



République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج



Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.  
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers  
قسم العلوم الفلاحية  
Département des Sciences Agronomiques

## Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Sciences Agronomiques  
Spécialité : Aménagement Hydro-agricole

### Intitulé

**Utilisation des bio-coagulants pour le traitement des  
eaux potables.**

**Présenté par : Dahmane chaima  
Zidoune rania**

### Devant le jury :

**Président** : M. ZIAD Abdelazziz                      MAA (université de Bordj Bou-Arréridj)  
**Encadrant** : M. BENYOUCEF Nabil.                      MCB (université de Bordj Bou-Arréridj)  
**Examineur** : Mme. CHOURGHAL Nacira                      MCA (université de Bordj Bou-Arréridj).

**Année universitaire : 2019/2020**

# Remerciements

*En Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant qui nous a donné la force de continuer et d'achever ce travail.*

*Nous tenons à remercier le Président M. ZIAD abdelazziz d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Nous vifs remerciements à notre promoteur M. BEN YUCEF Nabil de nous avoir guidées avec ses conseils avisés afin de réaliser ce travail.*

*Nous remercions également à l'examineur Mme. CHOURGHAL Nasira pour l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail en acceptant d'en être le juge.*

*Nous tenons à remercier nos chers parents pour leurs sacrifices moraux et matériels et leur soutien.*

*A tous nos amis, en particulier à ceux qui nous ont toujours encouragées.*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents « Mourad & Nadjat » qui m'ont toujours soutenu avec leurs encouragements et qui m'ont donné une magnifique modèle de labeur et de persévérance,

Ils sont la lumière de ma vie

A mes sœurs « Racha et Maram » mes petits anges qui se tenaient à mes côtés dans tous les moments de ma vie.

A mes frères « Zine et Ilyas » qui m'ont donné la confiance, l'espoir et le courage.

A mes cousines « Sabrina ,Imane ,et Amani » mes diamants et mes supporteurs.

Tous merci allez, pour à mon âme sœur et à mon partenaire « Rania zidoune », Tu es le meilleur ami que j'ai rencontré dans ma vie, Tu es une étoile dans mon ciel.

Merci pour chaque instant passé avec toi.

Bien sur mes amis « Karima , Ilham , et Kahina » mes petites filles,

Merci pour votre soutien.

A Cher oncle « Sedira Khaled »

Merci à tous ceux qui m'ont aidé et m'ont donné l'espoir et la force de continuer à réaliser mes rêves.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire :*

*A mes très chers parents qui m'ont aidé par leur compréhension et par leur encouragement à poursuivre mes études.*

*A ma sœur et mes frères.*

*A mon partenaire Dahmane chaima.*

## **Table des matières**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**Introduction générale.**

### **Chapitre I : Mécanisme de la coagulation-floculation**

I.1. Introduction.....	03
I.2. Particules en suspension.....	03
I.3. Particules mises en jeu : colloïdes.....	03
I.3.1. Types de colloïdes.....	04
I.3.1.1 Colloïdes hydrophiles.....	04
I.3.1.2. Colloïdes hydrophobes.....	04
I.3.2. Théorie de la double couche.....	04
I.3.3. Potentiel zêta.....	06
I.4. Coagulation –Floculation.....	06
I.4.1. Coagulation.....	07
I.4.1.1.Principe de la coagulation.....	07
I.4.1.2. Modes de déstabilisation des particules colloïdales.....	07
I.4.1.3. Coagulants utilisés.....	10
I.4.2. Floculation.....	12
I.4.2.1 .Principe de la floculation.....	12
I.4.2.2. Types de floculations.....	13
I.4.2.3. Flocculants utilisés.....	14
I .5.Avantages et inconvénients de la coagulation floculation.....	15
I.6. Influence des paramètres opérationnels sur l'efficacité de la coagulation- floculation.....	16
I.6.1. Influence du pH.....	16
I.6.2. Influence de la température de l'eau .....	17
I.6.3. Influence de la dose du coagulant.....	17
I.6.4. Influence de la vitesse du mélange.....	17
I.6.5. Influence de la turbidité.....	18
I.6.6. Influence de la couleur.....	18

## **Chapitre II : Coagulants à base de produits naturels**

II.1. Historique des coagulants utilisés dans la clarification de l'eau .....	19
II.2. Aperçu des coagulants/ flocculant d'origine végétale et de leur procédure de préparation.....	20
II.2.1. Moringa Oleifera.....	21
II.2.2. Gombo.....	21
II.2.3. Grain de mangue.....	22
II.2.4. Tanfloc.....	23
II.2.5. Millet perlé.....	23
II.2.6. Pois aux yeux noirs.....	24
II.2.7. Salvia hispanica .....	24
II.2.8. Grain d'arachide.....	25
II.2.9. Noix de coco.....	26
II.2.10. Spirogyra rhizopus .....	26

## **Chapitre III : Comparaison entre les coagulants Naturels et les coagulants synthétiques**

III.1. Introduction.....	27
III.2. Coagulants naturels .....	27
III.2.1. Obtention des coagulants naturels.....	27
III.2.2. Durabilité des coagulants naturels.....	28
III.3. les Coagulants synthétiques.....	29
III.4. Comparaison entre le coagulant naturel et le coagulant synthétique.....	29
III.5. Etude technico-économiques des coagulants naturels.....	31
<b>Conclusion.....</b>	<b>33</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>34</b>

## **Liste de tableau**

**Tableau 1 :** Zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium...16

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale .....	05
<b>Figure 2 :</b> Stabilité d'une suspension colloïdale.....	06
<b>Figure 3 :</b> Représentation schématique de la compression de la couche diffuse...	08
<b>Figure 4 :</b> Représentation schématique de neutralisation des charges.....	08
<b>Figure 5:</b> Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation..	09
<b>Figure 6:</b> Adsorption et pontage à l'aide de polymères.....	10
<b>Figure 7 :</b> Mécanisme de Coagulation – Flocculation.....	16
<b>Figure 8 :</b> Plante de Morinaga Oleifère.....	21
<b>Figure 9 :</b> Gombo .....	22
<b>Figure 10:</b> Poudre des graines de mangue.....	23
<b>Figure 11:</b> Millet perlé ( <i>Pennisetum glaucum</i> ).....	24
<b>Figure 12:</b> Pois à yeux noirs.....	24
<b>Figure 13:</b> <i>Salvia hispanica</i> .....	25
<b>Figure14:</b> Graine d'arachide.....	26
<b>Figure 15:</b> Noix de coco.....	26
<b>Figure 16 :</b> Différente étapes de production d'un bio-coagulants à partir des plantes.....	28
<b>Figure 17:</b> Avantages des coagulants naturels par rapport aux coagulants Synthétiques .....	30



## Liste des abréviations

- **MES** : Matières en suspension.
- **OMS** : Organisation Mondiale de santé.
- **NTU** : Unité de turbidité métrique de Néphélie.
- **PACL** : Chlorure de poly aluminium.
- **pH** : Potentiel d'hydrogène.
- **L'alum** : L'aluminium.
- **MOD** : Matière organique dissoute.
- **SPD** : Sous-produits de désinfection.
- **COD** : Carbone organique dissous.

## تلخيص :

لقد ثبت أن التخثرات الطبيعية فعالة في معالجة المياه عن طريق التخثر والتلبد كما ورد في عدد كبير من المقالات البحثية المنشورة. في الواقع، لا يزال قبول واستخدام التخثرات الطبيعية في معالجة المياه محدودًا. ولهذه الغاية، من الضروري لفت انتباه المجتمعات العلمية و الصناعية إلى هذا النوع من المخثرات، نظرًا لكفاءتها العالية وتوافقها مع القضايا البيئية والصحية.

الكلمات المفتاحية: التخثر - التلبد - التخثر الحيوي - مياه الشرب - معالجة المياه - العكارة

## Abstract:

Natural coagulants have been shown to be effective in treating water by coagulation-flocculation as reported by a significant number of published articles. Indeed, the acceptance and application of natural coagulants in the water industry is still limited. To this end, it is necessary to draw the attention of the scientific and industrial communities to this type of coagulants, due to their high efficiency as well as their compatibility with environmental and health issues.

**Keywords:** Coagulation-flocculation, Bio-coagulant, Drinking water, Water treatment, Turbidity.

## Résumé :

Les coagulants naturels ont montré leurs efficacités dans le traitement de l'eau par coagulation-flocculation comme le rapporte un nombre important d'articles de recherches publiés. En effet, l'acceptation et l'application des coagulants naturels dans l'industrie de l'eau demeure toujours limitées. A cet effet, il est nécessaire d'attirer l'attention des communautés scientifiques et industrielles à ce type de coagulants, de part leurs grandes efficacités ainsi que leurs compatibilités vis-à-vis des questions environnementales et sanitaires.

**Mots clés :** Coagulation-flocculation, Bio-coagulant, Eau potable, Traitement des eaux, Turbidité.

# Introduction générale

### **Introduction générale**

Les besoins en eau potable augmentent régulièrement avec l'accroissement démographique et l'industrialisation dans de nombreux pays émergents. Souvent réputée être liée au tiers monde, la problématique de l'eau potable s'est généralisée au même point que les pays développés comme les Etats-Unis et l'Australie, qui en effet, commencent à ne plus négliger la préservation de cette ressource naturelle. Le principal problème de l'accès à l'eau potable est dû à une mauvaise répartition dans le monde mais aussi à une pollution continue des ressources en eau par l'industrie, l'agriculture et les rejets urbains.

Les besoins actuels ne sont donc assurés que par le recours à d'autres sources en eaux, les eaux superficielles, les eaux de mer et les eaux saumâtres qui sont plus ou moins polluées et salées.

L'eau de consommation doit répondre aux normes de potabilité, et afin d'utiliser les différentes catégories d'eaux précitées et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement adéquat.

Les procédés mécaniques et physiques comme le dégrillage, le dessablage et les traitements biologiques par boues activées ont permis d'éliminer une grande partie des matières contenues dans l'eau. Mais après cette opération l'eau contient toujours une quantité de la substance composée de matière en suspension, de colloïdes et des particules très fines difficilement décontables.

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau pendant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation-floculation et de décantation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

En général, les usines de traitement de l'eau potable utilisent des coagulants minéraux, tel que le sulfate d'aluminium, le sulfate ferrique, et le chlorure d'aluminium... etc., le sulfate d'aluminium étant le plus largement utilisé. Outre le coût relativement élevé de ces coagulants

## Introduction générale

---

a base de minéraux, ils peuvent également être responsables d'effets néfastes sur la qualité de l'eau et sur la santé publique en raison de leur surdosage.

Pour toutes ces raisons, la communauté scientifique s'est de plus en plus intéressée à la recherche de coagulants alternatifs, comme les coagulants organiques naturels à base d'extraits de plantes. Le présent mémoire est une revue bibliographique traitant la diversité des coagulants naturels, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

# Chapitre I

## I. Mécanisme de la coagulation-floculation

### I.1. Introduction

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence des particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1m en chute libre peut être de plusieurs années. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser, il s'agit de neutraliser leur charges électrostatique de répulsion pour permette leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration (**Cardot, 2005**).

### I.2. Particules en suspension

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois groupes suivants :

- Les matières en suspension qui regroupe les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1 $\mu$ m. leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelque dixième de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité.
- Les matières colloïdales sont des matières en suspension de même origine mais de diamètre inférieur à 1micron. Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1,1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 66600 années pour décanter de un mètre.
- Les matières dissoutes, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre. (**Desjardin, 1999**)

### I.3. Particules mises en jeu : colloïdes

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, et...) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1 $\mu$ m (**Boursali, 2011**).

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles (**Cardot, 2005**).

# Chapitre I Mécanisme de la coagulation- floculation

## **I.3.1. Types de colloïdes**

Les particules colloïdales sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau, il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles (**Ezziane, 2007**) :

### **I.3.1.1. Colloïdes hydrophiles**

Les colloïdes hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique (**Kettab, 1992**).

Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui prévient tout contact ultérieur entre ces particules (**Desjardin, 1997**).

Parmi les substances de cette nature, on peut citer les protéines, les savons, la gélatine et la matière organique naturelle. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération (**Ezziane, 2007**).

### **I.3.1.2. Colloïdes hydrophobes**

Les hydrophobes sont des micelles ou agrégats de molécules simples, dissoutes et qui comprennent la plupart des corps de la chimie minérale (**Kettab, 1992**).

Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée. On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques (**Desjardins, 1997**).

Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles (**Boursali, 2011**).

## **I.3.2. Théorie de la double couche**

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde. Diverses théories expliquent ce phénomène (**Lakhdi, 2011**).

- **Théorie d'Helmholtz** : Une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).
- **Théorie de Gouy-Chapman** : La couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde, la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse) (**Lakhdi, 2011**).
- **Théorie de Stern** : Est un compromis des deux précédents. Elle considère la formation de la double couche, la première adhère à la surface du colloïde et le potentiel décroît rapidement. La seconde est plus diffuse et le potentiel décroît plus lentement (**Deltalab, 2020**).



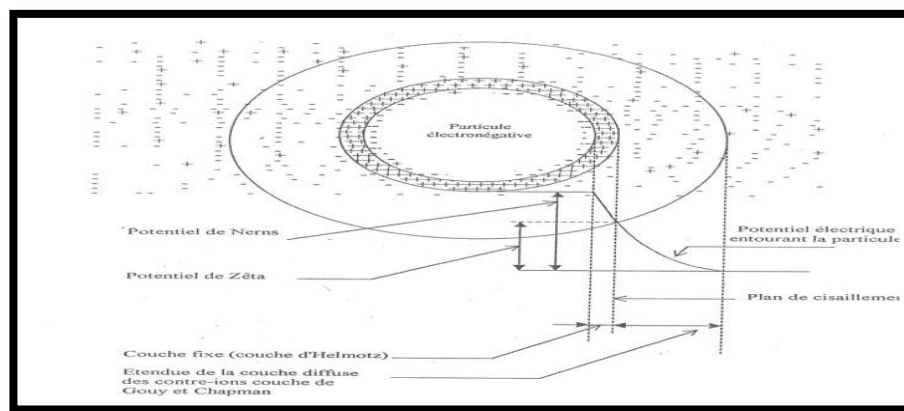
# Chapitre I Mécanisme de la coagulation- floculation

Un colloïde est caractérisé par 2 potentiels :

- Potentiel thermodynamique : appelé potentiel de Nernst présent à la surface même du colloïde (**Degrement, 2005**).
- Potentiel électrocinétique: Ce potentiel mesuré au plan de cisaillement et appelée le potentiel Zêta. (**Degremnt, 2005**)

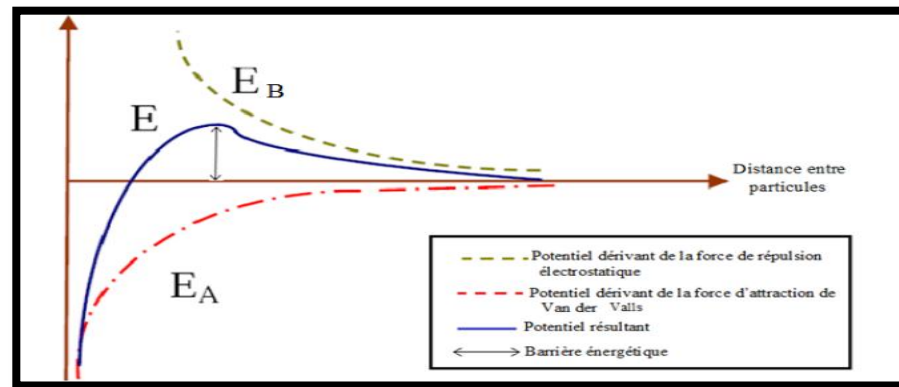
Le plan de cisaillement est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule (**Ezziane, 2007**).

Pour une particule hydrophobe, ce plan est situé à la limite de la couche liée, alors que pour une particule hydrophile, il est situé à la limite extérieure de la couche d'eau liée à la particule (**Desjardins, 1997**).



**Figure 1** : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale. (**Ezziane, 2007**).

Lorsque deux particules sont sur le point d'entrer en contact, elles sont essentiellement soumises à deux forces : la force d'attraction de van der Waals, et la force de répulsion électrostatique. Le potentiel de répulsion est défini par  $E_B$ , et le potentiel d'attraction est défini par  $E_A$ . La résultante des deux potentiels  $E$ , traduit l'interaction énergétique nette qui existe entre les deux particules :  $E = E_A + E_B$  (**Desjardins, 1999**).



**Figure 2** : Stabilité d'une suspension colloïdale (Bayraktar, 2012 ; Lakhdhi, 2011).

### I.3.3. Potentiel zêta

Le potentiel Zeta se situe à l'extérieure de la couche liée (Desjardin, 1999). Ce potentiel est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale dû à la charge effective de l'ensemble particule double couche. Quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuaient (Ezziane, 2007).

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations (Desjardin, 1999).

Le potentiel Zêta (Z) est défini par la relation suivante :

$$Z = \frac{K * \mu * me}{\varepsilon}$$

Avec :

K= fonction du diamètre de la particule.

$\mu$ = viscosité dynamique (Pa.s).

$me$ = mobilité électro phorétique ( $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{v}^{-1}$ ).

$\varepsilon$ = constante diélectrique du milieu.

On mesure ce potentiel par le Zétamètre (Degremnt, 2005).

### I.4. Coagulation –Floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence des particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1m en chute libre peut être de plusieurs années (Hernandez et Melis, 2008).

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdales présente dans l'eau (Ezziane, 2007), puis formation de floes par

# Chapitre I Mécanisme de la coagulation- floculation

adsorption et agrégation. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite (Hernamdez et Melis, 2008).

## **I.4.1. Coagulation**

### **I.4.1.1.Principe de la coagulation**

Le mot coagulation vient du latin *coagulare* qui signifie « agglomérer ». Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire des réactifs chimiques nommés coagulants (Hernamdez et Melis, 2008).

L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes (Brahimi et Benaissa, 2010). Le procédé nécessite une agitation importante (Hernamdez et Melis, 2008).

### **I.4.1.2. Modes de déstabilisation des particules colloïdales**

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leur agglomération :

- ✓ Compression de la double couche.
- ✓ Absorption et neutralisation des charges.
- ✓ Emprisonnement des particules dans un précipité.
- ✓ Absorption et pontage entre les particules (Boursali, 2011).

#### **I.4.1.2.1. Compression de la double couche**

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de van der waals ne sont pas effectuées. La force ionique est représentée par l'équation suivante :

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^n C_n Z_n^2$$

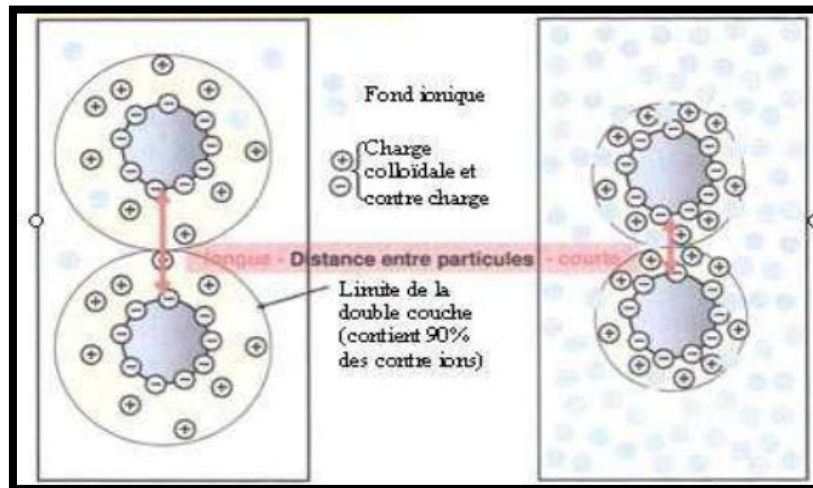
# Chapitre I Mécanisme de la coagulation- floculation

Avec :

$\mu$ = force ionique.

$C_n$ = concentration de l'ion n (mol/l).

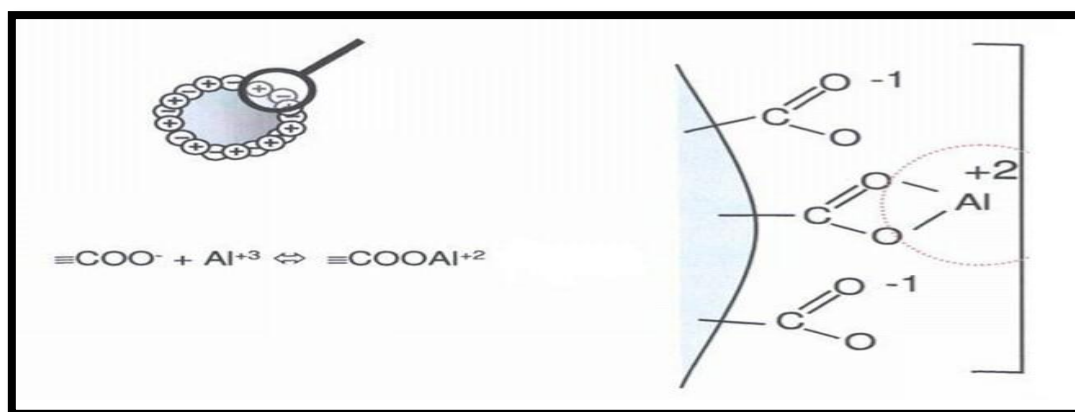
$Z_n$ = valence de l'ion n (Desjardin, 1999).



**Figure 3 :** Représentation schématique de la compression de la couche diffuse (Ezziane, 2007).

## I.4.1.2.2. Adsorption et neutralisation des charges

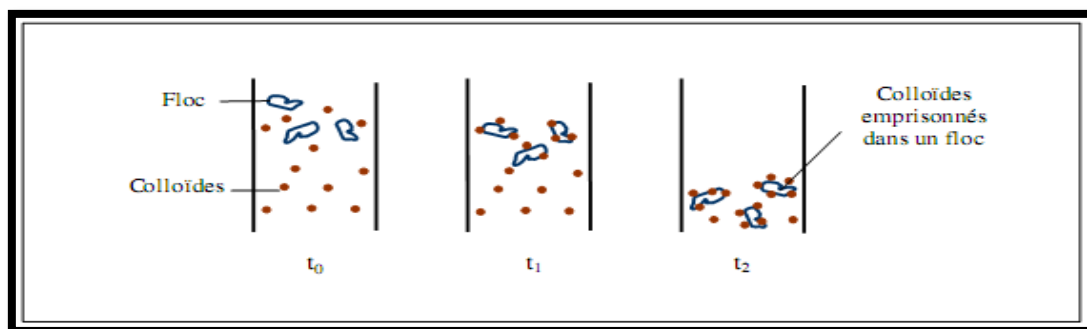
Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut en résulter une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi rentabilisées (Boursali, 2011).



**Figure.4 :** Représentation schématique de la neutralisation des charges (Ezziane, 2007).

### I.4.1.2.3. Emprisonnement des particules dans un précipité

Pour déstabiliser les particules colloïdales. On peut en outre les emprisonner dans une particule de floc. Lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ou  $\text{FeCl}_3$ , on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc constitué de molécules de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou le  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  possède habituellement une charge positive, la présence de certaines anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc. Ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant nécessaire (Desjardins, 1997).

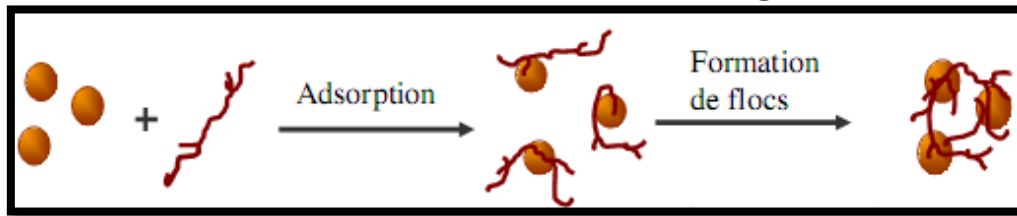


**Figure 5:** Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation (Ezziane, 2007).

### I.4.1.2.4. Absorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères de cationique, non anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale (Boursali, 2011).

Ce phénomène inexplicable à l'aide de la théorie électrique peut toutefois être expliqué par le pontage. Les molécules de polymères très longues constituent des groupes chimiques qui peuvent absorber des particules colloïdales. Les molécules de polymères peuvent ainsi absorber une particule colloïdale à une de ses extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour absorber d'autres particules. On dit alors que les molécules de polymères forment des ponts. Entre les particules colloïdales, il peut y avoir une réstabilisation de la suspension imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule-molécule de polymère ne peut plus par la suite absorber d'autres particules colloïdales, ce qui est encore contraire au but recherché (Desjardins, 1997).



**Figure 6:** Adsorption et pontage à l'aide de polymères (Lakhdi, 2011)

#### I.4.1.3. Coagulants utilisés

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales. Les coagulants sont principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales (Ezziane, 2007).

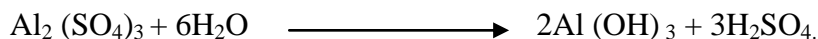
L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer (Lakhdari, 2011).

##### I.4.1.3.1. Sels d'aluminium

###### A. sulfate d'aluminium

Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau (Ezziane, 2007).

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 15 à 100  $\text{g}/\text{m}^3$  (Achour et Guesbaya, 2005). En effet, l'ion aluminium réagit avec l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la forme d'un flocc volumineux.



Il se forme un acide qui réagit avec le bicarbonate présent dans l'eau.

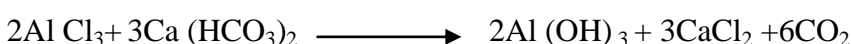


La réaction global est:



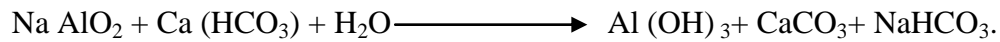
###### A. Chlorure d'aluminium

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40  $\text{g}/\text{m}^3$ . La formule chimique du chlorure d'aluminium est  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .



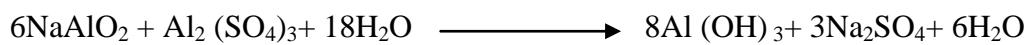
Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 5 et 50  $\text{g}/\text{m}^3$ .

La formule de réactif commercial d'aluminate de sodium est à 50% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (**Ahmedammar et Benhaddou, 2010**).



### B. Addition de sulfate d'aluminium et l'aluminate de sodium

Pour une réaction équimoléculaire, il faut que la dose en aluminate de sodium commercial soit égale à 75% de la dose de sulfate d'alumine commercial. La dose d'aluminate peut cependant être beaucoup plus faible et dans ce cas le réactif ne sert qu'à amorcer la coagulation de sulfate d'alumine (**Ahmedammar et Benhaddou, 2010**).



### C. P.C.B.A

C'est un polychlorure basique d'aluminium dont la formule chimique générale est  $[\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}]_n$  il est sous forme très instable (**Kettab, 1992**).

#### I.4.1.3.2. Sels de fer

En général, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces dérivés, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables (**Ezziane, 2007**).

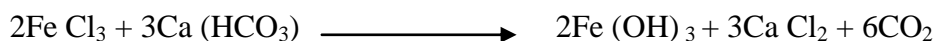
### A. Sulfate ferrique

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferrique sera comprise entre 10 et 50g/m<sup>3</sup>.



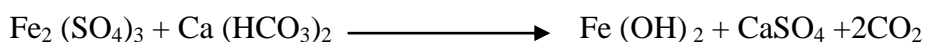
### B. Chlorure ferrique

La dose de chlorure ferrique sera comprise entre 5 et 150g/m<sup>3</sup>, pour la clarification des eaux de surface, et entre 50 et 300g/m<sup>3</sup>, pour la clarification les eaux résiduaires.



### C. Sulfate ferreux

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferreux sera comprise entre 5 et 25g/m<sup>3</sup>.



### I.4.1.3.3. Autres coagulants minéraux

#### A. Sulfate de cuivre

La dose de sulfate de cuivre est comprise entre 5 et 20 g/m<sup>3</sup>. Ce produit est principalement utilisé comme algicide (**Brahmi et Benaissa, 2010**).

#### B. Ozone

L'ozone n'est pas considéré comme un coagulant au sens propre du mot mais il déclenche un mécanisme de coagulation lorsque l'eau présente des complexes liants des matières organiques comme fer ou manganèse (**Degrement, 1972**).

#### C. Chlore

Sur l'eau de mer, le chlore libre est nécessaire pour initier les réactions de coagulation (**Degrement, 1978**).

### I.4.2. Floculation

#### I.4.2.1 .Principe de la floculation

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes des autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité du coagulant.

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules (**Desjardins, 1997**).

Ce phénomène a pour but la formation de floes de taille plus importante. On utilise, pour ce faire des flocculant. Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floes engendré par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floes risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes. (**Hernandez et Melis, 2005**).

L'expression de **Smoluchowsky** donnée par **Hernandez et Melis (2005)** permet de comprendre ce phénomène. La formulation est la suivante :

$$\ln \frac{N}{N_0} = - \frac{4}{\pi} \alpha \Omega Gt$$



Avec :

$N$  et  $N_0$  : nombre de particules colloïdales libres à l'instant  $t$  et  $t_0$ .

$\alpha$  : facteur de fréquence de collision efficace.

$\Omega$  : volume de particules par volume de suspension.

$G$  : gradient de vitesse.

$t$  : temps de contact.

## I.4.2.2. Types de floculations

Pour arriver à la décantation des particules colloïdales coagulées, il est nécessaire de les passer par une opération de floculation. Cette floculation peut être à l'aide d'une de ces deux méthodes suivantes :

- La floculation physique.
- La floculation chimique.

### I.4.2.2.1. Floculation physique

Elle consiste à augmenter par la création d'une différence de vitesse entre les particules colloïdales déstabilisées, la probabilité du contact entre ces particules afin de les agglomérer en floccs denses ensuite de les décanter (**Boursali, 2011**). Deux mécanismes assurent la mobilité des particules : le mouvement brownien (floculation pré cinétique), et le brassage mécanique (floculation ortho cinétique) (**Desjardin, 1999**).

#### A. Floculation péri cinétique

Durant ce type de floculation, le contact entre les particules est causé par le mouvement brownien qui est en fonction de la température de l'eau (**Desjardin, 1999 ; Desjardins, 1997**).

#### B. Floculation ortho cinétique

Ce type de floculation est fonction de l'énergie dissipée dans le fluide. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules. La vitesse di fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par le gradient de vitesse  $G$ . (**Desjardin, 1999**).

### I.4.2. 2.2. Floculation chimique

C'est la floculation qui est provoquée par l'agitation de l'eau. Cette agitation facilite l'agrégation des particules par augmentation de la probabilité de collisions entre ces particules.

Elle consiste en une agglomération par pontage des particules colloïdales déchargées à l'aide de certains produits chimiques appelés floculant.

Lorsque la turbidité de l'eau est très élevée, la floculation peut être réalisée aussi par recirculation des boues déjà formées par le traitement antérieur pour que les particules colloïdales déstabilisées puissent s'accrocher avec ces boues et par conséquent puissent décanter. La floculation dans ce cas est dite par voile de boue. (**Dgrement, 1972**)

### I.4.2.3. Floculants utilisés

Les floculants ou adjuvants de floculation sont dans leur grande majorité des polymères de poids moléculaire très élevé. (**Hernanfdez de Léon, 2006**).

Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter d'avantage la taille et la cohésion des floes (**Colin et al., 2008**).

Les floculations peuvent être de trois natures différentes :

- ✓ Les floculants minéraux.
- ✓ Les floculants organique.
- ✓ Les floculants de synthèse.

- **Floculants 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 floculants connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certaines hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et la sable fin (micro- sable) (**Boursali, 2011**).

- **Floculant organique**

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent voir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides.

- **Floculant de synthèse**

Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire (entre 105 et 107 kda). Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels. Ils sont classés suivant leur iconicité :

- Anionique : conçu à partir de l'acide acrylique.
- Neutre : conçu à partir de poly crylamides.

## Chapitre I Mécanisme de la coagulation- floculation

- Cationique : conçu à partir d'arylamine et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle. (**Boursali, 2011**).

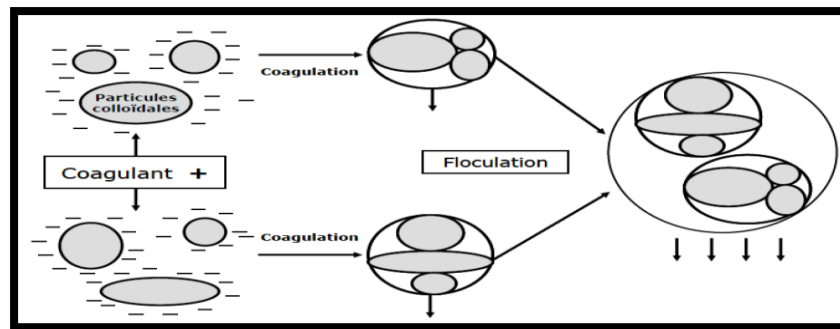
### **I.5. Avantages et inconvénients de la coagulation floculation**

#### **I.5.1. Avantages**

- ✓ L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, il y a donc beaucoup d'équipement déjà existant et une multitude d'agents chimiques disponibles.
- ✓ Les systèmes de coagulation-floculation chimique sont généralement automatisés et demandent donc peu de surveillance et d'entretien. Une main-d'œuvre hautement qualifiée n'est souvent pas nécessaire.
- ✓ Contrairement aux systèmes biologiques, ce système requiert moins d'espace et les coûts d'installation sont moins importants.
- ✓ Une réduction significative est obtenue en termes de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus.
- ✓ Les systèmes chimiques de coagulation-floculation peuvent être conçus afin d'obtenir un produit à valeur ajoutée. (**Colin et al., 2011**).

#### **I.5.2. Inconvénients**

- ✓ Puisqu'il y a plusieurs réactions en compétition dans ce type de système chimique et plusieurs degrés d'alcalinité en plus des autres facteurs influençant le procédé, il est particulièrement difficile d'établir les bons dosages. Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont donc nécessaires pour trouver une dose optimale. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système.
- ✓ Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs, des normes de sécurité doivent être respectées afin que les travailleurs manipulent ces substances avec précaution.
- ✓ La présence d'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme L'Alzheimer et autres pathologies de ce genre. Il est donc toxique pour les écosystèmes. Le fer aussi est toxique pour la faune, cette toxicité génère plusieurs inquiétudes au niveau du grand public.
- ✓ En eau froide le processus est peu efficace.
- ✓ Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux (**Colin et al., 2011**).



**Figure 7** : Mécanisme de Coagulation – Floculation (Héctor, 2006).

### I.6. Influence des paramètres opérationnels sur l'efficacité de la coagulation-floculation

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation (Desjardins, 1997). Ces variables sont liées à la qualité de l'eau à traiter, le pH, la turbidité, la couleur, les sels dissous et la température. D'autres sont liées au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection (Ezziane, 2007).

L'interrelation complexe entre ces facteurs interdit actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants (Desjardins, 1997).

#### I.6.1. Influence du pH

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour la quelle la coagulation sera faite rapidement qui est en fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. En cas où la coagulation produit hors de cette plage optimal, on propose soit à augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité (Desjardins, 1997).

Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont présentées dans le tableau suivant :

Forme prédominante	pH
Al(OH) <sub>3</sub>	5.8 à 7.2
Fe(OH) <sub>3</sub>	5.5 à 8.3

**Tableau I.1** : Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium (Desjardins, 1997).

Une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. (Desjardins, 1997).

### **I.6.2. Influence de la température de l'eau**

La température est un facteur physique important qui joue un rôle non négligeable lors de la coagulation (Bachi et Abdelli, 2005).

En effet, une température basse entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage de pH optimal diminue.

Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer le coagulant en fonction des saisons. (Hernandez et Melis, 2012).

### **I.6.3. Influence de la dose du coagulant**

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alum est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter (Boursali, 2011).

On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale pour une eau donnée, qui après avoir effectués des essais en laboratoire la théorie qui explique le différent mécanisme de déstabilisation des particules colloïdales n'est pas suffisamment développée pour qu'on puisse résoudre un problème aussi complexe. Cette théorie est cependant très utile aux moments de la planification des essais de laboratoire et de l'interprétation des résultats obtenus.

Ainsi, même si le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimal plus large que celle due à l'alumine. De plus, pour un même pH élevé, le sulfate ferrique est moins soluble que l'alum (Cardot, 2005).

### **I.6.4. Influence de la vitesse du mélange**

Le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes (Ezziane, 2007) :

- La première étape c'est l'agitation énergique rapide de courte durée (2 minute au maximum). Elle a pour but de favoriser la dispersion et l'homogénéisation des

-

## Chapitre I Mécanisme de la coagulation- floculation

produits injectés dans la totalité du volume d'eau à traiter : mais une agitation intense peut empêcher l'agrégation des particules.

- La deuxième étape est l'agitation lente (30 à 60) min) et elle a pour but de provoquer les contacts entre les particules pour former des floes décantables (**Bachi et Abdelli, 2005**).

### **I.6.5. Influence de la turbidité**

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation (**Hernandez et Melis, 2008**). Elle est principalement due à la présence de particules de diamètre de 0,2 à 5  $\mu\text{m}$ . Il s'agit donc là de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement (**Desjardins, 1997**).

L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie toute fois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque cette dernière est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile (**Ammar et Benhaddou, 2010**).

### **I.6.6. Influence de la couleur**

Des études ont révélé que 90% des particules responsables de la couleur avaient un diamètre supérieur à 3.5 nm. Ces particules sont donc des particules colloïdales les plus petites que les particules responsables de la turbidité.

La plupart des particules responsables de la couleur possèdent des charges négatives à leur surface. La quantité de coagulant requise est fonction de la couleur initiale : pour un pH optimal, la couleur résiduelle décroît proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de coagulant utilisée. Le pH optimal pour l'élimination de la couleur varie entre 4 et 6. (**Desjardins, 1997**).

# Chapitre II

## **II. Coagulants à base de produits naturels**

### **II.1. Historique des coagulants utilisés dans la clarification de l'eau**

La coagulation est l'un des procédés de traitement de l'eau qui permet l'amélioration de la qualité de l'eau traitée. Sa mise en œuvre nécessite l'utilisation de coagulants, dont les plus utilisés actuellement sont les coagulants inorganiques. Ils permettent en effet d'atteindre les objectifs de traitement, mais présentent des inconvénients. L'alun est le coagulant inorganique le plus utilisé, mais son utilisation peut nécessiter en eau potable, un ajustement du pH et entraîne aussi une consommation de l'alcalinité (**Crittenden, 2012**) qui a pour conséquence des coûts d'opération supplémentaires. En outre, en hiver son efficacité est limitée par les températures qui sont basses (<5 °C) (**Mamchenko et al., 2011**). Afin d'y remédier, la dose de traitement peut être augmentée, mais il y a alors un risque de précipitation dans le réseau de distribution (**Srinivasan et al., 1999**).

La coagulation et la floculation pourraient être réalisées à l'aide de coagulants naturels ou de coagulants à base de produits chimiques. Parmi les deux, les coagulants naturels sont reconnus depuis longtemps pour leur application à la purification de l'eau traditionnelle, comme le montrent divers documents anciens.

Avec l'invasion des coagulants chimiques, les méthodes traditionnelles de clarification de l'eau utilisant des coagulants naturels ne sont plus utilisées, sauf dans les pays ruraux et les pays en développement qui n'ont qu'un accès limité à ces produits chimiques. Cela a marqué le début d'un changement de paradigme vers la dépendance des coagulants chimiques dans le traitement des eaux troubles (**Sook Yan Choy et al., 2014**).

Les extraits naturels de plantes ont été utilisés pour purifier l'eau pendant de nombreux siècles et l'inscription des Égyptiens a fourni les connaissances les plus anciennes sur les matériaux végétaux utilisés pour le traitement des eaux, remontant peut-être à 2000 avJ. (**Moa et al., 2014**).

Les plantes indigènes ont traditionnellement été utilisées pour améliorer la qualité de l'eau dans de nombreux pays d'Afrique et d'Amérique latine, à savoir. Les graines de *Moringa* utilisées au Guatemala, les graines de pêche et les graines de haricots sont utilisées en Bolivie comme agents coagulants pour clarifier l'eau (**Yong, 2010**).



### II.2. Aperçu des coagulants / floculant d'origine végétale et de leur procédure de préparation

Depuis longtemps, les bio coagulants et bio floculant dérivés des plantes ont été étudiés et souvent exploités dans la purification de l'eau douce ( **Diaz et al., 1999**). De plus, au cours des dernière années, d'autres chercheurs ont exploré l'activité de coagulation-floculation de divers parties de plantes et d'extraits dérivés de graines, de feuilles, de tige, les coques et les graine de fruits ( **Ngboulua et al., 2016**) Les coagulants / floculant d'origine végétale ont été préparés, comme suit :

- Les parties de plante ont d'abord été tranchées ou pelées, puis séchées au four ou au soleil et broyé pour obtenir une poudre fine facilement utilisable.
- Pour une utilisation ultérieure, la poudre séchée peut être soit dissoute dans une solution saline (NaCl, KCl, MgCl...ect) ou dans des solvants organiques (acétone, alcool) pour former un filtrage mucilagineux ( **Picheler et al., 2012**).

De point de vue écologique et pour des raisons environnementaux, pour extraire les coagulants naturels, on utilise uniquement de l'eau ou des solutions salées. L'utilisation des solutions salées est très recommandée par rapport à l'utilisation des solvants organiques afin de minimiser les charges environnementales. Comme les filtrats et les poudres peuvent enfermer des éléments riches en constituants organique susceptibles d'augmenter la charge des eaux, un processus de purification supplémentaire est donc nécessaire. Ce traitement ultérieur est généralement effectué via un schéma de précipitation ( **Bouaouine et al., 2019**) ou de lyophilisation ( **Khadhraoui et al., 2019**).

De nos jours, l'exploration d'extraits de plantes pour le traitement de l'eau doit être considérée comme une grande voie verte et durable visant un comportement écologique et la préservation de la santé humaine. En effet, plusieurs plantes ont donc été testées sous graines ou sous d'autre formes (balle, moelle, noyaux, feuilles) pour leur performance de coagulation /floculation en vers les matières en suspension, la demande chimique en oxygène (DCO) et la turbidité pour l'élimination de divers types de polluants des eaux douces et des eaux usées. Parmi les nombreuses plantes étudiées dans le monde et pour fournir une discussion plus concise, l'accent sera mis Ci- après sur les modèles végétales les plus utilisés (*Moringa oleifera*, *Tanfloc*, *Noix de coco*, *Graines d'arachides*, *Le pois aux yeux noirs*, *Le millet perlé*, *okra (Abelmoschus esculentus)*, *Graines de mangue*), couramment utilisés pour le traitement des eaux trouble, des eaux douces et des eaux usées. Ces modèles végétales sont utilisées soit sous forme de mucilage ou de poudre ( **Othmani, 2019**).

### II.2.1. *Moringa Oleifera*

*Moringa oleifera* (**Figure 8**) est une plante tropicale originaire Indienne, appartenant à la famille des moringacées. Depuis longtemps, les semences *Moringa Oleifera* sont connues d'un grand pouvoir en traitement des eaux douces. Elles ont été exploitées comme bio-coagulant efficace. Ces graines contiennent environ 34% de protéines, 15% de glucides et 15.5% de lipides. Après la préparation de la poudre végétale, cette dernière est utilisée soit directement comme coagulant (**Sethupthy, 2015**), soit elle subit une extraction des protéines actives en dissolvant la poudre dans l'eau distillée, dans des solutions salines tel que le NaCl, KCl ou des solvants organique (acétone, alcool) (**Santos et al., 2012 ; Al-Gheethi et al., 2017**).

(**Othmani et al., 2019**) ont constaté que le *Moringa Oleifera* présentait une efficacité d'élimination de la turbidité élevée (84%) dépassant de loin le taux trouvée dans le cas du Fe SO<sub>4</sub> (59%), avec une élimination de la DCO de 47.2%. On utilisant de la poudre de *Moringa Oleifera* avec différentes tailles de particules, (**Pallavi et Mahesh, 2013**) ont constaté que la particule la plus fine provoquerait une baisse considérable des matières colloïdales. De même, ont montré que le *Moringa Oleifera* a une grande efficacité en coagulation / floculation envers un large éventail de polluants de l'eau (**Othmani et al., 2020**).



**Figure 8:** La plante de *Moringa Oleifera*.

### II.2.2. Gombo

Le gombo (*Abelmoschus esculentus*) est une plante appartenant à la famille des Malvacées, bien connue sous le nom de Gnawia ou Gnaouia en arabe algérien (**figure 9**). Il est originaire de l'Afrique et se cultive maintenant dans le monde entier.

(**Freitas et al., 2015**) en utilisant diverses techniques d'extraction de bio-coagulants à partir du gombo, ont rapporté que l'utilisation de cette ressource naturelle comme floculant

améliorait le processus de coagulation –floculation. En effet, en traitant une eau potable avec un flocculant à base de gombo, ces auteurs ont observé une baisse significative de la turbidité. Les recherches menées par (Fahmi *et al.*, 2014) sur les propriétés coagulante des parties de gombo (feuilles, gousses, et tiges), ont montré que les graines de gombo sont considérées comme la partie active potentielle en tant que coagulant pour l'élimination de la turbidité par rapport aux autres parties de plante.



**Figure 9 :** Gousses d'Okra (gombo).

### II.2.3. Graines de Mangue

La mangue (*Mangifera Indica*) est un fruit tropical appartenant aux familles des *anacardiacées* (**Figure 10**) . De nombreuses études ont montré que les graines de Mangue ont une importante activité coagulante.

En utilisant les graines de mangues séchées et broyées en traitement des eaux par coagulation-floculation ont montré une réduction de la demande chimique en oxygène (DCO) et des solides en suspension de 45% et 56% respectivement qui sont nettement supérieurs aux rendements du traitement conventionnel. Les boues issues de ces traitements primaires peuvent être utilisées comme stabilisant et fertilisant en agriculture. (**Dange et lad, 2015**)

la poudre de graines de mangue d'une granulométrie de 355  $\mu\text{m}$  permettait une réduction de la couleur, de la demande chimique en oxygène (DCO), de la demande biologique en oxygène (DBO), la matière dissoute totale et la turbidité d'un effluent d'huile de palme de 91%, 82%, 83% et 93% respectivement. Ce procédé est non seulement économique et il permet également une bonne protection de l'environnement. ( **Ullah et Rathnasiri, 2015**).



**Figure 10** : Poudre des graines de mangue.

#### II.2.4. Tanfloc

Le Tanfloc est un produit commercialisé sous forme liquide et solide par la compagnie brésilienne TANAC. Il est composé essentiellement de tanin condensé d'*Acacia mearnsii* (une plante tropicale cultivée au Brésil). Le Tanfloc est obtenu selon la réaction de Mannich qui a pour objectif de polymériser le tanin et d'obtenir un coagulant cationique (**Graham et al., 2008**).

Le *Tanfloc*, présente un potentiel de réduction de la turbidité comparable à l'alun pour la production d'eau potable, à des doses massiques inférieures ou équivalentes à l'alun (mg alun sec et mg *Tanfloc*) (**Graham et al., 2008 ; Bongiovani et al., 2016**). Cependant tout comme l'alun, la performance du *Tanfloc* est influencée par la variation du pH. En effet lorsque le pH est acide ( $\leq 6$ ), la performance du *Tanfloc* est meilleure (**Graham et al., 2008**) qu'à pH basique ( $\text{pH} > 6$ ). Toutefois, les performances dans les conditions neutre à basique peuvent être améliorées par l'augmentation de la dose du coagulant. L'utilisation du Tanfloc détériorerait la qualité de l'eau traitée, par un apport de DCO. (**Graham et al., 2009**).

#### II.2.5. Millet perlé

*Pennisetum glaucum* (**Figure 11**) est une céréale importante récoltée des régions semi-arides du monde, principalement en Asie et en Afrique (**Manning et al., 2011**). Comme indiqué dans littérature, les coagulants d'origine végétale sont généralement des protéines ou des polysaccharides (**Yin, 2015**). Le millet perlé contient une quantité de protéines (11,6 g / 100 g) et de polysaccharides ce qui en fait un coagulant potentiel pour la purification de l'eau. D'après, la poudre du millet permet une élimination maximale de la turbidité avoisinant les 99,2% (Turbidité résiduelle  $< 2$  NTU) à  $\text{pH} = 2$  et une dose de 80 mg / L. (**Hussain et al., 2019**).

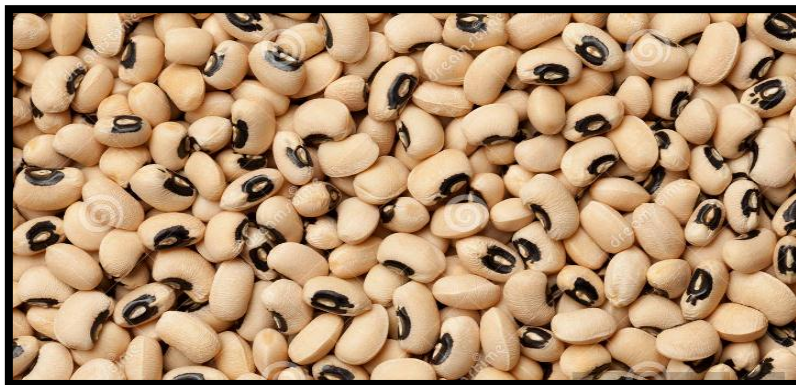


**Figure 11** : Millet perlé (*Pennisetum glaucum*).

#### II.2.6. Pois à yeux noirs

*Vigna unguiculata subsp Unguiculata* (**Figure 12**) est cultivé dans toutes les régions tropicales et les climats tempérés (**Ba et al., 2004**). Les graines de pois aux yeux noirs peuvent contenir jusqu'à 25% de protéines et une quantité significative de polysaccharides essentiellement de l'amidon (**Rangel et al., 2003**).

Les travaux de (**Hussain et al., 2019**), la poudre des pois à yeux noirs permet une réduction maximale de la turbidité de 97,6% (turbidité résiduelle <5 NTU) à pH = 4 à une dose de 20 mg / L. (**Hussain et al., 2019**).



**Figure12** : Pois à yeux noirs.

#### II.2.7. *Salvia hispanica*

L'évaluation de la réduction de la DCO et de la turbidité des eaux usées par *Salvia hispanica* (**figure 13**) comme coagulant naturel a été réalisée par (**Tawakkoly et al., 2019**). En effet, les expériences de coagulation-floculation par Jar teste en utilisant le mucilage de *Salvia hispanica* ont montré que Le rendement d'élimination de la DCO et de la turbidité étaient faibles à des concentrations de coagulant <10 g / L. La réduction de la DCO et l'élimination de la turbidité ont atteints les 39,76% et 62,4%, respectivement dans des

conditions optimales avec un dosage de coagulant de 40 g / L, pH 7 et temps de contact de 45 min. Ces résultats indiquent que *Salvia hispanica* peut être utilisé comme bio-coagulant peu coûteux pour le traitement des eaux usées (Tawakkoly et al ., 2019 ; Sze YinCheng et al ., 2020).



**Figure 13 :** *Salvia hispanica*.

### II.2.8. Graines d'arachides

Selon l'étude de ( Birima, 2013) réalisée sur le pouvoir de coagulation-floculation des graines d'arachides (**figure 14**) obtenues au soudan. Cet auteur a montré que les graines broyées en poudre moyennement fine ont un fort potentiel de coagulation de l'eau trouble avec une turbidité initial 200 NTU. Ainsi, l'élimination de la turbidité a atteint jusqu'à 93.2%.

L'extrait réalisé avec le NaCl a montré une amélioration significative du pouvoir coagulant. Le PC-NaCl extrait par une solution de NaCl à 6 mol/l pourrait éliminer efficacement 92% de la turbidité initiale de 200 NTU en utilisant seulement 20 mg/l, tandis que le PC-DW (extrait à l'eau distillée) pourrait éliminer seulement 31.5% de la turbidité de la même eau synthétique avec le même dosage de coagulant. Néanmoins, la turbidité résiduelle a diminué avec l'augmentation de la concentration de NaCl, et la relation s'est avérée être une courbe polynomiale du second ordre avec un  $R^2 = 0.9312$ . La solution de  $KNO_3$ , KCl,  $NH_4 Cl$  et  $NaNO_3$  sont également avérées être de bons solvants pour extraire le composant coagulants actif des graines d'arachides, conduisant à une amélioration de l'activité de coagulation, sans grande différence avec la solution NaCl en termes d'efficacité. (Birima, 2013).



**Figure 14 :** Graine d'arachide.

### II.2.9.Noix de coco

L'étude du pouvoir coagulant des différentes parties du noix de coco (**figure 15**) a montré que les différents produits (lait de coco, l'eau de coco et les tourteaux de coco (**Folkard, 1996**) ont des efficacités différentes en traitement des eaux par coagulation-floculation. Les tourteaux de coco sont peu efficaces pour la clarification des eaux de turbidités élevées, le pouvoir coagulant de l'eau de coco est inférieur à celui du lait de coco, le lait de coco réduit mieux la charge de pollution fécale des eaux brutes que les graines de *Moringa oleifera* (**Fatombi et al., 2007 ; Martine et al., 2012**).



**Figure 15 :** Noix de coco.

### II.2.11. Spirogyra rhizopus

Les espèces de *Spirogyra* sont des algues vertes filamenteux isogames et se présentent sous la forme d'un fil allongé ou d'un filament composé de cellules cylindriques (**Mohan, 2002**). La capacité de décoloration des eaux usées par *S. rhizopus* a été étudiée par (**Ozer et al., 2006**). La matière végétale a été lavée deux fois avec de l'eau du robinet, puis séchée et broyée, la poudre ainsi obtenu a été testée pour ces capacités à décolorer les eaux usées. L'élimination presque complète de la couleur des eaux usées synthétiques a été obtenue en utilisant *S. rhizopus* résultant de la bio coagulation et de la bio sorption. (**Ozer et al., 2006**).

# Chapitre III



### **III. Comparaison entre les coagulants naturels et coagulants synthétique**

#### **III.1. Introduction**

Pour les procédés de traitement des eaux, les coagulants jouent un rôle très important dans la limitation de la turbidité de l'eau et de l'élimination de divers polluants. En effet, Les coagulants sont divisés deux grands groupes à savoir : les coagulants synthétiques et coagulants naturels.

Les coagulants naturels comprennent des extraits de micro-organismes, des produits d'origine animale ou végétale. D'autre part, les coagulants industriels comprennent le sulfate d'aluminium (alum), Chlorure d'aluminium, aluminat de sodium, sulfate ferreux, sulfate ferreux, chlorure ferrique, fer Sulfate de chlorure. (Ugwu et al., 2017).

#### **III.2. Coagulants naturels**

L'utilisation des coagulants naturels dans la coagulation-floculation a été étudiée et mise en pratique vers la fin des années 50 (Kawa mura et al., 1976). Les coagulants organiques peuvent être caractérisés par la nature chimique des monomères dont ils sont constitués, le poids moléculaire (En général 105 à 107 g/mol) et le type de charge électrique qu'ils portent (neutre, négatif ou positif). Ils peuvent être obtenus par homopolymérisation (un monomère) ou par copolymérisation (deux monomères). Les coagulants naturels peuvent être fabriqués à partir de graines, de feuilles et racines de certaines plantes (Kawamura, 1996).

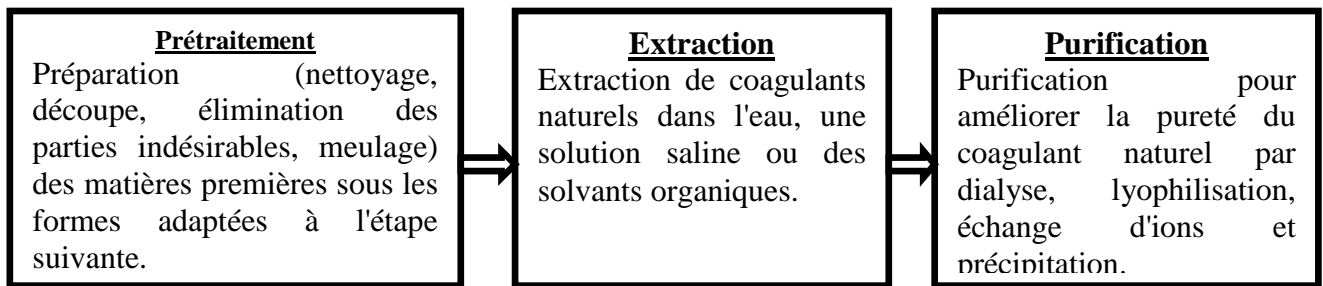
##### **III.2.1. Obtention des coagulants naturels**

En général, la majorité des coagulants naturels peuvent être classés en deux groupes selon les principaux composés à activité de coagulation: les polysaccharides et les protéines (Choy et al., 2014 ; Shamsnejati et al., 2015).

Des exemples du premier groupe sont le chitosane, l'amidon et le mucilage, tandis que pour les coagulants naturels à base de protéines, ils proviennent généralement de plantes (Ex : *Moringa*). La présence des groupes fonctionnels hydroxyle et amino sur ces composés contribue à la capacité de coagulation. (Ang et Mohammad, 2020).

Cette aptitude à la coagulation peut être attribuée à la présence de molécules naturelles, qui sont extraits par diverses méthodes et sources simples (en particulier les coagulants à base de plantes où les composés peuvent différer en fonction des conditions de croissance). De plus, il est impératif que les impuretés non coagulantes soient également incluses dans les coagulants naturels extraits si aucune purification supplémentaire n'est effectuée (Wei Lun Ang et al., 2020)

## Chapitre III Comparaison entre les coagulants naturels et coagulants synthétiques



**Figure 16** : Les étapes de production d'un bio-coagulant à partir des plantes (Yin, 2010).

La présence d'impuretés qui n'ont pas de capacité de coagulation affectera gravement l'efficacité de la coagulation, car la littérature a montré que ces impuretés contribuent à la matière organique dissoute et réduisent ainsi la qualité de l'eau traitée (Ding et al., 2018 ; Gidde et al., 2012) . Cela conduit à des incertitudes dans le contrôle de la qualité car les performances des coagulants naturels peuvent varier en fonction des sources et des méthodes d'extraction. Ainsi, la qualité et l'efficacité variables des coagulants naturels sont les principaux éléments déterminant les performances des bio-coagulants (Ang et Mohammad., 2020).

### **III.2.2.Durabilité des coagulants naturels**

L'utilisation de coagulants naturels répondait à certains critères de durabilité et certains autres aspects n'ont pas pu être vérifiés en raison du manque de données. Les principales préoccupations des normes techniques sont les aspects de qualité, de stabilité et de sécurité des coagulants naturels, qui contrôleront la cohérence des performances et la viabilité du processus de coagulation.

D'un point de vue environnemental, les déchets secondaires après le processus de coagulation et pendant les processus de synthèse / extraction ainsi que les résidus naturels de coagulation dans l'eau traitée peuvent constituer un problème de sécurité pour l'environnement et les consommateurs. Dans un souci de durabilité économique, les coûts encourus ou économisés grâce à l'utilisation de coagulants naturels ont reçu des critiques mitigées. Une étude économique plus détaillée est nécessaire pour clarifier la confusion résultant des diverses spéculations

En ce qui concerne la durabilité sociale, la faible acceptation des coagulants naturels par l'industrie peut être attribuée à une carence en applications expérimentales ou réelles et un manque de soutien réglementaire de la part des agences gouvernementales.

D'une part, l'application spécialisée de coagulants naturels dans les zones rurales ou confrontées à une pénurie économique d'eau peut contribuer à améliorer les conditions de vie de ces personnes. En général, la clarification et la justification des préoccupations ci-dessus peuvent

## Chapitre III Comparaison entre les coagulants naturels et coagulants synthétiques établir le potentiel d'utilisation durable des coagulants dans les processus de traitement de l'eau et des eaux usées. (Ang et Mohammad, 2020).

### **III.3. Coagulants synthétiques**

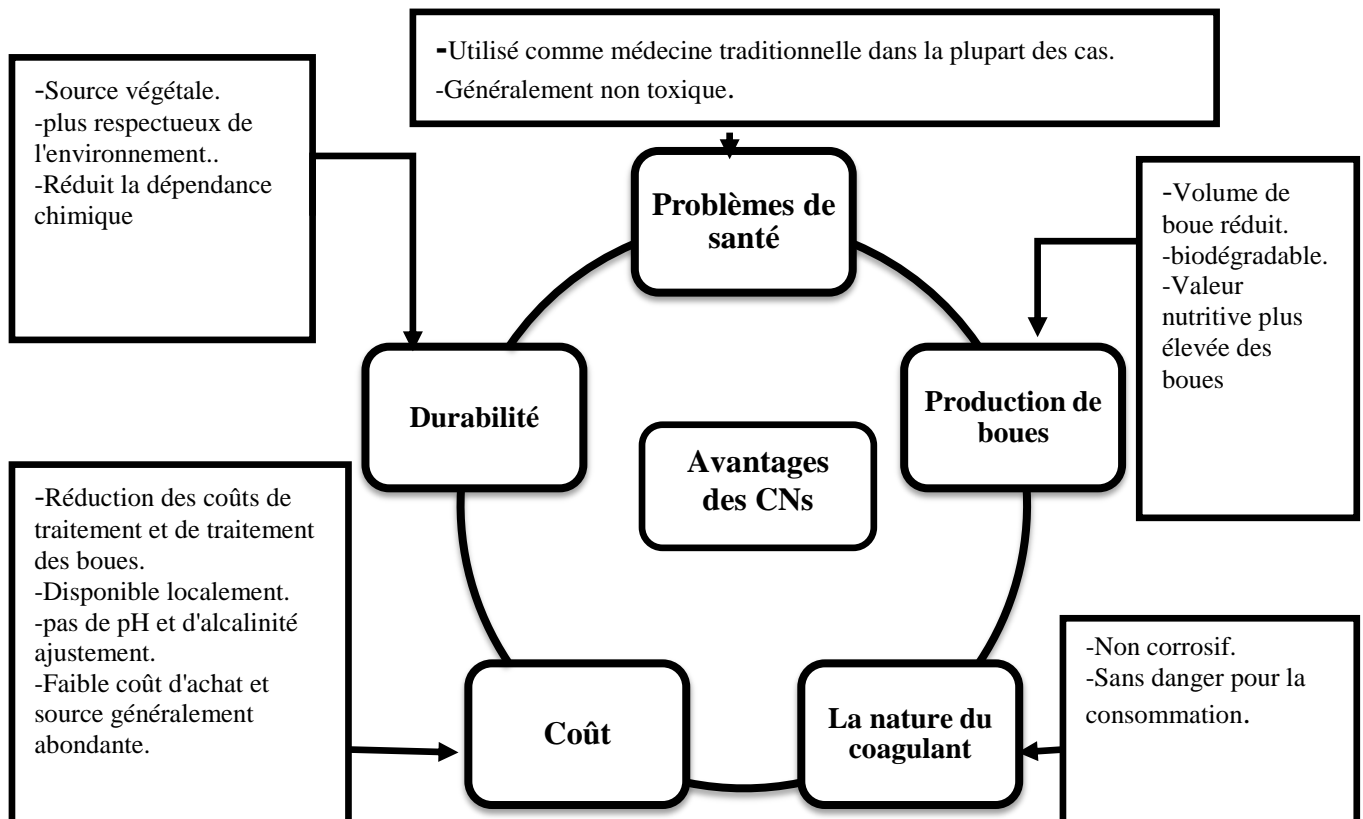
Les polymères organiques ou synthétiques combinés avec de l'alun sont devenues populaires en tant que produits chimiques pour le traitement de l'eau. D'autre part, la quantité de ces polymères synthétiques est limitée et ils sont associés à certains risques. Ils présentent un degré de sélectivité pour un certain type de colloïdes dans les eaux usées et ils peuvent être contaminés par des monomères ou d'autres composés chimiques pendant leur fabrication et réagir avec certains produits chimiques ajoutés pendant le traitement de l'eau pour former des sous-produits indésirables. Les polymères synthétiques augmentent la charge de l'eau et peuvent ne pas être complètement éliminés une fois que l'eau est envoyée au consommateur (Mallevide et al., 1984). Le coût unitaire des polymères est plus élevé que l'alun et le chlorure ferrique, et la plupart d'entre eux ne sont pas biodégradables (Kawamura, 1991). De plus, il existe une incertitude quant à leur effet toxique à long terme. Ainsi que leur effet cancérigène et mutagène chez l'homme. La présence de polyacrylamides résiduels dans l'eau traitée peut provoquer des perturbations neurologiques chez l'homme (Kawamura, 1991).

### **III.4. Comparaison entre les coagulants naturels et les coagulants synthétiques**

- Les coagulants naturels à base de plantes sont sans danger, contrairement aux coagulants chimiques.
- Il a été constaté que les coagulants naturels génèrent non seulement un volume de boues beaucoup plus petit, jusqu'à cinq fois inférieur, mais aussi une valeur nutritionnelle des boues plus élevée.
- Les extraits de plantes brutes sont souvent disponibles localement et constituent donc une alternative peu coûteuse aux coagulants chimiques (Sook Yan Choy et al., 2014).
- les coagulants naturels ne consomment pas d'alcalinité contrairement à l'alun.
- Les coagulants naturels sont également non corrosifs.
- L'utilisation de produits naturels réduit également la formation de désinfectants qui détériorent la santé humaine et leurs sous-produits sont organiques et biodégradables et réduisent les risques de manipulation.
- les coagulants d'origine végétale une option plus durable.

### Chapitre III Comparaison entre les coagulants naturels et coagulants synthétiques

- Les polymères naturels sont généralement non toxiques, mais les polymères synthétiques sont plus efficaces en raison de la possibilité de contrôler leurs propriétés telles que le nombre et le type d'unités chargées et le poids moléculaire.
- les polymères naturels ont une durée de conservation plus courte que les polymères synthétiques.
- l'utilisation de coagulants à base de plantes engendre une augmentation substantielle de la charge organique de l'eau traitée.
- Les coagulants chimiques minimisent les variations de pH et la conductivité.



**Figure 17:** Avantages des coagulants naturels par rapport aux coagulants synthétiques d'après Choy et al (2014).

Murcott et Harleman (1993) ont constaté que le chitosane agit efficacement à une gamme de pH étroite, comme d'autres polymères cationiques. Une surdose de chitosane aura un effet négatif sur la coagulation. Lorsqu'un sel métallique est utilisé en tant que coagulant primaire.

Les adsorptions sont très rapides et parfois même de l'ordre de 0,01 seconde. Quand les polymères cationiques comme le chitosane est ajoutés à l'eau, les réactions hydrolytiques n'ont pas eu lieu, le taux d'adsorption colloïdale est beaucoup plus lent. Le temps de mélange requis est compris entre 2 et 5 secondes (Ang et al., 2020).

## Chapitre III Comparaison entre les coagulants naturels et coagulants synthétiques

### **III.5. Etude technico-économiques des coagulants naturels**

L'utilisation de coagulants naturels dérivés de sources végétales représente un développement essentiel de la technologie environnementale durable «de base», car elle se concentre sur l'amélioration de la qualité de la vie des communautés sous-développées (Yin, 2010). Les coagulants polymères à base de plantes sont considérés comme «verts» car ils répondent aux exigences des technologies vertes telles que la durabilité, ils répondent également aux besoins de la société de manière à pouvoir assurer un développement durable. À l'ère du changement climatique, de l'épuisement des ressources naturelles de la planète et de la dégradation généralisée de l'environnement, l'application de ces coagulants dans les technologies de traitement des eaux usées est un effort vital et peut contribuer à faire progresser les initiatives mondiales de développement durable (Freitas et al., 2018).

Dans les sections précédentes, il a été expliqué que l'utilisation de coagulants à base de plantes procurait des avantages environnementaux et de nombreuses études en laboratoire ont prouvé qu'elles étaient techniquement réalisables pour une utilisation à petite échelle. Néanmoins, en termes de commercialisation, l'essentiel est que le système dépendra toujours principalement de la capacité du système de production à maintenir des performances de traitement similaires à un coût comparable (ou réduit) avec les coagulants naturels par rapport aux coagulants chimiques classiques (Yin, 2010). En effet, ils présentent de nombreux avantages sur les plans économique, social et environnemental par rapport aux coagulants chimiques (Rakotoniriana et al., 2015). Quelques rapports anecdotiques indiquent les coûts des matières premières des coagulants, mais les comparaisons directes en termes de types de coagulants, d'étapes de traitement et de prix dans différentes régions géographiques sont une tâche très complexe compte tenu des taux de change, du facteur d'inflation et de la précision des résultats.

Une étude approfondie réalisée par (Yin, 2010) révèle que l'analyse des coûts de *M. oléifère* a été privilégiée par rapport aux autres coagulants naturels, ce qui n'est pas surprenant compte tenu des avantages bien connus de la plante. Cette étude affirme que la graine de *Morinaga* contient 40% en poids d'huile et que son tourteau subsiste après l'extraction de l'huile contenant toujours le coagulant actif. Au Malawi, pays d'Afrique, ce résidu de tourteaux peut être obtenu à un coût net nul en tant que sous-produit. En 1993, le prix d'achat des semences de *Morinaga* était de 75 MK par 1000 m<sup>3</sup> d'eau traitée (10,07 MK = 1 livre sterling en mars 1993) par rapport au coût de l'alun et du carbonate de soude, qui est de 501 MK par 1000 m<sup>3</sup> d'eau traitée. Cela implique la rentabilité de l'utilisation du coagulant naturel en tant que technologie simple. Toutefois, cet avantage n'est pas perceptible dans différents pays. Par exemple, en Malaisie,

### Chapitre III Comparaison entre les coagulants naturels et coagulants synthétiques

Où le coût de la culture pour produire 1 kg (3 400 semences) de *Moringa oleifère* est d'environ 2 USD, soit le double du coût de l'alun, qui s'élève à 1 USD par kg. Bien que les valeurs de calcul des coûts présentées se limitent exclusivement au *Moringa*, il peut toujours être utilisé pour fournir une indication de base du calcul des coûts pour les autres coagulants naturels en général, ceux-ci semblant inexistant.

**Conclusion**

## Conclusion

---

### **Conclusion**

Le présent mémoire est une revue bibliographique traitant l'utilisation des coagulants naturels essentiellement à base d'extraits de plantes en traitement des eaux potables par coagulation-floculation.

Bien que, les progrès actuels des coagulants naturels sont assez encourageants, les perspectives de l'évaluation de la durabilité ont montré que l'acceptation et la commercialisation des coagulants naturels sont entravées par deux défis principaux : l'aspect pratique et la faisabilité d'une application réelle sur le terrain. Des recherches futures axées sur ces questions peuvent aider à clarifier les incertitudes entourant les coagulants naturels et en même temps, poussent l'industrie de l'eau à devenir plus durable.



# Références bibliographiques

### Références bibliographiques

- **Achour S ., Guesbaya N. (2005) :** Coagulation –floculation par le sulfate d’aluminium de composés organique phénoliques et de substances humiques, *Larhyss Journal ISSN .1112-3680. n° 04. pp.153-168.*
- **Ang W, Mohammad A. W. (2020):** State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production, Vol 262, pp 121-267* .<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>.
- **Ozer A., Akkaya G., Turabik M. (2006):** The removal of Acid Red 274 from wastewater. Combined bio-sorption and bio-coagulation with *Spirogyra rhizopus*, *Days and pigment* .vol 71, lusse 2, pp 83-89.
- **Ba F .S ., Pasquet R.S., Gepts P. (2004) :** Genetic diversity in cowpea (*Vigna unguiculata* (L)) Walp. as revealed by RAPD markers, *Genet Resour Crops* . vol 51, pp 539–550.
- **Tawakkoly B., Alizadehdakhel A., Dorosti F. (2019):** Evaluation of COD and turbidity removal from compost leachate wastewater using *Salvia hispanica* as a natural coagulant, *Industrial Crops & Products*. vol 137 , pp 323–331.
- **Bachi M., Abdelli R. (2005) :** l’influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation-floculation et décantation, Mémoire pour l’obtention du diplôme DEUA en hydraulique, Département d’hydraulique, Faculté de la science de l’ingénieur, Université AbdouBekrlkaid, Tlemcen, juillet 2005.
- **Birima A. H ., Hammad H. A., Desa M .N .M., Muda1 Z. C. (2013) :** Extraction of natural coagulant from peanut seeds for treatment of turbid water. Series, *Earth and Environmental Science*.vol 16 , doi:10.1088/1755-1315/16/1/012065.
- **Bongiovani., Carvalho M., Camacho F. P., Coldebella P. F., Cardoso Valverde K., Nishi L., Bergamasco R. (2016):** Removal of natural organic matter and trihalomethane minimization by coagulation/flocculation/filtration using natural tannin. Tannin, *Desalination and Water Treatment*. vol 57, Lusse 12, pp 5406-5415.
- **Boursali I. (2011) :** Etude expérimentale de la coagulation –floculation par le sulfate ferrique et la chlorure ferrique des matières en suspension, Mémoire d’ingénieur d’états en géologie, Département des Sciences de la terre et de l’univers, Faculté des Sciences de la nature et de la vie et des sciences de la l’univers, Université Abdou Bekr belkaid, Tlemcen.
- **Othmani B., Graça Rasteiro M., Khadhraoui M. (2020) :** Toward green technology. a review on some efficient model plant-based coagulants/flocculants, *Clean Technologies and Environmental Policy* ,/doi.org/10.1007/s10098-020-01858-3.
- **Brahimi Z ., Benaissa N. (2010) :** Influence de la coagulation floculation et décantation sur la qualité des eaux épurée de la station de Ain El Houtz , Mémoire d’ingénieur d’être en

## Références bibliographiques

- hydraulique ,Département d'hydraulique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Abou Bekr belkaid. Tlemcen.
- **Cardot G. (2005)** :Les traitements de l'eau Procédés physico-chimique et biologiques cours et problèmes résolus, *Edition Ellipse 200*, Génie de l'environnement.
  - **Chethana M., Sorokhaibam L .G., Bhandari V. M., Ranade V. V. Raja S .(2015)**: Application of bio-coagulant *A canthocereus tetragons* (Triangle cactus) in dye wastewater treatment , *Journal of Environmental Research and Development.*, vol 9 , lusse 3.
  - **Choy S.Y., Prasad K.M.N., Wu T.Y., Raghunandan M.E., Ramanan R.N. (2014)**: Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *J. Environ. Sci. (China), Journal of Environmental sciences.* vol 26, pp 2178-2189, <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>.
  - **Yin ch.Y, (2010)** : Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment, *Process Biochemistry* .vol 45, lusse 9, pp 1437-1444.
  - **Colin L. et al. (2008)** : Evaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles, Université du Québec. Ecole de technologie supérieure, *J. Int. Environnemental Application & Science*, Vol 3, lusse 4, pp 247-257.
  - **Cummings., Thomas. F., et Reid Shelton J. (1960)** : Mannich Reaction Mechanisms, *The Journal of Organic Chemistry*, Vol 25, Lusse 3 , pp 419-423.
  - **Dange .P.S., Lad .R.k.(2015)** : A treatment of sewage using natural coagulant., *Int J Emerg Technol Appl Eng Technol Sci (IJ-ETA-ETS) Special issue* , PP 58–64.
  - **Degrement. (1972)** : Mémoire technique de l'eau, Lavoisier, Paris.
  - **Degrement. (1978)** : Mémoire technique de l'eau , Lavoisier, paris.
  - **Degrement. (2005)** : Mémoire technique de l'eau, Tome I , Lavoisier, Paris.
  - **Dejardins C. (1999)** : Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire pour l'obtention du diplôme de maitrise et sciences appliquées, Ecole polytechnique de Montréal.Canada.
  - **Deltalab . (2020)** : Bultin technique du pilote de coagulation- floculation et décantation (TE 600).
  - **Desjardins R. (1997)** : Traitement des eaux .Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition revue et améliorée.

## Références bibliographiques

---

- **Ding S., Chu,W., Bond, T., Cao, Z., Xu, B., Gao, N., (2018)** : Contribution of amide-based coagulant polyacrylamide as precursors of halo acetamides and other disinfection by products, *J Chem. Eng*, vol 350 , pp 356-363. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.002>
- **Ezziane S. (2007)** : Traitement des eaux de rejet de l'unité CERAMIT (TENES) , Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et science de l'ingénieur, Université Hassiba Ben Bouali. Chlef.<http://www.ing-dz.com>.
- **Fahmi M.R., Hamidin N., Abidin C.Z.A., Fazara U., Ali M.D., Hatim M.D. (2014)**: .Performance evaluation of okra (*Abelmoschus esculentus*) as coagulant for turbidity removal in water treatment, Key Eng Mater. For freshwater and wastewater remediation. Most popular investigated bio-coagulants/ bio-flocculants. (Okra (*Abelmoschus esculentus*), Mango seeds (*Mangifera indica*), *Moringa oleifera* (MO)). ,VOL 594–595, PP 226–230
- **Freitas T.K.F.S., Almeida C.A., Manholer D. D., Geraldino H.C.L., Ferreira de Souza M.T ., Garcia J.C. ( 2018)**: Review of Utilization Plant-Based Coagulants as Alternatives to Textile Wastewater Treatment. Doi [10.1007/978-981-10-4780-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4780-0_2).
- **Freitas T.K.F.S., Oliveira V.M., De Souza M.T.F, Geraldino HCL, Almeida VC, Fávoro SL, Garcia JC (2015)**: Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using Okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant, *Indus Crops and Products*, vol 76 , pp 538–544.
- **Hussain G., Haydar S .(2019)**: Exploring potential of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and black-eyed pea(*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata*) as bio-coagulants for water treatment.page *.Desalination and Water Treatment* .vol 143 . pp 184–191. doi: 10.5004/dwt.2019.23255.
- **Graham ., Nigel ., Fang Gang ., Fowler G., Watts M. (2008)**: Characterization and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer a preliminary assessment , *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, vol 327 , lusse 1, pp 9-16.
- **Hernandez de Léon H.R. (2006)** : Supervision et diagnostic des procédés de procédés de production d'eau potable, Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'institut National des sciences Appliquées de Toulouse.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcr.op.2015.06.027>.

## Références bibliographiques

- **Jacques K., Fatombi ., Gérard Jossé R., Yehouenou B., Wotto V., Aminou T. (2007) :** traitement des eaux de surface par les coagulantes chimiques, pp 81–87.
- **Kawamitraq S. (1991):** Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. , *Journal of the American Water Works Association .journal awwa*, vol 38 , lusse 10 , .pp 88-91.
- **Kettab A. (1992) :** Traitement des eaux (les eaux potables). office de la publication universitaire (OPU), Alger. N° 9 . PP 21-27.
- **Khadhraoui M ., Sellami M., Zarai Z., Saleh K., Ben Rebah F., Leduc R . (2019) :** Cactus juice preparations as bio-floculant properties, characteristics and application , *Environ Eng Manag J (EEMJ)* , vol 18, pp 137–146.
- **Lakhdari B. (2011) :** Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux écurées de la STEP de Ain El Houtz , Mémoire de magister en chimie Inorganique et Environnement, Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université Abou Bakr belkaid, Tlemcen.
- **Lengo K.M. (1994) :** Effets comparés de divers coagulants sur l'enlèvement de la matière organique des eaux à potabilité –influence de la pré hydrolyse , Mémoire de maîtrise , Département de génie civil, Ecole polytechnique de Montréal.
- **Mallevalle 1, Bruchet k ., and Fiessingm F. (1984):** How Safe Are Organic Products? Polymers in water treatment ?, *Journal of the American Water Works Association Research & Technolom.*
- **Manning K ., Pelling R., Higham T., Schwenniger J.L., Fuller D.Q. (2011) :** 4500-year old domesticated pearl millet (*Pennisetum glaucum*) from the Tilemsi Valley, Mali new insights into an alternative cereal domestication pathway, *J. Archaeol. Sci* , pp 38312–322.
- **Kone M., Bonou L., Koulidiati J., Joly P., Sodre S., Bouvet Y. ( 2014) :** Traitement d'eaux usées urbaines par infiltration-percolation sur sable et sur substrat de coco après un bassin anaérobie de lagune sous climat tropical .Urban wastewater treatment by infiltration-percolation with sand and coconut media after an anaerobic pond under tropical climate, *the journal Revue des sciences de l'eau*. Vol 25, Issue 2, pp 139–151.
- **Kone M., Bonou L., Koulidiati J., Joly P., Sodre S., Bouvet Y. (2012):** Traitement d'eaux usées urbaines par infiltration-percolation sur sable et sur substrat de coco après un bassin anaérobie de lagune sous climat tropical, *article of the journal Revue des sciences de l'eau* . pp 15- 193.
- **Moa .M., Abebe. B., Argaw. A.and Bizuneh. W.(2014) :** The use of indigenous plant species for drinking water treatment in developing countries, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*,Vol 5, No 3, p 269-281.
- **Morris ., Juli K. et William R. Knocke. (1984):** Temperature Effects on the Use of Metal-Ion Coagulants for Water Treatment, *Journal American Water Works Association*, vol 76 lusse 3, pp 74-79.

## Références bibliographiques

- **Sethupathy A. (2015):** An experimental investigation of alum and *Moringa oleifera* Seed in water treatment. *Int J Adv Res* 3:515–518 .
- **Souza M.T.F, Ambrosio E., Almeida C.A., Souza Freitas T.K.F., Santos L.B., Cinque Almeida V., Garcia J.C. (2014):** The use of a natural coagulant (*Opuntia ficus-indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. *Environ Monitor Assess.* vol 186 .lusse 8. pp 5261–5271.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-014-3775-9>.
- **Shamsnejati S., Chaibakhsh N., Pendashteh A.R., Hayeripour S. (2015):** Mucilaginous seed of *Ocimum basilicum* as a natural coagulant for textile wastewater, *Industrial Crops and Products* , vol 69 , pp 40–47.
- **Sook Yan C., Krishna M .N. P., Ta Yeong W., Mavinakere E. R., Ramakrishnan N. R.(2014):** Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification, Vol 95 , pp 2178-2189.
- **Cheng S.Y., Loke Show p., Juan J .Ch., Ling T .Ch., Lau B. F., Lai S. H., Ng E.P. (2020):** Sustainable landfill leachate treatment, Optimize use of guar gum as natural coagulant and floc characterization treatment, *Ind. Crop. Prod.*, pp 40-47, <https://doi.org/10.1016>.
- **Ugwu S.N., Umuokoro A.F., Echiegu E.A., Ugwuishiwu B.O., and Enweremadu C.C.(2017) :** Comparative study of the use of natural and artificial coagulants for the treatment of sullage (domestic wastewater), *Cogent Engineering (2017)*, lusse 4, pp 136 5676. [doi.org/10.1080/23311916.2017.1365676](https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1365676).
- **Ullah A., Rathnasiri R.P.G. (2015):** Optimization of adsorption-coagulation process for treatment of palm oil mill effluent (pome) using alternative coagulant. *International Research Symposium on Engineering Advancements (RSEA 2015) SAIM, Malabe, Sri Lanka* . pp 86-70.
- **Yongabi K.A. (2008):** Bio-coagulants for Water and Waste Water Purification., *International Review of Chemical Engineering (I.RE.C.H.E).*vol 22, lusse 3, pp 187-190.

