet d'une gaine isolante protectrice, bloquant l'agrégation des particules, par réduction de la tension superficielle à l'interface particule liquide, et par conséquent, la stabilité des colloïdes se trouve renforcée. Par ailleurs, les interactions colloïdes-eau peuvent retarder l'agrégation des systèmes colloïdaux. Ce phénomène peut être gêné par l'augmentation de la quantité de coagulant et le prolongement de l'opération, [22].

## **Charge électrique des particules**

La charge électrique agit par la modification de la tension superficielle. Si cette tension est positive, les particules s'agglomèrent. Dans le cas contraire, les particules se dispersent.

### **1.1.8 Phénomène de la floculation**

#### **1.1.8.1. Principe de la floculation**

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer dès qu'elles entrent en contact les unes avec les autres, pour former des micro-flocs puis des flocs plus volumineux sont aptes à la décantation. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts des particules et de l'efficacité de ces derniers, mission qui peut être prise en charge par la floculation. Les contacts entre les particules sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules [23].

Par ailleurs, il y a lieu de noter deux phénomènes de transport régissant la floculation :

#### **a) Floculation péricinétique**

Elle est induite par l'agitation désordonnée des particules. En effet, en cas de floculation péricinétique (FP), les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, appelé mouvement Brownien.

#### **b) Floculation orthocinétique**

---

La floculation orthocinétique (FO) est la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. L'agitation facilite l'agrégation en augmentant la probabilité des collisions entre les particules.

#### **1.1.8.2. Flocculant**

C'est un polymère qui contient les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des floccs [24].

#### **1.1.8.3. Flocculants utilisés**

Pour une meilleure efficacité du procédé de Coagulation/Floculation, on utilise des flocculants. On appelle flocculant, les produits utilisés en quantités plus faibles que les réactifs coagulants permettant d'agglomérer les matières en suspension (MES) afin d'obtenir une taille plus grande et par conséquent, des vitesses de séparation importante.

Le but étant de former un précipité ou flocc qui soit visible et insoluble. Par ailleurs, il y a lieu de noter que les flocculants sont déclinés comme suit :

##### **a. Flocculants minéraux**

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculant connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certains hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et le sable fin (micro sable).

##### **b. Flocculants organiques**

Les flocculants organiques sont hydrosolubles et peuvent avoir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer comme exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides.

##### **c. Flocculants polymères d'origine naturelle**

###### **Amidons**

Ils sont issus de la pomme de terre, du tapioca ou d'autres végétaux. Ces polymères de Glucopyranose non linéaires et ramifiés sont utilisés de préférence avec les sels d'aluminium. Une fois diluée, leur biodégradation peut être rapide [25].

###### **Autres composés**

---

Plusieurs polysaccharides naturels ont des propriétés flocculantes (cellulose, gommes, tanins, xanthanes), mais ils sont très peu utilisés dans le traitement des eaux.

### **Chitosane**

Le chitosane ou chitosan est un polyoside composé de la distribution aléatoire de D-glucosamine liée en  $\beta$ -(1-4) (unité désacétylée) et de N-acétyl-D-glucosamine (unité acétylée).

Elle est un polysaccharide provenant de la désacétylation de la Chitine, un composé grandement similaire à la cellulose. On retrouve la chitine dans plusieurs écosystèmes puisqu'elle est une composante essentielle de l'exosquelette des invertébrés marins (crabe, crevette, homard, etc.) et des insectes, en plus d'être une molécule structurante chez les champignons et les levures [26].

### **Floculants de synthèse**

Ce sont des polymères, fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire (entre 105 et 107 g.mol<sup>-1</sup>). Ces produits ont un rendement supérieur par rapport aux polymères naturels. Ils sont classés suivant leur caractère ionique: anionique, neutre, cationique.

#### **1.1.9. Inconvénients de la coagulation-floculation**

Parmi les inconvénients de cette méthode, c'est la nécessité d'ajouter des produits chimiques, qu'il faut transporter, et éventuellement entreposer, ce qui induit des coûts d'exploitation supplémentaires. Par ailleurs, le produit chimique ajouté engendre également l'ajout d'anions indésirables (ex : sulfates) et la production de boues métalliques. D'autre part si le coagulant est sous dosé, la clarification est défectueuse, par contre, s'il est en surdose, la clarification est tout aussi défectueuse et ceci de façon quasiment irréversible. On perd ainsi à la fois de l'eau et du réactif qui reste assez coûteux. [27]

#### **1.1.10. Domaines d'application de la coagulation-floculation**

Les applications industrielles de la coagulation et de la floculation sont nombreuses et diverses.

A titre d'exemple, on citera la séparation de la caséine du lait qui est l'une des premières étapes de la fabrication de nombreuses spécialités fromagères. La Coagulation/Floculation s'est également imposée dans l'industrie agroalimentaire, à l'image des boissons (la clarification). On la trouve également dans le secteur industriel, tel que la fabrication du papier.

---

Les coagulants et flocculants sont utilisés pour retenir les pigments minéraux opacifiants au sein des fibres de cellulose lors de la formation des feuilles. Mais la principale application des coagulants et flocculants est le traitement des eaux.

Pour arriver à la transparence de ces eaux pendant une courte durée, nous avons recours aux procédés de coagulation-floculation.

▪ **Coagulant naturel choisi : Graines de *Moringa Oleifera***

Les graines de *Moringa* contiennent en moyenne 30 à 42 % d'huile, et le tourteau obtenu comme sous-produit lors de l'extraction de l'huile est très riche en protéines. Les polyélectrolytes cationiques neutralisent les matières colloïdales dans les eaux boueuses ou sales, puisque la majorité de ces matières ont une charge électrique négative. Cette protéine peut donc être utilisée comme polypeptide naturel non toxique pour provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques dans les processus de purification de l'eau potable. Par conséquent, elle agit donc comme un coagulant primaire en créant en permanence des ponts naturels entre les particules colloïdales, et ce contrairement aux coagulants industriels qui sont parfois toxiques et nocives pour l'environnement, et dont l'utilisation correcte exige une haute compétence et une qualification avérée [29].

Cependant, il y a lieu de signaler que la majorité des pays en développement n'ont pas les moyens de produire ces coagulants industriels, compte tenu de leur cherté et qui impactent leur fragile trésorerie en devises.

Parmi les méthodes utilisées, il y a celle qui s'articule sur le séchage des graines séchées qui sont d'abord débarrassées de leurs ailes, puis broyées pour obtenir une poudre que l'on mélange avec de l'eau. On agite le mélange pendant cinq minutes, puis on le laisse reposer pendant une heure avant de le filtrer sur un tissu pour obtenir de l'eau pure.

Une seconde méthode consiste à suspendre dans l'eau, une poche en tissu contenant la poudre de graines, généralement pendant une nuit, pour faire coaguler les impuretés. La poche de poudre est ensuite enlevée, et l'eau purifiée, est décantée pour laisser les particules coagulées au fond du récipient. Cette méthode permet d'éliminer ainsi jusqu'à 99 % des matières colloïdales. Il suffit d'une seule graine pour purifier un litre d'eau légèrement contaminée, et de deux pour un litre d'eau très sale.

A l'université technique de Biomasa (Brésil) [30], des études ont été menées sur l'utilisation de Graines de *Moringa* pour le traitement final dans des unités d'épuration des eaux usées. Dans les lagons d'oxydation, 80 % de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO) de l'eau provient des algues monocellulaires. De plus, ces algues renferment 40 à

---

60 % de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées avant traitement. Pour éviter l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs par l'écoulement de charges importantes de phosphore et d'azote, les graines peuvent être utilisées pour coaguler les algues et les éliminer par sédimentation. Ce traitement permet d'arriver à un taux de 98% d'élimination des algues présentes. Après sédimentation, les eaux résiduelles deviennent claires et transparentes.

Ce traitement réduit d'autre part la DBO de l'eau d'environ 70%, et sa teneur en phosphore et en azote de 60 %. Les algues récupérées après sédimentation puis séchées et pulvérisées contiennent environ 46 % de protéines et peuvent être utilisées pour compléter les rations protéiques de certains animaux domestiques (bovins, poulets) et même des crevettes, ce qui permet de faire des économies appréciables en réduisant la facture alimentaire de ces animaux [30].

### **1.2. Généralités sur les graines de *Moringa Oleifera***

Le *Moringa* est l'exemple parfait de l'arbre à multi-usages, considérée comme l'un des arbres les plus utiles au monde.

Ils appartiennent à la famille des Moringaceae. C'est un arbre ou arbuste originaire des Indes et introduit en Afrique. Il pousse sous les climats tropicaux et subtropicaux à saison sèche, voire en zone arde en raison de son adaptabilité à un large éventail de types de sols et peut être trouvé même dans les sols les plus durs et les plus secs.

Parmi les 13 espèces connues, le *Moringa Oleifera* est la plante la plus populaire et la plus connue, particulièrement facile à planter à se multiplier et sa croissance est rapide. Toutes les parties de cet arbre présente un intérêt nutritionnel. Il est considéré comme un arbre précieux qui apporte plusieurs vertus (Figure 1.4).

Il est cultivé partout dans le monde. Chaque partie de cette arbre a des propriétés bénéfiques qui peuvent être utiles à l'homme, dont les feuilles, les fleurs, les fruits écorces, les racines et les graines peuvent être consommés directement [28].

Le *Moringa Oleifera* fait également l'objet de plusieurs recherches scientifiques.

*Moringa Oleifera* est un arbre à multiples bienfaits : médicinaux, nutritionnels et même industriels, aussi une grande importance dans l'alimentation humaine et animale, la pharmacologie et le cosmétique.

Parmi les principaux domaines d'utilisations de la plante sont :

Alimentation et nutrition humaine, apiculture, protection des sols, fertilisation des cultures et bio-stimulant, pesticides, industrie, purification de l'eau.

---

Les graines des différentes espèces de Moringa sont connues pour leur capacité à clarifier les eaux turbides, une propriété qui permet de traiter l'eau de boisson, les eaux usées et les effluents d'usines.

Les graines de Moringa peuvent en effet remplacer les coagulants minéraux comme le sulfate d'alumine grâce à sa richesse en principe actif qui est la protéine cationique soluble dans l'eau.



**Figure 1.4 : L'arbre Moringa Oleifera [29]**

### 1.2.1. Dénomination et taxonomie

La classification systématique de Moringa est montrée sur le tableau 1.1 :

**Tableau 1.2 : Classification systématique de Moringa Oleifera [30]**

<b>Règne</b>	Végétal
<b>Embranchement</b>	Spermaphytes
<b>Sous embranchement</b>	Angiosperme
<b>Classe</b>	Dicotylédones
<b>Sous classe</b>	Dillenidae
<b>Ordre</b>	Capparidales
<b>Famille</b>	Moringaceae
<b>Genre</b>	Moringa
<b>Espèce</b>	Oleifera Lamarck

### 1.2.2. Différentes espèces de Moringa dans le monde

Autre que *Moringa oleifera*, douze (12) espèces de *Moringa* sont également connues : *M. arborea*, *M. borziana*, *M. concanensis*, *M. drouhardii*, *M. hildebrandtii*, *M. longituba*, *M. ovalifolia*, *M. peregrina*, *M. pygmaea*, *M. rivaie*, *M. ruspoliana*, *M. stenopetala* [31].

### 1.2.3. Importance Socio-économique

*Moringa* est l'un des arbres tropicaux les plus utiles. Il se propage relativement facilement, aussi bien de manière végétative que sexuée, et il est peu exigeant en eau et matières minérales. Ainsi, sa production et son entretien sont aisés. L'introduction de cette plante au sein d'une ferme dans un environnement riche en biodiversité peut être bénéfique à la fois pour l'exploitant et pour l'écosystème environnant [32].

### 1.2.4. Utilisation du *Moringa Oleifera* :

Différentes parties de l'arbre *Moringa Oleifera* ont un intérêt nutritionnel qui permet son utilisation dans divers domaines (Figure 1.5).

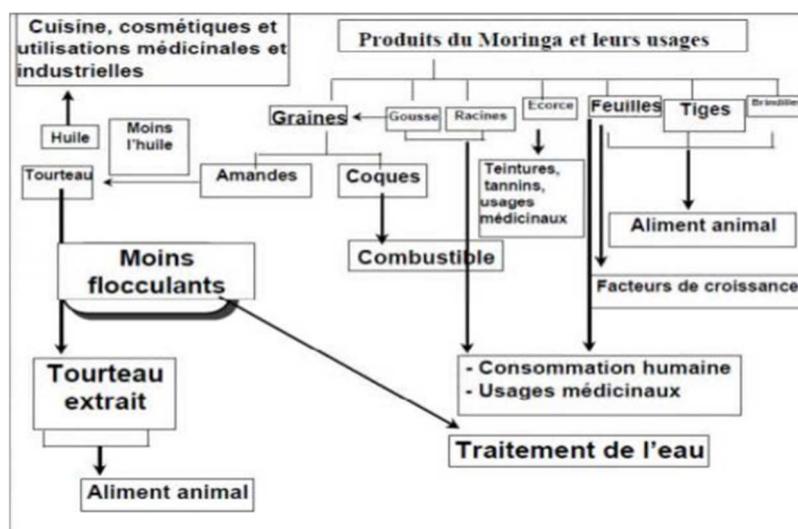


Figure 1.5 : Principales utilisations des différentes parties de *Moringa Oleifera* [33]

### 1.2.5. Conditions écologiques

*Moringa Oleifera* est un arbre qui est particulièrement cultivé à des conditions de cultures différentes : sols pauvres ou riches, conditions plutôt sèches ou humides. Il exige 250 mm de la matière de précipitations annuelles et au maximum à plus de 300 mm, et elle pousse dans des sols dont le pH varie entre 5 à 9.

La meilleure croissance de *Moringa Oleifera* est observée dans des sols sablonneux.

Les exigences environnementales du *Moringa* sont indiquées dans le tableau 1.3 suivant :

Tableau 1.3 : Exigences environnementales du *Moringa* [34]

Paramètres	Valeur / Fourchette
Climat	Tropical ou sub-tropical
Altitude	0-2000 mètres
Température	25-35°C
Pluviométrie	Irrigation nécessaire pour la production de feuilles si pluviométrie <800 mm
Type de sol	Limoneux, sableux ou sablo-limoneux
pH du sol	Légèrement acide à légèrement alcalin (pH : 5 à 9)

### 1.2.6. Différentes parties de la plante Moringa Oleifera

Moringa est un arbre à croissance rapide, qui peut atteindre 7 à 12 mètres de hauteur. Les différentes parties de l'arbre sont montrées sur la figure 1.6.



**Figure 1.6 :** Parties de l'arbre Moringa Oleifera [29]

#### 1.2.6.1. Graines de Moringa Oleifera

Les graines sont rondes, globulaires, à trois angles, elles ont un diamètre de 10 à 12 mm, avec une coque marron semi-perméable légèrement boisée. La coque présente trois ailes blanches qui s'étendent de la base au sommet à 120 degrés d'intervalle. Ils sont de 2 à 2,5 cm de long, de 0,4 à 0,7 cm de large. Un arbre peut produire 15000 à 25000 graines par an, et une gousse de Moringa Oleifera est formée de 81,90% de cosse et 18,10% de graine. Une graine pèse en moyenne 0,3g, le noyau est blanc ou crème et est responsable de 70 % à 75 % du poids, et la coque représente 25% du poids de la graine [30].

La graine est composée de deux constituants principaux (Figure 1.7) :

- La coque de couleur noire représente environ 30% de l'ensemble.
- L'amande de couleur blanche entourée par la coque et se représente sous forme ovoïde.



**Figure 1.7 :** Graines de Moringa Oleifera avec coque et sans coque

### 1.2.6.2. Composition chimique des graines de Moringa Oleifera

Les graines de Moringa Oleifera contiennent des éléments nutritionnels importants : les protéines, les huiles, les Carbohydrates. Le tableau 1.4 montre les différents composés des graines.

**Tableau 1.4 :** Composition chimique des graines de Moringa Oleifera [35]

Composés	g/100 g	%
Protéines	29,4 - 33,3	34,51% - 36,5%
Huiles	34,7 - 40,4	38,62% - 40,06%
Fibres	6,8 - 8,0	10,92% - 12,16%
Carbohydrates	16,5 - 19,8	19,00% - 20,29%

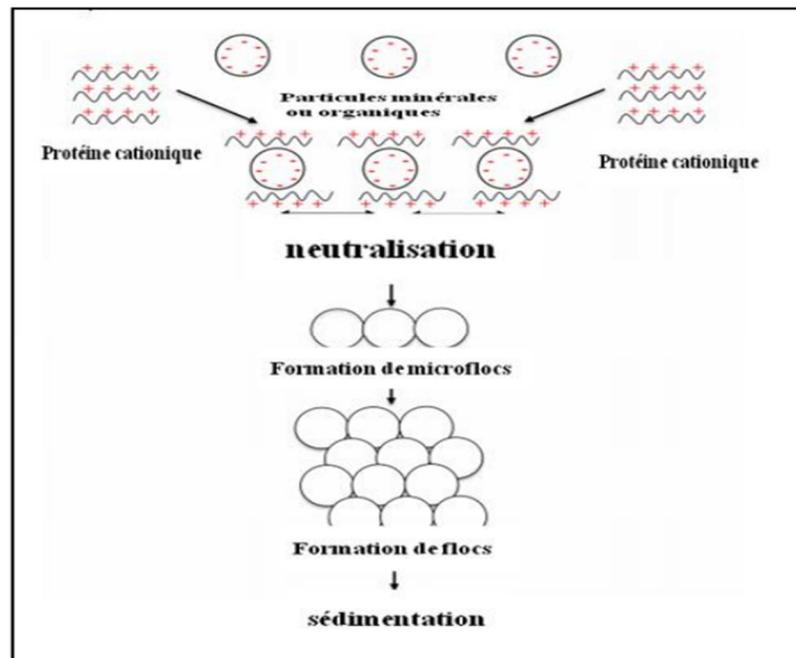
### 1.2.6.3. Utilisation des graines de Moringa dans le traitement des eaux

Moringa Oleifera a été utilisé pour le traitement domestique de l'eau par des femmes au Soudan, qui ont placé des graines de poudre dans un petit sac en tissu qui a ensuite été tourbillonné dans l'eau trouble [35].

D'après plusieurs recherches il a été prouvé que les graines de Moringa sont le meilleur coagulant naturel qui ont montré leur efficacité dans les traitements des eaux en remplacement du sulfate d'alumine qui est largement utilisé dans le monde entier et des autres flocculants[35].

En effet les graines de Moringa contiennent des polyélectrolytes cationiques comme un coagulant primaire ainsi que comme aide coagulant pour améliorer la force des agrégats de particules et améliorer la coagulation et le dépôt (filtration). Ces protéines cationiques chargées positivement s'attachent à des surfaces de particules minérales et organiques chargées négativement par des interactions électrostatiques, Cela conduit à la formation de

zones chargées négativement et positivement de la surface de la particule (Figure 1.8). En raison de la collision de particules et de la neutralisation, il se produit des floccs, qui se déposent par sédimentation sous l'effet de la gravité, laissant l'eau trouble plus ou moins claire [35].



**Figure 1.8** : Mécanisme de coagulation-floculation par la protéine cationique du Moringa Oleifera [35]

#### 1.2.6.4. Avantages et inconvénients d'utilisation de Moringa en traitement des eaux

##### ➤ Avantages

- Contrairement au sulfate d'alumine, les graines de Moringa sont totalement biodégradables, ce qui peut être intéressant dans la conservation de la biodiversité
- Le Moringa Oleifera montre une grande capacité d'adaptation aux différentes conditions environnementales ce qui lui confère une grande répartition spatiale. Le dosage optimum de poudre ne varie pas à plus de 10% en fonction de l'origine des arbres. Des graines bien conservées gardent de bonnes propriétés (jusqu'à 5 ans) mais de réelles études sur le stockage n'ont jamais été effectuées [36].
- L'intérêt d'utiliser le Moringa porte sur une diminution des coûts dus à la consommation d'alun et à une alternative face à sa toxicité. L'utilisation des

---

coagulants industriels toxiques et coûteux nécessite du personnel qualifié, ce qui n'est pas toujours facile et engendre des risques [36].

- Les plantes utilisées pour la coagulation doivent remplir certaines conditions. En effet, elles ne doivent pas présenter de toxicité, être faciles à produire et le coagulant facile à doser. Les graines de Moringa répondent très bien à ces critères [36].
- Les plantes utilisées doivent aussi être cultivables dans de nombreux pays et ne pas nécessiter trop d'espace. Le Moringa Oleifera est particulièrement facile à cultiver de manière intensive et il est adapté à la plupart des zones tropicales.
- La substitution de flocculant importé par un produit local facilement accessible permet une économie importante de devises pour les pays tropicaux.
- Le coût de la graine de Moringa peut dans certains cas être compétitif par rapport aux flocculants chimiques (industriels), c'est donc une alternative envisageable tant pour les pays en voie de développement que pour les pays développés.
- Le Moringa ne contient pas de produits chimiques nocifs laissant des traces dans les boues et les eaux.
- L'efficacité du Moringa comme flocculant ne dépend pas des modifications des propriétés chimiques, du pH de l'eau, ...ect, ce qui évite d'avoir à utiliser les rectificateurs d'acidité donc moins corrosif et n'affecte pas significativement la conductivité, la concentration des ions, sauf pour les nitrates et les orthophosphates qui voient leur concentration augmenter durant la réaction.
- Une filtration lente semble très efficace[36].
- La turbidité colloïdale (<10µm) se transforme en turbidité particulaire (entités plus grosses donc sans doute plus facilement éliminée).

➤ **Inconvénients :**

- La décantation de floccs est lente par rapport à celle du sulfate d'alumine.
- Les coûts de graine de Moringa Oleifera si onéreux.
- La poudre des graines de Moringa Oleifera est difficile à préparer par rapport au sulfate d'alumine.
- Les graines mises en solution relarguent de la matière organique ce qui facilite la croissance bactérienne.

- 
- Les concentrations en coagulant sont supérieures par rapport au sulfate d'alumine.
  - La décantation à des températures basses est difficile et incomplète à cause de la faible densité des particules de Moringa, les floccs d'alumine sont plus solides [37].
  - La turbidité obtenue trop importante pour procéder à une désinfection.

#### **En comparaison avec les coagulants chimiques**

- Pas de phénomènes de pontage
- Floccs de faible taille et fragiles.
- Dose 4 à 5 fois plus importante que pour les flocculants chimiques.
- Stockage de la poudre des graines difficile.

#### **Des propositions pour encourager l'utilisation du Moringa comme coagulant**

- Déterminer les conditions dans lesquelles le Moringa est économiquement compétitif : le flocculant doit être suffisamment bon marché pour les utilisateurs d'eau mais aussi rentable à produire pour l'agriculteur[37].
- Créer des réseaux de commercialisation.
- Améliorer la technologie de transformation des graines, de conservation de la poudre [37]
- Créer un système de traitement à grande échelle.
- Standardiser le produit.
- Stériliser le produit.
- Extraire le composant actif pour diminuer le volume.
- Améliorer la diffusion et la qualité de l'information sur le traitement de l'eau avec Moringa.

### **1.3. Acides Humiques**

Les effluents ou liquides de percolation des décharges (lixiviats) sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement de substances minérales (ions minéraux et métaux lourds) et organiques (acides gras volatils, substances humiques) qui risquent de contaminer les sols, les eaux de surface et souterraines [38,39]

La présence de substances humiques (SH), difficilement biodégradables dites aussi réfractaires, nécessite de les concentrer (fibres immergées) et/ou de les adsorber (charbon

actif) par la mise en œuvre de procédés coûteux [40]. Les scientifiques recherchent donc des alternatives permettant d'éliminer ou de valoriser ces substances.

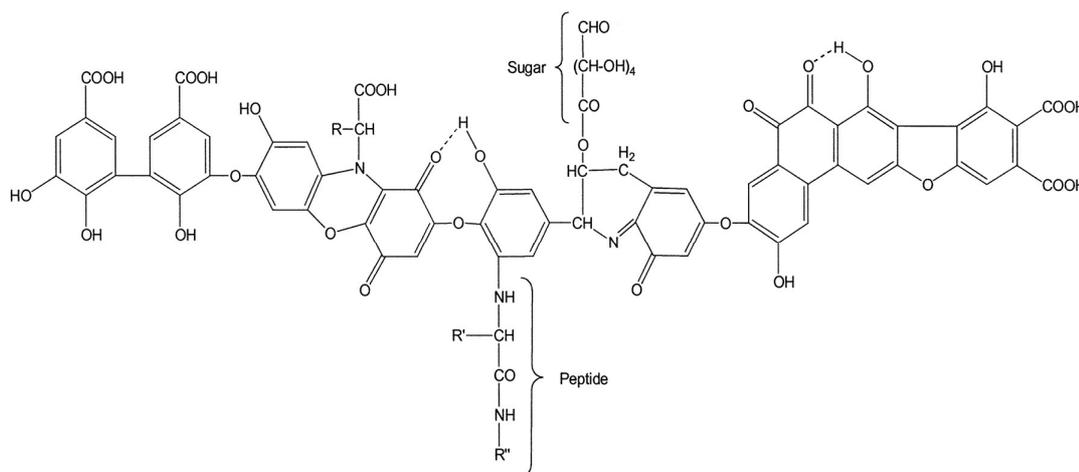
### 1.3.1. Composition, caractéristiques et structure des acides humiques

Les substances humiques (SH) sont des composés organiques résultant de la transformation physique, chimique et microbiologique des résidus végétaux et animaux.

Elles se retrouvent sous forme de macromolécules carbonées hétérogènes et complexes dans tous les écosystèmes au niveau des sols ainsi que des sédiments, des eaux de surface et surtout dans les produits de transformation de matières organiques liées aux activités humaines comme le compost, le fumier, les décharges et les lixiviats [38, 40-42].

Elles sont issues de processus d'humification différents, générant ainsi des molécules variables et complexes, composées principalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre et de groupements fonctionnels (COOH, OH, C=O), Figure 1.9.

Ces substances sont connues pour influencer les propriétés du sol et interagir avec la croissance et le développement des plantes ou avec l'activité des micro-organismes.



**Figure 1.9** : Modèle de la structure de l'acide humique selon STEVENSON [43]

Les différentes analyses montrent que, quelle que soit leur origine (sol, eaux ou lixiviats), les SH (acides humiques AH et acides fulviques AF) sont composées principalement de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N) et de groupements fonctionnels (COOH, OH, C=O). Le pourcentage et la concentration de ces éléments varient en fonction du type et de l'origine des SH (Tableau 1.5), [38].

En général, les acides humiques sont considérés comme composante la plus précieuse de l'humus [44]. Ils sont peu mobiles, mais sont capables de se lier plus ou moins fortement selon leur type avec d'autres corps présents dans le sol et en particulier avec l'argile. Dans ce cas, on parle d'acides humiques gris. Le complexe formé avec l'argile ou complexe

---

argilo-humique est très stable. Il existe également des acides humiques bruns qui constituent des composés relativement peu stables.

Conférant des teintes jaunâtres ou brunâtres à l'eau et contribuant à sa turbidité, les composés humiques se situent près de la limite inférieure du domaine colloïdale, en effet leur taille est estimée à 100 Å.

Une fois au contact des molécules d'eau et en fonction du pH, les acides humiques deviennent plus au moins dissociés en formant des polyélectrolytes de charge négative. Ces composés sont donc des substances colloïdales hydrophiles.

D'autre part, le caractère hydrophobe peut s'attribuer à ces structures moléculaires complexes.

Cette dualité hydrophile-hydrophobe s'explique, par la grande diversité des conditions naturelles de l'humification (site, acidité, etc.), [45].

En outre, la partie hydrophobe est imputée à la fraction de masse moléculaire la plus élevée et aux humines, et la partie hydrophile est attribuée par ordre croissant de priorité aux acides humiques et fulviques.

**Tableau 1. 5 :** Composition des acides humiques (AH) et fulviques (AF) des sols, des milieux aquatiques et des lixiviats [38, 41, 46-47]

Paramètres		AH			AF		
		Sols	Milieux aquatiques	Lixiviats	Sols	Milieux aquatiques Lixiviats	
Composition élémentaires (% de poids)	C	54-62	51-60	56,1-	43-55	42-51	45,6-
	O	29,5-	33,4-	57,1	42,9-	44,2-	35,6
	H	36,8	40,8	26,7-	51,4	53,2	32,8-
	N	2,9-5,8	3,7-5,1	30,2	3,3-5,9	3,6-4,3	35,2
	S	1,6-4,8	2,0-2,1	7,0-8,8	0,7-4,1	1,0-1,6	6,4-9,6
		-	-	5,7-8,3	0,1-3,5	-	2,4-12
				-			3,4-5,1
Groupes fonctionnels (meq.g <sup>-1</sup> C)	Acidité totale	5,6-8,9	5,9	7,1-8,9	6,4-	6,2	9,6-16,6
	COOH	1,5-5,7	3,4	4,5-5,9	14,2	3,9	6,5-10,7
	OH	2,1-5,7	2,5	2,2-3,7	6,1-	2,3	1,0-4,7
	phénolique				11,2		
					1,2-5,7		
Composition structurale (%)	C aromatique	41	-	26,2-	21-35	22,3	27,2-
	C	-	-	36,2	10-30	16,1	29,9
	carboxylique			16,4-			14,8-
				19,0			27,5

### 1.3.2. Effets indésirables de la présence des acides humique dans les eaux de surface

La présence des acides humiques combinés avec d'autres polluants ou particules présentes dans l'eau peuvent provoquer certains effets nuisibles tels que :

- Formation de trihalométhanes THM : la réaction entre le chlore et les substances humiques conduit à la formation des composés organohalogénés et notamment les THM dont la forme générale  $CHX_3$  (X peut être le Cl, Br, I),

Le chloroforme,  $CHCl_3$  étant soupçonné de générer le cancer, donc il faut respecter une limite stricte et rigoureuse de 0,1 mg. L<sup>-1</sup> pour les trihalométhanes totaux dans l'eau de consommation [48].

- Fixation irréversible sur les résines anioniques de minéralisation,
- Coloration de l'eau,
- En réagissant avec les composés toxiques tels que les pesticides, ils diminuent leur mobilité et leurs servent de véhicules pour leur dispersion,
- Altération de certaines caractéristiques de l'eau à cause du phénomène « recroissance bactérienne », pouvant être à l'origine de certaines odeurs désagréables aussi bien que du développement de microorganismes indésirables.

### 1.3.3. Techniques d'élimination des acides humiques

La matière organique contenue dans les eaux naturelles constitue jusqu'à l'heure actuelle un gros problème pour bon nombre de stations de potabilisation.

Cette matière organique représentée principalement par les acides humiques peut être plus au moins bien éliminée par coagulation-floculation, filtration ou adsorption sur différents matériaux poreux.

Le tableau 1.6 donne un bref aperçu sur les différents procédés d'élimination des acides humiques les plus connus appliqués dans le domaine de traitement des eaux.

**Tableau 1.6 :** Quelques techniques d'élimination des acides humiques.

Procédé	Quantité éliminée (%)	Références
Coagulation-floculation	55,7 ; 83	[57] ; [58]
Adsorption	90 ; 97,4 ; 75 ; 79	[59] ; [60] ; [61] ; [62]
Filtration	80	[63]

---

# CHAPITRE 2

---

## Synthèse bibliographique

Citons dans ce qui suit quelques travaux de recherches qui ont porté sur l'application du procédé de coagulation-floculation dans le traitement des eaux en utilisant des coagulants organiques naturels.

M. Ahsan Ekhtelat et al., [49] ont présenté un article très intéressant dont l'intitulé est : Récupération de la biomasse microalgale à l'aide du *Moringa Oleifera* comme biocoagulant à faible coût. Cette étude a révélé l'influence de certains paramètres physiques et chimiques pour la récupération d'une biomasse de microalgues par coagulation et floculation à l'aide d'un coagulant naturel, le *Moringa Oleifera*.

Les graines de *Moringa Oleifera* ont été utilisées comme coagulant pour éliminer les microalgues cultivées en photobioréacteur (PBR). Un Jar-test a été réalisé afin d'évaluer l'efficacité de cet agent coagulant naturel. Les variables étudiées dans ce test étaient la dose de coagulant, le temps et la vitesse d'agitation. La dose variait de 10 mg/L à 75 mg/L. Il a été observé que le rendement d'élimination des microalgues est directement proportionnel à la dose de moringa. Ce qui signifie qu'une dose plus élevée de *moringa oleifera* permet de récupérer une plus grande quantité de microalgues.

La vitesse et le temps d'agitation ont également eu un impact significatif sur le traitement. De faibles valeurs de vitesse et de temps d'agitation ont donné des résultats plus acceptables.

Les travaux de recherches de Koto-te-Nyiwa Ngbolua et al., [50] avaient pour but le traitement de l'eau de mare consommée par la population de village Bitá au plateau de Batéké (Congo) par les graines de *Moringa oleifera* et les racines de *Vetivera zizanoides*. Les échantillons d'eaux de mare ont été traités avec différentes concentrations de bio-coagulant. Le suivi de paramètres physicochimiques en fonction du temps a permis de déterminer les conditions optimales et d'évaluer l'efficacité des traitements. Les résultats obtenus indiquent que les graines de *Moringa oleifera* clarifient plus efficacement l'eau de mare que les racines de *Vetivera zizanoides*. Cette activité est dose-dépendant. Après une durée seulement d'un jour post-traitement, le taux de réduction de la turbidité est égal à 93,53% à la dose de 1,818 g/L. Les traitements ont également permis de réduire les teneurs

---

en nitrates et nitrites. Ces résultats indiquent que les graines de *M. oleifera* améliorent considérablement la qualité physico-chimique des eaux de mare. Ainsi, cette approche est écologique et respectueuse de l'environnement, elle est peu coûteuse, simple et bénéfique pour les populations des zones rurales. En outre, *M. oleifera* est un taxon végétal particulièrement facile à cultiver de manière intensive et est adapté au climat tropical d'Afrique.

La présente étude a montré que les graines de *Moringa oleifera* sont plus efficaces que les racines de *Vetivera zizanoides*. Cette activité est dose-dépendante. En effet, plus la dose du floculant augmente, plus l'activité est importante et se traduit par la clarification de l'eau traitée,

K Jacques Fatombi et al., [51] ont testé le pouvoir floculant d'une caséine acide extraite de la crème de coco. Ce floculant contient 83% de matière organique et 17% de matière minérale.

Les résultats des essais au Jar-test ont indiqué que le pouvoir floculant est supérieur à celui des graines de *Moringa oleifera* mais inférieur à celui du sulfate d'aluminium. Les concentrations des métaux usuels ont connu une réduction assez sensible au cours de la clarification soit 79 % pour l'aluminium, 54 % pour le cuivre, 58 % pour le fer et 80 % pour le zinc. Le pH a connu une légère baisse ce qui a entraîné une diminution du titre alcalimétrique complet (TAC). Les concentrations de la DCO et de la DBO ont légèrement augmenté. La caséine acide de la crème de coco contient plus de matières minérales que les graines de *Moringa oleifera*, de plus, elle est moins riche en matières organiques et carbone total que ces dernières. Son activité floculante est meilleure que celle des graines de *Moringa oleifera* et dépend de la turbidité de l'eau brute.

Haritiana Jeannelle Rakotoniriana et al., [52] se sont intéressés à l'étude comparative des deux coagulants le *Moringa oleifera* et le sulfate d'alumine. Ils ont remarqué que la valeur de la turbidité diminue de 403 à 4 NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique) en utilisant le coagulant chimique  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ . Tandis qu'elle diminue de 403 à 5 NTU dans le cas des graines de *moringa oleifera*. Les deux valeurs sont conformes à la norme de potabilité (5 NTU). Concernant les conductivités et les salinités après traitement par le sulfate d'alumine, elles augmentent de 241 à 246  $\mu S/cm$  et de 221 à 226 mg/l respectivement. Celles obtenues avec le *Moringa oleifera* croient de 241  $\mu S/cm$  à 243

---

$\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la conductivité et de 221 mg/l à 223 mg/l pour la salinité. Autrement dit, les résultats de traitement avec le sulfate d'alumine sont plus contaminants par rapport à ceux avec le Moringa vis à vis de la valeur de la conductivité et de la salinité et pour la valeur de pH, il n'y a aucun changement lors du traitement au Moringa, tandis qu'avec le sulfate d'aluminium, sa valeur après traitement décroît de 7 à 6, mais la valeur finale est toujours incluse dans l'intervalle de la norme (6,5 à 9). En définitive, le fait que le Moringa est un coagulant qui ne modifie pas le pH de l'eau présente un intérêt pratique considérable, car son emploi évite l'utilisation des rectificateurs d'acidité, tandis que l'utilisation du sulfate d'aluminium comme flocculant nécessite encore d'un contrôle d'acidité au cours du traitement. Aussi ils ont notée à travers les paramètres de conductivité, de turbidité et de minéralisation que le coagulant naturel est plus performant que le coagulant chimique.

Astrid Pardede et al., [53 ] ont utilisé les pleurotes comme un coagulant pour réduire la turbidité et matière en suspension dans les eaux usées domestiques des cantines. Le pleurote (*Pleurotus ostreatus*) peut être utilisé comme biocoagulant car il contient des cellules de chitine mur. La chitine a des caractéristiques de bioactivité, de biodégradabilité, d'absorption et pourrait se lier aux ions métalliques. Ces dernières années, la chitine a été appliquée comme flocculant dans l'eau et autres traitements liquides.

Le Jar-test a été utilisé dans ce travail différentes doses de pleurotes, 600 mg/l, 1000 mg/l et 2000 mg / l ont été testés pour différentes vitesse d'agitation : 100 tr/min, 125 tr/min et 150 tr/min pendant 3 minutes suivis de 12 minutes de mélange lent à 45 tr/min. Le mélange a ensuite subit une décantation pendant 60 minutes avec un pH maintenu entre 6 et 8. Le résultat a montré que l'Oyster le biocoagulant de champignon a pu éliminer 84% de la turbidité et 90% du MES. Ces réductions étaient obtenu avec une dose de biocoagulant de 600 mg / L à une vitesse de mélange de 150 tr / min.

Cette recherche vise à voir la capacité de l'huître champignons comme biocoagulant pour réduire les niveaux de turbidité contaminants et MES dans les cantines Eaux usées domestiques. La dose optimale de pleurotes le biocoagulant est de 600 mg / l avec une efficacité de 84,1% et diminution de la turbidité de 90,69%.

---

L'équipe de Rudy Syah Putra et al., [54 ] ont étudié les performances du biocoagulant à base protéines ( graine Moringa Oleifera et vigna sinensi ) et tanin ( feuilles de colocasia esculenta ) à été comparé au polychlorure d'aluminium (PAC).

les résultats d'élimination de la turbidité (%),MES matière en suspension et conductivité électrique (CE) ont montré que l'élimination de la turbidité d'un échantillon d'eau trouble atteint jusqu'à 94,4% et 87,0% pour Moringa oleifera et Vigna sinensi, mais une faible élimination de la turbidité s'est produite lors de l'utilisation de Colocasia esculenta jusqu'à 26,4%, ils ont montré que l'élimination de turbidité est élevés lors de l'utilisation de PAC comme coagulant à différents dosages comme Comparaison et la diminution du total des solides dissous (TDS) et de la CE dans l'échantillon d'eau n'a pas été beaucoup influencée par les coagulants saufs Vigna sinensi.

Au cours de cette étude, ils ont montré que le biocoagulant à base protéines (graines Moringa Oleifera et vigna sinensi ) avait une bonne performance d'élimination de la turbidité par rapport au biocoagulant à base tanin( colocasia esculenta ) .

Cependant, l'élimination élevée de la turbidité obtenue lors de l'utilisation du PAC comme coagulant à différent dosage à titre de comparaison, il n'ya pas eu d'influence significative du coagulant sur la diminution de TDS et EC dans l'échantillon d'eau sauf pour vigna sinensi , donc on peut conclure que le biocoagulant peut être une alternative dans le processus de traitement de l'eau en raison de son absence de toxicité et de son respect de l'environnement.

H Delwar et al., [55 ] ont présenté un article très intéressant sur l'utilisation d'un nouveau biocoagulant Cicer arietinum, connu sous le nom de pois chiche, peut être utilisé pour le traitement des eaux de surface. Le coagulant de ce type peut ne pas remplacer le coagulant conventionnel synthétique comme l'alun mais être une alternative en temps de crise,ont constaté lors de cette étude que l'élimination de la turbidité, de la couleur et des coliformes totaux de l'eau de Hatirjheel, un lac de la ville de Dhaka ont été menées à différentes saisons .en utilisant différentes doses de coagulant avec un niveau de pH constant et une élimination d'environ 70% des matières en suspension a été observée.

Le pois chiche est capable de fonctionner dans toutes les conditions de cette eau de surface sans apporter de changements majeurs au niveau de pH. De plus, il réduit la couleur et la

---

turbidité à un taux élevé avec une utilisation très réduite. Aussi il peut jouer un rôle vital dans la purification de l'eau à grande et à petite échelle, donc on conclut que le pois chiche peut fonctionner comme un biocoagulant et offrir de bonnes performances par rapport aux coagulants synthétiques conventionnels.

Bahman Ramavandi. [56] a utilisé un biocoagulant le *Plantago ovata*, à l'aide d'un extrait brut induit par  $\text{FeCl}_3$  (FCE) Le potentiel de FCE d'agir comme un coagulant naturel a été testé pour la clarification de l'eau trouble d'une rivière Il a effectué les essais expérimentaux pour évaluer les effets de la concentration de turbidité, de la quantité de coagulant, du pH d'eau et de la concentration d'acide humique sur la coagulation de l'eau par FCE, Une augmentation de l'acide humique a conduit à l'augmentation de l'élimination de la turbidité de l'eau. D'après les résultats, une élimination de plus de 95,6% de toutes les concentrations initiales de turbidité a été obtenue (50-300 NTU).

Le FCE a un degré élevé d'importance pour une utilisation comme coagulant dans le traitement de l'eau. La dose optimale de FCE pour la coagulation était de 0,25 mg/L, ce qui est très faible, et le changement DOC de l'eau traitée était négligeable. Un large éventail de turbidités d'eau pourrait être efficacement éliminé en utilisant FCE en vertu de la norme de turbidité de l'eau potable 5 NTU. L'élimination maximale de la turbidité de l'eau était au pH <8. On a remarqué que le FCE a amélioré la qualité bactériologique de l'eau traitée.

Le FCE peut être utilisé efficacement dans l'usine de traitement de l'eau en tant que biocoagulant respectueux de l'environnement.

L. HECINI, S. ACHOUR.[57] ont présenté un article très intéressant sur l'observation de l'efficacité de la coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium sur l'élimination des composés organiques à fonctions phénoliques (phénol et pyrogallol).

L'intérêt s'est porté plus particulièrement sur l'incidence de sels minéraux constitutifs de la dureté « calcium et magnésium » et souvent présents dans la matrice minérale des eaux algériennes. Des essais de Jar-Test ont été réalisés sur les deux composés phénoliques dissous dans l'eau distillée seule, puis enrichie en sels minéraux. Ces essais ont été réalisés sur des solutions synthétiques d'eau distillée enrichies par les ions de calcium et de magnésium introduits sous différentes formes ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaCO}_3$  ;

---

MgCl<sub>2</sub>•6H<sub>2</sub>O; MgSO<sub>4</sub> •7H<sub>2</sub>O) et, enfin, avec les eaux souterraines de la région. Différents paramètres réactionnels ont été variés tels que l'effet du pH et l'influence de la teneur en sels. Cette approche a permis une meilleure compréhension des mécanismes d'interactions composés phénoliques / sels calciques et magnésiens. Les résultats obtenus indiquent que l'efficacité que le procédé dépend du nombre et de la position des groupements phénoliques sur les molécules. Les principaux mécanismes seraient soit une adsorption physique, soit un échange de ligand ou une complexation à la surface des floes d'hydroxydes d'aluminium. L'ajout de sels minéraux semble améliorer les rendements d'élimination de composés phénoliques testés et avoir un effet sur la gamme optimale de pH de coagulation. Une application de ce procédé à des eaux minéralisées (eaux de forage) de la région de Biskra, située au sud-est de l'Algérie, a abouti à une amélioration des rendements comparés à ceux dans de l'eau distillée.

Benalia A. et D. Kerroum [58] ont relevé dans leur étude, la possibilité d'utilisation de cactus pour le traitement des eaux usées. Le but de leurs travaux est d'évaluer l'efficacité du bio-coagulant utilisé qui est le cactus traité par l'eau distillée dans la réduction de la turbidité et des matières en suspension d'eau usée.

L'eau usée en question est obtenue de la station de traitement des eaux usées d'Ibn Ziad, Constantine, Algérie, où la turbidité initiale de cette dernière est de 160 NTU. Le bio-coagulant préparé à base de cactus a montré son efficacité dans l'amélioration des paramètres de pollutions des eaux, où le pourcentage de réduction de la turbidité, et des matières en suspensions était de 87,62% et 96,15% respectivement et une production des boues de l'ordre 2,543 g/L avec une stabilisation de la salinité et de la conductivité pour une dose optimale du bio-coagulant de 2 ml/L et un pH optimal égal à 7.

Le cactus n'a pas eu d'effet significatif sur la salinité, la conductivité, l'alcalinité. Il a été montré que le cactus est très efficace pour éliminer la matière en suspension ; Il peut être conclu que le cactus mélangé avec l'eau distillée a le potentiel d'être utilisé pour les applications de traitement des eaux destinées à la consommation.

Les études menées par A. Abid et A. Zouhri [59] qui se sont intéressés à la valorisation du Jus Cactus (*Opuntia ficus indica*) en tant que substance naturelle utilisée dans ce genre de traitement. Le procédé coagulation-floculation a été choisi pour introduire le jus de cactus comme un flocculant biodégradable (bio-flocculant).

---

Le traitement a été réalisé en deux étapes principales. L'ajustement de pH avec la chaux et/ou l'acide sulfurique puis la floculation avec le jus de cactus. Les paramètres qui ont été étudiés au cours de ce travail sont le pH, la turbidité, la DCO et l'absorbance des colorants de rejets textiles. Les résultats obtenus ont permis d'obtenir un taux d'élimination des colorants avoisinant les 90%, un pourcentage d'abattement de la turbidité de 97 % et une élimination de DCO d'ordre 66 %.

Cette étude a permis de montrer que le jus de cactus peut être utilisé comme adjuvant de la coagulation et floculant naturel biodégradable pour le traitement des rejets liquides industriels de textile. Il peut remplacer donc certains coagulants inorganiques largement appliqués et ayant des inconvénients sur l'environnement et en particulier sur la santé humaine.

O. Bouaouine [60] a testé l'utilisation de procédés chimiques dans le traitement des eaux induit des coûts économiques élevés et présentent un risque élevé sur la santé de l'homme et de l'environnement. L'auteur de cette thèse explore la voie d'utilisation de bio floculants issus des ressources végétales (l'amidon, alginate et xanthane ont été déjà expérimentés pour la production d'eau). Le travail a porté sur l'utilisation des margines et d'apprécier sa réactivité pour le traitement d'effluents par coagulation-floculation.

L'auteur estime que la voie « bio » offre beaucoup d'opportunités pour un traitement optimal « clean ». Cependant, les techniques bio sourcées qui sont au stade expérimentale, nécessitent des améliorations pour arriver à un traitement de qualité qui protège la santé de l'homme et l'environnement.

N. Aouba., [61] s'est intéressé au Tanfloc qui est un coagulant organique naturel à base d'extrait de tanin. Ce produit est issu du métabolisme de certaines plantes, dont l'Acacia mearnsii, qui est utilisé pour sa production. Selon certaines études, le Tanfloc présenterait des performances d'abattement de la matière organique dissoute comparables à celles de l'alun dans le traitement des eaux de surface, avec l'avantage de ne pas être influencé par le pH.

Ce coagulant permet une bonne réduction (90%) de la turbidité sans ajustement du pH et par ce biais pourrait permettre aussi l'enlèvement des pathogènes. Certains travaux ont

---

montré que la réduction de la turbidité permet un abattement d'au moins 80% des pathogènes.

Aujourd'hui encore de nombreuses personnes sont affectées par des maladies hydriques liées au manque d'eau potable. Le Tanfloc pourrait aider à réduire les risques microbiologiques d'origine hydrique.

S.A. Nikam, Jitendra et al., [62] ont abordé dans cette étude, la substitution de l'utilisation de coagulants synthétiques qui n'est pas considérée comme appropriée pour des raisons de santé et de considérations économiques. Ils préconisent l'utilisation de la graine de *Moringa Oleifera* qui pourrait éliminer respectivement les turbidités de 60 à 80% dans une concentration 10-30 (mg / l) et un pH optimal de 6-8. Par ailleurs, Le Chitosane en poudre pourrait éliminer 50 à 60% pour cent des plages de turbidité (45-70 NTU) dans une concentration de 10-30 (mg / l) avec un pH optimal de 8. Le mélange des deux réduit la turbidité jusqu'à 40 à 45%.

Les résultats de cette étude ont montré que l'extrait de graines de *Moringa Oleifera* et la poudre de Chitosane ont un effet minimal sur le pH et une plus grande efficacité dans l'élimination de turbidités élevées par rapport aux faibles turbidités.

Les biocoagulants comme le *Moringa Olifera* et le Chitsonne peuvent être utilisés efficacement comme prétraitement réduire la charge du traitement biologique des eaux. Ils permettent une réduction maximale de la turbidité à sa dose optimale de 10 mg / l.

L'objectif de l'étude de Bouafia A. et Hadri, Y., [63] est l'élimination d'un colorant avec une coagulation- floculation et ce en utilisant le chitosane comme biocoagulant en raison de sa grande capacité à complexer et à fixer une large gamme de polluants sous sa forme soluble. D'après certains travaux, la capacité d'élimination du chitosane comme coagulant primaire est relativement faible. Dans ce cadre et pour l'amélioration du procédé, les auteurs ont opté pour une combinaison de deux procédés très utilisés dans le traitement des eaux : coagulation et adsorption avec une adsorption par un bio absorbant largement disponible au nord Algérien l'ami visnaga. Les résultats ont montré que l'utilisation de cette technicité, permet un certain apport au traitement et des expériences similaires méritent d'être faites et ce pour permettre une meilleure observation et tirer les conclusions qui s'imposent.

---

## Conclusion générale

Le processus de la coagulation-floculation a fait apparaître divers mécanismes, souvent complexes et dépendant fortement du pH de l'eau à traiter. En outre, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à optimiser cette étape pour un meilleur abattement des polluants, notamment organiques. Certains, ont porté leur choix sur l'amélioration des performances des réactifs coagulants et adjuvants de floculation. Mais la plupart des travaux s'accordent à conclure que l'optimisation et l'ajustement de paramètres physico-chimiques de l'eau ou du dosage du coagulant peuvent conduire à une floculation et une élimination efficaces des matières organiques.

La coagulation et la floculation sont deux étapes essentielles dans le traitement des eaux, d'après les articles traités.

Les résultats obtenus lors de la synthèse bibliographique montrent que le coagulant naturel les grains de *Moringa Oleifera*, clarifie plus efficacement l'eau et améliore considérablement la qualité physico chimique des eaux que les racines de *vetivera zizanoides* et par rapport à la clarification de l'eau par la caséine acide de crème de coco a entraîné une réduction des taux des métaux usuels (fer, cuivre, aluminium), une augmentation de la conductivité et une légère diminution de pH en introduisant moins de matière organique que les graines de *Moringa* et en comparaison aux sulfates d'alumine dont les résultats sont plus contaminant par rapport à ceux du *Moringa* et les autres biocoagulants comme l'huitre champignon, cactus, pois de chiche, Tanfloc et le chitsone pour la réduction de la turbidité, matière en suspension et la couleur de l'eau .

En outre, le *Moringa Oleifera* un coagulant naturel qui ne modifie pas le pH de l'eau, aussi à travers des paramètres de conductivité de turbidité de minéralisation que le coagulant chimique grâce à ses multiples avantages : la solution du coagulant est bien homogène ,la décantation des floccs est complète et la valeur de la turbidité est importante aussi elles ne contient pas des produits nocifs ,être facile à produire et à doser qui prouvent un bon coagulant donc on conclure que le biocoagulant à base protéines avait une bonne performance et excellent résultats en comparaison par d'autres coagulants .

En conclusion nous escomptons que ce travail qu'on a réalisé durant cette période exceptionnelle de la pandémie (Covid19) va ouvrir de larges prescriptives pour la

---

continuité du travail afin d'assurer une qualité d'eau de haute qualité en utilisant des produits naturels verts respectueux de l'environnement.

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Coffee Calvin Tinashe et Traore Adama, Adsorption d'une pollution minérale et organique sur les feuilles et graines de Moringa, Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf d'Oran, 2019.
- [2] Mohammed Tahir Wais Mossa, Étude de l'adsorption de composés humiques sur floes d'hydroxydes métalliques performés, Influence de paramètres physico-chimiques et des sels, Thèse de doctorat en sciences appliquées, Université de Limoges, France, 1991.
- [3] C.Dumans Guedes, Coagulation-floculation des eaux issues des mines de fer : comparaison entre les coagulants minéraux et un coagulant organique issus de la Moringa Oleifera, Publication, Université d'Aix Marseille , 1 vol. (159[40]p.), 2004.
- [4] Rakotomamonjy Vatosoa Nandrianina, Essais de traitement d'une eau de piscine en utilisant le résidu de graine de Moringa Oleifera comme floculant, Mémoire de fin d'Etude, Université D'ANTANANARIVO, 2016.
- [5] Mémento Degremont, Technique de l'eau, SUEZ, 2016.
- [6] I. Belkhiar, Contribution à l'étude comparative de deux coagulants de la graine de Moringa Oleifera et le sulfate d'aluminium dans le traitement des eaux de surface du barrage de Tichy-Haf et des eaux usées de la STEP de Souk-El-Tenine-Bejaia, Thème de master, Université de Bejaia, 2019.
- [7] M. Bennajah, Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation /électrolocation en réacteur air lift, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 2007.
- [8] Christian Desjardins, Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée à l'aide d'une procédure modifiée par Jar-Test, Thèse de Doctorat, Université de Montréal, 1999.
- [9] M. D. Dihang, Mécanismes de coagulation et de floculation de suspension d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse France, 2007.
- [10] S. Cherifi et A. Ouagued, Efficacité de la coagulation-Floculation dans le traitement des eaux des rejets de l'unité Ceramit, Publication Laboratoire eau-environnement Université Chlef.
- [11] C. Lafleur, J.Fortier, L.Kharoune, M. Kharoune, Evaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles , Document de recherche Université de Québec Canada, 2008.

- 
- [12] R. Desjardins, Le traitement des eaux, Edition : Ecole polytechnique de Montréal Canada, 1997.
- [13] R. Julien, Etude de la coagulation-Floculation-Décantation d'une eau colorée froide de faible alcalinité, Mémoire de maîtrise. Ecole polytechnique de Montréal Canada, 1983.
- [14] C.Slater, G.Uchirin, R.Ahlert, Physico-chemical pretreatment of landfill leachates using coagulation, J. Environ. Sci. Hlth. 18, 1983 (125-134).
- [15] C. Desjardins, Simulation et étude en laboratoire de la floculation testée à l'aide d'une procédure modifiée de JAR TEST, Mémoire pour l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées, Université de Montréal Canada, 1999.
- [16] A.AOUABED.cour traitement des eaux.Master 1 sciences et génie de l'environnement.
- [17] H.Zemmouri et R.Chebbah et H.Sahraoui, L'efficacité du Moringa Oleifera comme coagulant naturel dans le traitement des eaux usées, mémoire fin d'étude, université Maroc ,2014.
- [19] J. Camman, R. Cirou, C. Jeandaux, Optimisation de l'étape de coagulation-Floculation par chlorure ferrique, Rapport EDF France.
- [20] L.Bouazza,Effet de La coagulation floculation sur la qualité des eaux épurée de STEP de Ain el Houtz, Thèse de Magister, Université de Tlemcen,2011.
- [21] B.Harmand, Contribution à la compréhension des processus de transport de colloïdes en milieu naturel poreux ou fracturé, Thèse de doctorat en génie des procédés Institut national polytechnique de Lorraine France, 1996.
- [23] G. Crini, PM. Badot, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires bioadsorption et oxydation chimique, Livre édité par presses universitaire de Franche-Comté France 2007.
- [24] Y.Mottot, Coagulants et floculants, Texte de la 279<sup>e</sup> conférence de l'université de tous les savoirs donnée en 2000.
- [25] I.Baudin, Evaluation de floculant vert alternatifs au polyacrylamide (PAM) pour la production d'eau potable conférence octobre 2014, journée information Eaux JIE.
- [26] D.Amroun ET K.Taharount, Réduction et utilisation des chitosanes dans les procédés de coagulation –floculation, Mémoire de master, Université mouloud mammeri de tizi ouzou, 2011.
- [27] L.cherif, L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres,Mémoire de master en hydraulique, Université Tlemcen ,2012.

- 
- [28] N.Belkacem, Étude comparative entre deux dispositifs de traitements des eaux usées de la station d'épuration de Baraki(STEP)-Ager ,Mémoire fin d'étude, Université Blida1,2018.
- [29] S.Chahmi Gheidene et K. Tighezi, Traitement des eaux par l'utilisation des gousses de la plante Moringa Oleifera, Mémoire fin d'étude, Université d'ADRAR, 2017.
- [30]S.Belkebir,Évaluation de l'effet insecticide sur les pucerons de l'extrait aqueux de feuille et fleur de Moringa Oleifera Lam, Mémoire fin d'étude, Université de Telemcen,2018.
- [31] M.L.Ramananjanahary, Valorisation scientifique du tourteau de grain de Moringa Oleifera en alimentation animale ,Thèse de doctorat , Université d'Antananarivo,2016.
- [32] Foidl N, Makkar H.P.S et Becker K, Potentiel de Moringa Oeifera en agriculture et dans l'industrie, P.B.432.Carr .SUR Km 11.casa N 5.Managua.(Nicaragua),Dar es Salaam Tanzanie,2011.
- [34] Dr Armelle saint sauveur et Dr Méanie Broin, Produire et transformer les feuilles de moringa, Moringanews/ Moringa Association of Ghana.
- [35] H.Frah et H.Bouzad, Évaluation de l'effet antibactérien et antiparasitaire des graines de Moringa Oleifera dans le domaine de traitement des eaux usées, mémoire de fin d'étude, Université Khemis Miliana,2018 .
- [36] Rakotomamonjy Vatosoa Nandrianina, Essais de traitement d'une eau piscine en utilisation le résidu de graine de Moringa Oleifera comme flocculant, Mémoire fin d'étude, Université D'Antananarivo, 2016.
- [37] Emilie Chantrel et Armelle de Saint Sauveur, Techniques de clarification avec Moringa à différents échelles,Document.
- [38] Thonart, Ph., Steyer, E., Drion, R., Hiligsmann, S., La gestion biologique d'une décharge, *Tribune Eau*, **590/591**, (1998), 3-12.
- [39]C.Berthe, Étude de la matière organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés, Thèse de doctorat, Université de Limoges. France, 2006.
- [40] Canellas, L.P., Zandonadi Daniel B., Busato Jader G., Baldotto Maribus A., Simões Marcelo L., Martin-Neto Ladislau, Façanha Arnoldo R., Spaccini Riccardo et Piccolo Alessandro, Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence, *Soil Sci.*, **173** (9), (2008), 624-637. DOI: 10.1097/SS.0b013e3181847ebf.

- 
- [41] Xiaoli, C., Shimaoka, T., Qiang, G., Youcai, Z., Characterization of humic and fulvic acids extracted from landfill by elemental composition,  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR and TMAH-Py-GC/MS, *Waste Manage.*, **28**, (2008), 896-903.
- [42] Badis, A., Ferradji, F.Z., Boucherit, A., Fodil, D., Boutoumi, H., “Characterization and biodegradation of soil humic acids and preliminary identification of decolorizing actinomycetes at Mitidja plain soils (Algeria)”, *Afr. J. Microbiol. Res.*, **3**(13), (2009), 997-1007.
- [43] Kubo, M.T., Yano, T., Kobayachi, H., Ueno, K., *Talanta* 24, 519. 1977
- [44] Sekisssuka, Y., Kojima, T., Yano, T., Ueno, K., *Talanta*, 20, 979 (1973)
- [45] Ghernaouate, Dj., Élimination des acides humiques par floculation en lit fluidisé, Mémoire d'ingénieur d'état, Blida 1993.
- [46] Filella, M., Parthasarathy, N., Buffle, J., Humic and fulvic, *Encycl. Anal. Sci.*, 2017-2027, compounds.
- [47] Kang, K.H., Shin, H.S., Park, H., Characterization of humic substances present in landfill leachates with different ages and implications, *Wat. Res.*, **36**(16), (2002), 4023-4032.
- [48] Shakir, K., Beheir, S.G., *Chimia*, 34, 273 (1980).
- [49] Ahsan Ekhtelat, Shahnur Hoque, Sadib Bin Kabir, Rafsan Noon, Mehedi Hasan, Khalekuzzaman, RECOVERY OF MICROALGAL BIOMASS USING MORINGA OLEIFERA AS A LOW-COST BIOCOAGULANT, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development, (ICCESD 2020), 7~9 February 2020, KUET, Khulna, Bangladesh.
- [50] Koto-te-Nyiwa Ngbolua, Aaron L. Pambu, Louange S. Mbutuku, Honoré Kongo Nzapo, Gédéon N. Bongo, Nadine Bipendu Muamba, Clarisse M. Falanga, Zoawe B. Gbolo ET Pius T. Mpiana, Etude comparée de l'activité floculante de Moringa oleifera et Vetivera zizanoïdes dans la clarification des eaux de mare au plateau de Batéké, République Démocratique du Congo, University de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research* ISSN 2351-8014 Vol. 24 No. 2 Jun. 2016, pp. 379-387.
- [51] Jacques Fatombi K., Roger Gérard Josse, Daouda Mama et Taofiki Aminou, Étude de l'activité floculante de la caséine acide extraite de la crème de Cocos nucifera dans la clarification des eaux de surface, *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science*.

---

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), Volume 22, numéro 1, 2009.

[52] Haritiana Jeannelle Rakotoniriana, Nambinina Richard Randriana, Jean de Dieu Ramaroson , Frédéric Randrianarivelo, Augustin Martial Herihajaniavo, Lala Andrianaivo, Etude comparative des coagulants dans le traitement des eaux, Université d'Antananarivo. MADA-HARY, ISSN 2410-0315, vol. 4, 2015.

[53] Astrid Pardede , Mochamad Arief Budihardjo , et Purwono, The Removal of Turbidity and TSS of the Domestic Wastewater by Coagulation-Flocculation Process Involving Oyster Mushroom as Biocoagulant».University, Semarang – Indonesia. E3S Web of Conferences 31, 05007 (2018) . ICENIS 2017.

[54] Rudy Syah Putra, Mutiara Ayu, Resti Yunia Amri, Performance Comparison between Biocoagulant Based on Protein and Tannin Compared with Chemical Coagulant, Tech Publication, Universitas Islam Indonesia, Vol. 840, pp 29-34.2020.

[55] Dr. Md, Delwar Hossain, SM Samin Ishraq, SK Rakibul Islam, Prottoy Kumar Sarker , Shadman Kaiser, Use of Ground Chickpea as Bio-Coagulant in Surface Water Treatment, *University of Engineering & Technology, Dhaka, Bangladesh*. 4<sup>th</sup> International Conference on Advances in Civil Engineering 2018 (ICACE 2018).

[56] Bahman Ramavandi, Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovate*, Article history. Université Bushehr. Iran. Volume 6, August 2014, Pages 36-50.

[57] L. Hecini & S. Achour, Coagulation-flocculation au sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et effet de sels de calcium et de magnésium, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 27, n° 3, 2014, p. 27.

[58] A. Benalia ; K. Derbel , Effet du bio-coagulant (cactus) sur la réduction de la turbidité et matière en suspension (mes), Laboratoire LIPE ; département de Génie de l'environnement, Faculté de génie des procédés pharmaceutique, Université Constantine 3, Algérie, Ecole nationale polytechnique de Constantine, Algérie.

[59] A. Abid et A. Zouhri, Substitution des flocculants chimiques par le cactus dans le procédé de traitement par coagulation-flocculation des rejets industriels de textile, *Revue des Energies renouvelables* Vol. 20 N°1 (2017) 61 – 67.

- 
- [60] O. Bouaouine, Caractérisation et valorisation des bio-ressources végétales pour le prétraitement d'effluents par coagulation-floculation, Thèse de Doctorat, Université de Limoges.
- [61] N. Aouba, Étude d'un coagulant organique naturel pour le traitement des eaux potables et usées : le Tanfloc, Université Laval – Canada (Maitrise en Génie des Eaux).
- [62] S.A. Nikam, P. Jitendra . Singh, A. Saha and A. Dubey, Biocoagulant: For Waste Water Treatment, Department of Civil Engineering, JSPM'S Rajarshi Shahu College of Engineering, Pune-411033, Maharashtra, India.
- [63] A. Bouafia, Y. Hadri, Développement d'un système hybride couplant la coagulation floculation à l'absorption en utilisant des bios matériaux pour l'élimination des colorants, Publication, Université de Blida1 ,2016.
- [64] L. HECINI, S. ACHOUR, Coagulation-floculation au sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et effet de sels de calcium et de magnésium, Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides, CRSTRA, B.P. 1682, R.P. 7000, Biskra, Algérie.

### **Web Références**

- [18] [https:// elearning.univ-bechar.dz](https://elearning.univ-bechar.dz)
- [22] [https:// apps.who.int](https://apps.who.int)