

Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique

Département de Chimie.

Filière : Chimie appliquée.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Chimie.

Option : **Chimie appliquée.**

Présenté par :

Bezzaim Mohamed Elaid

Mebrek Yasser

THEME:

Extraction d'alginate à partir d'algues brunes et de la sève de cactus et leur emploi comme agents flocculant-coagulants dans le traitement d'eau usée.

Soutenu le : 07/07/2022

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Belhakem Ahmed

Université de Mostaganem

Examineur : Mr. Kadi Abdelkader

Université de Mostaganem

Encadrant : Mr. Harrats Charef

Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2021-2022

Remerciements

Nous commençons par remercier **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.

C'est pour nous autant de plaisir qu'un devoir d'exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à **Mr. Harrats Charef** qui nous a orientée et guidée afin de mener à bien ce travail.

Ainsi que nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury le président **Mr. Belhakem Ahmed** et l'examineur **Mr. Kadi Abdelkader** d'avoir accepté et d'évaluer notre travail.

Nous remercions aussi tout le personnel du laboratoire de chimie (**Gheribi Mohamed Hmida, Bouaza Touati, Rahmani Touatia** et **Saji Rabia**) pour leurs aides et leur bon accueil.

Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance et exprimer toute notre gratitude à nos enseignants qui ont participé pour une grande part dans notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont apporté leurs aides.

Dédicace

Je tiens à remercier le bon Dieu le tout puissant, qui avec son aide, on a pu accomplir notre mémoire.

Je dédie ce mémoire à :

Mon très cher père, que j'espère qu'il va être fier et qu'il va trouver le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

Celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, la tendresse, **à ma très chère et douce mère**. Toutes les lettres, les joies et l'amour ne sauraient trouver les mots qu'il faut.

Mes très chers frères « Bilal et Abdelkader » et **Ma chère sœur** «Sondose»

Qui méritent tout le bonheur, la joie et la réussite du monde.

À Mon cher membre de binôme Mohammed et sa famille.

A mes amis : « Amine, Abdessamad, Sofiane, Lotfi, Abdelkader, Hawli ,Nouredinne, Hakim, Abdelazize, Habib, Gezguze, Nousa, Sadok, Laroubi, Yacine, Khaireddine, Belghliyem, Imad, Fethi »

Tous mes amis, et à toute la promotion de chimie appliquée 2021/2022.

YASSER MEBREK

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma chère mère,

A mon cher père,

, Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir
et de m'épauler que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères,

Pour soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mes chères amies,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles. A toute ma famille.

MOHAMED BEZZAIM

Résumé

L'objectif de ce travail est la dépollution des matières en suspension des eaux usées industrielles par la technique de coagulation et floculation à l'aide de biopolymères naturels. Les alginates ont été extraits à partir d'algues brunes des côtes Mostaganemoises et les polysaccharides anioniques à partir des cactus de la région. Ce travail s'intéresse à l'effet de la coagulation et de la floculation sur la dépollution de l'eau usée. Dans un premier temps, nous avons appliqué cette technique à un modèle eau+bentonite (simulation) pour mieux contrôler et cerner les effets escomptés. Le test de turbidité a été utilisé pour caractériser l'effet des coagulants-floculants à dépolluer l'eau usée. Ces biopolymères naturels ont été testés seuls mais aussi en combinaison avec les sulfates d'aluminium comme coagulant classique couramment employé dans le traitement des eaux usées. Nous avons aussi consacré une partie de ce travail à une eau usée réelle récupérée d'une station d'épuration de la raffinerie d'Arzew. Les paramètres tels que la quantité optimale de coagulant ainsi que le temps minimum de décantation ont été déterminés et ont servi comme critère d'évaluation de l'efficacité des coagulants.

Les résultats obtenus ont révélé que les sèves de cactus et les alginates de sodium sont de très bons coagulants pour la bentonite pure mais, bien qu'ils sont intéressants, ils restent néanmoins moins efficaces pour les eaux usées industrielles.

Mots clés : coagulation, floculation, alginate de sodium, sève de cactus, traitement des eaux usées industrielles, algues brunes.

ملخص

هدف من هذا العمل هو دراسة إزالة التلوث من المواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصناعي بتقنية التخثر والتلبد باستخدام البوليمرات الحيوية الطبيعية. كانت الألجينات من الأعشاب البحرية البنية من سواحل مستغانم والسكريات الأيونية من صبار المنطقة. يركز هذا العمل على تأثير التخثر والتلبد على إزالة التلوث من مياه الصرف الصحي. أولاً، قمنا بتطبيق هذه التقنية على نموذج الماء + البنتونايت (المحاكاة) للتحكم بشكل أفضل والتعرف على التأثيرات المتوقعة. تم استخدام اختبار التعكر لتوصيف تأثير مواد التخثر - الندف في إزالة تلوث مياه الصرف الصحي. تم اختبار هذه البوليمرات الطبيعية بمفردها ولكن أيضاً بالاشتراك مع كبريتات الألومنيوم كمخثر كلاسيكي شائع الاستخدام في معالجة مياه الصرف الصحي. لقد كررنا أيضاً جزءاً من هذا العمل لمياه الصرف الصحي الحقيقية القادمة من محطة المعالجة في مصفاة أرزيو. تم تحديد المعلمات مثل الكمية المثلى من التخثر وكذلك الحد الأدنى من وقت الاستقرار وعملت كمعايير لتقييم فعالية المخثرات. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن عصارة الصبار والجلينات الصوديوم هي مواد تخثر جيدة جداً للبنتونايت النقي ولكنها تظل أقل فعالية لمياه الصرف الصناعي.

الكلمات المفتاحية: التخثر، التلبد، ألبينات الصوديوم، عصير الصبار، معالجة المياه الصناعية، الطحالب البنية.

Liste des figures

Figure I.1: Algues brunes (<i>Fucus serratus</i>)	5
Figure I.2: Structure des alginates	6
Figure I.3: Champ de cactus	9
Figure I.4: Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation	16
Figure II.1: Plage de Hadjadj	21
Figure II.2: Diff�rent types d'algues	22
Figure II.3: Lixiviation on milieu acide	23
Figure II.4: Aspect de la solution de traitement par les carbonates de sodium	23
Figure II.5: Précipitation de l'acide alginique	24
Figure II.6: Extraction du jus de cactus	25
Figure II.7: Turbidimètre	26
Figure II.8: Aspects visuels de la turbidité de l'eau : argile et coagulant	26
Figure II-9 : Décantation dans une ampoule à décanter	27
Figure III.1: Turbidité en fonction de la dose sulfates d'aluminium et de la sève	30
Figure III.2: Turbidité en fonction de la quantité de sulfates d'aluminium et de la sève	31
Figure III.3: Suspension bentonite/eau avec (sève de cactus /sulfatesd'aluminium)	32
Figure III.4: Turbidité pour les 4 essais en fonction du temps.	33
Figure III.5: Turbidité en fonction de la quantité de sulfates d'aluminium et des alginates de sodium	34
Figure III.6: Turbidité en fonction de la dose de sulfates d'aluminium et des alginates	35
Figure III.7: Turbidité pour les 4 essais en fonction du temps de la floculation.	36
Figure III.8: Turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité de sulfates d'aluminium, de la sève de cactus, et d'alginates de sodium	38
Figure III.9: Variation de la turbidité en fonction de pourcentage de la sève de cactus	39
Figure III.10: Variation de la turbidité en fonction du pourcentage des alginates de sodium	40

Liste des tableaux

Tableau I.1: Répartition de la production mondiale des alginates.	8
Tableau I.2: Dérivés des sels d'aluminium et de fer	17
Tableau II.1: Appareillage	20
Tableau II.2: Matériaux et produits utilisés	20
Tableau II.3: Pourcentage massique des coagulants utilisés pour la mesure de la turbidité	27
Tableau III.1: Turbidité en fonction de la quantité maximale de la sève de cactus	29
Tableau III. 2 : Turbidité en fonction de la quantité maximale de sulfates d'aluminium.	29
Tableau III.3: Turbidité en fonction de la quantité sève de cactus et de sulfates d'aluminium	31
Tableau III.4: Turbidité en fonction du temps pour la sève de cacatus et des sulfates d'aluminium	32
Tableau III.5: Turbidité après traitement par les alginates de sodium	33
Tableau III.6: Turbidité après traitement par les sulfates d'aluminium	34
Tableau III.7: Turbidité en fonction du pourcentage des alginates de sodium et des sulfates d'aluminium	34
Tableau III.8: Turbidité de (l'eau+bentonite) en fonction tu temps pour les alginates de sodium et les sulfates d'aluminium	36
Tableau III.9: Turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité des trois coagulants	37
Tableau III.10: Turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité de la sève de cactus et des sulfates d'aluminium.	38
Tableau III.11: turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité des alginates de sodium et des sulfates d'aluminium	39

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I: Synthèse bibliographique	2
I.1 Généralités sur les algues	3
I.1.1 Définition des algues	3
I.1.2 Classification des algues	3
I.1.3 L'utilisation des algues	3
I.1.4 Caractéristiques des algues brunes	4
I.2 Les alginates	5
I.2.1 Définition	5
I.2.2 Extraction des alginates	6
I.2.3 Solubilité des alginates	7
I.2.4 Alginates de sodium	7
I.2.5 Utilisation des alginates de sodium	7
I.2.6 Application Industrielle des alginates	8
I.3 Cactus (Opuntia ficus indica)	9
I.3.1 Généralité	9
I.3.2 Description morphologique	9
I.3.3 Habitat et culture	10
I.3.4 Utilisation du jus de cactus comme coagulant	10
I.4 Domain d'application: traitement des eaux usées	10
I.4.1 Généralités sur les eaux usées et leur traitement	10
I.4.2 Traitement des eaux usées	14
I.5 Coagulation-floculation	14
I.5.2 Procédé de coagulation-floculation	14
I.5.3 Rôle de la coagulation-floculation	15
I.5.3 Coagulation	15
I.5.4 La floculation	17

Chapitre II: Méthodes expérimentales	19
II.1 Introduction	20
II.2 Méthodes et matériel	20
II.2.1 Appareillage	20
II.2.2 Matériaux et produits	20
II.3 Partie 1: l'extraction d'alginate à partir d'algues brunes.....	21
II.3.1 Matière Première: l'algue brune.....	21
II.3.2 Extraction des alginate.....	22
II.3.3 Détermination du rendement d'extraction	24
II.4 Partie 2: L'extraction de la sève de cactus à partir des cactus	25
II.4.1 Protocole d'extraction de la sève de cactus	25
II.5 Test de coagulation-floculation.....	25
II.5.1. Essais de turbidité	26
Chapitre III: Résultats et discussion.....	28
III.1. L'Effet de la sève de cactus comme coagulant	29
III.1.1 Influence de la concentration du coagulant	26
III.1.2. La variation de la turbidité en fonction du temp (Sèv Cac +Sul Alu).....	29
III.2. L'Effet de l'alginate de sodium comme coagulant.....	32
III.2.1 Influence de la concentration du coagulant	33
III.2.2 La variation de la turbidité en fonction du temp (AlgNa +Sul Alu)	36
Conclusion générale	36
Références bibliographiques	37

Introduction générale

Le développement des industries minières nécessite l'utilisation de l'eau au niveau de l'extraction et la valorisation des matières premières. Les eaux usées générées polluent l'environnement. Les autorités locales et les organisations internationales exigent que les industries respectent les normes relatives aux eaux usées et aux déchets industriels. Ces normes imposent que l'eau soit traitée avant d'être rejetée dans le milieu naturel. Actuellement, il existe plusieurs méthodes pour dépolluer l'eau usée des matières en suspension mais aussi des métaux lourds sous formes de sels dissous. La technique de la coagulation-floculation est la plus efficace de toutes. Les coagulants les plus fréquemment utilisés dans l'industrie de traitement des eaux usées sont les sulfates d'aluminium et le chlorure de fer. Les premières sont à base d'aluminium qui est classé actuellement de métal toxique et que déjà certains pays, à l'instar du Japon, interdisent son utilisation de peur de le retrouver dans l'eau potable ou dans les fruits et légumes. Les seconds nécessitent, pour être efficaces, un milieu acide d'où le besoin d'ajouter des acides aux bassins de traitement des stations d'épuration. Par conséquent, ces coagulants sont amenés à disparaître dans un futur proche et leur remplacement par des produits non toxiques est devenu un thème de recherche très convoité par beaucoup de laboratoires à travers le monde.

Dans ce travail nous avons choisi, à l'instar de beaucoup de groupes de recherche, d'utiliser des biopolymères naturels, les alginates de sodium extraites des algues brunes se trouvant sur la côte mostaganemoise et des polysaccharides contenus dans la sève de cactus, aussi récupérée de la région, comme agents coagulant-floculants. La spécificité de cette approche repose sur l'emploi de ressources naturelles locales pour le développement économique.

Ce mémoire comporte trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une revue de la littérature sur les matières premières utilisées comme coagulants, les eaux usées et leur traitement, et sur le processus coagulation-floculation.

Dans le deuxième chapitre sont décrites les méthodes expérimentales adoptées pour l'extraction des coagulants, ainsi que les tests de coagulation-floculation.

Le troisième chapitre regroupe tous les résultats obtenus et la discussion des tendances observées en termes d'efficacité de coagulation-floculation des biopolymères utilisés seuls ou en combinaison avec les sulfates d'aluminium pour dépolluer l'eau usée.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1 Généralités sur les algues

I.1.1 Description des algues

Les algues sont des végétaux photosynthétiques dont l'appareil végétal est appelé «thalle». Leur taille peut varier du micron jusqu'à plusieurs mètres de longueur. Elles sont essentiellement aquatiques dans les eaux douces ou marines, et certains vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres au contraire supportent la chaleur élevée des sources thermales « algues thermales »[1].

I.1.2 Classification des algues

Leur appareil végétatif ou thalle est extrêmement variable, aussi bien en forme qu'en dimension. Il peut ainsi être formé d'une seule cellule allant de quelques dizaines de microns à une dizaine de centimètres ; il peut au contraire comporter de très nombreuses cellules et atteindre plusieurs dizaines de mètres de longueur. Les algues se distinguent donc des autres végétaux par leur thalle, appareil végétatif uni- ou pluricellulaire, dépourvu de racines, de tiges et de feuilles. Les cellules des algues ont une paroi cellulaire partiellement cellulosique, des petits noyaux et des plastes pigmentés ou chromatophores (comportant de la chlorophylle souvent masquée par des pigments surnuméraires qui donnent aux thalles des couleurs rouge, brune, verte ou bleue). Ce qui fait de leur pigmentation un critère de classification. On retrouve les algues rouges (6 000 espèces), les algues brunes (2 000 espèces), les algues vertes (1 200 espèces) et les algues bleues (2 000 espèces). Ces dernières sont des organismes unicellulaires dépourvus de noyau différencié : il s'agit de procaryotes ou cyanobactéries. Toutes les autres algues, uni- ou pluricellulaires, ont des cellules dont le noyau est individualisé enveloppé dans une membrane (les eucaryotes).

I.1.3 Utilisation des algues

Les algues sont utilisées dans les domaines suivant :

a) Traitement des eaux usées

Les algues brunes de type laminaires sont séchées à l'air libre puis emballées dans des bombonnes qui servent au recyclage des eaux usées [3].

b) Agroalimentaire

C'est le domaine d'utilisation principal des phycocolloïdes, Alginates (E 400 à 405) et Carraghénanes (E 407) et Agar (E 406) utilise comme gélifiant, émulsionnant, stabilisant et épaississant.

c) Industrie du textile

Les alginates de sodium et/ou de calcium sont employées depuis le milieu des années 60 dans l'impression des tissus.

d) Agriculture

Les algues issues de la laisse de mer sont utilisées directement en épandage dans les champs pour apporter leur richesse en sels minéraux, les algues calcaires de type maerl servent à amender les sols acides en remplacement de la chaux.

e) Cosmétique et thalassothérapie

L'agothérapie est l'utilisation d'algues marines sous forme de bain d'algues ou d'enveloppements et fait appel aux propriétés vivifiantes, hydratantes, anti-stress et restructurantes de ces algues. Les extraits d'algues présentent également des propriétés anti-UV et anti oxydantes qui sont utilisées dans les crèmes solaires et anti-vieillessement, des savons, des shampoing comme agent texture.

f) Médecine

De nombreux laboratoires pharmaceutiques intègrent dans leur formulation des colloïdes algaux comme excipients (sirops spécialisés, enrobage des pilules et dragées) [3].

I.1.4 Caractéristiques des algues brunes

L'habitus va de petits filaments cellulaires ramifiés, de thalles flagellés, de thalles pseudo parenchymateux à des protoctistes complexes (protistes étendus au sens large), multicouches, de plusieurs mètres de long, avec différenciation tissulaire et organique.



Figure I.1:algue brune (*Fucus serratus*).

Les organes de cette gamme rappellent la feuille, l'axe et la racine des cormophytes et s'appellent par analogie phylloïde (phylloïde), cauloïde (caulis) et rhizoïde (rhizopode). Les protozoaires manquent à l'algue brune.

Ce vaste ensemble regroupe des organismes dont la caractéristique commune est soit d'être des monades pourvues d'un appareil dit flagellaire dit "hétéroconté", soit d'avoir des cellules flagellées reproductrices (spores ou gamètes) avec ce même type d'appareil locomoteur. Cet appareil flagellaire a donné son nom à l'ensemble : "Heterokonta" (organismes hétéroconté) ou "Stramenopiles" (organismes plumeux, les Stramenopiles).

En effet, chez les cellules hétéroconté, l'un des deux flagelles (l'antérieur, jamais les deux) porte des structures nommées "mastigonèmes tubulaires tripartites" qui confèrent à ce flagelle un aspect plumeux. Certains parasites appartenant à ce groupe ont secondairement perdu ces structures. Au sein de cet ensemble, les organismes photosynthétiques (des "algues") forment un groupe monophylétique nommé Heterokontophyta ou Ochrophyta (ochrophytes) [4].

I.2 Les alginates

I.2.1 Définition

Les alginates sont une famille de polysaccharides anioniques hydrophiles naturels présents dans les algues brunes, contenant jusqu'à 40% en poids de matière sèche (l'algue contient d'autres polymères ioniques tels que le fucoïdane). Ils trouvent sous forme de gel de sodium, de magnésium, de calcium et de strontium. Les proportions relatives de ces ions sont fixées par une réaction d'équilibre d'échange avec l'eau de mer. Leur fonction principale est squelettique, donnant force et souplesse au tissu algal. Ces polymères ont trouvé une grande utilisation industrielle en raison de leur capacité à former un gel avec des cations divalents tels que Ca^{2+} et Sr^{2+} .

Un procédé d'extraction d'alginate a été breveté à l'origine par Stanford en 1881. Cependant, les premiers produits issus du procédé de Stanford étaient très bruts. La société Kelco (San Diego-USA) a été apparemment la première à produire et à commercialiser des alginates de sodium pur dans les années 1920. Actuellement, environ 15 000 tonnes d'alginate sont traitées à partir de 400 000 tonnes d'algues [5]. La plupart des alginates sont extraits de seulement trois espèces (Macrocystis, Laminaria et Ascophyllum). Parmi d'autres espèces utilisées pour produire des alginates, figurent AscophyllumNodosum, Eclonia Maxima, Lessonia Nigrescense, Durvillea Antarctica et Sargassum Spp. Dépendant du coût de la matière première et de sa teneur en alginate, le type d'alginate contenu dans l'algue, peut être choisi car la structure de l'alginate détermine ses performances [6].

I.2.2 Extraction d'alginate

Les principales algues dont est extrait l'alginate sont celles qui appartiennent aux familles des Laminaires et des Lessoniaceae.

L'alginate contenu dans les algues est un mélange d'alginate de calcium, de sodium et de potassium. L'acide alginique et les alginates commercialisés sont obtenus à partir des Laminaires, de macrocystis et de fucus. D'autres Phaeophyceae sont également utilisables pour la production d'acide alginique : elles appartiennent aux genres Ascophyllum, Ecklonia, Nereocystis, Durvillea [7].

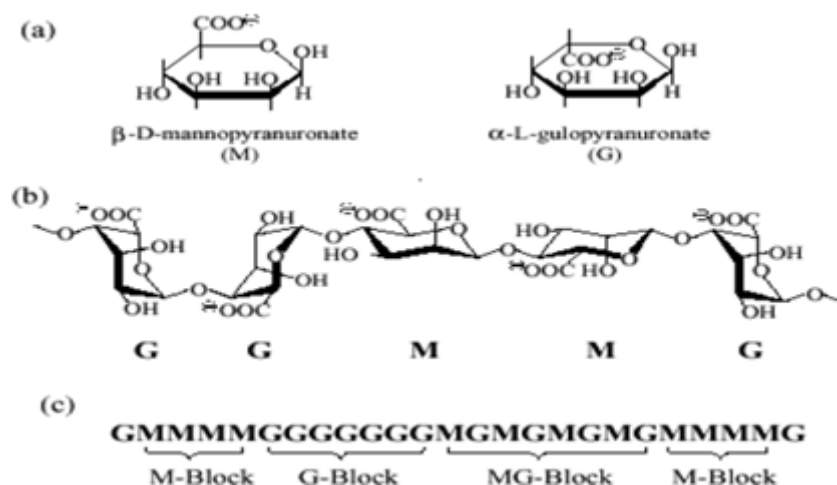


Figure I.2:Structure de l'alginate.

I.2.3 Solubilité des alginates

La solubilité des alginates en solution aqueuse dépend du degré d'ionisation des groupements carboxyliques portés par les unités monomères. Ainsi, les alginates monovalents sont parfaitement solubles dans l'eau si on leur associe des cations alcalins monovalents car les groupements carboxyliques présents dans les molécules d'alginate sont ionisés [8].

a) Solubilité de l'acide alginique

L'acide alginique est insoluble dans les solutions aqueuses. Il précipite quand le pH est inférieur à 3,5. On peut parler de pKa de l'acide alginique. L'acide mannuronique a un pKa de 3,38 et l'acide guluronique un pKa de 3,65. Le pKa apparent de l'acide alginique varie de 3,7 à 4,2 en fonction de sa composition.

b) Solubilité d'alginates de sodium

Les alginates de sodium (Alg Na) se dissolvent dans l'eau en formant des solutions colloïdales visqueuses à comportement pseudo élastique et ce pour de faibles concentrations. L'addition progressive de cations divalents (Ca^{2+} par exemple) provoque la formation d'un gel élastique, non thermoréversible : les segments guluroniques à conformation plissée retiennent les ions calcium par coordination, en coopérant avec une chaîne parallèle.

I.2.4 Alginate de sodium

Les alginates de sodium, substances mucilagineuses issues des algues brunes, sont des polysaccharide naturel. Les principaux organismes constitués d'alginate sont les algues brunes. En effet ces dernières en sont constituées pour plus de 40 % de leur poids sec et le produit constitue le polysaccharide le plus abondant de ces organismes [9].

I.2.5 Utilisation d'alginate de sodium

a) Alimentation

L'alginate de sodium améliore la texture de la boisson en éliminant les protéines indésirables [10]. L'alginate de sodium est utilisé pour certains cocktails dits de « mixologie moléculaire », il donne ainsi une texture semblable au caviar (c-à-d, semblable à de petites billes solides qui éclatent en bouche).

c) Médecine

L'alginate de sodium est utilisé comme médicament pour favoriser la digestion. Il intervient aussi dans la fabrication de produits de moulages dentaires.

Il est aussi utilisé pour être un agent liant ou un désagrégant, notamment lors de la préparation de comprimés [10].

I.2.6 Applications industrielles des alginates

Ce sont les propriétés rhéologiques des alginates qui font leur intérêt au niveau industriel.

Tableau I.1:Répartition des applications de la production mondiale des alginates.[11][12][13]

Industrie textile (50%)	<ul style="list-style-type: none">- Epaississant pour les pâtes d'impression,- Epaississant et stabilisateur des teintures,- Agent d'imperméabilisation,- Agent plastifiant et filmogène
Industrie agroalimentaire (30%) Codes E401 à E405	<ul style="list-style-type: none">- Epaississant, texturant, conservateur, dans de nombreux Produits: confitures, jus de fruits, sauces (moutarde, mayonnaise), potages, produits laitiers.- Agent clarifiant des vins et bières.- Stabilisateur dans les crèmes glacées (empêche la formation deCristaux)
Industrie du papier (5%)	<ul style="list-style-type: none">- Agglomérant pour les fibres,- Apprêt de surface,- Epaississant et stabilisant dans les colles.- Maintien des pigments en suspension.
Industrie pharmaceutique (5%)	<ul style="list-style-type: none">- Stabilisateur d'émulsions.- Agglomérant dans les comprimés.- Epaississant et hémostatique dans les pommades, pansements, mèches nasales.- Gélifiant dans les pâtes à empreinte dentaire.
Divers (10%)	<ul style="list-style-type: none">- Epaississant dans les produits de beauté et pâtes à dentifrice.- Stabilisateur pour les peintures et vernis.- Flocculant en traitement des eaux.- Agglomérant pour les électrodes de soudure.- Agent absorbant dans les couches pour bébé.

I.3 Cactus (*Opuntia ficus indica*)

I.3.1 Généralité

Le figuier de Barbarie est une plante grasse appartenant à la famille des cactées et plus précisément au genre *Opuntia*. Il est cultivé dans les climats arides, comme dans les régions méditerranéennes et d'Amérique centrale. Les régions semi-arides du Mexique renferment la plus grande diversité de cactus dans le monde. Le genre *Opuntia* contient environ 300 espèces dont beaucoup produisent des tiges et des fruits bien tendres et comestibles. Parmi ces espèces on cite *Opuntia ficus-indica* (inermis ou sans épines) et *Opuntia megacantha* (épineuse) largement connues sous le nom de figuier de Barbarie, qui s'est bien adapté à notre climat du nord algérien et qui fait l'objet de notre présente étude (figure I. 3) [14].



Figure I.3: Espèces de Cactus avec et sans épines.

La composition chimique des cladodes dépend de la variété, du stade de croissance et des conditions environnementales. Elles ont une valeur nutritive élevée, principalement en raison de leurs ressources minérales, en protéines, en fibres alimentaires et en contenu phytochimiques [15]. Le Mexique est le pays qui très en avance dans l'emploi du cactus et de ses produits dérivés dans l'alimentaire. On les utilise aussi à des fins médicinales et cosmétiques et industriel, comme fourrage ou matériaux de construction et en tant que source de couleurs naturelles. Cependant, leurs utilisations sont encore essentiellement limitées aux pays d'origine [16].

I.3.2 Description morphologique

L'*Opuntia* est une plante arborescente robuste, possède un tronc épais et ligneux. Les tiges ont une forme de segments plats qu'on appelle les raquettes ou cladode de couleur vert-mat de 30 à 50 cm de long, de 15 à 30 cm de large et de 1,5 à 3 cm d'épaisseur. Les cladodes

assurent la fonction chlorophyllienne et ils sont recouvertes de la cutine pour la protection [17]. Les raquettes sont constellées par des touffes d'aiguilles, les fleurs sont jaunes. Les fruits sont arrondis et poussent à une hauteur de 3 à 5m de hauteur [18].

I.3.3 Habitat et culture

L'espèce *Opuntia ficus indica* est originaire du Mexique. Elle est installée en Italie pour la première fois. Aujourd'hui, elle occupe une large aire de répartition. Elle se trouve dans toutes les régions tropicales et semi-tropicales telles que la Turquie, la Corée, le Chili, le Brésil, l'Argentine et l'Afrique du Nord. Dans certains pays comme l'Italie la culture de cactus est devenue une pratique intensive et moderne pour ces vertus économiques, écologiques et industrielles [19].

I.3.4 Utilisation du jus de cactus comme coagulant

Ces dernières années, les propriétés coagulantes de la sève de cactus dans les technologies de décontamination des eaux usées ont été révélées par différents chercheurs à travers le monde. Les résultats de ces études suggèrent que la plante a un grand potentiel pour le traitement de l'eau notamment pour l'élimination des particules solides, de la sorption des métaux lourds ou d'espèces organiques (colorants, pesticides).

I.4 Application des biopolymères dans le traitement des eaux usées

I.4.1 Généralités sur les eaux usées et leur traitement

a) Les différents types d'eaux usées

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles et les eaux usées pluviales [20].

i. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques proviennent des différents usages ménagers de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères et en eaux de vannes. Les eaux ménagères ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants et de débris organiques ; tandis que les eaux de vanne proviennent des rejets des toilettes ; elles sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

ii. Les eaux usées industrielles

Les caractéristiques des eaux industrielles varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures, etc. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont enfin mêlées aux eaux domestiques lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution [20].

iii. Les eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent engendrer la cause de pollution importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air pollué puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes. En outre, lorsque le système d'assainissement est dit unitaire, les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement de ce mélange très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution [20].

b) Les impuretés dans l'eau

Les impuretés d'une eau ou d'une eau usée se présentent à l'état solide, liquide ou gazeux, et sont dispersées sous trois états dont les particules sont de plus en plus fines par la suspension, les colloïdes et par la solution. Les impuretés dissoutes dans les eaux naturelles sont sous forme de molécules et d'ions. Les techniques d'élimination dépendent de l'état de subdivision des impuretés. Les constituants des eaux naturelles douces sont généralement présents en concentrations si petites de l'ordre du mg/l et même moins que la densité et la viscosité de l'eau ne sont pas altérées.[21].

i. Les matières en suspensions (MES)

Les matières en suspension sont des particules solides minérales ou organiques ainsi que des micro-organismes dont la taille est supérieure à un micron environ. Les solides minéraux sont les sables, argiles, hydroxydes minéraux ; les particules organiques sont des acides humiques, réactifs ou sous-produits d'une activité industrielle quand les microorganismes sont les bactéries et les algues [22].

ii. Les colloïdes

Les colloïdes sont des macromolécules organiques ou minérales qui, placées dans l'eau, ne forment pas une solution mais plutôt une suspension colloïdale dont la taille des colloïdes est comprise entre environ un micron et un nanomètre. Elles ne sédimentent pas.

Elles sont classées en deux catégories selon qu'elles soient hydrophobes ou hydrophiles. Les colloïdes hydrophobes sont séparées de la solution par une limite solide. Celles qui engendrent la coloration et la turbidité appartiennent à cette catégorie. Pourtant, les colloïdes, comme les protéines et les détergents, ont une partie hydrophile ce qui les aide à rester stables dans l'eau [22,23].

c) Les impuretés dans l'eau

Les matières en solution aqueuse sont les substances miscibles à l'eau qui peuvent se précipiter suite à une déstabilisation, souvent par interactions ou réaction chimique.

i. Les molécules de composés organiques et non polaires hydrosolubles

Les molécules de composés organiques et non polaires hydrosolubles sont agglutinées à l'état solide par les forces intermoléculaires de Van der Waals. Ces forces sont facilement rompues en donnant des molécules électriquement neutres, des molécules dipôles ou grossissent et deviennent des particules colloïdales [24].

ii. Les composés polaires ou minéraux (inorganiques) hydrosolubles

Ils sont généralement agglutinés à l'état solide par des liaisons ioniques ; les radicaux dans le cristal ont capté des électrons qui appartenaient aux métaux de sorte que les radicaux acides ont une charge négative et les métaux une charge positive. La charge d'un ion négatif est égale au nombre d'électrons de valence captés [24, 25].

iii. Les sels multivalents

Les sels multivalents, tels que CaCO_3 qui s'ionise en Ca^{2+} et CO_3^{2-} , auront des énergies de liaisons coulombiennes résiduelles dans l'eau. Cette énergie de liaison résiduelle est égale ou supérieure à l'énergie Van der Waals. Les composés multivalents polaires sont, pour cette raison, moins solubles dans l'eau que les sels monovalents. Les sels de sodium et de potassium sont complètement ionisés à des concentrations qu'on retrouve dans les eaux naturelles.

Les ions et les molécules se trouvent en mouvement libre dans les solutions aqueuses, sauf que les ions positifs et négatifs diffusent ensemble et maintiennent la même concentration locale de charges positives et négatives [25-27].

iv. Effet de la présence de métaux dans la coagulation et floculation

Les cations tels que le sodium, le calcium et le magnésium devraient conduire à une bonne formation de floccs. Il faut noter de même que lors du processus de floculation plusieurs réactions se déroulent et mènent à la formation de particules de floc. En première phase, le colloïde est relativement stable à cause de sa charge électrique négative. Après l'addition de l'électrolyte comme coagulant, la charge électrique du colloïde est réduite. Si cette réduction est suffisante, la coagulation se produit. Après l'addition de nouvelles quantités de coagulant, la peptisation se produit par suite de l'adsorption des cations dans l'électrolyte. Dans cette phase, les particules possèdent une charge positive qui est éliminée grâce aux anions de l'électrolyte ajouté comme coagulant [28-30].

d) Les métaux et métaux lourds

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm³. Ceux-ci sont présents sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure [31].

i. Capacité de floculation des métaux

Les micelles colloïdales et les cations métalliques n'ont pas tous la même capacité à flocculer. Celle-ci dépend de leur degré d'hydratation. Les argiles, peu hydratées, sont toujours plus faciles à flocculer que les humus. De la même façon, les cations Ca²⁺ ou Mg²⁺, faiblement hydratés ont un pouvoir de floculation plus important que les ions Na⁺ ou K⁺ davantage hydratés. Par ailleurs, les cations les plus gros et les plus chargés (Fe³⁺ ou Al³⁺) flocculent mieux les colloïdes que les ions petits et peu chargés (H⁺). [28].

ii. Echange ionique avec les métaux

Les charges permanentes des colloïdes argileux peuvent retenir les cations métalliques par des forces électrostatiques non-spécifiques et à pH élevé, on observe un échange ionique entre les cations métalliques et les sites d'échanges des charges permanentes. Dans l'échange cationique, il n'y a aucun changement dans la charge de surface des argiles ou dans le pH de

la solution. Dans le cas de la kaolinite par exemple, dans la couche de silice, l'ion Si^{4+} est remplacé par Al^{3+} tandis que dans la couche d'alumine, l'ion Al^{3+} est remplacé par Mg^{2+} . Il se crée un excédent de charge négative qui doit être compensé par un nombre approprié de cations. En général, cette compensation est effectuée par de grands cations, tel Ca^{2+} , qui ne peuvent s'intégrer à la structure de l'argile et par conséquent sont mobiles et peuvent diffuser dans la solution, générant un déficit de charge à la surface. Certains cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+}) et parfois mineurs (Cu^{2+} , Mn^{2+}) sont fortement impliqués dans la structure des floccs [32-34].

I.4.2 Traitement des eaux usées

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques. A part les méthodes classiques de traitement ; de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparu comme le lagunage ou la phytoépuration [31].

L'objectif du traitement des eaux résiduaires est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictée par la législation et pouvant par la suite être évacuée sans danger dans le milieu naturel ou bien être utilisée dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau (recyclage), plus particulièrement en milieu industriel.

Selon la nature et l'importance de la pollution, différents procédés peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles en fonction des caractéristiques de celles-ci et du degré d'épuration désiré.

Donc globalement le traitement des eaux usées a pour but de les dépolluer suffisamment pour qu'elles n'abîment pas le milieu naturel dans lequel elles seront finalement rejetées.

I.5 Coagulation-floculation

I.5.1 Procédé de coagulation floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes.

La coagulation a pour but la déstabilisation des colloïdes et leur agglomération ainsi que celle des particules fines en suspension. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre par addition d'un réactif chimique, dit «le coagulant ». Elle agit également par adsorption sur les substances dissoutes et les grosses molécules organiques hydrophiles en suspension stable [36].

La floculation est l'agglomération de ces particules déchargées en micro- flocc, puis en flocons volumineux et décantables. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif dit le floculant ou adjuvant de floculation.

I.5.2 Rôle de la coagulation-floculation

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

Ils constituent les traitements de base appliqués pour corriger tout ou partie des défauts de l'eau liés aux fractions particulières inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (microalgues planctoniques ; micro-invertébrés en particulier les kystes des protozoaires parasites : amibes, Giardia Cryptospridium... ; bactéries). Ils assurent aussi l'élimination de la fraction « flocculé » des matières organiques (macromolécules, en particulier la plupart des acides humiques responsables de la couleur), de certains métaux lourds, plus généralement de la fraction des micropolluants associée à ces MES et macromolécules colloïdales dont les virus, pratiquement toujours portés par les MES et colloïdes de l'eau [37].

I.5.3 Coagulation

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui permettent la déstabilisation d'une suspension colloïdale, puis l'agrégation des particules en petits amas, ou flocons, sous agitation et sous l'action du mouvement brownien [38]. En effet, les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste donc, grâce à des coagulants, à neutraliser leurs charges négatives[39].L'adjonction du coagulant produit un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et ensuite une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes [40].

b) Emprisonnement des particules dans un précipité

Pour la déstabilisation des particules colloïdales, on peut en outre les emprisonner, lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $Al_2(SO_4)_3$ ou $FeCl_3$, on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc, constitué de molécules de $Al(OH)_3$ ou de $Fe(OH)_3$, possède habituellement une charge positive. La présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc ; ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant requise (figure 19). En d'autres mots, une concentration importante de particules en suspension peut entraîner une diminution de la quantité de coagulant nécessaire [39].

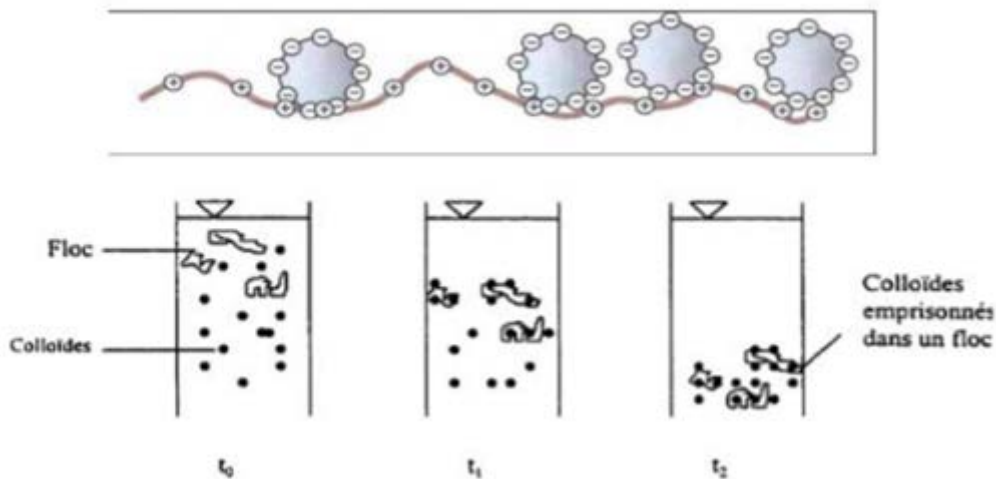


Figure I.4:Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.

c) Coagulants et flocculants chimiques

Plusieurs agents chimiques peuvent être employés dans le procédé de coagulation flocculation. Les sels métalliques sont les plus utilisés actuellement dans le monde. Récemment, plusieurs types de coagulants et de flocculants inorganiques sous formes de polymères ont été développés et sont maintenant largement utilisés en Chine, au Japon, en Russie et l'Europe de l'Est [40]. D'autres recherches ont montré que l'utilisation de polymères d'origine biologique est une voie prometteuse.

Tableau I.2: Dérivés des sels d'aluminium et de fer.

Sels d'aluminium	Sels de fer
Sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$)	Chlorure ferrique ($AlCl_3$)
Chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)	Sulfate ferrique ($Fe_2(SO_4)_3$)
Aluminate de sodium ($NaAlO_2$)	Sulfate ferreux ($FeSO_4$)

I.5.4 Flocculation

La flocculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimique qui conduisent au grossissement et à l'uniformisation des flocons sous l'influence d'un brassage modéré. Elle a pour de mettre en contact les particules colloïdales déstabilisés et leur agglomération pour accroître son volume, sa masse, et sa cohésion

La flocculation est l'agrégation des particules déjà déstabilisées, par collision les unes contre les autres ce qui conduit à la croissance en taille du floc et à la diminution en nombre des particules en solution [42].

Il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de la flocculation. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation. Il faut également un temps de séjour minimal entre 10 et 60 min pour que la flocculation ait lieu [42].

a) Polymères flocculants

Les polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter d'avantage la taille et la cohésion des floccs [36]. Les flocculants peuvent être de trois natures différentes.

i. Flocculants organiques

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

ii. Flocculants minérales

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculants connus sont à base de la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif.

iii. Flocculants de synthèses

Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire. Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels :

- **Anionique:** conçu à partir polymère d'acrylamide et l'acide acrylique.
- **Neutre:** conçu à partir de polyacrylamides.
- **Cationique :** conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle [36].

Chapitre II

**Méthodes et techniques
expérimentales**

II.1 Introduction

Avant de nous lancer dans la présentation et la discussion des différents résultats obtenus au cours de notre étude, il nous paraît impératif de décrire les diverses méthodes expérimentales et analytiques suivies. Ainsi, nous présenterons dans ce chapitre, d'abord, la composition et la préparation des solutions et la synthèse de coagulant et flocculant à partir d'algues brunes et sève de cactus. On décrit aussi l'étude de l'efficacité de coagulation par turbidimétrie des alginates et de la sève de cactus appliqués dans un modèle d'eau trouble constitué d'une quantité fixe d'argile (bentonite) dispersée dans de l'eau claire et sur une deuxième eau usée réelle récupérée de la raffinerie d'Arzew

II.2 Méthodes et matériaux

II.2.1 Appareillage

Dans ce travail nous avons utilisé les appareils mentionnés dans le tableau II.1

Tableau II.1:Appareillage.

Appareillage	Utilisation
Balance électronique	Mesurer la masse des produits utilisée
Broyeur	Broyer les plantes
Agitateur	Agiter les solutions
Centrifugeuse	Séparer les composés d'un mélange
Turbidimètre	La mesure de la turbidité permet de quantifier l'aspect trouble de l'eau

II.2.2 Matériaux et produits

Le matériel et les produits utilisés dans ce travail sont mentionnés dans le tableau II.2.

Tableau II.2:Matériaux et produits utilisés dans le travail.

Matériels utilisés	Produits utilisés	Matière première naturelle
Bécher, micropipette, entonnoir, éprouvette	- Acide sulfurique - Sulfate d'aluminium	- Les algues brunes - Sève de cactus

gradués, verre de montre, spatule, papier, filtre, tube à essai, pipette, fiole jaugée, pissette et bouteille.	- Carbonate de sodium - L'eau distillée - Alginates de sodium commercial	- Argile (bentonite)
--	--	----------------------

II.3 Partie1 : L'extraction d'alginate à partir d'algues brunes

II.3.1 Matière Première : l'algue brune

Notre étude a été faite sur cinq algues marines brunes différentes. La récolte a été réalisée à la main à environ 0,5-1m de profondeur en mer pendant le mois de février 2022 au niveau de la plage Hadjadj Mostaganem. Les échantillons ont été immédiatement conservés dans des sacs en plastique. La mousse est séchée à l'ombre à température ambiante pendant une à trois semaines. Nous avons complété ce processus en plaçant les algues préséchées dans un four à 40 °C pendant 1 h.



Figure II.1:Plage de Hadjadj.

On a obtenu 5 différents types d'algues :



Figure II.2: Différent type d'algues.

II.3.2 Extraction des alginates

a) Protocole d'extraction des alginates

L'acide alginique se trouve dans la cellule sous forme de sels insolubles de calcium. L'objectif consiste donc à le transformer en sel de sodium soluble dans l'eau. Les différentes étapes du procédé d'extraction des alginates sont les suivantes :

- Rinçage des algues à l'eau distillée pour éliminer le formol.
- Acidification dans un bain de H_2SO_4 à 0,5 N pendant une nuit.
- Rinçage à l'eau pour éliminer l'excès d'acide.
- Carbonatation dans un bain de Na_2CO_3 sous agitation (agitateur magnétique et barreau aimanté), pendant 1 heure.
- Séparation solide/liquide par tissu et/ou filtration pour récupérer la solution d'alginate de sodium.
- Précipitation de l'acide alginique par ajout de H_2SO_4 ($pH < 2$).
- Séchage et broyage de l'acide alginique.

i. Acidification

Les morceaux d'algue préalablement découpés ont été rincés plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer le formol. Ils ont été ensuite immergés dans une solution de H_2SO_4 à 0.5N pendant une nuit.



Figure II.3:Lixiviation on milieu acide.

ii. Carbonatation

Les morceaux d'algue acidifiés ont été rincés à l'eau du robinet pour éliminer l'excès d'acide sulfurique. La quantité souhaitée d'algue fraîche a été prélevée et placée dans un bécher. Puis ils ont été mis dans une solution de concentration 4% de carbonate de sodium sous agitation pendant 1 heure.



Figure II.4:aspect de la solution de traitement par les carbonates de sodium

iii. Séparation solide-liquide

Après la carbonatation nous avons filtré la solution pour éliminer les particules solides à l'aide d'un tissu.

iii. Précipitation de l'acide alginique

Une solution d'acide sulfurique concentré (environ 1N) est ajoutée à la solution d'alginate de sodium (issue de la carbonatation) jusqu'à atteindre un $\text{pH} < 2$. L'acide alginique précipite et forme une mousse en surface qui est récupérée par spatule et verre de montre et nous avons laissé le précipité sécher pendant une semaine à température ambiante.

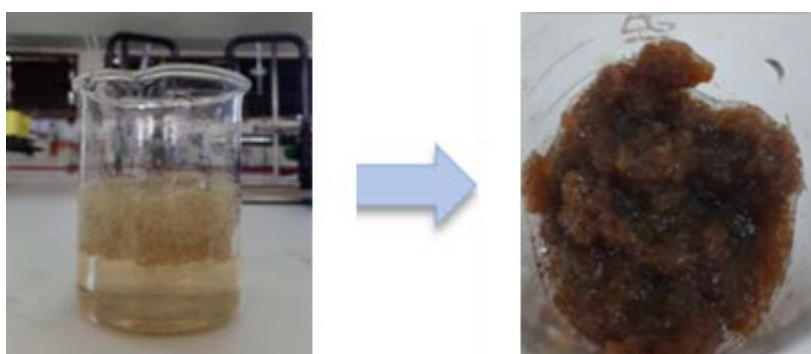


Figure II.5: Précipitation de l'acide alginique

II.3.3 Détermination du rendement d'extraction

On a utilisé la méthode la plus commune pour déterminer le rendement d'extraction qui est la méthode dite gravimétrique. Il s'agit de précipiter l'acide alginique à partir de la solution d'alginate de sodium issue de la carbonatation. Après séchage, la masse d'acide alginique est déterminée par pesée. Le rendement R est alors calculé suivant l'équation ci-dessous :

$$R = \frac{M_{Alg}}{M_{As}} \quad (\text{II.1})$$

ou M_{Alg} est la masse sèche de l'acide alginique extrait (10,8g) et M_{As} est la masse sèche de l'algue utilisé pour l'extraction. (100 g)

$$\text{AN : } R = \frac{10,8}{100} \times 100 = 10,8$$

Nous avons besoin d'une grande quantité d'algues brunes pour produire une petite quantité d'acide alginique et par conséquent une petite quantité d'alginate de sodium est obtenue.

II.4 Partie2 : L'extraction de la sève de cactus

Nous avons utilisé les cladodes d'*Opuntia ficus indica* pour notre étude expérimentale. L'*Opuntia* est une plante arborescente, robuste, possède un tronc épais et ligneux.

En effet, le coagulant-floculant qui a été utilisé dans ce travail est l'extrait de cactus qui pousse dans la région de Mostaganem (Mansourah). L'extraction a été réalisée selon les étapes suivantes :

- Nettoyage des raquettes de cactus.
- Broyage.
- Extraction du jus de cactus par Centrifugeuse.

Le mélange obtenu est relativement stable, il peut conserver sa capacité de floculation pendant plusieurs jours, en dehors de tout additif spécial de conservation.

II.4.1 Protocole d'extraction de la sève de cactus

Etape 1 : Avant l'utilisation de la sève de cactus nous les avons nettoyés soigneusement à l'eau du robinet pour éliminer tous les résidus des sables et nous avons arraché les épines, puis on les a coupé et broyé par un broyeur

Etape 2 : nous avons utilisé la Centrifugeuse pour séparer le mélange obtenu.



Figure II.6:L'extraction du jus de cactus.

II.5 Test de coagulation-floculation

La mesure de la turbidité de l'eau est la méthode choisie pour évaluer la capacité d'une substance solide à coaguler. A l'aide d'un turbidimètre, elle est mesurée en FNU (unités de turbidité néphalométriques). Cet appareil envoie un faisceau lumineux à travers un échantillon

d'eau et mesure la quantité de lumière qui traverse l'eau par rapport à la quantité de lumière réfléchie par les particules d'eau. Plus la valeur enregistrée en FNU augmente, plus l'eau devient trouble.

Avant de commencer le test de turbidité sur le turbidimètre, un petit test qualitatif a été réalisé sur le rôle des alginates et sa capacité à précipiter l'argile des suspensions dans l'eau. Une suspension d'argile/eau à 1 g/l (0.1%) a été utilisée comme un modèle simple d'eau usée. Une attention a été portée au comportement de la suspension vis-à-vis de l'ajout de la quantité d'alginates. Cette expérience a été répétée pour différentes quantités d'alginates. Ces tests qualitatifs nous ont permis de sélectionner une nuance dans laquelle les effets des précipitations d'argile ont pu être observés. La quantité d'alginates a été variée selon : 1%, 2%, 3%, 5% avec un temps de repos de 50 min pour chaque échantillon. La sève de cactus et les sulfates d'aluminium ont aussi été testés dans les mêmes conditions.



Figure II.7:Le turbidimètre.

II.3.1 Essais de turbidité

Des suspensions contenant 1g d'argile par litre d'eau (0.1%) ont été introduites dans des tubes à essai standards de 15 ml. Pour tous les essais la suspension est agitée et laissée 1 min avant l'ajout du coagulant. Le tout est mélangé puis laissé au repos pendant 50 min. Après ce repos l'échantillon est mis dans le turbidimètre pour lire la valeur de sa turbidité (Fig.) Ce protocole expérimental est suivi avec les trois coagulants purs mais aussi leur combinaison aux concentrations fixées.



Figure II.8 :Aspects visuels de la turbidité de l'eau : argile et coagulant.

Tableau II.3 : Pourcentage massique des coagulants utilisés dans la suspension d'argile

Sulfates d'aluminium (Sul Al)	100%	80%	50%	20%	0%
Alginates (Alg Na)	0%	20%	50%	80%	100%
Sève de cactus (Sev Cac)	0%	20%	50%	80%	100%

Le protocole expérimental décrit ci-dessus est appliquée aussi à l'eau usée réelle récupérée de la raffinerie d'Arzew. Cette eau contient diverses substances et de l'huile surnageant. Pour simplifier le test l'huile a été séparée par décantation dans une ampoule à décanter (figure II-9). Les essais de coagulation ont été faits sur l'eau usée sans huile.



Figure II-9 : décantation dans une ampoule à décanter

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1. Effet de la sève de cactus comme coagulant

III.1.1. Influence de la concentration du coagulant

Les données du test de la turbidité de la suspension argile/eau en fonction de la quantité de coagulant, sève de cactus et sulfates d'aluminium, est présentée dans le tableau III.1 et aussi sous forme de graphe sur la figure III.1. Il faut noter que la suspension non modifiée avec du coagulant a une valeur de turbidité de référence de 1000 FNU. L'ajout de sève de cactus ou de sulfates d'aluminium diminue fortement la turbidité d'un facteur moyen de 9 à 10, respectivement. Des deux coagulants utilisés, et comme attendu, les sulfates d'aluminium sont légèrement plus efficaces en termes de coagulations des particules d'argiles que la sève de cactus. La figure III.1. Révèle que 1 % seulement de coagulant est suffisant pour réduire la turbidité à son minimum dans les deux cas. Ajouter plus de coagulant n'apporte pas d'effet supplémentaire.

Il aurait été plus judicieux de voir l'effet avant 1 %. Il possible qu'une quantité encore plus petite de coagulant jouerait le même rôle, voire mieux, en termes de réduction de la turbidité.

Tableau III.1:Turbidité en fonction du la quantité maximale de Sève de cactus

Coagulant / flcoc (%) (Sev Cac)	0	1	2	3	5
La turbidité (FNU)	1000	242	222	286	245

Tableau III.2 :Turbidité en fonction du la quantité maximale de sulfate d'aluminium.

Coagulant / flcoc (%) (Sul Al)	0	1	2	3	5
La turbidité (FNU)	1000	107	109	111	83

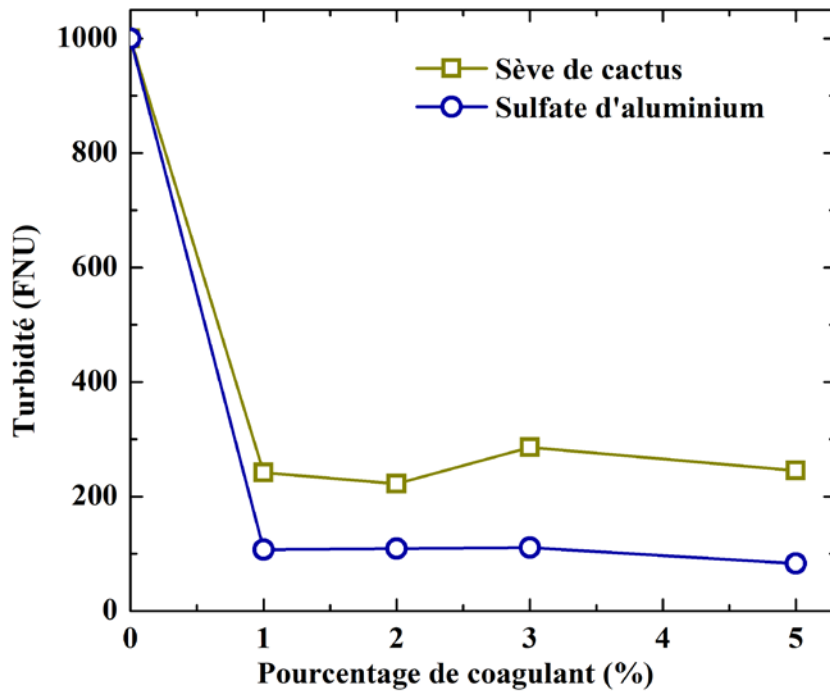


Figure III.1:Turbidité en fonction de la dose de sulfates d’aluminium et de la sève de cactus.

D’après la bibliographie, cela est dû au rôle joué par le coagulant dans la déstabilisation des colloïdes négativement chargés [50]. Le coagulant ajouté neutralise les charges qui génèrent les forces de répulsion entre ces particules d’argiles.

Pour voir l’effet synergétique de la combinaison des deux coagulants, des sulfates d’aluminium et de la sève de cactus, nous avons repris les mêmes conditions expérimentales mais en ajoutant un mélange de coagulants à 80 /20, 50/50, 20/80 en pourcentage de sulfates d’aluminium/sève de cactus, respectivement. Les résultats obtenus en termes de réduction de la turbidité de la suspension modèle bentonite/eau sont visibles dans le tableau III. 3. Et pour mieux visualiser l’effet des coagulants combinés, la turbidité en fonction de la quantité du mélange de coagulants aux pourcentages indiqués sont tracés dans la figure III.2.

On observe que, dans la limite des erreurs expérimentales, ajouter de la sève de cactus en remplacement d’une partie des sulfates apporte un effet égal ou légèrement mieux que les sulfates seuls. Ceci est bénéfique du point de vue économique mais aussi écologique puisque le but recherché à travers cette étude était aussi de substituer le coagulant à base d’aluminium. Il est clair que la sève de cactus combiné aux sulfates coagule les suspensions d’argile mieux que quand elle est utilisée seule. Il est possible que le coagulant à base du biopolymère de la

sève de cactus, de part sa nature polyélectrolyte, contribue en flocculant davantage ces particules coagulées.

Tableau III. 3 : Turbidité en fonction de la quantité de sève de cactus et de sulfates d'aluminium.

	100% Sev cac	100% Sul Alu	80% Sev cac 20% Sul Alu	20% Sev 80% Sul Alu	50% Sev 50% Sul Alu
0%	1000	1000	1000	1000	1000
1%	242	107	67	82	240
2%	222	109	29,02	58	112
3%	286	111	67	85	69
5%	245	83	138	105	144

Figure III.2 : Turbidité en fonction de la quantité de sève de cactus et de sulfates d'aluminium.

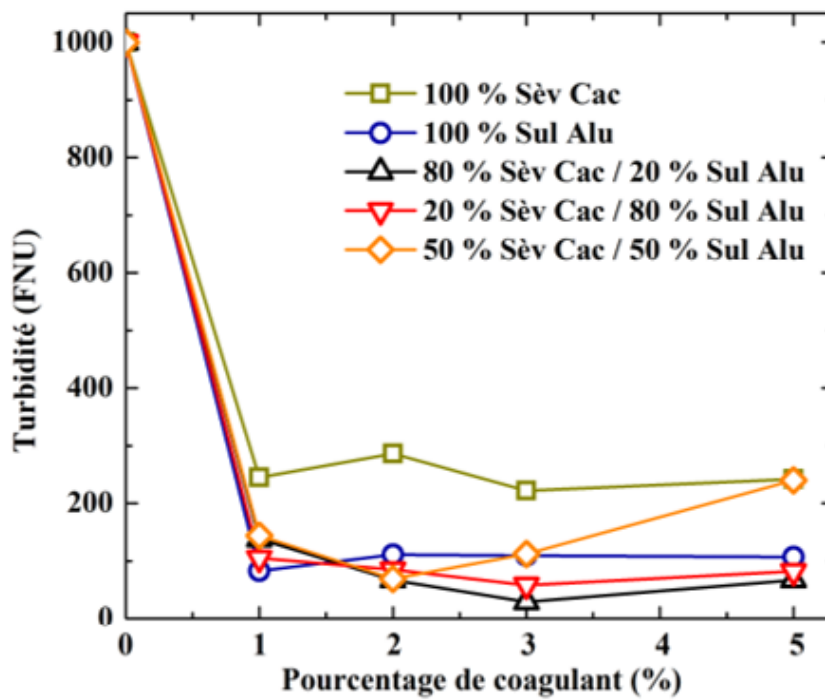
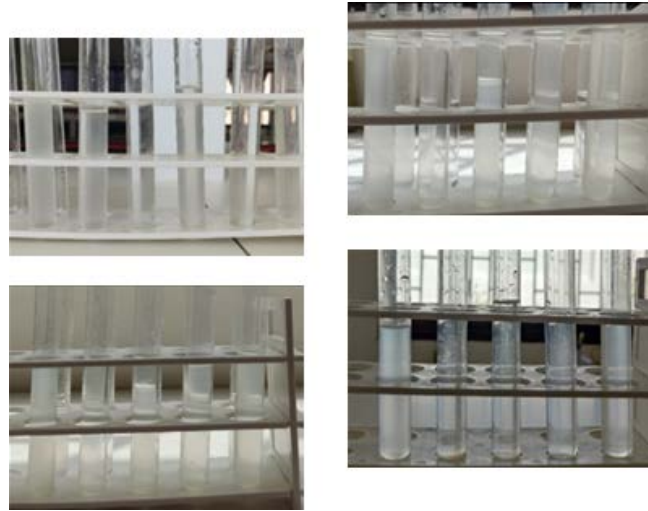


Figure III.3 : Suspension bentonite/eau avec (sève de cactus /sulfate d'aluminium)



III.1.2 La variation de la turbidité en fonction du temps (Sèv Cac + Sul Alu)

Tableau III. 4 : Turbidité en fonction du temps pour sève de cactus et sulfate d'aluminium.

	100%Sev Cac 0% Sul Alu	80% Sev Cac 20% Sul Alu	50% Sev Cac 50% Sul Alu	20% Sev Cac 80% Sul Alu	20% Sev Cac 100% Sul Alu
0 min	1000	1000	1000	1000	1000
15 min	255	90	80	142	126
30 min	256	57	64	105	98
50 min	242	36	46	81	87
70 min	222	28	38	60	58

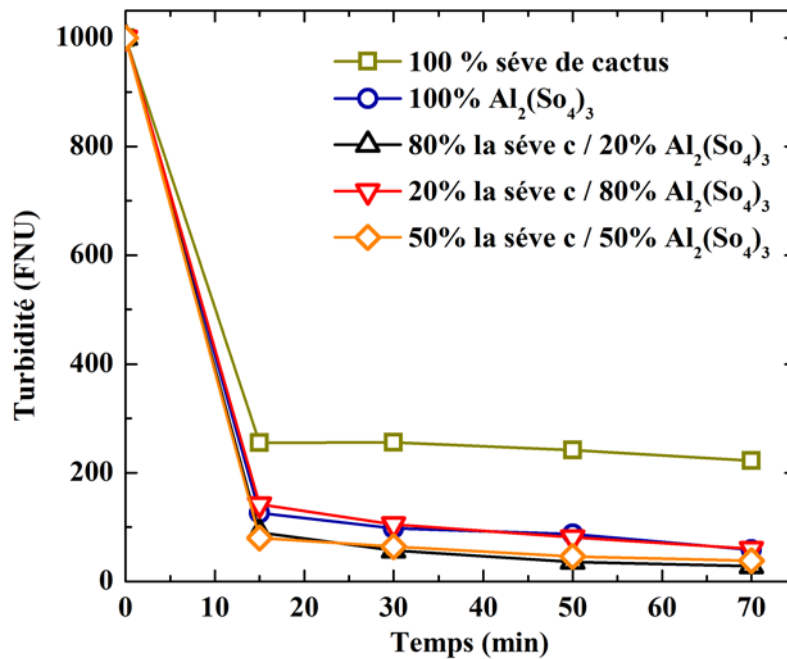


Figure III.4 :Turbidité pour en fonction du temps (coagulants seuls et combinés)

Les échantillons montrent une diminution marquante de la turbidité et l'allure des courbes est presque identique après l'ajout de coagulant et/ou combinaison sève de cactus / sulfate d'aluminium. En effet, on voit clairement que la sève de cactus avec $Al_2(SO_4)_3$ Précipite bien l'argile en fonction du temps.

III.2I Effet des alginates de sodium comme coagulant

III.2.1 Influence de la concentration du coagulant (AlgNa+Sul Alu)

Comme l'illustrent les données des tableaux III.5 et III.6 et aussi la figure III.5 on retrouve pratiquement la même tendance observée avec la sève de cactus ci-dessus avec les alginates de sodium comme coagulant. L'effet des alginates de sodium est aussi inférieur aux sulfates d'aluminium. Même au niveau de la concentration minimale qui donne la réduction maximale de la turbidité, la tendance est préservée. Autrement dit, 1% d'alginates donne la réduction maximale de la turbidité. On peut donc conclure que les polymères agissent de la même façon en activité coagulante.

Tableau III. 5 : Turbidité après traitement par alginate de sodium.

Coagulant / flococ (%) (Alg Na)	0	1	2	3	5
La turbidité (FNU)	1000	235	274	217	317

Tableau III. 6 : Turbidité après traitement par sulfate d'aluminium.

Coagulant / flococ (%) (Sul Al)	0	1	2	3	5
La turbidité (FNU)	1000	83	108	106	113

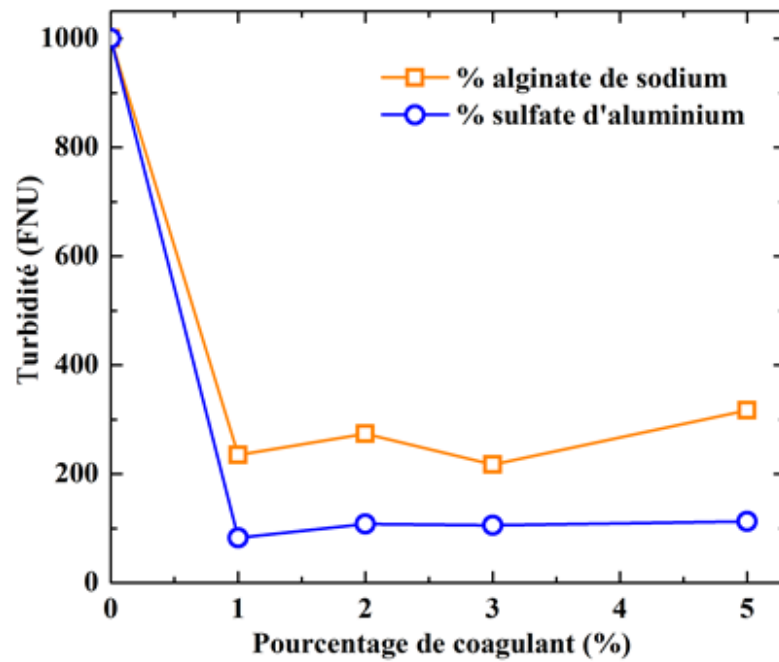


Figure III.5 : Turbidité en fonction de la dose de sulfates d'aluminium et d'alginate de sodium seuls et combinés.

Tableau III.7 : Turbidité en fonction du pourcentage d’alginate de sodium et sulfate d’aluminium.

	100% AlgNa 0% Sul Alu	80% AlgNa +20% Sul Alu	50% AlgNa + 50% Sul Alu	20% AlgNa +80% Sul Alu	0% AlgNa 100% Sul Alu
0%	1000	1000	1000	1000	1000
1%	237	493	439	21	83
2%	274	645	152	288	108
3%	217	1000	16,97	20,71	106
4%	317	1000	21,50	35,64	133

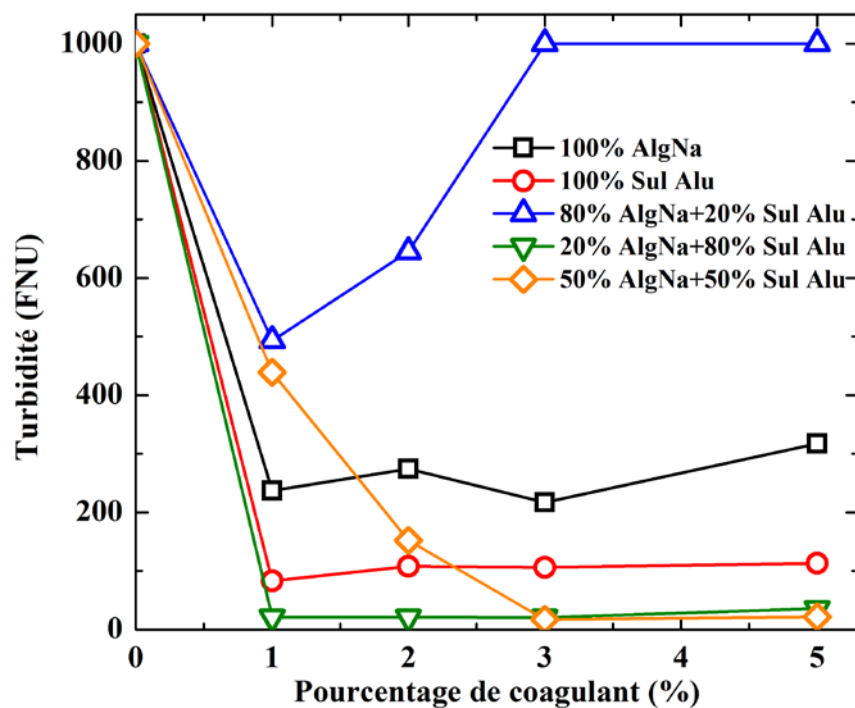


Figure III.6: Turbidité en fonction de la dosesulfate d’aluminium et de d’alginate de sodium.

Les courbes de la figure III.6 représentent la variation de la turbidité en fonction de la dose de coagulant combiné. D’une manière globale toutes les combinaisons de coagulant composé de

sulfates d'aluminium et d'alginate diminuent la turbidité mais à des niveaux différents. La réduction maximale (21 FNU) est obtenue suite à l'ajout de 1 % de coagulant composé de 20 % d'alginate et de 80 % de sulfates d'aluminium.

Comme l'illustre la figure III.7 les coagulants composés contenant 20% ou 50% d'alginate se révèlent plus efficace du coagulant classique pure ; les sulfates d'aluminium.

L'effet inverse est observé quand la quantité d'alginate dans le mélange est augmentée à 80%. Ceci peut indiquer une tendance à la stabilisation des structures colloïdales formées par l'excédent d'alginate ou la restructuration de l'acide alginique en micelles qui contribuent à l'augmentation de la turbidité. Le comportement de ces bio-poly électrolytes en suspension eau/argile

III.2.2 La variation de la turbidité en fonction du temps (AlgNa+Sul Alu)

Le temps que met la suspension à décanter est important à l'échelle industrielle car il constitue un critère d'efficacité du processus de coagulation-floculation. Dans le tableau III.8 et la figure III.6 sont présentées les données de turbidité obtenues en comparant le temps que met une suspension eau/argile modifiée par un système de coagulation donné à décanter à niveau de turbidité donné. La tendance générale observée indique qu'après 15 minute de repos déjà les meilleurs coagulants, qui sont les sulfates d'aluminium pure ou combiné à 20 % d'alginate, réduisent la turbidité d'un facteur de 5.

Tableau III 8 : Turbidité de (l'eau + bentonite) en fonction tu temps pour alginate de sodium et sulfate d'aluminium.

	100%AlgNa 0% Sul Alu	80%AlgNa 20% SulAlu	50% AlgNa 50% Sul Alu	20% AlgNa 80% Sul Alu	0% AlgNa 100%Sul Alu
0 min	1000	1000	1000	1000	1000
15 min	259	643	773	187	215
30 min	259	549	519	178	118
50 min	237	493	439	21	83
70 min	233	426	40	11,36	55

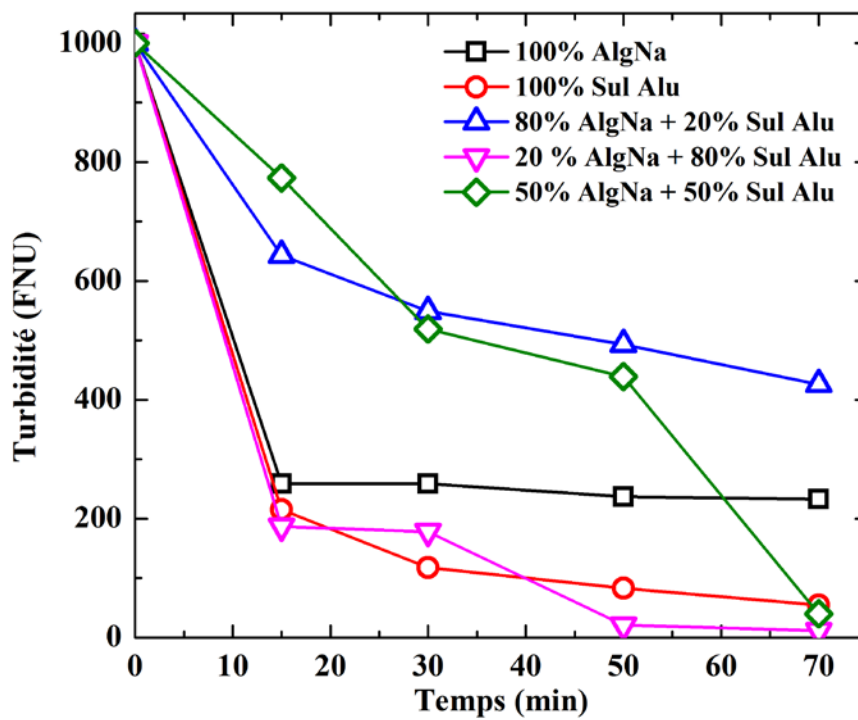


Figure III.7:Turbidité pour les 4 essais en fonction du temps de la floculation.

III.1.3 Purification de l'eau usée industrielle par la sève de cactus et les alginates de sodium comme coagulant

Il est important de rappeler que l'eau usée que nous avons obtenue de la raffinerie d'Arzew contient une phase huileuse visible surnageant la phase aqueuse des contaminants industriels dont on ignore exactement la nature. Ils peuvent être des sels inorganiques, organiques, des complexes inorganiques, des métaux lourds ou des matières solides argileuses, etc.

La turbidité initiale de cette eau est de l'ordre de 283 FNU. Elle est moins trouble que l'eau modèle que nous avons préparée nous-mêmes à partir de la bentonite dans l'eau déminéralisée. L'ajout de la sève de cactus ou des sulfates d'aluminium a un effet positif de dépollution de cette eau industrielle comme le témoigne la réduction de la turbidité, mais cet effet reste relativement modéré. Les alginates de leur part ont provoqué l'effet inverse d'augmentation de la turbidité. Ce qui traduit une réorganisation des particules en suspension en gros floes du probablement a une modification des alginates qui seraient revenues, même partiellement, à l'état d'acide alginique perdant ainsi partiellement leur caractère de poly électrolytes en faveur d'une structure micellaire dans l'eau

Tableau III.9:Turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité de trois coagulant

	Sèv Cac	Sul Alu	AlgNa
0%	283	283	283
1%	164	257	381
2%	212	333	384
3%	152	177	751
5%	187	130	1000

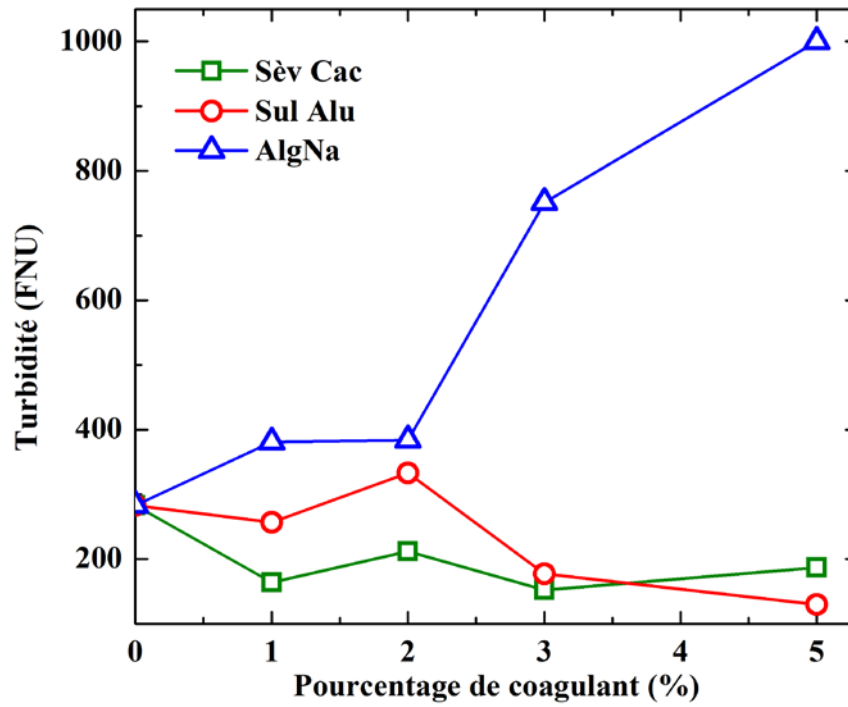


Figure III.8: Turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité de sulfates d'aluminium, de la sève de cactus, et des alginate de sodium.

Tableau III. 10 : Turbidité de l'eau industrielle en fonction de quantité de sève de cactus et sulfates d'aluminium

2%	0% Coagulant	100% Sèv Cac	80% Sèv Cac +20%Al ₂ (SO ₄) ₃	50% Sèv Cac +50%Al ₂ (SO ₄) ₃	20% Sèv Cac +80%Al ₂ (SO ₄) ₃	100% Al ₂ (SO ₄) ₃
Turbidité (FNU)	283	212	174	174	165	338

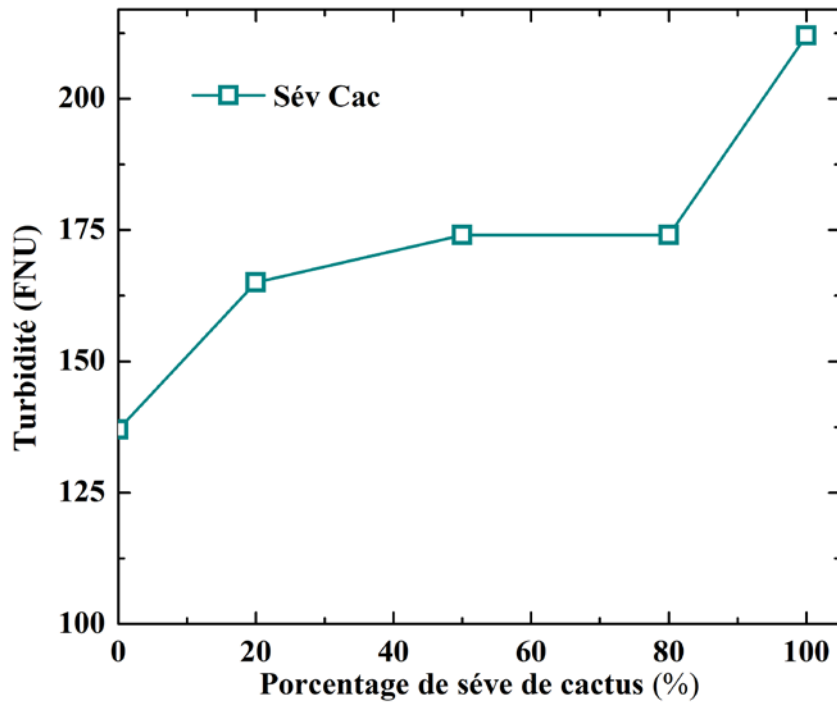


Figure III.9:Variation de la turbidité en fonction de pourcentage de la sève de cactus.

De l'analyse de courbe de la figure, on remarque une diminution de turbidité après l'ajout de 20% de sève de cactus. Elle diminue la turbidité initiale de l'eau usée, de 283 à 165FNU, et quand on ajoute 50% et/ou 80% de coagulant on remarque une stabilisation de la turbidité à 174 FNU et autre augmentation après l'addition de 100% de sève de cactus.

On conclut que quelles que soient les quantités de sève de cactus utilisées il y a un effet très important de réduction turbidité l'eau usée industriel et le meilleur pourcentage qui peut être utilisé pour réduire la turbidité est 20%.

Tableau III. 11 : Turbidité de l'eau industrielle en fonction de la quantité d'alginate de sodium et sulfates d'aluminium.

3%	0% Coagulant	100% AlgNa	80%AlgNa 20% Sul Alu	50%AlgNa55 0%Sul Alu	20%AlgNa 80%Sul Alu	100% Sul Alu
Turbidité (FNU)	283	551	305	166	115	338

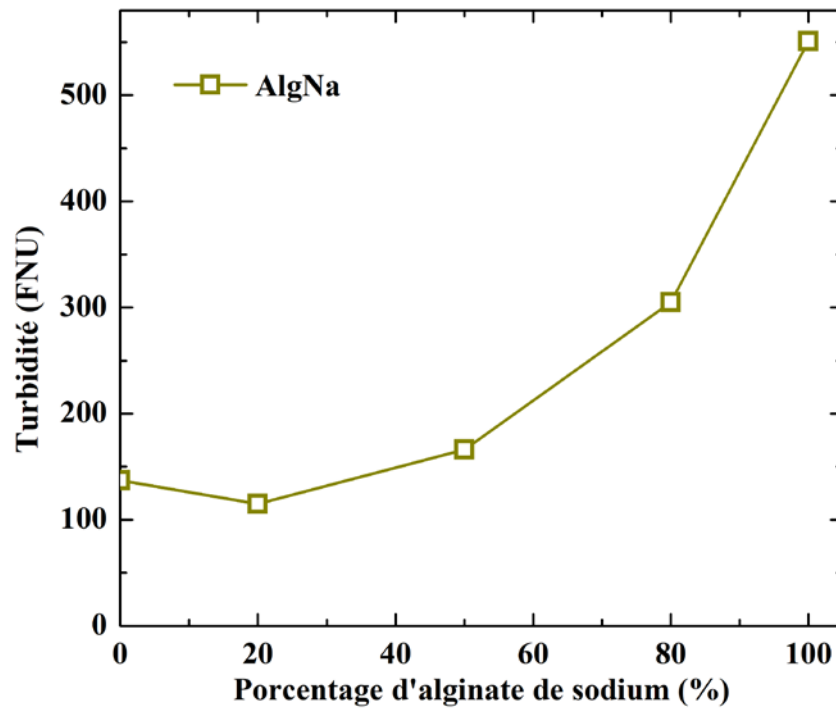


Figure III.10: Variation de la turbidité en fonction du pourcentage d'alginate de sodium.

d'après la figure il y a une diminution de la turbidité après l'addition d'alginate de 280 à 115 FNU, et on remarque aussi un effet inverse de l'augmentation de la turbidité en augmentant la quantité de coagulant. On peut penser la surdose en coagulant favorise la formation de particules colloïdales ainsi la disponibilité de leurs sites diminue et empêche la formation de ponts interarticulaires ce qui donne une eau très chargée en coagulant avec une mauvaise clarification (trouble).

Conclusion générale

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre des efforts entrepris actuellement par la communauté scientifique pour la purification des eaux. Le but de notre étude est d'extraire des matériaux naturels non-toxiques, à savoir les alginates à partir d'algues et la sève de cactus à partir des cactus.

D'après les résultats obtenus au cours de cette étude nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

-Le pouvoir de floculation des alginates de sodium et de l'extrait de cactus est acceptable.

- La combinaison de sulfates d'aluminium avec d'une part la sève de cactus et d'autre part les alginates de sodium présente les meilleurs résultats de floculation avec une suspension bentonite/eau.

-Nos biocoagulants ont une très bonne efficacité vis-à-vis de l'eau polluée comme révélée par la mesure de la turbidité et leur effet est comparable à celui des sulfates d'aluminium. Aussi la combinaison de sulfates aluminium avec les biopolymères, en vue de bénéficier de leur effet synergétique a révélé que certaines compositions sont même meilleures que les sulfates purs.

- l'efficacité de l'alginate de sodium pour dépolluer l'eau usée industrielle dépend de la quantité employée. On a trouvé qu'une petite quantité d'alginates donne le meilleur résultat.

Le coagulant toxique sulfate d'aluminium peut donc être remplacé par la sève de cactus de cactus car cette dernière est une substance naturelle qui est disponible en abondance en Algérie et qui a démontré une efficacité remarquable pour purifier l'eau usée.

Bien sûr cette étude reste demandeuse d'une complémentarité en termes d'analyses mais aussi d'optimisation des paramètres étudiés ici. Nous avons trouvé dans cette étude des éléments clés qui nous permettent de proposer cette recherche dans le cadre d'une thèse de doctorat.

Références

- [1]. Kornprovst J.M. (2005). Substance Naturelle D'origine Marine. Chimiodiversité / Pharmaco Diversité/Biotechnologie, T.1,281-286
- [2]. Sandrine Garon-Lardiere, These De Doctorat 2004, Quelle Univ ?????
- [3]. <https://www.aquaportail.com/definition-1875-algues-brunes.html>
- [4]. Perez R, Kaas Campello F, Arbault S Barbaroux O.(1992).La Culture Des Algues Marine Dans Le Monde. Editions ifremer.
- [5]. Stanford E.C.C. 1883. On Algin: A New Substance Obtained From Some Of The Commoner Species Of Marine Algae. Chemical News, 47, 254 & 267.
- [6].Nalamothu, Neelaveni, Potluri, Anusha, Et Muppalla, Madhu B. Review Onmarine Alginates And Its Applications. J Pharmacolres,2014, Vol. 4, No 10.
- [7]. Myrnes, Erlendeikeland. Alginate Gels Cross-Linked With Mixtures Of Calcium Andchitosan Oligomers: Effect On Swelling Properties And Leakage From The Gel. 2016. Thèse de Maîtrise. Ntnu.
- [8]. (Stequert, 2009). où est la référence ?????
- [9].Bruneton J., Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales, 3ème Edition, Tec Et Doc, Paris, 1999, Pp. 45-52
- [10]. Paris R.P., Moyse H., Matière Médicale, Masson, Paris, 1976, 2ème Edition, Tome 1, Pp. 357-61.
- [11].Hanne Hjorth Tønnesen Et Jankarlsen, « *Alginate In Drug Delivery Systems* », Drug Development And Industrial Pharmacy, Vol. 28, N° 6, 1^{er} janvier 2002, P. 621–630
- [12].Pérez R., R. Kaas, F. Campello, S. Arbault& O. Barbaroux. 1992. La Culture Des Algues Marine Dans Le Monde. Editions ifremer.

- [13]. Primates G. 1977. Additives For The Food Industry From Algae. Industries Alimentaires, 16,102-104
- [14]. Gayral P. & J. Cosson. 1973. Exposé Synoptique Des Données Biologiques Sur La Laminaire Digitée Laminaria Digitata. Synopsisfao Sur Les Pêches, 89
- [15]. Amellounnas, Amélioration Des Procédés De Clarification Des Eaux De La Station Hamadi-Kroma De Skikda, Site [Http://Cours.Uqac.Ca/6mig932-Kassas/](http://Cours.Uqac.Ca/6mig932-Kassas/), Août 2015
- [16]. Niffar S., 2012 : Etude De L'effet De L'âge Des Plantations De Figuier De Barbarie Sur La Variation Des Ressources Naturelles Des Steppes Algériennes De L'est Cas De Souk Ahrass Et Tebessa. Doctorat en Biologie Végétale. Algérie. 154p.
- [17]. Colin Lafleur, M.Sc. A, Julien Fortier, M.Sc. A, Lyndakharoune, Ing., Ph.D., Mouradkharoune, Ing. Ph.D., Evaluation D'un Procédé De Coagulation-Floculation Au Chitosane Pour L'enlèvement Du Phosphore Dans Les Effluents Piscicoles, Site http://Www.Hc.Sc.Gc.Ca/Ewhsemt/Pubs/Eval/Handbookgugide/Vol_4/Index_E.Html, Mai 2014
- [18]. Anonyme 2007 : La Rousse Des Plantes Médicinales.
- [19]. A. Y. Tamine, R. K. Robinson, Tamine And Robinson's Yoghurt: Science And Technology, Elsevier, 2007
- [20]. Grant, Gregor T., Morris, Edwin R., Rees, David A., Et Al. Biological Interactions between Polysaccharides And Divalent Cations: The Egg - Box Model. Febs Letters, 1973, Vol. 32, No 1, P. 195-198
- [21]. Anne-Marie Cazabat, Colloïdes Et Interfaces, Les Editions De Physique, 1984
- [22]. Mr Lakhdari Bouazza, Effet De La Coagulation-Floculation Sur La Qualité Des Eaux épurées De La Step De Ain El Houtz, Site [Http://Physique-Chimie-Coc.Fr/Cours Chimie/Lacoag/](http://Physique-Chimie-Coc.Fr/CoursChimie/Lacoag/), Mars 2014

- [23]. France. Comité D'action Concertée « Récupération assistée Du Pétrole » France. Ministère De La Recherche Et De Technologie, Interaction Solide-Liquide Dans Les Milieux poreux : Colloque-Bilan, Nancy 6-10 Février 1984, Technip, 1985
- [24]. Degremont Sa, Mémento Technique De L'eau, Volume 2, Degremont, 200
- [25]. Camille Matignon, Société De Chimie Industrielle, Chimie & Industrie, Société De Chimie Industrielle., 1966
- [26]. Amel Lounnas, Amélioration Des Procédés De Clarification Des Eaux De La Station Hamadi-Kroma De Skikda, Site [Http://Cours.Uqac.ca/6mig932-Kassas/](http://Cours.Uqac.ca/6mig932-Kassas/), Août 2015
- [27]. Meat Processing Systems, Aqua Industrial Wastewater Treatments, Coagulation. Site http://Www.Mpsgroup.Nl/Fr/Aqua/EpurationdesEaux/Epuration_Primaire/Coagulation, Juin 2016
- [28]. S. Colombano, A. Saada, V. Guerin, P. Bataillard, Quelles techniques Pour Quel traitement - Analyse Coûts-Bénéfices, Site [Http://Www.Dfompto.Gc.Ca/Dfompo/Plan_F.Htm](http://Www.Dfompto.Gc.Ca/Dfompo/Plan_F.Htm), Novembre 2014
- [29]. Degremont Sa, Mémento Technique De L'eau, Volume 2, Degremont, 2005
- [30]. Geräte, La Gamme Complète Des Équipements Gunt Pour Les Opérations Unitaires De Traitement De L'eau, Etude Et Conseil • ; Service Technique, Mise En Service Et Formation, Barsbüttel • Allemagne.
- [31]. Ymottot. (2000). Texte De La 279^e Conférence De L'université De Tous Les Savoirs
- [32]. Beaudry J. P., (1984). « Traitement Des Eaux, Ed. Legriff Ont D'argile Inc, Canada. P27-
- [33]. Hernandez De Leon H R. (2006). Supervision Et Diagnostic Des Procédés De Production D'eau Potable. Mémoire Pour L'obtention De Diplôme De Docteur De L'institut National Des Sciences Appliquées. Toulouse

- [34] Brahimi Z. Benaissa N. (2010). Influence De La Coagulation-Floculation Etdécantation Sur La Qualité Des Eaux Epurées De La Station De Ain El Houtz. Mémoire D'ingénieur D'état En Hydraulique. Université Aboubakr Balkaid. Tlemcen.
- [35]]. Desjardins C., (1999). Simulation Et Etude En Laboratoire De La Floculation Lestée (Actiflo) A L'aide D'une Procédure Modifiée De Jar-Test, Mémoire Pour L'obtention Dudiplôme De Maitrisées Sciences Appliqués, Ecole Polytechnique De Montréal, Canada
- [36]. Zongo I. (2009). Etude Expérimentale Et Théorique Du Procédé D'électrocoagulation : Application De Traitement De Deux Effluents Textiles Et Un Effluent Simulé De Tannerie. Thèsede Doctorat En Génie Des Procédés Et De Produit. Institut National Polytechnique. Lorraine.
- [37]. (Wang Et Al., 2004) (Où Est La Référence ????????)
- [38]. Lakhdari B. (2011). Effet De La Coagulation-Floculation Sur La Qualité Des Eaux Epurées De La Step De Ain El Houtz. Mémoire De Magister En Chimie Inorganiques Et Environnement. Université aboubakr balkaid. Tlemcen
- [39]. (Chen Et Al., 2007).
- [40].Boursali I. (2011). Etude Expérimentale De La Coagulation-Floculation Par Le Sulfate Ferrique Et Le Chlorure Ferrique Des Matières En Suspension. Mémoire D'ingénieur D'états En Géologie. Universitéaboubakrbalkaid. Tlemcen
- [41]. (Gagnon Et Al. Lamrini Et Al. Waissman-Vilanova, Baxter Et Al.)