

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

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département Génie de l'environnement.*

## **Mémoire**

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie des procédés de l'environnement**

Par

- **Bourezg Nadji**
- **Belguermi Abdelmoumne**

*Intitulé*

# **ETUDES DES PERFORMANCES DU CHITOSANE COMME COAGULANT POUR L'ENLEVEMENT DE LA TURBIDITE DES EAUX USEES**

*Soutenu le : 30/06/2022*

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
M.Hellati Abdelhak	MCA	Président	Univ-BBA
M.Dilmi Abdelkader	MCB	Encadreur	Univ-BBA
M.Bahah Saleh	MCB	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2021/2022



## *Remerciements*



Avant tout, nous louons et remercions infiniment Allah tout puissant de nous avoir accordé la Force, le courage, la patience et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Notre gratitude s'adresse à **Dilmi Abdelkader** pour son encadrement, son orientation, ses conseils, ses remarques et critiques et la disponibilité qu'elle a témoignée pour nous permettre de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants du département du Génie des procédés (Faculté du Science de la Technologie, Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi Willaya de BBA) qui nous ont aidés et qui ont contribué à notre formation durant la période de nos études universitaires.

Nous remercions Monsieur le président ainsi que, les honorables membres du jury qui nous ont font l'honneur de corriger et de juger notre travail.





## *Dédicaces*

Je dédie cet ouvrage

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années  
d'études.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec  
moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce  
travail. Ils m'ont

Chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon  
parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et  
de la vivacité.

À mon encadreur **Dilmi Abdelkader** pour son soutien et de sa patience.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je  
souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

**Bourezg Nadji**





## *Dédicaces*



Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...  
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le

respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que.

Je dédie cette thèse ...

**À MES CHERS PARENTS**

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour  
éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez  
consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me

Portez

Depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction  
m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant  
Formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne  
vous en acquitte jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue  
vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive

**Belguermi Abdelmoumne**



## ملخص

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

**الكلمات المفتاحية:** مياه الصرف الصحي ، مواد التخثر - التلبد ، مواد التخثر ، كلوريد الحديد ، مادة الكيتوزان العضوية الندفية ، جل الصبار.

## Résumé

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

**Mots clés :** Eaux usées, coagulation-floculation, coagulants, Chlorure ferrique, Chitosane Bio flocculant, Gel de Cactus.

## Saummary

The work carried out aims to examine the effect of different coagulants, namely ferric chloride, chitosan and bio flocculant (Cactus Gel) on the reduction of water turbidity. The tests were carried out under different operating conditions on turbid water. Thus, the influence of different physico-chemical parameters was examined, such as the concentration of the bio-flocculant and coagulants used, the effect of pH on aggregation, stirring speed, etc. A classic settling-based treatment, coagulation-flocculation has dramatically reduced turbidity, emphasizing the principles of coagulation, flocculation and settling.

**Keywords:** Wastewater, coagulation-flocculation, coagulants, ferric chloride, Chitosan, Bioflocculant (Cactus Gel).

## TABLE DES MATIERES:

<b>Introduction générale</b> .....	<b>01</b>
<b>1 Chapitre I: Coagulation - Flocculation</b> .....	<b>04</b>
I.1 Introduction .....	05
I.2 Les solutions colloïdes .....	05
I.2.1 Les matières en suspensions et les colloïdes .....	05
I.2.2 Les suspensions colloïdales.....	05
I.3 Théorie du double couche.....	06
I.3.1 Théorie de HELMHOLTZ .....	06
I.3.2 Théorie de GOUY-CHAPMAN.....	06
I.3.3Théorie de STERM .....	06
I.4 Potentiel Zêta .....	07
I.5 Les coagulants .....	08
I.5.1 Type de Coagulation .....	08
I.5.1.1 Les coagulants de type sels métallique .....	09
I.5.1.2 Les coagulants d'origines naturels .....	09
I.5.1.2.1 Chitine et Chitosane.....	10
I.5.1.2.1.1 Introduction.....	10
I.5.1.2.1.2 Origines de Chitine et Chitosane.....	10
I.5.1.2.1.3 Préparation du Chitosane.....	11
I.5.1.2.1.4 Caractéristique et propriétés physico-chimiques de la chitine et de la Chitosane.....	11
I.5.1.2.1.5 Mécanisme de la coagulation-flocculation avec les polymères Cationique .....	12
I.5.1.2.1.6 Les facteurs influençant la coagulation-flocculation avec le Chitosane.....	14
I.6 Flocculation.....	15
I.6.1 Types du flocculant.....	15
I.7 La décantation.....	17
Conclusion.....	17
<b>2 Chapitre II: Partie Expérimentale</b> .....	
II.1 Introduction .....	19
II.2 Échantillonnage.....	19
II.3 Caractéristiques d'échantillon.....	19
II.4 Procédure du coagulation flocculation sur Jar Test.....	20
II.5 Réactifs et Appareillage.....	21
II.6 Préparation du bio flocculant.....	22
II.6.1 Approches méthodologiques employée.....	23
II.6.1.1. Préparation de Gel de Cactus matériau pour le traitement des eaux.....	23
II.6.1.1.1 Mode opératoire dans le cas de l'utilisation d'un Coagulation à base de de barbarie.....	23
II.6.1.1.1.1 Coagulant à base de chlorure ferrique $FeCl_3$ .....	24
II.6.1.1.1.1.a Détermination du pH optimal .....	24
II.6.1.1.1.1.b Détermination de la dose optimale du Coagulant ( $FeCl_3$ ) .....	24
II.6.1.1.1.1.c Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées .....	25
II.6.1.1.1.1.d Détermination de la durée optimale de coagulation Flocculation.....	25

II.6.1.1.2 Mode opératoire dans le cas de l'utilisation d'un bio-floculant à base de la figue de barbarie .....	26
II.6.1.1.2.1 Coagulant à base de chlorure ferrique $FeCl_3$ .....	26
II.6.1.1.2.1.a Détermination de la dose optimale du Bio-floculant.....	26
II.6.1.1.2.1.b Détermination du pH optimal pour la coagulation Floculation.....	26
II.6.1.1.2.1.c Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées.....	27
II.6.1.1.2.1.d Détermination de la durée optimale de coagulation Floculation.....	27
<b>3 Chapitre III: Résultats et Discussions .....</b>	<b>29</b>
III.1 Introduction .....	30
III.2 Essai de coagulation floculation.....	30
III.2.1. Cas du coagulant $FeCl_3$ .....	30
III.2.1.1.Optimisation du pH.....	30
III.2.1.2 Optimisation de la dose du coagulant $FeCl_3$ .....	32
III.2.1.3 Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de Coagulation.....	32
III.2.2 Cas du coagulant $FeCl_3$ en association avec un Bio floculant dans la phase de décantation.....	35
III.2.2.1 Optimisation de la dose du bio floculant.....	35
III.2.2.2 Optimisation du pH.....	36
III.2.2.3 Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation par ajout du bio floculant.....	36
III.2.3 Cas du coagulant Chitosane.....	37
III.2.3.1 Optimisation du Ph.....	37
III.2.3.2.Optimisation de la dose du coagulant Chitosane.....	39
III.2.3.3.Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulant Chitosane.....	40
III.2.4.Cas du coagulant du Chitosane en association avec le Bio floculant (Gel de Cactus) dans la phase de décantation.....	41
III.2.4.1.Détermination de la dose optimale du Bio-floculant (Gel Cactus).....	41
III.2.4.2 Optimisation du Ph.....	42
III.2.4.3.Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulant Chitosane.....	42
III.3.4 Etude comparative entre l'efficacité de coagulant $FeCl_3$ et le Chitosane.....	44
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>47</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>51</b>
<b>Les annexes.....</b>	<b>53</b>

## Liste des tableaux:

<b>Tableau I-1:</b> les différents types de polluant.....	08
<b>Tableau I-2:</b> les normes de rejets des eaux usées selon l’OMS.....	19
<b>Tableau I-3:</b> les normes algériennes de rejet. ....	20
<b>Tableau II-1:</b> tempsdedécantationdedifférentesparticulesd’aprèslaloidestock.....	33
<b>Tableau II-2:</b> les coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux.....	37
<b>Tableau II-3:</b> les nouveaux coagulants utilisés dans le traitement des eaux .....	38
<b>Tableau II-4 :</b> taux de chitine dans les carapaces de crustacés.....	41
<b>Tableau II-5:</b> les avantages et les inconvénients d’utilisation des coagulants chimique.....	47
<b>Tableau II-6:</b> avantagesetinconvénientsdel’utilisationdesfloculantdetypepolymères.....	51
<b>Tableau III.1 :</b> Principes et références des méthodes d’analyse.....	57
<b>Tableau III.2 :</b> conditions opératoires du test ‘jar test’ .....	58
<b>Tableau IV.1 :</b> Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l’eau.....	68
<b>Tableau IV.2 :</b> Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l’eau.....	76



## Liste des figures:

<b>Figure I-1:</b> Appareil de mesure de la turbidité (le turbidimètre).....	10
<b>Figure I-2:</b> Appareil de mesure du ph (ph-mètre).....	11
<b>Figure I-3:</b> Appareil de la mesure de la conductivité (conductimètre).....	12
<b>Figure I-4 :</b> Le fonctionnement du dégrillage.....	22
<b>Figure I-5 :</b> Le descriptif du dessablage.....	23
<b>Figure I-6:</b> Le procédé du dégraissage, déshuilage.....	23
<b>Figure I-7:</b> Le processus de la décantation.....	24
<b>Figure I-8 :</b> Les processus de coagulation-floculation.....	25
<b>Figure I-9 :</b> Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.....	26
<b>Figure I-10:</b> Configuration du procédé lit bactérien.....	27
<b>Figure II-1:</b> Potentiel électrique des particules colloïdales.....	36
<b>Figure II-2:</b> Représentation de l'origine du chitosane.....	40
<b>Figure II-3:</b> Démarche pour obtenir le chitosane.....	42
<b>Figure II-4 :</b> Adsorption et pontage à l'aide de polymères.....	45
<b>Figure II-5:</b> Mécanisme de la coagulation-floculation.....	46
<b>Figure III.1:</b> Appareil de jar test.....	58
<b>Figure III.2 :</b> Structure chimique Chitosane.....	59
<b>Figure III.3 :</b> La plante d'Opuntia Ficus Indica.....	60
<b>Figure III.4 :</b> Figure de barbarie.....	61
<b>Figure IV.1 :</b> Variation de la turbidité en fonction des valeurs de Ph pour le FeCl <sub>3</sub> .....	69
<b>Figure IV.2:</b> Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant FeCl <sub>3</sub>	70
<b>Figure IV.3:</b> Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation.....	71
<b>Figure IV.4:</b> Réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation.....	72
<b>Figure IV.5:</b> Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du Bio-floculant...	73
<b>Figure IV.6 :</b> Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du Bio floculant.....	74
<b>Figure IV.7:</b> Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation par ajout d'un bio-floculant.....	75
<b>Figure VI.8:</b> Réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation par ajout d'un floculant.....	75
<b>Figure IV.9 :</b> Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH pour le Chitosane...	77
<b>Figure IV.10:</b> Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant Chitosane.....	78
<b>Figure VI.11:</b> Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation.....	79
<b>Figure VI.12:</b> Variation de la turbidité en fonction de la durée d'agitation	79
<b>Figure VI.13:</b> Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du Bio-floculant (Gel de Cactus).....	80
<b>Figure IV.14 :</b> Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du Bi-floculant.....	81
<b>Figure VI.15:</b> Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation par ajout d'un bio floculant.....	81
<b>Figure VI.16:</b> Réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation par ajout d'un floculant.....	82
<b>Figure VI.17 :</b> Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de (■) pour le Chitosane et (●) pour le chlorure.....	82
<b>Figure VI.18 :</b> Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de (■) pour le Chitosane et gel de Cactus et (●) pour le chlorure ferrique et gel de Cactus.....	83

## Liste des abréviations

**CE** : conductivité électrique.

**CF** : coliformes fécaux.

**COT** : carbone organique total.

**DA** : degré d'acétylation.

**DBO** : demande biochimique en oxygène.

**DCO** : demande chimique en oxygène.

**DDA** : degré de désacétylation.

**ERI** : eaux résiduaires industrielles

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

**MES** : matière en suspension.

**MMS** : matières minérales en suspension.

**MO** : matières organiques.

**MVS** : matières volatiles en suspension.

**N**: azote.

**NGL**: azote global.

**NH<sub>4</sub>**: ammonium.

**NO-2 (NO<sub>2</sub>)**: azote nitrite.

**NO-3 (NO<sub>3</sub>)**: azote nitrate.

**Norg** : azote organique.

**NTK** : azote Kjeldahl.

**NTU** : unité néphélométrique de turbidité.

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

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

**P** : phosphore.

**PH** : potentiel hydrogène.

**PT**: phosphore total.

**STEP**: station d'épuration.

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

**ONA** : Office Nationale de l'assainissement.

**μS** : micro siemens.

# **Introduction générale**



### **Introduction générale :**

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée. [1]

La question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour plus préoccupante et cela pour plusieurs raisons particulièrement la démographie galopante et la sécheresse de plus en plus croissante. [2]

Avec moins de 600 m<sup>3</sup> par habitant et par an, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques, au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an. D'une superficie de 2,4 Millions de km<sup>2</sup>, le territoire se compose d'une diversité géographique et climatique, du nord au sud, des régions côtières et littorales, une vaste étendue de hautes plaines semi-arides et un immense ensemble saharien au climat aride et hyper aride ; en outre .la répartition très inégale de la population, implique par ailleurs des pressions extrêmement disparates sur les ressources hydriques.

Partout sur la planète, le développement des activités humaines, domestiques ou industrielles, est tributaire de la ressource en eau. Cette diversité des usages induit une série d'impacts variés sur la qualité de l'eau.

Il existe pourtant un point commun, intrinsèquement lié à la nature de l'eau : qu'elle soit intégrée à la filière agroalimentaire ou qu'elle soit solvant universel, l'eau poursuit son cycle en rejoignant, tôt ou tard, la nappe, la rivière, le fleuve en y emportant ce dont on l'a chargée.

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs (pêche, loisir, alimentation, utilisation agricole ou industrielle, etc.) [3]

Dans les zones arides et semi-arides où l'eau constitue un facteur limitant de la production végétale et où les besoins liés à l'accroissement de la population et à l'accroissement du niveau de vie, le volume des eaux résiduaires produit augmente, de façon importante et continuera à augmenter régulièrement. On peut alors, considérer que les eaux résiduaires constituent, dans ces conditions, une source inépuisable. C'est d'ailleurs la seule

ressource en eau qui va croître dans l'avenir. Sa prise en compte est donc primordiale et sa valorisation doit en conséquence être intégrée dans les objectifs de développement durable à condition qu'elles soient épurées.

Face aux pénuries d'eau dans les dernières décennies et afin de préserver les ressources en eau ,encore saines , et la protection de l'environnement ainsi que la santé publique ,l'Algérie a adopté un programme riche en termes de traitement des eaux usées par la mise en service ces dix dernières années, de plus d'une centaine de stations d'épuration, qui ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues, valorisable en agriculture et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, qui trouve quant-à-elle, une réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux[4].

En fonction de la qualité de l'eau à traiter, des moyens de traitement disponibles et de la qualité des eaux voulues, les unités de traitement vont être composées de modules de plus en plus complexes, allant d'une simple unité de désinfection (eaux souterraines de faible turbidité) à plusieurs étapes successives et complémentaires (eaux de surfaces très turbides).

Aujourd'hui, le processus de traitement souvent utilisé est la méthode de coagulation-floculation-décantation, suivie d'une filtration et d'une désinfection [3].

La coagulation et la floculation sont deux techniques souvent appliquées conjointement, qui ont pour objectif principal, de rabattre la turbidité causée par les matières en suspensions, les colloïdes, les microorganismes et les virus. Le processus consiste à neutraliser par des coagulants les charges électrostatiques en surface des particules colloïdales et des matières en suspension dans l'eau, et à les agglomérer en gros floccs décantables gravitairement et rapidement.

Aujourd'hui, l'emploi des sels minéraux et des polymères synthétiques comme coagulants dans le traitement des eaux notamment potables est associé à certains risques. Ils augmentent la charge organique et peuvent ne pas être complètement éliminés une fois l'eau acheminée au consommateur. De plus il existe une incertitude sur leur effet toxique à long terme ainsi que sur leur effet cancérigène et mutagène chez les humains. La présence des polyacrylamides résiduels dans les eaux traitées peut causer des désordres neurologiques chez les humains [5]. Le Japon, l'Allemagne et les Pays-Bas ont adopté une réglementation

sévère interdisant l'utilisation des poly électrolytes synthétiques dans le traitement de l'eau potable [5],[6].

L'utilisation des polymères organiques naturels dans la coagulation-floculation a été étudiée et mise en pratique vers la fin des années 50 (Kawamura). Les polymères organiques peuvent être caractérisés par la nature chimique des monomères dont ils sont constitués, le poids moléculaire (105 à 107g/mole généralement) et le type de charge électrique qu'ils portent (neutre, négative ou positive). Ces polymères naturels sont utilisés depuis 2000 ans en Inde, en Afrique et en Chine pour clarifier l'eau. Ils peuvent être fabriqués à partir de graines, de feuilles et de racines de certaines plantes [6]. Ils présentent un intérêt particulier par rapport aux polymères synthétiques dans la mesure où ils ne comportent aucun danger pour la santé humaine contrairement aux polymères organiques de synthèse.

Les recherches en cours portent principalement sur des polymères d'origine végétale (*moringa, oleifera, Indupa...*) et les polymères d'origine animale (chitine, *chitosane*). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude sur la démonstration de l'efficacité du chitosane dans le traitement des eaux usées à travers des essais au laboratoire, malheureusement notre expérimentation n'a pas pu être réalisée en raison des conditions sanitaires que traverse notre pays à l'instar des autres pays du monde.

# **1- CHAPITRE I :**

## **Coagulation-Floculation**





### **I.1 Introduction :**

La coagulation et la floculation sont des procédés courants du traitement de l'eau, pour l'élimination des substances en suspension indésirables présentes dans l'effluent. Cependant, ils peuvent être couramment adoptés pour désinstaller tout système de suspension. La coagulation implique l'utilisation d'une coagulation qui a la capacité de retirer la stabilité des particules précédemment chargées fixées dans la suspension. En revanche, dans le processus de floculation, l'instabilité se produit par des techniques physiques telles que le mélange de la solution, ainsi que parfois, par l'ajout de polymères. C'est la principale différence entre la coagulation et la floculation.

### **I.2 Les solutions colloïdes :**

#### **I.2.1 Les matières en suspensions et les colloïdes :**

Les particules colloïdes sont des matières inertes ou vivantes (Argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, etc...) qui ont une taille très petite comprise entre 1 nm et 1 µm [7].

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances urbaines et industrielles ainsi que les agricoles [8].

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

Dans le tableau (3-1) sont répertoriés certains matériaux ou organismes avec leur dimension et l'ordre de grandeur du temps nécessaire pour que, sous la seule influence de leur poids, ces particules parcourent un mètre d'eau à 20 °C [9].

### **I.3 La théorie de double couche :**

La plupart des substances acquièrent une surface électrique chargée quand elles viennent en contact avec un milieu polaire. Les mécanismes possibles sont : l'ionisation, l'adsorption des ions et la dissolution des ions. Cette surface chargée influence la distribution des ions proches dans le milieu polaire. Les ions de charges opposées sont attirés vers la surface et les ions de même charge (co-ions) sont repoussés loin de la surface.

La théorie de la double couche électrique est envisagée lors de l'étude de la distribution des ions vu l'intérêt du potentiel électrique qui se crée sur la surface chargée.

C'est la première étape vers une bonne compréhension de la double couche électrique qui joue un rôle fondamental dans le domaine des phénomènes colloïdaux tels que la stabilité, l'électrocinétique, la formation de micelles, l'électro adsorption, la flottation, les propriétés des poly électrolytes, etc...

#### **Origine de la charge sur la surface :**

L'une des raisons principales de la stabilité des colloïdes est l'existence d'une charge électrique à la surface des particules.

L'acquisition d'une charge électrique à la surface se fait par :

- a. Ionisation des groupements tels que : - COO<sup>-</sup>, - NH<sub>3</sub><sup>+</sup>
- b. Adsorption d'ions
- c. Dissolution des ions
- d. Adsorption et orientation des dipôles

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative brute on ajoute une charge électrique autour du colloïde [10].

Beaucoup des théories permettent d'expliquer le potentiel électrique observé. Historiquement, la première et la plus simple a été donnée par Helmholtz (1879). Elle a été ensuite modifiée par le physicien français Georges Gouy (1910) et en (1913) par le chimiste Britannique David Leonard Chapman. La théorie Gouy-Chapman n'était pas entièrement satisfaisante, et en (1924) une considérable amélioration a été donnée par le physicien Germano-américain Otto Stern, qui est le meilleur modèle utilisé actuellement [10].

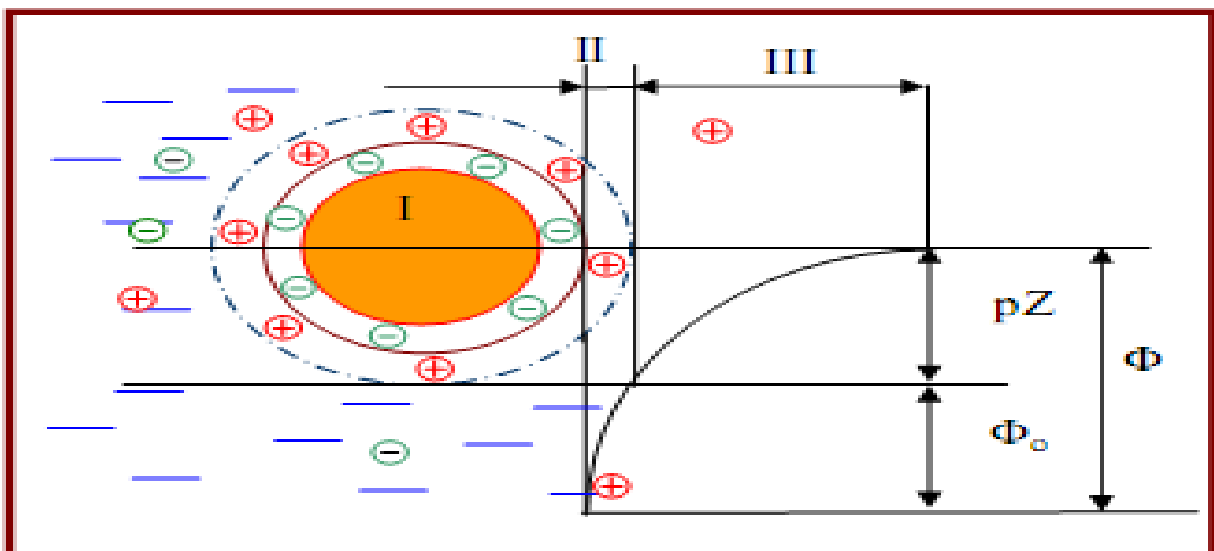
- 1- Théorie de Helmholtz ;
- 2- Théorie de Gouy-Chapman ;
- 3- Théorie de Stern.

#### I.4 Le potentiel zêta :

Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée, il 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 diminuent.

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation, cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leur agglomération.

La figure (3-1) montre les différentes couches et le potentiel électrique des particules colloïdales [11].



**Figure I-1** : potentiel électrique des particules colloïdales.

- I** : Particule colloïdale
- II** : Couche adhérente de Stern
- III** : Couche diffuse de Gouy-Chapman
- Φ** : Potentiel total à l'interface
- Φ<sub>0</sub>** : Potentiel différentiel dans la couche adsorbée
- ζ** : Potentiel Zeta.

### I.5 Les coagulants :

Le comportement du coagulant est la variable la plus importante à prendre en considération lors du traitement d'eau. Il est prouvé qu'un ion divalent est dix fois plus efficace qu'un ion monovalent, pour dire que la coagulation est d'autant plus efficace que la valence de cation du coagulant est élevée. Sa nature peut aussi influencer le choix en fonction de la qualité de l'eau traité et de résultat escompté.

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

Le tableau ci-dessous (3-2) nous donne la liste des principaux coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux potables. En général, tous ces coagulants sont d'origine minérale, ils peuvent agir également comme floculants, les principaux floculants et aide-coagulants tels que montrés au tableau (3-4), sont des polymères à longues chaînes ou polyacrylamides. On y distingue, les polymères minéraux, les polymères de synthèse qui ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation, et les polymères naturels extraits de substances animales ou végétales [12].

**Tableau I-2 :** les coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux [13].

Nature du coagulant	Nom	Formule ou origine
<b>Minéral</b>		
<b>A Base d'aluminium</b>	Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
	Chlorure d'aluminium	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$
	Aluminate de sodium	$NaAlO_2$
<b>A base de fer</b>	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$
	Chlorosulfate ferrique	$FeClSO_4$
	Sulfate ferreux	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
<b>Autres</b>	Sulfate de cuivre	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$

Plusieurs avantages et inconvénients accompagnent l'utilisation des agents chimiques présentés ci-dessus il faut noter que ces sels métalliques peuvent être utilisés seuls ou combinés.

Généralement, on les utilise avec un floculant afin d'augmenter l'efficacité du procédé.

**I.5.1.1 Les coagulants récents :**

Les coagulants découverts ces dernières années, regroupés sur le tableau (3-4), sont pour la plupart des polymères d'origine naturelle ou synthétique, ils sont préférables aux sels métalliques dans le traitement des eaux potables en raison de [12] :

- 1-la garantie de leur performance même avec de faibles dosages par rapport aux sels conventionnels.
- 2-une quantité faible de boue produites.
- 3-leur efficacité indépendante de la variation du pH.
- 4-leur biodégradabilité et leur digestion par les micro-organismes.
- 5-leur non corrosivité des infrastructures de traitement et de distribution.

**Tableau I-3:** les nouveaux coagulants utilisés dans le traitement des eaux [13].

Nature du polymère	Nom	Formule ou origine
<b>Minéral</b>	PCBA	Polychlorosulfate basique d'aluminium $Al_n(OH)_p(Cl)_q(SO_4)_r$
	ALPOCLAR	Polychlorure d'aluminium $Al(OH)_aCl_b$ avec $a+b=3$ .
	PAC	Polyaluminium Chloré
	PAS	Poly-Aluminium-sulfate
	PASS	Poly-Aluminium- Silicate-sulfate
<b>Organique</b>	Mélamine formol	Mélamineformaldéhyde
	EPI.DMA	Epichlorhydrine diméthylamine
	POLYDADMAC	Polychlorure de Diallyldiméthylamino-éthyle
	ADAM	Acrylate de diméthylamine-éthyle
	MADAM	Méthacrylate de déméthylation-éthyle
<b>Naturel</b>	Chitosane	Carapace de crustacés
	Indupa	Graine d'Indupa
	Moringa oleifera	Graine de moringa oleifera

### I.5.1.2.1 Chitine et Chitosane:

#### I 5.1.2.1.1 Introduction :

La demande croissante vis à vis du respect de l'environnement a suscité l'intérêt pour l'utilisation des poly électrolytes naturels, pouvant remplacer les flocculants synthétiques. Les coagulants naturels extraits à partir de déchets peuvent servir comme alternative aux poly électrolytes synthétiques parce qu'ils sont biodégradables, ils sont inoffensifs pour la santé, et aussi pour leur large éventail de dosage efficace pour la floculation des colloïdes. Le plus prometteur bio polymère cationique est le chitosane. Le chitosane est un amino poly saccharide provenant de la chitine, il est un des bio polymères les plus abondants dans la nature après la cellulose. Par rapport aux autres polymères, il présente d'autres avantages, tels que, son abondance et sa source auto renouvelable, sa stimulation à la croissance végétale, sa non toxicité et sa compatibilité avec l'environnement [14].

#### I 5.1.2.1.3 Origine du chitosane et de chitine :

Le chitosane est moins présent dans la biomasse et il est seulement observé dans quelques micro-organismes, particulièrement ceux de nature fongique. La chitine est présente au sein d'un grand nombre d'organismes. Elle est présente dans certaines levures et bactéries, dans de nombreuses espèces de champignons, les algues, les carapaces d'insectes, de scorpions, d'araignées et organismes marins dont les mollusques et les céphalopodes. Cependant, la chitine est fabriquée presque exclusivement à partir des carapaces de crustacés (crevette, langouste et écrevisse). Le meilleur rendement d'extraction de la chitine est actuellement observé chez crustacés dont la carapace est composée de 10 à 40% de chitine [14].

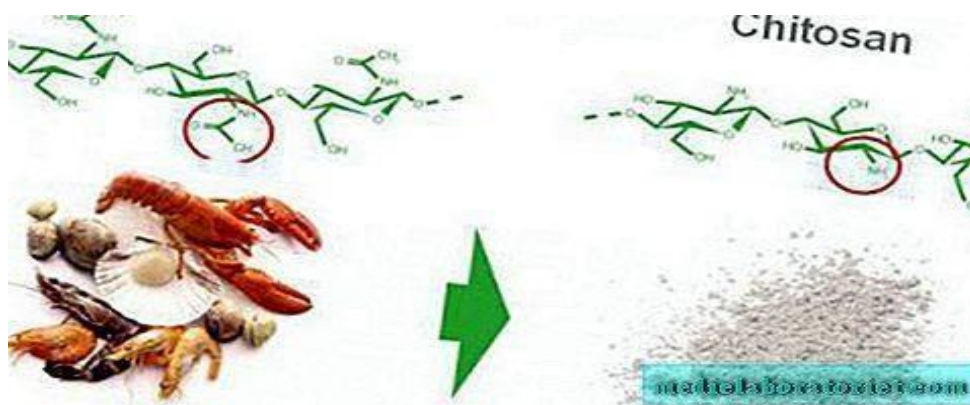


Figure I-2:représentation de l'origine du Chitosane.

#### I. 5.1.2.1.4 Préparation du chitosane:

La figure (I-2), ci-dessous montre le processus de préparation de la chitine et du chitosane à partir des carapaces de crustacés. Le chitosane est donc un polysaccharide naturel obtenu par désacétylation de la chitine des carapaces de crustacés ; sa structure et ses propriétés dépendent de son degré de désacétylation. Plusieurs recherches de caractérisation de la chitine et du chitosane ont été menées, et plusieurs types ont été identifiés en fonction de leurs origines ou des moyens et procédés de préparations.

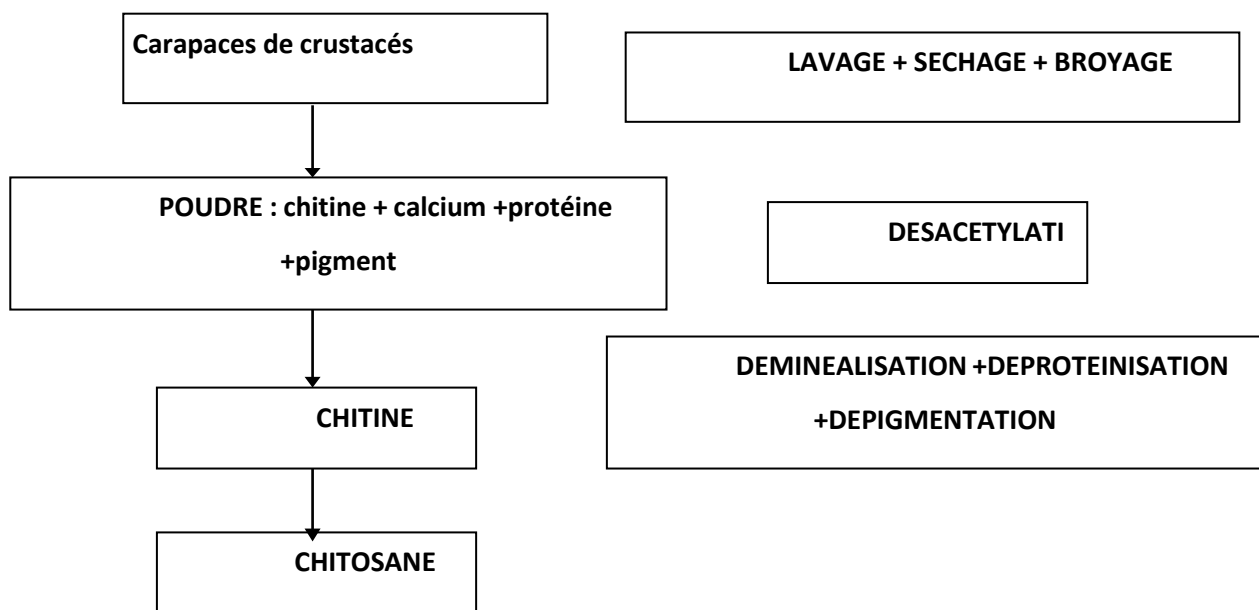


Figure I-3 : démarche pour obtenir le chitosane.

#### I 5.1.2.1.5 Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du chitosane et de la chitine :

La chitine et le chitosane sont caractérisés par leur masse molaire élevée ou leur viscosité, la matière première dont ils sont issus, leur pureté et leur degré d'acétylation ou DA.

Les principales propriétés chimiques et biologiques du chitosane sont résumées par les points suivants.

Principales propriétés chimiques du chitosane :

- Polyamine cationique ;
- Densité de charge élevée a  $\text{pH} < 6.5$  ;
- Adhère à des surfaces chargées négativement ;
- Forme des gels avec les polyanions ;
- Large intervalle de masse moléculaire ;
- Peut former des solutions de différentes viscosités ;
- Contient des groupements réactifs d'amines et d'hydroxydes.

Principales propriétés biologiques du chitosane :

- Polymère d'origine naturelle ;
- Biodégradable ;
- Non toxique ;
- Anti cancérigène.

#### **I 5.1.2.1.6 Mécanisme de la coagulation floculation :**

La coagulation représente l'ensemble des phénomènes physico-chimiques visant à déstabiliser une solution de particules très petites de charge négative, appelées colloïdes ( $\emptyset < 1\mu\text{m}$ ), et favoriser leur agglomération. Généralement les particules colloïdales possèdent une charge électrique négative et identique ce qui les amène à se repousser et ne pas former de floes facilement décantables. Elle permet la neutralisation de la surface de la charge des colloïdes par l'addition d'ions à charge positive, sels métalliques ou minéraux.

La floculation c'est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées pour former des flocons ou floes. Après coagulation, les particules possèdent une énergie cinétique supérieure à celle qui est nécessaire pour vaincre les forces électrostatiques de répulsion ; le phénomène est réversible, c'est-à-dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale.

La décantation quant à elle, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de



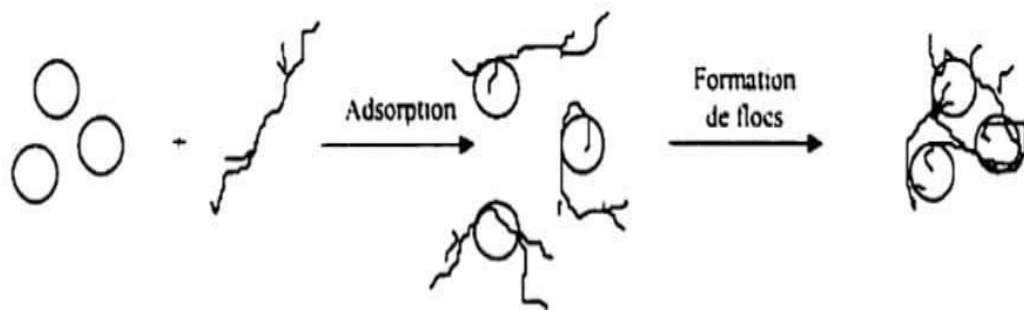
décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration.

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique; Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement.

Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100  $\mu\text{m}$ .

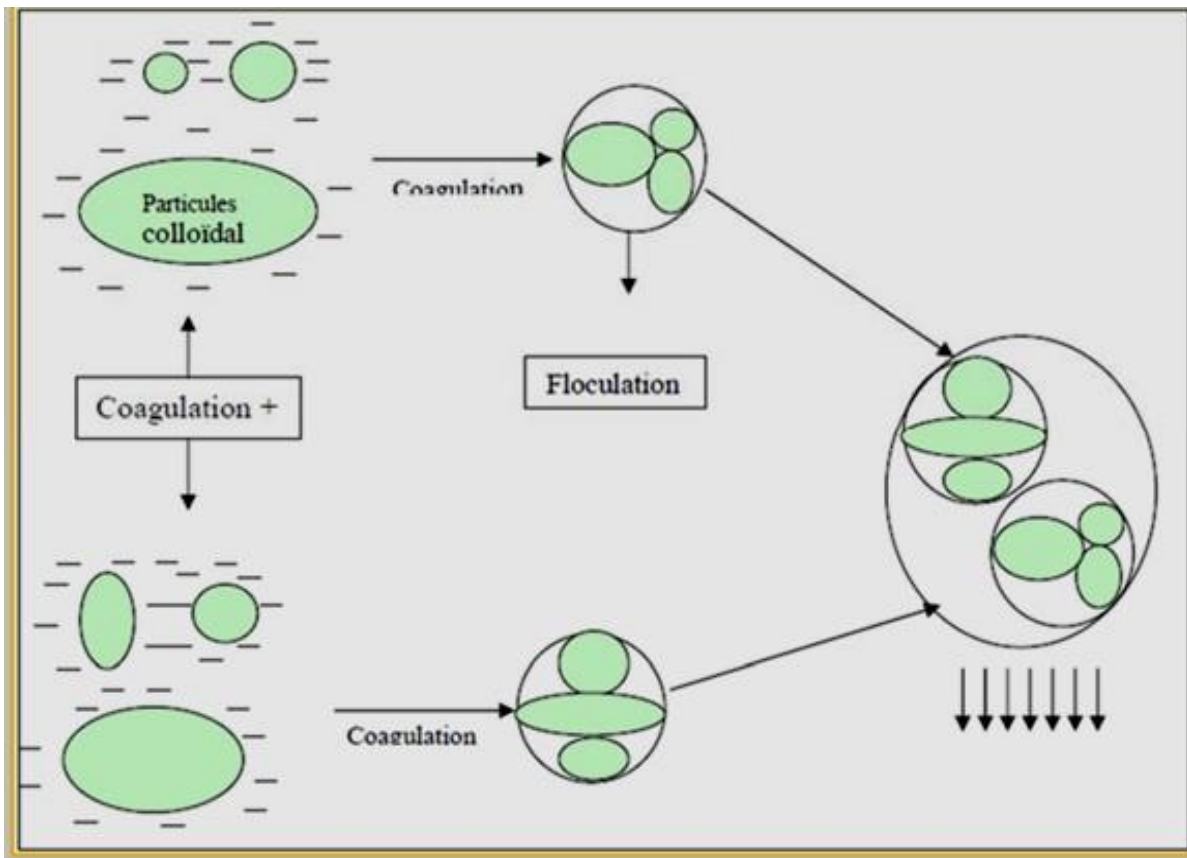
On peut considérer qu'il existe quatre grands mécanismes qui agissent individuellement ou ensembles dans la coagulation floculation

- Réduction de l'épaisseur de la couche ionique : transportée par les particules, par augmentation de la force ionique de la solution.
- Neutralisation des charges ioniques : par ajout d'un réactif chimique contenant des contre ions du colloïde.
- Pontage entre les particules : par utilisation des polymères de haut poids moléculaire. Piégeage des particules : par formation de polymères d'hydroxydes minéraux Volumineux [39].



**Figure I-4 :** Adsorption et pontage à l'aide de polymères.

D'une manière générale on peut résumer le mécanisme selon la figure 3.3



**Figure I-5** : mécanisme de la coagulation floculation.

#### **I 5.1.2.1.8 Les facteurs influençant de coagulation-floculation :**

Le succès de la coagulation dépend de facteurs, dont certains peuvent être contrôlés et d'autres, comme les basses températures, ne peuvent pas être modifiés de façon économique. Les facteurs les plus importants sont le pH, la dose du coagulant, la turbidité, la couleur, la température et les éléments mécaniques de la telle que le genre d'agitateur.

- a-Le pH.
- b-Influence de la dose du coagulant.
- c-La turbidité.
- d-La température.
- e-La vitesse d'agitation.

## **I.6 -La floculation :**

La floculation est le procédé d'agglomération de petites particules entre elles en utilisant un lien physique constitué de longues chaînes de polymères de grand poids moléculaires (plus de 1 million et jusqu'à 20 millions de Da). Les agglomérats forment alors des flocons ou flocs qui peuvent décanter rapidement s'ils sont assez lourds pour vaincre les contraintes d'écoulement qui entravent leur déplacement.

La floculation est généralement utilisée de manière combinée avec la coagulation. Ces techniques sont souvent utilisées en traitement des eaux accompagnées d'une décantation et d'une élimination des flocs, souvent afin de réduire la turbidité ou par exemple dans une station d'épuration urbaine pour la pollution au phosphore.

Après avoir été déstabilisée par la coagulation, les particules en suspension ont besoin d'être agitée plus lentement afin de pouvoir entrer en contact les unes avec les autres de manière plus efficace.

La taille des « flocons » obtenus après coagulation n'est généralement pas suffisante et par l'ajout d'un flocculant (polymère) et grâce à une agitation maîtrisée, l'agglomérat obtenu aura une taille suffisante pour sédimenter dans le bassin.

### **I.6.1.1 Les types du flocculants :**

#### **I.6.1.1.1 Les flocculants de type polymères (polyelectrolytes) synthétiques :**

De manière générale, ceux sont des composés de haut poids moléculaires  $10^4$ — $10^6$  Da de types anioniques, cationiques ou non ioniques. L'intensité de la charge d'un polymère dépend de son degré d'ionisation qui dépend à son tour des charges sur les groupes fonctionnels, du degré de polymérisation et de la quantité de groupes fonctionnels qui ont été substitués.

En solution, ils ont un taux de diffusion relativement bas et ils augmentent la viscosité. Le brassage est donc nécessaire à la dispersion des polymères. Ils peuvent être employés pour la neutralisation, l'émulsion et/ou pour créer des ponts entre les particules colloïdales [15].

Leur efficacité dépend généralement des paramètres suivants : la concentration du polymère, la charge globale et la densité de charge, le poids moléculaire, les caractéristiques de l'effluent et les paramètres physiques (dosage, énergie de brassage, pH... etc.). Les polymères peuvent être seuls ou combinés avec les sels métalliques.

#### **I.6.1.1.2 Les flocculants minéraux :**

Le principal agent flocculant d'origine minérale employé dans le domaine du traitement des eaux est la silice activée. Ce composé offre de bons rendements lorsqu'il est associé au sulfate d'aluminium en eau froide. Un inconvénient accompagne l'utilisation de la silice, elle doit être préparée juste avant son utilisation, vu sa faible stabilité [14].

#### **I.6.1.1.3 Les flocculants naturels (bio-flocculants) :**

Actuellement, dans la majorité des cas, les particules colloïdales, comme les protéines ou les huiles, sont retirées à l'aide d'un procédé chimique de coagulation-précipitation le sulfate d'aluminium ou de chlorure de Polyaluminium, deux agents coagulants efficaces et peu dispendieux.

Cependant, l'utilisation de ces sels d'aluminium peut causer une augmentation de la teneur en aluminium dans l'eau potable et ainsi avoir un impact considérable, à long terme, sur la santé humaine. McLachlan [15] a démontré une relation entre les concentrations d'aluminium présentes dans l'eau et le risque de contraction de la maladie d'Alzheimer.

L'aluminium peut aussi avoir des répercussions négatives sur les milieux naturels s'il s'y retrouve en trop grandes concentrations.

L'utilisation des flocculant naturels ou bio-flocculant apparait comme une alternative durable pour l'enlèvement de MES à cause de leur non répercussion sur la santé humaine et celle des écosystèmes à long terme. Cette non toxicité a aussi permis d'étendre ces usages à l'industrie chimique, biomédicale, pharmaceutique et agroalimentaire.

(Etude eau, sol et environnement Géomatique Informatique appliquée) et « Ecologistique », en collaboration avec le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), en 2011, en France.

Aussi, ce programme a pour ambition de réaliser une proposition commerciale et innovante au profit des industriels du secteur. Il a abouti en 2014, à la formulation d'une gamme de bio-floculant adaptés à chaque filière industrielle, ainsi qu'à leurs mises en place aux procédés de traitement spécifique à chaque filière.

Ainsi, ce projet a pour objectif majeur de remplacer les flocculant classiques bio-résistants, utilisés dans le traitement des eaux usées, par de nouveaux produits biodégradables. Pour ce faire, les chercheurs comptent développer de nouveaux flocculants en se servant de certains produits d'origine naturelle, tels que les chitosanes, les alginates ou encore les amidons...etc.

### **I.7 La décantation :**

Il s'agit le plus souvent d'une décantation qui permet d'éliminer les matières en suspension décantables en deux heures. L'utilisation de réactifs chimiques pour éliminer des particules plus fines constitue un traitement physico-chimique. Ce traitement permet donc essentiellement l'élimination de la pollution particulaire et d'une partie de la pollution organique sous forme particulaire (de l'ordre de 65 à 80% de la DCO avec un traitement physico-chimique) (Figure I.2). (Resjeck, 2002).

Les matières en suspension ont souvent une teneur en matière organique importante (de 70 à 90%) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau. Elles vont se décanter naturellement dans un décanteur primaire en 1 à 2 heures. L'eau ainsi clarifiée s'écoulera par débordement et les MES qui ont décanté au fond du bassin (boues primaires) seront extraites et envoyées vers les ouvrages de traitement des boues (Grosclaude, 1999).

### **Conclusion :**

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation et ensuite effectuée par des systèmes de décantation flottation et/ou filtration.

**2- CHAPITRE II :**  
**Partie Expérimentale**



### II.1 Introduction :

Notre étude a été focalisée sur la détermination de la charge polluante des rejets domestiques au niveau de l'ONA de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj par un procédé physicochimique, la coagulation-floculation ; en utilisant deux coagulants, à savoir: le Chitosane et le chlorure Ferrique  $FeCl_3$  et un floculant naturel (Gel de Cactus Extrait des figuiers de Barbarie). L'efficacité du traitement sera jugée par le taux d'abattement de la turbidité après un certain temps de décantation.

Les différents paramètres à étudier sont:

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

L'objectif de ce chapitre est donc de présenter le matériel et les méthodes utilisés au cours de cette étude.

### II.2 Echantillonnage :

L'échantillon (eaux turbides) est récupéré dans des gallons en plastique de 5 litres entreposés dans le laboratoire.

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

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

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

Paramètres	Méthodes	Normes
Température	Mesure directe avec thermomètre	-
pH	pH-mètre	NFT 90-008
Conductivité	Mesure directe avec conductimètre	NFT 90-008
Turbidité	Turbidimètre	ISO 7027
Matières en suspensions MES	Pesée sur une balance électronique	-

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

- Lors des essais de coagulation-floculation, nous avons utilisé un jar test à ( 0 6 ) postes.
- Les essais sont réalisés dans des béciers contenant 500 ml d'échantillon.
- Le pH est ajusté par ajout du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1N) et KOH(2N).

Les conditions de travail sont résumées dans le Tableau ci-dessous:

**Tableau II.2 :** conditions opératoires du test 'jar test'.

Étapes	Durée (min)	Nombre de tours par minute
Étape rapide	5	200
Étape lente	25	30
Phase de décantation	40	

Cet appareil permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de béciers remplis chacun de 500 ml de la solution à traitée. Ce dispositif est spécialement conçu pour les essais de floculation et de formation de floc dans le domaine du traitement des eaux.



**Figure II.1:** Appareil de jar test.



## II.5 Réactifs et Appareillage :

### II.5.1 Réactifs :

Les divers réactifs utilisés dans nos essais se regroupent comme suit :

a)-**Effluents à traiter:** Eau Usée au niveau de la STEEP de BBA.

b)-**Coagulants utilisés :**

#### Chlore Ferrique

- Sublimé ou cristallisé ( $\text{FeCl}_3$  ou  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ );
- Sa formule à l'état pur est  $\text{FeCl}_3$ .
- Pour le traitement des eaux, il est uniquement utilisé sous forme de solution aqueuse.
- La gamme de pH d'utilisation est de 5,5 à 8,5 (Optimum 8).

#### **Le chitosane**

Où chitosan (en anglais) est un polysaccharide composé de la distribution aléatoire de D-glucosamine liée en  $\beta$ -(1-4) (unité désacétylée) et de N-acétyl-D-glucosamine (unité acétylée). Il est produit par désacétylation chimique (en milieu alcalin) ou enzymatique de la chitine,

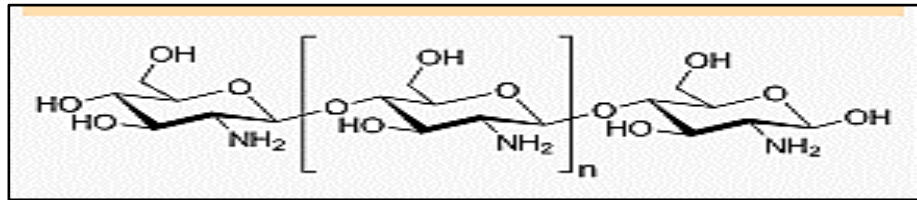


Figure III.2 : Structure chimique Chitosane

c)-**Floculant utilisé:** Le Bio-floculant utilisé dans notre étude est:

- Gel de Cactus Extrait des figuiers de Barbarie).

d)-**Réactifs pour ajuster le pH:**

- Solution  $\text{H}_2\text{SO}_4$ (1N),
- KOH (2N),
- $\text{CH}_3\text{COOH}$  (10%) pour dissoudre le Chitosane.

### III.5.2 Appareillage :

- Jar test ;
- Conductimètre ;
- Balance de précision;

- pH-mètre;
- Système de filtration et papier filtre ;
- Verrerie courante de laboratoire ;
- Turbidimètre.

### II.6 Préparation du bio flocculant :

Le figuier de Barbarie est une plante arborescente robuste de 3 à 5 m de haut, possède un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3 cm appelés cladodes ou raquettes. Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs [11].

La position systématique du figuier de barbarie est la suivante :

**Règne:** *Plantae*

**Ordre :** *Caryophyllales*

**Famille :** *Cactaceae*

**Genre :** *Opuntia*

**Espèce :** *Opuntia ficus indica*

**Nom commun :** Figuier de Barbarie

**Nom latin :** *Opuntia ficus*

**Autres noms :** Figuier des Indes, figue du désert, nopal, semelle du pape, figuier d'Espagne.



**Figure II.3 :** La plante d'*Opuntia Ficus Indica*.

Le genre *Opuntia* est originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Sa distribution géographique est très large: Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Inde, Asie, Corée, Argentine et Afrique du Nord. Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard au 16ème

siècle au Nord et au Sud de l'Afrique. Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen. Il est par essence développé sur la partie Ouest de la Méditerranée : Sud de l'Espagne, le Portugal, et l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc). Dans certains pays tels que l'Italie, l'Espagne, le Mexique, la culture du cactus est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et développement pour la production du fruit ou de fourrage et même pour des usages industriels. La plante maintenant est trouvée dans la plupart des régions du monde.

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

### **II.6.1.1. Préparation de Gel de Cactus matériau pour le traitement des eaux :**

Il existe de variétés de méthodes qui sont employées dans la génération des cladodes du cactus qui sont utilisées dans le traitement des eaux (coagulation – floculation et/ ou biosorption). Les cladodes sont utilisés frais ou après séchage comme poudre. Les étapes de préparation varient légèrement selon la matière utilisée (fraîche ou sèche).

#### **II.6.1.1.1 Mode opératoire dans le cas de l'utilisation d'un Coagulation à base de la figue de barbarie:**

##### **a. La récolte de la plante :**

Les cladodes de cactus ont été récoltés au cours du mois de février dans la région El Mansoura, une commune de la Wilaya de Bordj-bou- Arreridj (Algérie), en 2022 à la température 22°C.

##### **b. Préparation du jus de bio floculant (figue de barbarie) :**

On a enlevé toutes les épines des figues à l'aide d'une pince à épiler ensuite ont été nettoyés, puis découpés en petites tranches, pour les mélanger dans un mixeur, enfin le jus obtenu est conservé dans un flacon stérilisé.



**Figure II.4 :** figue de barbarie

### II.6.1.1.1.1 Coagulant à base de chlorure ferrique $\text{FeCl}_3$

#### II.6.1.1.1.1.a Détermination du pH optimal :

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

Prendre 500 ml de l'échantillon (pour tous les béchers du jar test) ;

- Varier le pH de la solution entre (5.5 et 8.5) en ajoutant soit du  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1N) ou du KOH (2N).

- Procéder à la coagulation en ajoutant une dose fixe du coagulant  $\text{FeCl}_3$  de (10 mg/l).

- Agiter rapidement (200 t/min) pendant 3 min,

- Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min

- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,

- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, ( $T^\circ$ , pH, Conductivité, Turbidité).

- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à  $105^\circ\text{C}$  (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.

- Prendre 500 ml de l'échantillon ;

- Varier le pH de la solution entre (5.5 et 8.5) en ajoutant soit du  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1N) ou du KOH (2N).

- Procéder à la coagulation en ajoutant une dose fixe du coagulant.

#### II.6.1.1.1.1.b Détermination de la dose optimale du Coagulant ( $\text{FeCl}_3$ ) :

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;

- Ajouter des doses croissantes du coagulant flocculant  $\text{FeCl}_3$  entre (10 à 100 mg/L agiter pendant 5 min à 200 tr/min

- Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,

- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,

- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, ( $T^\circ$ , pH, Conductivité, Turbidité).

- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à  $105^\circ\text{C}$  (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.

### **II.6.1.1.1.c Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées :**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des béchers du coagulant floculant  $\text{FeCl}_3$  (trouvé précédemment) pendant 5 min à 150 tr/min
- Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,
- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, ( $T^\circ$ , pH, Conductivité, Turbidité).
- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à  $105^\circ\text{C}$  (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.
- Refaire la même expérience pour des Vitesses d'agitations comprises entre (150 à 200 tours/ min).

### **II.6.1.1.1.d Détermination de la durée optimale de coagulation floculation**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des béchers du coagulant floculant  $\text{FeCl}_3$  (trouvé précédemment) pendant 2 min à 150 tr/min,
- Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,
- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, ( $T^\circ$ , pH, Conductivité, Turbidité).
- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à  $105^\circ\text{C}$  (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.
- Refaire la même expérience pour des temps de coagulations floculations compris entre 2 à 10 minutes.

**NB : Refaire les mêmes expériences pour les Coagulants: (Chitosane)**

- Détermination du pH optimale même mode opératoire que précédent, donc en prend comme masse de coagulant une dose fixe de 15 mg de chitosane.
- Détermination de la dose optimale du Coagulant : même mode opératoire  
On fait varier la masse du coagulant chitosane de 15 à 100mg.
- **Effet de la vitesse d'agitation : même mode opératoire que précédemment.**
- **Détermination de la durée optimale de coagulation floculation : même mode opératoire que, précédemment.**

### **II.6.1.1.2 Mode opératoire dans le cas de l'utilisation d'un bio-floculant à base de la figue de barbarie**

#### **II.6.1.1.2.1 Coagulant à base de chlorure ferrique $FeCl_3$**

##### **II.6.1.1.2.1.a Détermination de la dose optimale du Bio-floculant :**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale du Coagulant  $FeCl_3$  pendant 5 min à 200 tr/min
- Ajouter une dose croissante du Bio-floculant entre (0.6 à 2 ml) et Réduire l'agitation à 30t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,
- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, ( $T^\circ$ , pH, Conductivité, Turbidité).
  - Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à  $105^\circ C$  (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.

##### **II.6.1.1.2.1.b Détermination du pH optimal pour la coagulation floculation**

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

- Prendre 500 ml de l'échantillon (pour tous les béchers du jar test) ;
- Varier le pH de la solution entre (5.5 et 8.5) en ajoutant soit du  $H_2SO_4$  (1N) ou du KOH (2N),
- Procéder à la coagulation en ajoutant une dose Optimale du coagulant  $FeCl_3$  de (10 mg/l).
- Agiter rapidement (200 t/min) pendant 3 min,

- Ajouter une dose optimale du Bio-floculant(trouvée précédemment en traçons le graphe de la turbidité en fonction des différents doses de bio floculant) puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,
- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, (T°, pH, Conductivité, Turbidité).
- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à 105 °C (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.

#### **II.6.1.1.2.1.c Effet de la vitesse d'agitation des pales (du jar test) sur l'enlèvement de la turbidité des eaux usées**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des béchers du coagulant floculant  $\text{FeCl}_3$  (trouvé précédemment) pendant 5 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose optimale fixe de bio-floculant puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,
- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, (T°, pH, Conductivité, Turbidité).
- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à 105 °C (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.
- Refaire la même expérience pour des Vitesses d'agitations comprises entre (150 à 200 tours/ min).

#### **II.6.1.1.2.1.d Détermination de la durée optimale de coagulation floculation**

Dans une série de béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon ;
- Ajouter une dose optimale et fixe pour l'ensemble des béchers du coagulant  $\text{FeCl}_3$ (trouvé précédemment) pendant 2 min à 150 tr/min
- Ajouter une dose optimale et fixe du bio-floculant pour l'ensemble des béchers puis Réduire l'agitation à 30 t/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30 min,

- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 15 min,
- Prélever, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 100 ml du surnageant sur lequel différentes mesures seront effectuées, (T°, pH, Conductivité, Turbidité).
- Filtrer sur papier filtre préalablement pesé et séché dans un étuve à 105 °C (pendant 24 h) et peser la quantité de boue obtenue.
- Refaire la même expérience pour des temps de coagulations floculations compris entre 2 à 10 minutes. (2min, 4min ; 6 min, 8min ; 10min;)

**NB : Refaire les mêmes expériences pour le Coagulants Chitosane**

- Détermination de la dose optimale du bio-floculants : même mode opératoire c'est dire qu'on prend une dose optimale et fixe du Coagulant (Chitosane) et On fait varier la masse du bio-floculant de 0.6 à 2ml)
- Détermination du pH optimale même mode opératoire que précédent, donc en prend une masse optimale et fixe du coagulant et une dose optimale et fixe du bio-floculant
- **Effet de la vitesse d'agitation : même mode opératoire que précédemment.**
- **Détermination de la durée optimale de coagulation floculation : même mode opératoire que, précédemment.**



### **3- CHAPITRE III :**

## **Résultat et discussion**



### III.1 Introduction

L'objectif de la présente étude est le prétraitement des eaux turbides provenant de la STEEP de Bordj Bou Arreridj par un procédé physico-chimique (coagulation-floculation), dans le but d'optimiser ses performances en déterminant les conditions optimales permettant un meilleur abattement de la turbidité :

- pH optimal,
- La dose optimale du Coagulant,
- La dose optimal du Floculant.
- Vitesse optimal d'agitation
- Durée optimale de Coagulation-floculation

### III.2.Essai de coagulation-floculation :

#### III.2.1. Cas du coagulant Fe Cl<sub>3</sub>:

##### III.2.1.1.Optimisation du pH:

Afin de caractériser nos échantillons et pour mieux comprendre les phénomènes de coagulation et floculation, des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur nos échantillons d'eaux troubles; les résultats sont regroupés dans le tableau suivant:

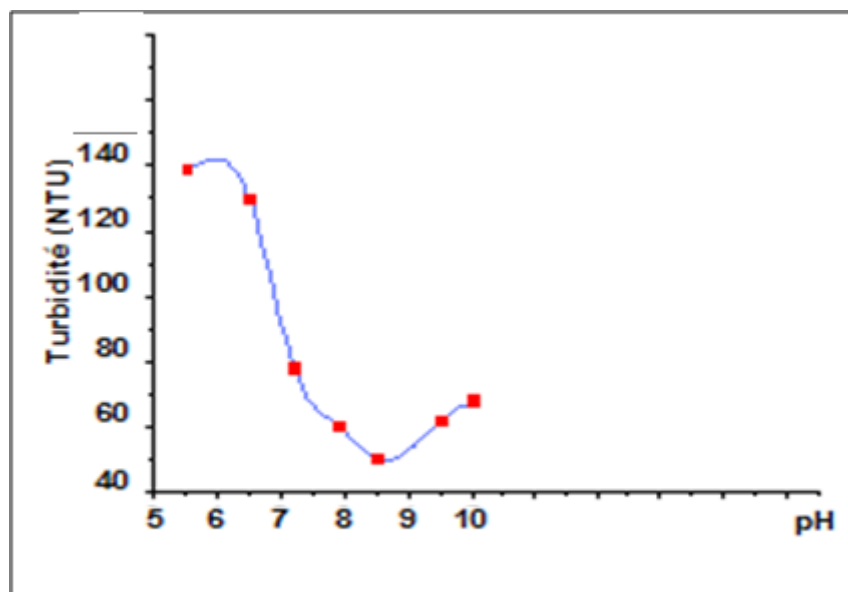
**Tableau III.1** : Valeurs des paramètres analysés pour la caractérisation de l'eau.

Paramètres	Valeur trouvée
Température (°C)	23
PH	7.21
Conductivité (mS.cm <sup>-1</sup> )	3.38
Matières en Suspension MES (mg)	204

Le pH est une variable importante à prendre en considération au moment de la coagulation pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation est optimal, elle est fonction du coagulant utilisé, de la concentration et de la composition de l'eau à traiter. La formation des flocs et leurs stabilités dépendent donc du pH.

L'étape de coagulation correspond à l'injection du coagulant et au contact entre colloïdes et coagulant. Le but de cette étape est d'abaisser la barrière énergétique donc d'optimiser la distance entre les colloïdes pour favoriser la formation de flocs. Cela correspond ainsi à annuler le potentiel Zêta précédemment introduit [50].

Les phénomènes ayant lieu durant cette étape sont donc les hydrolyses du coagulant, la compression de la double couche et enfin l'adsorption du coagulant à la surface du colloïde. Les zones de prédominance des hydroxydes de fer sont de 5,5 à 8,3. Pour cela, une série d'expérience a été effectuée avec le coagulant en variant le pH dans l'intervalle [5,5-8,5] et en fixant la dose du coagulant à 10 mg/L. Sachant que le pH de notre échantillon est de 7.21, Les résultats du suivi de la turbidité en fonction du pH sont représentés dans les figures III.1.



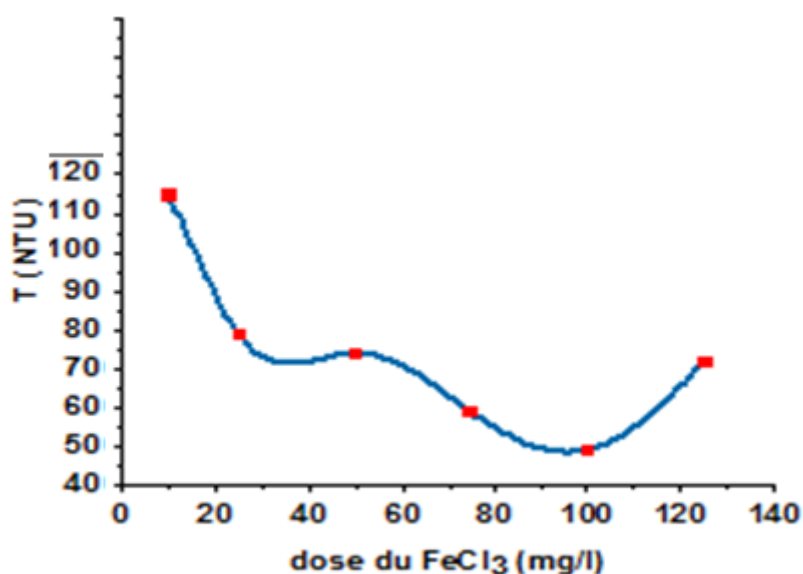
**Figure III.1 :** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH pour le  $\text{FeCl}_3$

Les mesures de la turbidité qui sont illustrées sur la figure ci-dessus, nous montre que cette dernière diminue en augmentant le pH jusqu'à une valeur minimale de 40NTU pour un pH optimal de 8,5. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau. Les résultats obtenus montrent que la conductivité augmente en fonction de la dose de  $\text{FeCl}_3$ .

### III.2.1.2 Optimisation de la dose du coagulant FeCl<sub>3</sub>:

Dans le but d'étudier l'effet de la dose de coagulant FeCl<sub>3</sub> sur le processus de la coagulation-floculation, des séries d'essai sont été effectuées à plusieurs doses de coagulant: allant de 10 à 125 mg.L<sup>-1</sup>. Le choix de la dose optimale du coagulant sera jugé en fonction de l'abattement de la turbidité.

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



**Figure III.2:** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant FeCl<sub>3</sub>.

L'allure de la courbe représentant l'évolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant FeCl<sub>3</sub>, montre la diminution progressive de la turbidité avec l'augmentation de la dose du coagulant jusqu'à atteindre une valeur minimale de 45 NTU. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau. Nous pouvons confirmer d'après le graphe que la concentration optimale pour l'élimination des turbidités se situe autour de 100 mg/l.

### III.2.1.3 Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation

L'agitation permet d'homogénéiser la solution. Il est important de dissocier vitesse d'agitation durant la phase de coagulation et durant la phase de floculation.

La vitesse de l'agitation agit sur la probabilité de rencontre des particules. Il faut qu'elle soit suffisamment élevée pour permettre aux particules de se rencontrer. Cependant, si elle devient trop élevée, les floccs subissent un cisaillement mécanique entraînant leur fragmentation [51].

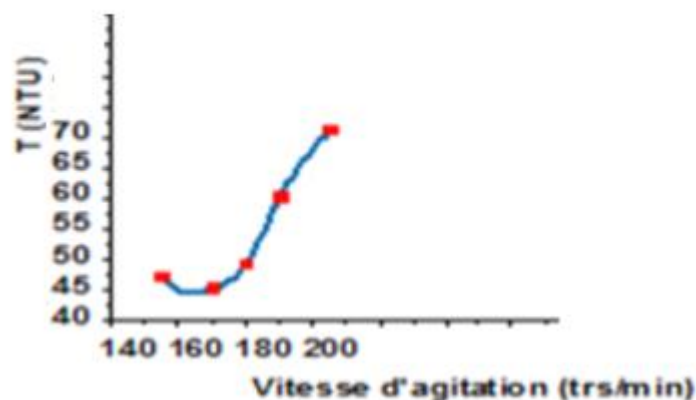
La pratique consiste à mettre en œuvre deux séquences d'agitations : une rapide qui favorise le mélange des réactifs et la déstabilisation des particules (phase de coagulation) et une lente pour favoriser les collisions entre les particules déstabilisées et ainsi entraîner leur agrégation (phase de floculation).

Lors de la phase de coagulation, un mélange efficace est obtenu si la solution est placée en régime turbulent. On considère donc qu'on se place à un nombre de Reynolds supérieure à  $10^5$  dans le cas d'une agitation initiée par un mobile axial [52] ;

Le nombre de Reynolds est obtenue par :  $Re=N\rho d^2\mu=10^5$  Avec N la vitesse d'agitation,  $\mu$  et  $\rho$  les viscosités dynamiques et masse volumique de l'eau respectivement et la taille caractéristique des pales agitant notre solution [53] ;

On trouve dans notre cas une vitesse d'agitation de l'ordre de 100tr/min lors de la phase de coagulation.

La réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation est représentée par la figure suivante:



**Figure III.3:** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation

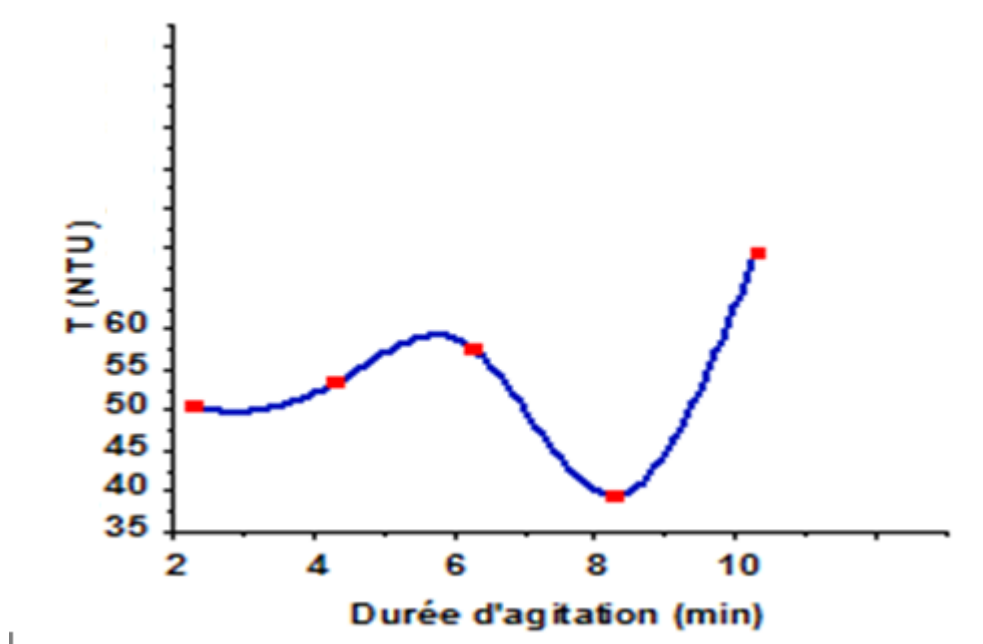
Le but recherché de cette étape est l'agglomération des colloïdes déjà déstabilisés par le

coagulant  $FeCl_3$ . L'agglomération des colloïdes en flocons de taille et de rigidité suffisante est une action nécessaire pour faciliter toute séparation solide-liquide, soit qu'il s'agit de décantation ou de filtration.

Cette agglomération des colloïdes déstabilisés exige deux fonctions principales :

- Une interaction intense entre les particules déchargées en vue d'augmenter la probabilité de rencontre et des collisions, ce qui permettra la formation des flocons.
- Eviter la destruction des flocons formés par voie mécanique et on sait que le nombre décollations entre particules est proportionnel au gradient de vitesse, mais les forces de cisaillement le sont aussi.

Ainsi la recherche d'un gradient de vitesse optimum est très important lors de la floculation ce qui explique que la durée et la vitesse d'agitation lors de cette étape pour assurer non seulement la formation des flocons mais aussi leur durcissement.



**Figure III.4:** réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation

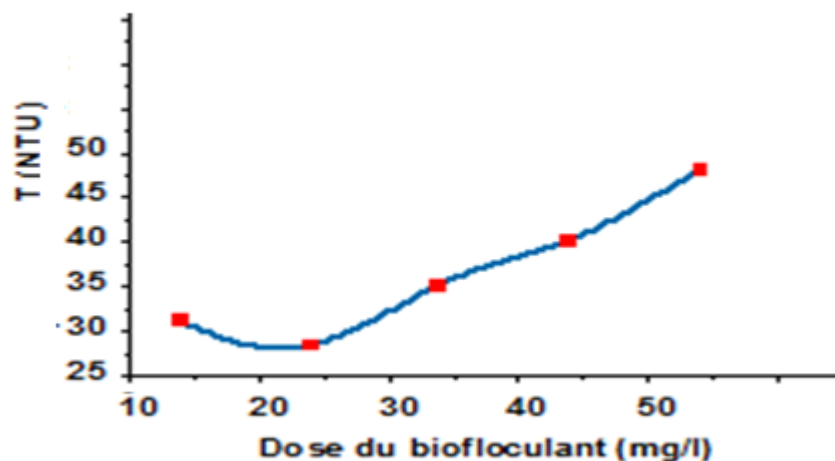
D'après les Figures (III.3et III.4) et pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la coagulation a été maintenue à 165tr/min et cela durant un temps optimale de 08 min.

### III.2.2 Cas du coagulant $\text{FeCl}_3$ en association avec un Bio floculant dans la phase de décantation

#### IV.2.2.1 Optimisation de la dose du bio floculant

La figure 3-7 représente la variation du taux de réduction de turbidité en fonction de la masse du bio-floculant ajouté. Les échantillons initiaux se caractérisent par :

- Une conductivité est de l'ordre  $3.4 \mu\text{s}/\text{cm}$ .
- Le pH est égal à **7.00**
- Une Température de **26°C**.
- Une teneur en MES de l'ordre de **191** En mg



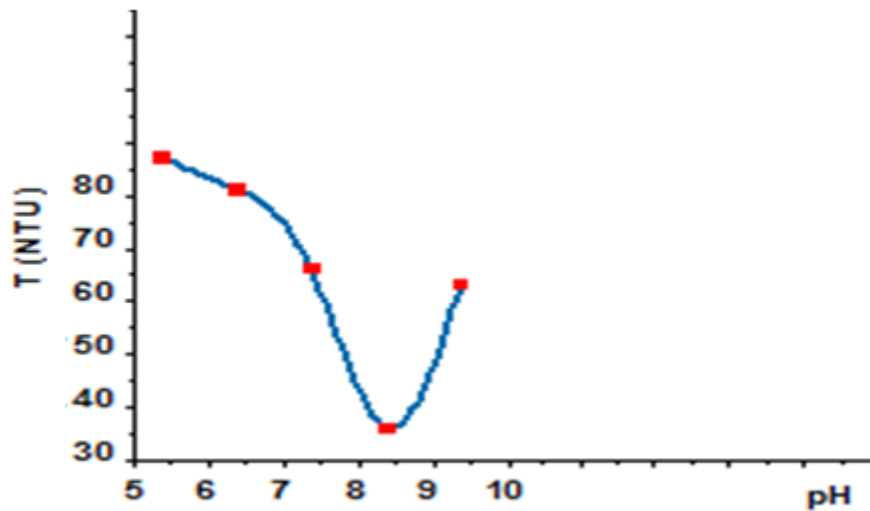
**Figure III.5:** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du Bio-floculant

Les masses du Bio floculant gel de Cactus ajoutés varient de 10 mg à 50 mg par litre d'échantillons à une température de 25°C. On remarque d'après la figure que le pouvoir coagulant diminue au fur et à mesure de l'ajout du Bio floculant pour atteindre une valeur maximale à une masse de 50 mg. La Dose optimale du bio floculant est atteinte pour une valeur de 20 mg correspondant à une turbidité est égale à 28,2 NTU. Au-delà de cette dose c'est-à-dire au surdosage le taux de réduction de turbidité diminue ce qui est justifié par la rentabilisation stérique des particules colloïdales (l'augmentation du rapport polymère/particules).

#### III.2.2.2 Optimisation du pH

Dans le but de déterminer le pH optimal correspondant aux meilleurs taux de réductions, nous avons réalisé plusieurs essais en Jar Test où on a fait varier le pH des échantillons de 5.5 à

9.5 et nous avons suivi le taux de réduction et la structure des floccs formés pour une masse optimale de coagulant (10mg) est une masse optimale de bio flocculant (20mg).



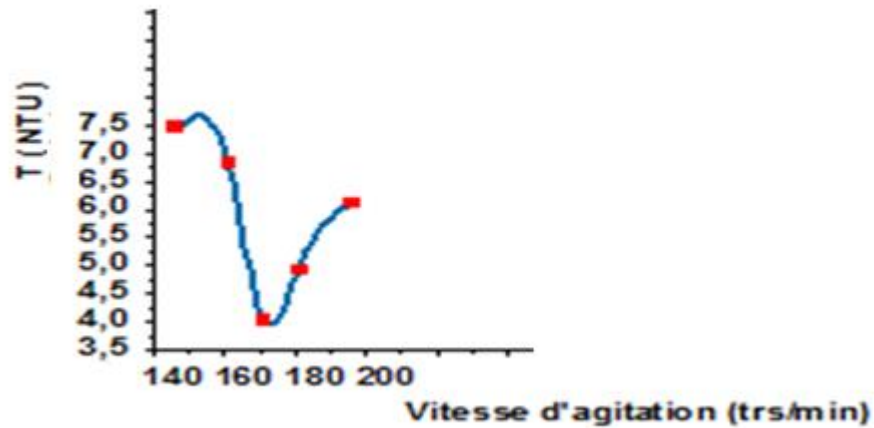
**Figure III.6 :** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de Ph dans le cas de l'ajout du Bio flocculant.

D'après la figure VI.6 on remarque que la turbidité diminue au fur et à mesure que le pH augmente jusqu'à un pH optimale qui est de l'ordre de 8,5 correspondant à une turbidité de l'ordre de 27 NTU. En comparant ces résultats pas d'autres études réalisées sur le cactus on remarque que notre gel offre une plage de pH beaucoup plus large de (8 à 10). Mais on a remarqué que la structure des floccs change en fonction du pH.

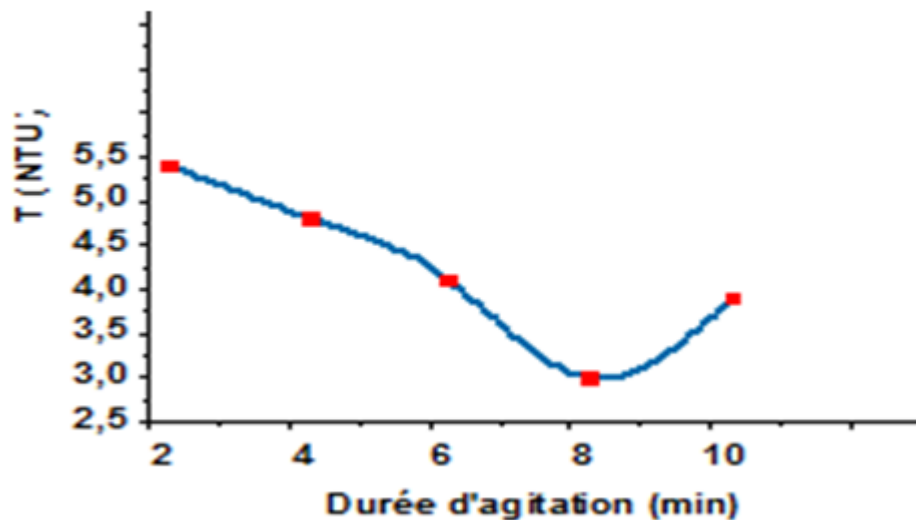
### III.2.2.3 Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulation par ajout du bio flocculant

Les figures III.7 et III.8 expriment la variation de la turbidité pour différentes vitesses d'agitation durant la coagulation par ajout d'un bio-flocculant.





**Figure III.7:** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation par ajout d'un bio-floculant.



**Figure.III.8:** réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation par ajout d'un floculant

D'après les Figures (III.7et III.8) et pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la floculation a été maintenue à 176.87trs/min et cela durant un temps optimal de 08 min.

### III.2.3 Cas du coagulant Chitosane:

#### III.2.3.1 Optimisation du pH

La coagulation floculation est un procédé qui permet d'éliminer les particules en suspension non décantables, il s'effectue en deux étapes, la coagulation qui s'accomplit à grande vitesse

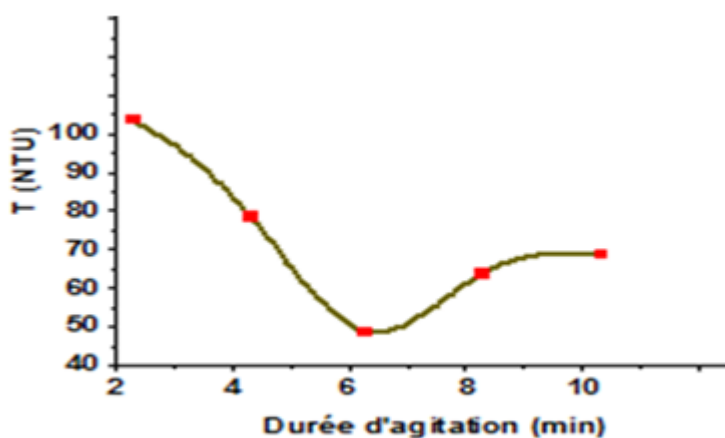
d'agitation (environ 200 rpm) et en quelques minutes (3 minutes), puis la floculation à faible vitesse d'agitation (environ 40 rpm) et en vingtaine de minutes. Ces deux étapes permettent la déstabilisation de la suspension particulaire et la formation de flocs dont la taille détermine la vitesse de décantation.

Des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur nos échantillons d'eaux troubles; les résultats sont regroupés dans le tableau suivant:

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

Paramètres	Valeur trouvée
Température (°C)	23
pH	7.21
Conductivité (mS.cm <sup>-1</sup> )	3.42
Matières en Suspension MES (mg)	204

L'effet du pH sur la variation de la turbidité est représenté sur les (figures III.9).



**Figure III.9** : Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH pour le Chitosane.

Le pH a un rôle clé au sein des procédés de coagulation/floculation car il agit sur plusieurs phénomènes. IL va tout d'abord jouer sur la spéciation du Chitosane et donc sur son hydrolyse.

Il existe donc un pH de solubilité minimum autour duquel (au-dessus ou en-dessous), les seuils de l'efficacité du Chitosane augmentent.

De plus, le pH détermine la charge des colloïdes organiques. En fonction de la nature des colloïdes, ceux-ci vont présenter des Point de Zéro Charge (PZC) différents et donc, selon le pH, ces colloïdes seront chargés positivement ou négativement en surface. Ceci est donc directement lié à l'efficacité de la coagulation/floculation par ajout du Chitosane, donc coagulation cationique.

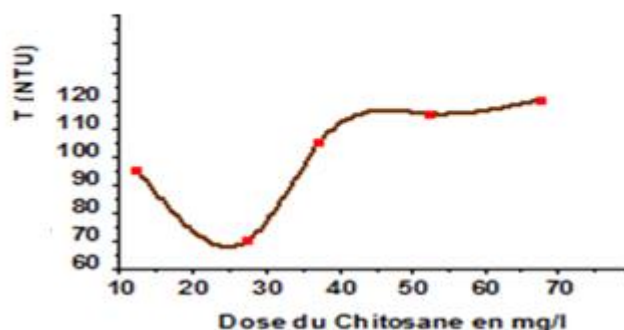
Les mesures de la turbidité qui sont illustrées sur la figure ci-dessus, nous montre que cette dernière diminue en augmentant le pH jusqu'à une valeur minimale de 40 NTU pour un pH optimal de 9. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau. Les résultats obtenus montrent que le pH est une donnée difficile à extraire car il n'existe pas de pH optimum tel quel. Il s'agit plutôt de faire un compromis entre pH de coagulation (influence sur PZC des colloïdes, plutôt acide) et pH de floculation (Minimum de solubilité du Chitosane, plutôt basique).

### III.2.3.2. Optimisation de la dose du coagulant Chitosane:

Il est attendu un effet positif de la dose de coagulant et majoritaire. Il s'agit en effet du premier facteur influençant la coagulation floculation mais également la concentration finale en Chitosane résiduel.

Il existe en effet un seuil à partir duquel la tendance s'inverse. Le Chitosane dispose à la surface des particules des charges positives, rendant le potentiel Zêta positif, et provoque ainsi la re-dispersion des particules. Quand la dose de coagulant dépasse un certain seuil, elle atteint sa capacité maximale dite « buffer ». Le pH chute ce qui entraîne la formation d'espèces moins polymérisées et moins efficaces.

Des séries d'essai ont été effectuées à plusieurs doses de coagulant: allant de 10 à 125 mg.L<sup>-1</sup> dans le but d'étudier l'effet de la dose de coagulant Chitosane sur le processus de la coagulation floculation. Le choix de la dose optimale du coagulant sera jugé en fonction de l'abattement de la turbidité. La variation de la turbidité en fonction des différentes doses appliquées est représentée sur le graphe suivant :



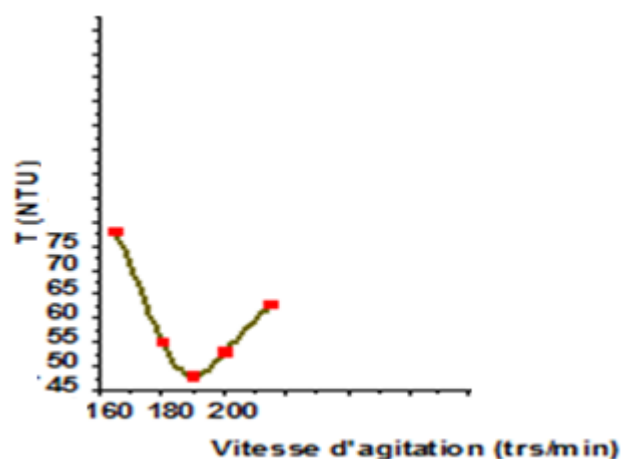
**Figure III.10:** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant Chitosane.

Les résultats obtenus montrent que la turbidité de l'eau diminue en fonction de la dose de chitosane jusqu'à une dose de 28 mg/l qui est la dose optimale où la turbidité est de 63 NTU.

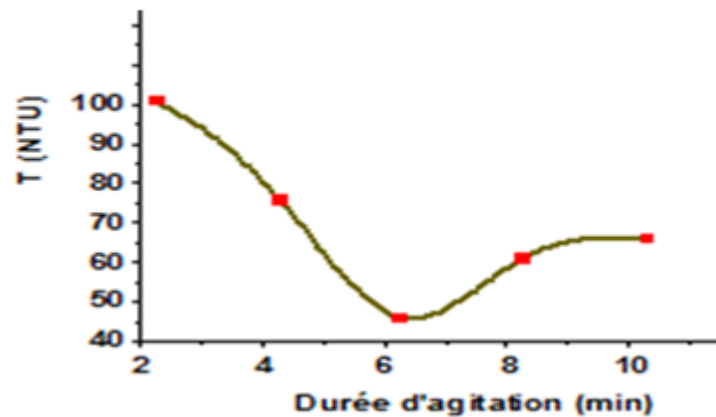
À une dose de coagulant supérieure à 28 mg/l, on remarque une augmentation de la turbidité causée par le surdosage de coagulant. À une concentration de 360 mg/l de chitosane, cela entraîne la saturation des sites sur le polymère lors du pontage. Le surplus de chitosane détruit les ponts réalisés par ce polymère entre les particules, causant ainsi un accroissement de la turbidité résiduelle des eaux.

### III.2.3.3. Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulant Chitosane

Les figures III.11 et III.12 expriment la variation de la turbidité pour différentes vitesses d'agitation durant la coagulation par ajout du Chitosane.



**Figure III.11:** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation



**Figure III.12:** Variation de la turbidité en fonction de la durée d'agitation

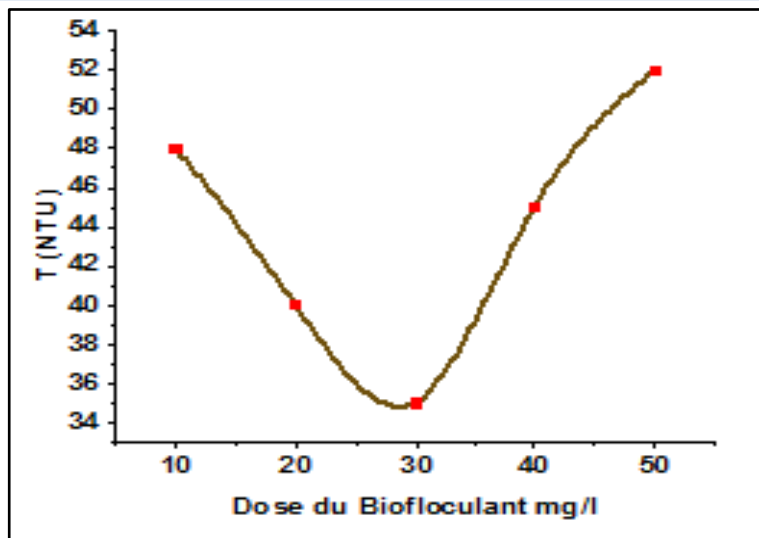
D'après les Figures (VI.11 et VI.12) et pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la coagulation a été maintenue à 175, 60tr/min et cela durant un temps optimal de 06 minutes.

### **III.2.4.Cas du coagulant du Chitosane en association avec le Bio floculant (Gel de Cactus) dans la phase de décantation**

#### **III.2.4.1.Détermination de la dose optimale du Bio-floculant (Gel de Cactus)**

La figure VI.13 représente la variation du taux de réduction de turbidité en fonction de la dose du bio-floculant ajouté. Les échantillons initiaux se caractérisent par :

- Une conductivité est de l'ordre **3.2**  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .
- Le pH est égale à **7.12**
- Une Temperature de **26C°**.
- Une teneur en MES de l'ordre de **175** En mg

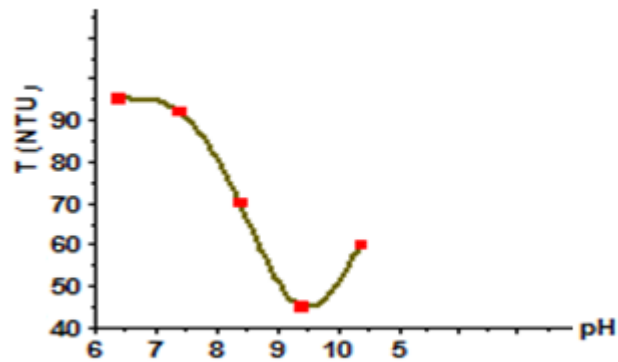


**Figure III.13:** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du Bio-floculant (Gel de Cactus)

Les masses du Bio floculant gel de Cactus ajoutés varient de 10 mg à 50 mg par litre d'échantillons à une température de 25°C. On remarque d'après la figure que le pouvoir coagulant diminue au fur et à mesure de l'ajout du Bio floculant pour atteindre une valeur maximale à une masse de 50 mg. La Dose optimale du bio floculant est atteinte pour une valeur de 28.46 mg correspondant à une turbidité est égale à 34.76 NTU.

#### III.2.4.2 Optimisation du pH

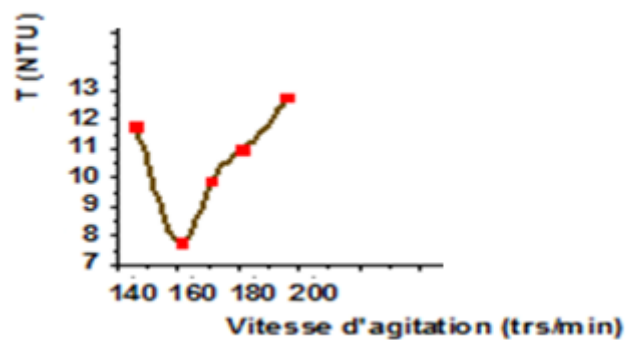
D'après la figure VI.14 on remarque que la turbidité diminue au fur et à mesure que le pH augmente jusqu'à un pH optimale qui est de l'ordre de 8,57 correspondant à une turbidité de l'ordre de 40.11 NTU.



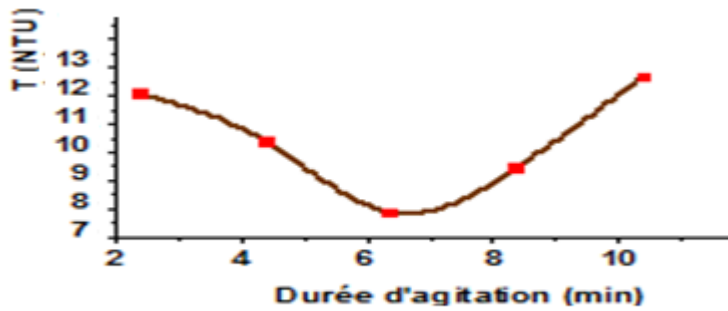
**Figure III.14 :** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du Bio flocculant

### III.2.4.3. Détermination de la vitesse optimale d'agitation et de la Durée optimale de coagulant Chitosane

Les figures III.15 et III.16 expriment la variation de la turbidité pour différentes vitesses d'agitation durant la coagulation par ajout d'un bio flocculant



**Figure III.15:** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation par ajout d'un bio-flocculant

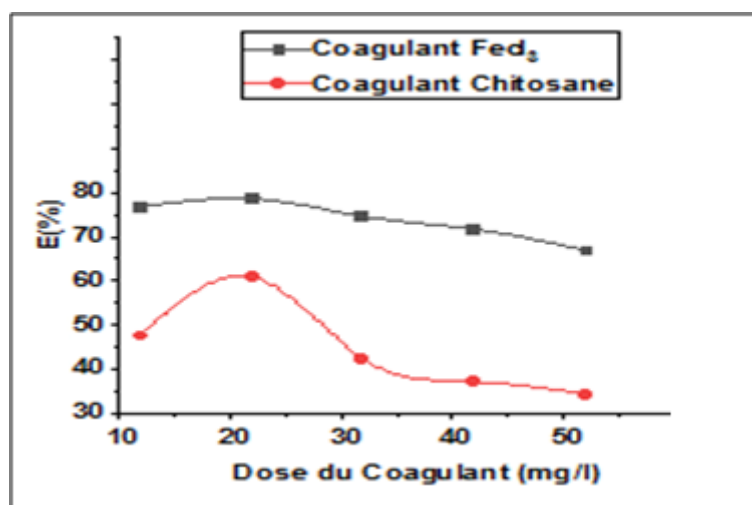


**Figure III.16:**réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation par ajout d'un flocculant

D'après les Figures (III.15et III.16) et pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la floculation a été maintenue à 164, 34tr/min et cela durant un temps optimal de 06,32 min.

### III.3.4 Etude comparative entre l'efficacité de coagulant $FeCl_3$ et le Chitosane

Les figure VI.17 et VI.18 représentent respectivement les Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de(.)pour le Chitosane et (.) pour le chlorure ferrique



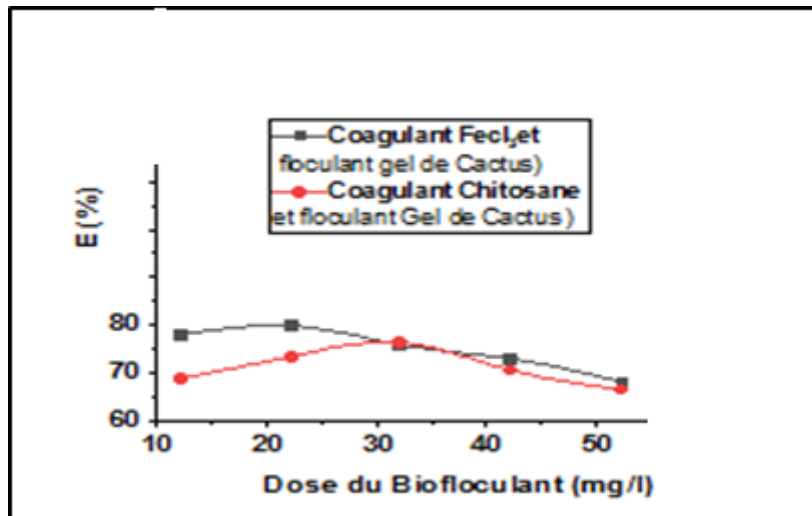
**Figure III.17.**Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de(●) pour le Chitosane et (■) pour le chlorure ferrique



**Interprétation :**

- D'après la figure III.17, on remarque que la réduction de la turbidité en fonction de la concentration pour le chitosane est faible  $E=66\%$ , par rapport au  $FeCl_3$  est très élevée  $E=84\%$ . Donc le meilleur coagulant est  $FeCl_3$ .

- La meilleure concentration pour la réduction de la turbidité pour les deux coagulant est  $C=20\text{mg/l}$ .



**Figure III.18** Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration de (●) pour le Chitosane et gel de Cactus et (■) pour le chlorure ferrique et gel de Cactus.

**Interprétation :**

- D'après la figure III.18, on remarque que la réduction de la turbidité en fonction de la concentration pour le chitosane et gel de cactus est élevée  $E=80\%$ , par rapport au  $FeCl_3$  et gel de cactus est très élevée  $E=84\%$ . Donc le meilleur coagulant est  $FeCl_3$ .

- La meilleure concentration pour la réduction de la turbidité de coagulant  $FeCl_3$  et gel de cactus est  $C=20\text{mg/l}$ , et de coagulant chitosane et gel de cactus  $C=30\text{mg/l}$ .

En vue des résultats obtenus on peut conclure que le coagulant chlorure ferrique et par excellence le coagulant le plus efficace que le Chitosane.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la réalisation de la thèse de fin d'études d'un Master en Génie de l'environnement.

Son but principal est l'étude de la performance d'un polymère organique naturel ; le chitosane pour la diminution ou l'élimination sous certaines conditions, de la turbidité dans

les eaux usées, pouvant provenir de diverses activités domestiques et industrielles.

Le chitosane est le polymère organique naturel le plus abondant dans la nature. Sa charge positive et son arrangement moléculaires lui confèrent des propriétés intéressantes sur le plan de la clarification, son étude s'avère très intéressante.

Le chitosane a été étudié sous différents aspects : son origine, ses caractéristiques physico-chimiques, son mode de préparation, les mécanismes de coagulation et floculation, ses propriétés et ses différentes applications.

Des essais de coagulation-floculation appelés de type « jar-Test » devaient être réalisés en laboratoire, pour tester réellement l'efficacité du chitosane suivant plusieurs possibilités, ils n'ont pas pu être réalisés en raison de la situation sanitaire que traverse notre pays, à l'instar des autres pays de la planète.

En conclusion, nous pensons que notre étude permettra : d'une part, une contribution intéressante dans le domaine de la valorisation et l'exploitation des déchets de l'industrie de la pêche, d'autres part, elle permettra la possibilité d'introduire un nouveau réactif bio dégradable dans le processus de traitement physico-chimique par procédé de coagulation floculation, pouvant remplacer même partiellement, certains coagulants inorganiques, largement appliqués dans le domaine de traitement des eaux et ayant des inconvénients sur l'environnement en particulier la santé humaine.

## **Conclusion Générale**



## Conclusion Générale

Le problème du traitement des eaux, surtout dans sa phase de coagulation/floculation pose pas mal de problèmes relatifs au choix limité des coagulants flocculants et en particulier au choix d'un coagulant idéal. Un produit, pour améliorer le processus peut avoir une influence positive ou négative sur d'autres paramètres et générer des conséquences sur la santé ou la pollution de l'environnement.

Du côté de la protection de l'environnement, les boues produites par l'utilisation des sels minéraux contiennent parfois des tonnes élevées de métaux résiduels et nécessitent un traitement spécial ou un enfouisseur.

Afin de produire une eau de meilleure qualité, et dans le cadre d'éviter ou de prévenir les effets négatifs liés à l'utilisation des sels métalliques et des polymères synthétiques dans le traitement des eaux, il est nécessaire de penser au remplacement de ces coagulants conventionnels.

L'utilisation des coagulants naturels pourrait améliorer la qualité des eaux sans toutefois compromettre la santé humaine, ni nuire à l'environnement, la valorisation et l'exploitation des déchets de l'industrie de la pêche serait aussi une mesure de protection de l'environnement aquatique. Cette étude s'inscrit dans le cadre de la réalisation de la thèse de fin d'études d'un Master en Génie des Procédés de l'environnement. Son but principal est l'étude de la performance d'un polymère organique naturel ; le chitosane pour la diminution ou l'élimination sous certaines conditions, de la turbidité dans les eaux usées, pouvant provenir de diverses activités domestiques et industrielles.

Le chitosane est le polymère organique naturel le plus abondant dans la nature. Sa charge positive et son arrangement moléculaires lui confèrent des propriétés intéressantes sur le plan de la clarification, son étude s'avère très intéressante. Le chitosane a été étudié sous différents aspects : son origine, ses caractéristiques physico-chimiques, son mode de préparation, les mécanismes de coagulation et floculation, ses propriétés et ses différentes applications.

Les résultats présentés dans cette étude permettent de fournir un ordre d'idée plus clair de l'efficacité et du potentiel technique et environnemental d'un procédé de coagulation floculation avec le gel de cactus.

L'application de notre bio-floculant à une eau turbide a donné des résultats appréciables à des pH supérieurs à 8.

L'efficacité du procédé de coagulation-floculation avec le cactus est mentionnée dans la littérature scientifique et confirmée par les présentes expériences, le bio-floculant permet d'enlever plus 84 % de turbidité une fois appliqué à une eau turbide. Un tel rendement positionne avantageusement cette technologie parmi les solutions alternatives aux problèmes associés à la performance environnementale des coagulants chimiques sans oublier que ce matériau « Ecofriendly » est un produit local et utilise une main d'œuvre algérienne comparé à Chlorure ferrique qui est importé.

A la lumière des résultats obtenus lors de cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- La dose de coagulant et son pH d'élimination ont la plus grande influence sur la variabilité de la qualité de l'eau décantée, l'optimisation du traitement est basée essentiellement sur ces deux paramètres. En effet, les meilleurs pourcentages d'élimination de la turbidité dans le cas du chlorure ferrique sont obtenus pour une concentration de 100 mg/L, soit une valeur minimale de turbidité égale à 45NTU. Dans le cas du Chitosane, les meilleurs pourcentages d'élimination de la turbidité sont obtenus pour une concentration de 28 mg/L, soit une valeur minimale de turbidité égale à 63NTU. L'élimination des particules en suspensions (MES), par coagulation, en présence du chlorure ferrique est plus efficace à pH basique qu'à pH acide. Le pH optimal dans le cas du chlorure ferrique est égal à 8.5 et une valeur de 9 dans le cas du Chitosane.

- Les conditions de mélange sont aussi importantes dans le processus de la coagulation. L'opération de coagulation doit s'effectuer dans un temps très bref car le processus de déstabilisation est réversible. Le réactif doit être reparti le plus rapidement possible et de façon la plus homogène possible dans toute la masse de l'eau.

- L'addition d'un bio flocculant (Gel de Cactus) augmente de façon significative l'efficacité d'élimination de la turbidité. En effet, le pouvoir coagulant augmente au fur et à mesure de l'ajout du Bio flocculant. La Dose optimale du bio flocculant est atteinte pour une valeur de 20 mg correspondant à une turbidité égale à 28,2 NTU (dans le cas du coagulant  $\text{FeCl}_3$  en association avec un Bio flocculant dans la phase de décantation) contre une valeur de 28.45mg/l correspondant à une turbidité égale à 34.76 NTU (dans le Cas du coagulant du Chitosane en association avec le Bio flocculant (Gel de Cactus) dans la phase de décantation).

En vue des résultats obtenus on peut conclure que le coagulant chlorure ferrique est par excellence le coagulant le plus efficace que le Chitosane.

En conclusion, nous espérons que notre étude permettra : d'une part, une contribution intéressante dans le domaine de la valorisation et l'exploitation des déchets de l'industrie de la pêche, d'autres part, elle permettra la possibilité d'introduire un nouveau réactif bio dégradable dans le processus de traitement physico-chimique par procédé de coagulation floculation, pouvant remplacer même partiellement, certains coagulants inorganiques, largement appliqués dans le domaine de traitement des eaux et ayant des inconvénients sur l'environnement et en particulier la santé humaine.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

---

### Référence:

- [1]. **DJEDDI Hamsa ,2006/2007** : L'utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, Mémoire de magistère, Université Mentouri Constantine, département des sciences de la nature et de la vie.
- [2]. **Bensalem Mohamed Bachir, 2008** : Contribution à l'étude de l'efficacité de l'épuration des eaux usées dans la ville de Sidi Bel Abbés, Mémoire de magister, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbés,
- [3]. **Kleche Meriem, 2012-2013** : Utilisation des systèmes Biologiques dans l'épuration des eaux usées, cas de la région d'Annaba. Mémoire de Doctorat en biologie, option : Biologie végétale. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- [4]. **Ministère des ressources en eau 2006** : Rapport ministériel.
- [5]. **Murcott, S. et Harlman, D.R.F,1992**: Jar-Tests of the Natural polymer chitosane. American water works association.
- [6]. **Kawamura, S,1991**: Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. Journal of the American Water Works Association.88-91.
- [7]. **Masschelein W.J,1997** : Processus unitaires de traitement de l'eau potable. Edition Cebedoc Editeur. Technique et Doc, Lavoisier.
- [8]. **Boursalil,2011** : Mémoire d'ingénieur d'états en géologie, Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension ; Département de science de la terre de l'univers ; Université Abou Beker Belkaid, Tlemcen,
- [9]. **Cadot G. 2005, 005** : Génie de l'environnement ; les traitements ; les traitements de l'eau procèdent physico-chimiques et biologique cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, février.
- [10]. **Buffle J. and Newman M,1992**: The use of filtration and ultrafiltration for size fractionation of aquatic particles, colloids, and macromolecules. In Buffle J. and van Leeuwen, Environmental particles Lewis Publishers. (1992) 171-230.

- [11]. **Verwey, E. and Overbeek, J,1948:** Theory of the stability of lyophobic colloids, Elsevier, Amsterdam, New York.
- [12]. **Edeline,1992** : Epuration physico-chimique des eaux, 2ème édition, Ed.Cebedoc, France.
- [13]. **Degrémont, 1978** : Mémento technique de l'eau. 8ème édition ; tome 2,
- [14]. **Fiche Technique sur l'assainissement Collectif N°3**, la filière disque biologique-conseil général de seine et marn.
- [15]. **Rapport Commandite par la Sodium (Société de développement de l'industrie, maricoleinc.), Février,2008** : Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour, l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles.



## I- Les tableaux du Chitosane:

### I.1- Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation

V (t/min)	T [NTU]
150	43
165	41
175	45
185	56
200	67

### I.2- Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation par ajout d'un bio-floculant

V (t/min)	T [NTU]
150	43
165	41
175	45
185	56
200	67

### I.3- Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH pour le Chitosane.

DCF	T [NTU]
10	31,1
20	28,2
30	35
40	40
50	48

# LES ANNEXES

---

**I.4-** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du Bio flocculant

PH	T [NTU]
5,5	129
6,5	120
7,2	68
7,9	50
8,5	40
9,5	52
10	58

**I.5-** réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation par ajout d'un flocculant

M	T [NTU]
10	111
25	75
50	70
75	55
100	45
125	68

**I.6-** Variation de la turbidité en fonction de la durée d'agitation

D	T [NtU]
2	39
4	42
6	46
8	28
10	58

# LES ANNEXES

---

**I.7-** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du Bio-floculant (Gel de Cactus)

<b>DFC</b>	<b>T [NTU]</b>
<b>2</b>	<b>5,5</b>
<b>4</b>	<b>4,9</b>
<b>6</b>	<b>4,2</b>
<b>8</b>	<b>3,1</b>
<b>10</b>	<b>4</b>

**I.8-** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant Chitosane.

<b>CFPH</b>	<b>T [NTU]</b>
<b>5,5</b>	<b>78</b>
<b>6,5</b>	<b>72</b>
<b>7,5</b>	<b>57</b>
<b>8,5</b>	<b>27</b>
<b>9,5</b>	<b>54</b>

## **II- Les tableaux de FeCl<sub>3</sub>:**

**II.1** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation.

<b>V [t/min]</b>	<b>T [NTU]</b>
<b>150</b>	<b>75</b>
<b>165</b>	<b>52</b>
<b>175</b>	<b>45</b>
<b>185</b>	<b>50</b>
<b>200</b>	<b>60</b>

# LES ANNEXES

---

**II.2** Variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation par ajout d'un bio floculant.

V	T [NTU]
150	12
165	8
175	10,1
185	11,2
200	13

**II.3** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du Bio-floculant.

PH	T [NTU]
5,5	151
6,5	140
7,2	125
7,9	100
8,45	70
9,5	79

**II.4** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de Ph pour le FeCl3.

PH	T [NTU]
5,5	90
6,5	87
7,5	65
8,5	40
9,5	55

# LES ANNEXES

---

**II.5** Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant FeCl<sub>3</sub>.

D	T [NTU]
2	11,7
4	10
6	7,5
8	9,1
10	12,3

**II.6** Réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation.

D	T [NTU]
2	95
4	70
6	40
8	55
10	60

**II.7** Réduction de la turbidité en fonction de la durée d'agitation par ajout d'un flocculant.

M	T [NTU]
10	48
20	40
30	35
40	45
50	52

**II.8** Variation de la turbidité en fonction des valeurs de pH dans le cas de l'ajout du Bio flocculant.

MASSE	T [NTU]
15	90
30	65
40	100
55	110
70	115

