REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie des procèdes
Spécialité : Génie des procèdes Des Materiaux

Etude Numerique Et Experimentale De Dépollution Des Eaux Polluées Par Des Biomateriaux

Présenté par

Difallah said

Ghettas abderaouf

Proposé et Dirigé par

Dr. FERHAT Samira

Promotion Septembre 2020


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Je remercie tous d'abord « Allah » de m'avoir donné le courage d'entamer et de finir ce mémoire dans de bonnes conditions.

Je remercie vivement mes encadreurs : le docteur Dr FERHAT SAMIRA pour l'aide compétente qu'il nous a apportée, pour sa patience, sa confiance, son encouragement, et Son œil critique qui nous a été très précieux pour structurer le travail , nous le remercions vivement.

Nous tenons aussi à remercier : le chef de département de la technologie de la faculté de la technologie de l'université « Yahia Fares » de Médéa.

DÉDICACE

Je dédie ce Mémoire à :

Mon Père.

La lumière de mes jours, la source de mes efforts et mon bonheur ;

Ma mère

Celles qui m'ont toujours aidée, écoutée, soutenue et encouragée tout au long de mon parcours; celles qui ont toujours été présentes pour moi.

Ceux qui ont plus particulièrement assuré le soutien affectif de ce travail :

Tous mes cousines

A tous ma famille

Tous ceux que j'aime et tous ceux qui me sont chers.

Tous ceux avec qui j'ai passé des bons moments durant toute ma vie.

ملخص

يتناول هذا العمل عملية تصفية المياه و ذلك بإضافة الملبد الحيوي المستحضر الذي يسمى عصير الصبار مستخلص من كالدود الصبار و ذلك بالنقع الساخن

تمت دراسة هذا الملبد الحيوي بعدة تقنيات وذلك للتمكن من معرفة المجموعات الوظيفية و كذا السلوكيات الانسيابية في ظل ظروف مختلفة

وقد تم اختبار فعاليته مع العكارة و المواد العضوية لتقييم قدرته في التخثر

أظهرت الدراسة المقارنة باستخدام مادة الندف الصناعية (مادة الندف القائمة على كلوريد الحديد) ، قدرة تنافسية جيدة للغاية مع قوة التلبد القوية لعصير الصبار. أظهر ارتباط مرحلتي التحييد والتخثر بالجير متبوعًا بمرحلة التلبد باستخدام المنتج الجديد المستخلص من الصبار الجزائري كعامل تلبد متبوعًا بالترويق ، تأثيرًا كبيرًا في القضاء على الزنك والنحاس والمواد المعلقة. النسبة المئوية لتخفيض المعادن تتعدى 95٪ للنحاس والزنك. بالنسبة للحل الغني بالطين ، تنخفض درجة التعكر من 900 - 1000 وحدة NTU إلى قيم تبلغ حوالي 1 NTU.

المستحضر الطبيعي المستخلص من الصبار متاح قابل للتحلل ويقدم فعالية ممتازة دون الاضرار بالبيئة

الكلمات المفتاحية: التوضيح ، الندف الحيوي ، النقع ، عصير الصبار ، التلبد.

Résumé :

Ce travail porte sur la clarification des eaux par l'ajout d'un bio floculant. Le produit qu'on a appelé « jus de cactus » est extrait à base des cladodes de cactus par une macération à chaud.

Le bio floculant a été caractérisé par différentes techniques afin d'avoir accès à ces groupement fonctionnels ainsi qu'à son comportement rhéologique dans différentes conditions. Son efficacité a été testée vis-à-vis la turbidité et la matière organique pour évaluer son aspect floculant.

L'étude comparative avec un floculant industriel (floculant à base chlorure de fer), a montré une très bonne compétitivité avec un fort pouvoir de floculation pour le jus de cactus. L'association des deux étapes de neutralisation et de coagulation avec la chaux suivie d'une étape de floculation en utilisant comme agent floculant le nouveau produit extrait des cactus algérien puis d'une décantation, a montré un effet très significatif sur l'élimination du zinc, du cuivre et de la matière en suspension. Le pourcentage d'abattement des métaux dépasse 95 % pour le cuivre et le zinc. Pour la solution riche en argile, la turbidité passe de 900 - 1000 NTU à des valeurs avoisinantes de 1 NTU.

Le biomatériau extrait du cactus est disponible, biodégradable et offre de très bons résultats sans porter atteinte à l'environnement.

Mots clés :clarification , bio floculant, macération, jus de cactus , floculation ,

Abstract :

This workfocuses on water clarification by adding a bioflocculant. The productcalled"cactusjuice" isextractedfrom cactus cladodes by hot maceration.

The bioflocculant has been characterized by different techniques in order to gain access to thesefunctional groups as well as to itsrheologicalbehaviorunderdifferent conditions. Itseffectiveness has been testedagainstturbidity and organicmatter to assessitsflocculating aspect.

The comparative studywith an industrialflocculant (ironchloride-basedflocculant), showedvery good competitivenesswith a strongflocculating power for cactus juice. The

association of the two stages of neutralization and coagulation with lime followed by a flocculation stage using the new productextractedfrom Algerian cacti as a flocculating agent followed by decantation, has shown a verysignificanteffect on the elimination of zinc, copperand suspendedmatter. The percent reduction of metalsexceeds 95% for copper and zinc. For the clay-rich solution, the turbidity drops from 900 - 1000 NTU to values around 1 NTU.

The biomaterialextractedfrom the cactus isavailable, biodegradable and offersvery good results with outharming the environment.

SOMMAIRE

Résumé

Introduction Générale…… ……08

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Introduction …… 11

I. Traitement des eaux usées et production des boues ……..11

I.1Description d'une station d'épuration ……..12

I.1.1.Prétraitement……...12

I.1.1.1. Dégrillage ……12

I.1.1.2. Tamisage ……12

I.1.1.3. Le dessablage ……..13

I.1.1.4. Déshuilage ……...13

I.1.2. Décantation primaire ……...14

I.1.3. Traitement biologique ……..15

I.1.4. Traitement tertiaire ……15

I.2. Filière boue.....16

I.2.1. Stabilisation.....16

I.2.2. Conditionnement.....17

I.2.3. Filtration des boues…….....19

I.2.4 Séchage des boues.....19

II. description générale d'une chaîne classique de traitement d'eaux de surface 20

II.1 le prétraitement.....20

II.2.1 La coagulation - floculation.....20

II.2.Les avantages des bio floculant.....21

II.3 Classification des bio floculant selon leurs origines: 22

II.3.1. Déchets des fruits:..... .22

II. 3.2 Clarification par coagulation floculation:.....23

II.4 Aspects théoriques : stabilité des suspensions colloïdales:.....24

II.5 Les modes d'action des coagulants et floculant:……..... .....….....25

II.6 Mécanisme de la coagulation-floculation:.....25

II.7 Les coagulants usuels:.....28

II.8 Facteurs influençant la coagulation:.....29

II.9Décantation ou flottation:..... 31

II.10 Filtration :..... .31

II.11 Etude sur l'OFI:..... 31

II.11.1 Description et distribution d'OFI:…….....31

II.11.2 Approches méthodologiques employées……..... .32

III. GENERALITES SUR LESCACTUS.....32

III.1 Définition 33

III.2 Classification des Cactus …….....33

III.3 Les trois grandes sous-familles de Cactus…….....34

Conclusion.....36

CHAPITRE II : Matériel Et Méthodes

II. matériel et méthodes ……......38

II.1 Echantillonnage 38

II.2 Provenance et caractéristiques des additifs chimiques utilisés :.....38

II.3 Techniques d'analyse…….....39

II.4 Caractéristiques des acides humiques 41

II.4.1 Préparation de la solution d'Acides Humiques(1g/l):.....41

II.5 L'eau de surface:.....41

II.6 Préparation du Bio floculant extrait des cladodes de cactus:.....41

II.7 Le jar-test:.....43

Chapitre III : Résultats Et Discutions

1. Essais de coagulation floculation:.....46

2. Caractérisation de jus cactus 46

3. Spectroscopie Infrarouge à transformer de Fourier (L.R.T.F) 46

4. Evaluation du pouvoir floculant de jus de cactus.....49

5. Les résultats des essais jar test.....50

6. Evaluation du pouvoir épuratoire du jus de cactus.....56

6.1 Traitement d'une eau chargée en cuivre et en zinc.....56

6.2 Traitement d'une eau chargée en matière en suspension.....57

6.2.1 Optimisation du pH de floculation.....58

6.2.2 Détermination de la concentration optimale du floculant.....59

6.2.3 Détermination du temps optimal de la décantation…….....60

CONCLUTION …….....63

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Figure 1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées……...……14

Figure 2: Schéma des étapes de la filière de traitement des boues……15

Figure 3:Schématisationd'une station de potabilisation d'une eau de surface……..……20

Figure 4 : Résumé des avantages des bio floculant……..……..22

Figure 5: La plante d'Opuntia Ficus Indiça……..……..32

Figure 6: Classification des cactus ……...….34

Chapitre II : matériel et méthodes

Figure 1 : Schématisation du principe d'un turbidimètre …….40

Figure 2:spectre d'absorbance UV de jus de cactus vers 300 nm (a) jus brut, (b) jus dilué 10% dans l'eau ……...42

Figure 3: Etape de préparation du jus de cactus ……...42

Figure 4 : cladode du figuier de barbarie …….43

Figure II.5:jus de cactus ……...43

Figure II.6 : figure montrant le jar test …….43

Chapitre III : Résultat et discussion

Figure 1 : Spectre I.R du jus de cactus…… …….47

Figure 2 : Flocs obtenus à différents ph ;(A) flocs obtenus a ph <5.(b) flocs obtenus a ph>5…… …...…...50

Figure 3 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du jus (120NTU)…….52

Figure 4 : structure des flocs à pH 9…….53

Figure 5 : structure des flocs à pH 6……..53

Figure 6 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du jus (30 NTU)……..….54

Figure 7 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du jus (15 NTU)……...55

Figure 8 : Suivi de la turbidité en fonction du temps de décantation en dehors de tout traitement……...…….58

Figure 9: Variation de la turbidité en fonction de Ph……59

Figure 10 : Variation de la turbidité en fonction du volume de floculant (ml) Optimisation de la concentration défloculation…….60

Figure 11 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à pH=11…….60

ANNEXES :

Figure1 : photo du multi paramètre CRISON …….. 71

Figure2 : Appareil UV shimadzu UV-1601……. .72

Figure3 : photo du spectrophotomètre a flamme JENWAY PFP7 …….. ..72

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1: Qualité des boues en fonction du traitement…….…… ……..18

Tableau 2: plantes utilisées en floculation ……. ……..23

Tableau 3: Les principes et les considérations de chaque…….26

Chapitre II

Tableau 1: Caractéristiques des additifs chimiques et leur provenance……38

Tableau 2 : Caractéristiques des acides humiques……41

Tableau 3 : Propriétés de l'eau de surface……41

Chapitre III

Tableau 1:Longueurs d'ondes de sban des IR des structures constituants le jus de cactus… …..…..48

Tableau 2: Conditions de traitement des différents échantillons en utilisant le FeCl3, 6H2O….……...…49

Tableau 3: Les résultats des essais jar test avec le jus de cactus……...51

Tableau 4: Les taux de réduction des essais jar test du gel de cactus……51

Tableau 5 : les résultats des essais jar test à 30NTU…….54

Tableau 6 : les résultats des essais jar test à une turbidité 15NTU ……...55

Tableau 7 : Evolution des concentrations en ions de Zn et de Cu dans les différents échantillons traités……...…56

Liste des symboles et des abréviations :

Symbols / Abréviations :	Désignation
AH	Acids humiques
CCM	Chromatographie sur couche mince
DBO	Demande Biochimique en Oxygène (mg/l)
DCO	Demande chimique en Oxygène
HPLC	Chromatographie liquide haute performance
OFI	Opuntia FicusIndica
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
Ph	Potentiel d'Hydrogène
STEP	Station d'épuration des eaux usées
UV Ultra-Violet	
T	Contrainteseuil (Pa)
η	Viscosité (Pa.s)
µS	Micro Siemens

Introduction Générale

Le traitement des eaux est un procédé qui vise à produire une eau potable à partir d'une eau brute plus ou moins polluée, issue des barrages ou des fleuves. Pour ce faire on procède à une série de traitements: à savoir la coagulation, floculation, décantation, filtration et enfin désinfection.

Le premier traitement à faire est la coagulation floculation, c'est un traitement qui consiste à enlever la turbidité de l'eau par la déstabilisation des particules colloïdales puis l'agglomération des particules déstabilisés sous forme de flocs. Pour ce type de traitement, on utilise des produits naturels ou de synthèse qu'on appelle coagulants ou floculats.

Le coagulant le plus utilisé est le sulfate d'alumine. Son utilisation date du 19eme siècle,[1], la Chine a été le premier pays à avoir utilisé ce sel métallique, suivi par de nombreux pays, citons l'exemple des états unis, qui l'utilisent depuis les années 80[2]. Avec l'invasion de ces produits chimiques, leurs accessibilités, ainsi que leurs performances, les produits naturels sont de moins en moins utilisés excepté pour les pays pauvres où ils n'ont pas accès à ces produits de synthèse.

Au fur et à mesure des progrès analytiques et sanitaires, les normes de qualité des eaux distribuées visent des paramètres de plus en plus nombreux, avec des exigences de précision dans les mesures de plus en plus grandes. Ces dernières années, on assiste à une mobilisation de la part de la communauté scientifique qui signale le danger des produits chimiques. En effet, le développement du domaine analytique et sanitaire a levé le voile sur une panoplie de produits chimiques qu'on utilisait autre fois avec excès et sans crainte et qui s'avère aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et la santé humaine. Parmi ces produits chimiques, les coagulants ou bien les sels métalliques tels que le sulfate d'alumine ou bien le chlorure ferrique, présentent des risques pour la santé humaine, ce qui a poussé de nombreux chercheurs à trouver une alternative à ce problème.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre, on essaye de substituer ces produits chimiques, en utilisant des produits naturelles qui sont performants du point de vue technique, disponibles et compétitifs du point de vue économique.

L'objectif de notre travail est de substituer les produits synthétiques utilisés lors de la coagulation-floculation par d'autres produits naturels. Dans ce contexte et en premier lieu la partie bibliographique donne un aperçu sur le traitement des eaux potables, la plante d'Opuntia Ficus Indiça, son utilisation dans le traitement des eaux et nous terminons ce chapitre par une introduction à la rhéologie .En outre nous allons citer les différents matériels

et méthodes suivis lors de la réalisation de ce travail. Par ailleurs, nous allons utiliser le jus biodégradable extrait à partir des cladodes du cactus comme agent floculant en faisant varier le pH et la concentration etc. En outre nous allons effectuer une caractérisation du jus de cactus pour mieux comprendre les mécanismes mis en jeu. Les différents résultats obtenus seront interprétés. Enfin la conclusion générale reprendra l'essentiel des résultats.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

INTRODUCTION :

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée comme tel.

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.

La pollution des eaux de surface et souterraines est possible par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et de pesticides en agriculture. La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

La qualité de l'eau constitue un enjeu environnemental primordial. Les polluants contenu dans les eaux usées ont des origines diverses. Les cinq principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, les ménages, les transports et l'urbanisation. Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux et plus généralement tout le milieu naturel.

Les eaux résiduaires peuvent être chargées par de nombreux polluants et constituent des milieux parfois très complexes. L'analyse de ces eaux résiduaires permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer a priori lors d'un traitement d'épuration. La charge en agents polluants dans une eau peut être évaluée à partir de certains paramètres.

I- Traitement des eaux usées et production des boues

Les boues sont définies par le Comité Européen de Normalisation (CEN) comme «un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent». Les boues sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles. L'épuration de ces eaux usées s'effectue en différentes étapes

(qui seront décrites par la suite), Il en résulte une eau épurée que l'on rejette dans le milieu naturel et un résidu principal: les boues.

Ce résidu est constitué de matières minérales inertes, d'azote, déphosphore et de matières organiques.

La composition des boues diffère en fonction du type d'effluents traité (eaux usées domestiques, agro-alimentaires ou industrielles), et des traitements effectués pour les eaux usées et les boues [3].

Le traitement des eaux usées permet d'éliminer, d'une part, la partie la plus facilement dégradable de la matière organique et, d'autre part, les différents composés dont les eaux sont chargées (débris alimentaires, graisses, fibres textiles et cellulosiques, savons, lessives et détergents) avant leur réintroduction dans le cycle de l'eau.

I.1. Description d'une station d'épuration :

I.1.1. Prétraitement :

Les eaux usées arrivent aux stations d'épuration chargées en matière hétérogène et grossière. Ces eaux doivent subir un prétraitement qui vise à protéger le relèvement des eaux brutes et plus généralement à éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs [4].

Suivant la qualité de l'eau à traiter, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles :

I.1.1.1. Dégrillage :

Il permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objet susceptibles de provoquer des bouchages dans les canalisations de liaison et les différentes unités des installations et de séparer les matières volumineuse charriées par l'eau brute en vue de les évacuer.

I.1.1.2. Tamisage :

Assure un dégrillage poussé par filtration des eaux brutes sur toile, treillis ou tôle perforée, à mailles plus ou moins fines afin d'éliminer les matières solides(impuretés) présentes dans l'eau.

I.1.1.3. Le dessablage :

Il a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minéral les plus ou moins fines.

I.1.1.4. Déshuilage :

Il consiste à récupérer grâce à des racleurs, les graisses domestiques ou industrielles qui se trouvent à la surface des eaux usées naturellement ou par flottation (injection de fines bulles d'air).

I.1.2. Décantation primaire :

Elle se limite à des opérations de séparation liquide-solide /liquide-liquide comme la décantation gravitaire et la flottation. Les eaux vont traverser les bassins décanteurs (figure I.1) à faible vitesse pour que les matières en suspension puissent sédimenter. Les décanteurs primaires sont équipés d'un pont tournant qui concentre les matières décantées vers le centre du bassin. Elles sont alors prélevées par des pompes qui les refoulent jusqu'aux installations de traitement des boues.

Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension et 30%de la DBO5 [5]. Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration. Mais il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines. Ce qui nécessite un traitement secondaire. Cette étape n'est pas utilisée dans les STEP à faible charge et qui utilise une aération prolongée. Les boues primaires soutirées en pied de décanteur sont composées à la fois de matières minérales et organiques.

Dans certains cas, un traitement de coagulation-floculation est effectué. Pour améliorer la décantation. On parle alors de boues physico-chimiques[6].

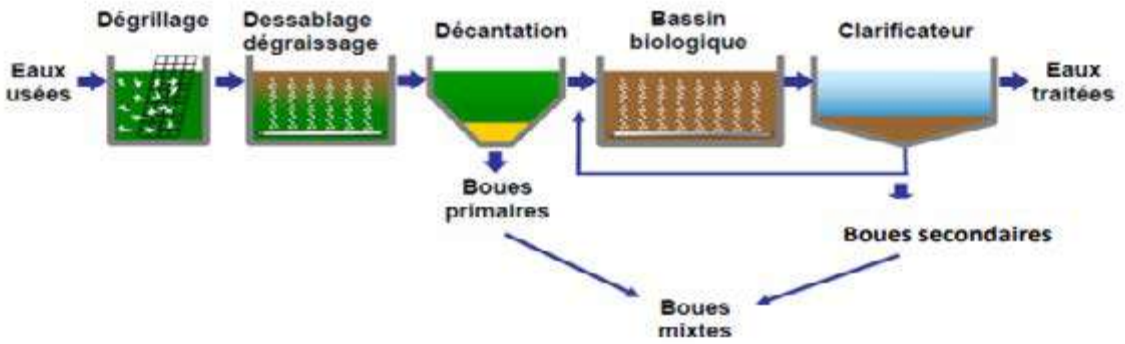


Figure I.1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées.

I.1.3. Traitement biologique :

Appelé aussi traitement secondaire, il se déroule en mettant en contact l'eau à épurer et des microorganismes. Ceux-ci vont se nourrir des matières organiques présentes dans les eaux usées et vont transformer les polluants :

1) par absorption des matières polluantes sur floc bactérien (agglomérat demi Cr organismes).

2) par conversion en matière cellulaire.

3) par oxydation en CO2 et H2O qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la production du matériau cellulaire.

On distingue essentiellement deux types de procédés : les procédés à biomasse libre (lagunage, boue activée), les procédés à biomasse fixée (lits bactériens, bio disques). Ces derniers, mieux connus sous le nom de procédés à boues activées sont les plus répandus. C'est de ce type de procédé dont sont issues les boues étudiées dans le présent travail. Un procédé à boues activées classique comprend :

-un bassin d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la biomasse.

-un dispositif de brassage et d'aération.

-un décanteur (secondaire) dans lequel s'effectuent la clarification des eaux et la séparation de l'eau épurée et les microparticules.

-un dispositif de recyclage qui permet de soutirer les boues en excès au bas du décanteur et d'en renvoyer une partie vers le bassin d'aération. Les boues en excès sont envoyées vers un épaississeur.

I.1.4. Traitement tertiaire :

L'expression « traitement tertiaire » peut désigner plusieurs types de traitements ou différentes fonctions en vue d'atteindre un niveau de traitement de qualité supérieure à ce que l'on pourrait normalement attendre d'un traitement secondaire. Le traitement tertiaire peut viser un enlèvement plus poussé pour des paramètres conventionnels comme les matières en suspension (filtration tertiaire), ou encore viser certains paramètres pour lesquels il y a peu d'enlèvement dans un traitement secondaire comme le phosphore et les germes pathogènes. Dans certains cas, le traitement tertiaire a lieu au sein du réacteur biologique secondaire (par un séquençage dans le temps) et les boues secondaires et tertiaires sont confondues

I.2. Filière boue :

Le problème préoccupant des boues se pose immédiatement après celui des eaux. En effet, tous les procédés modernes d'épuration des eaux usées industrielles ou urbaines, tant physicochimiques (floculation-décantation) que biologiques (lits bactériens, boues activées) entrainent la production d'importants volumes de déchets (5 à 25 pour cent du volume des eaux traitées), contenant les éléments de pollution éliminés des effluents, ainsi que les produits de transformation, des concentrations variables entre 1 et 15 pour cent de matières sèches. L'évacuation de ces déchets est loin d'être aisée, car les boues, produites généralement à l'état liquide, ont de surcroit une faible consistance (95-99 % d'eau en moyenne) avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible ainsi que des matières minérales. Ces caractéristiques sont problématiques quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement (Figure I.2) [7].

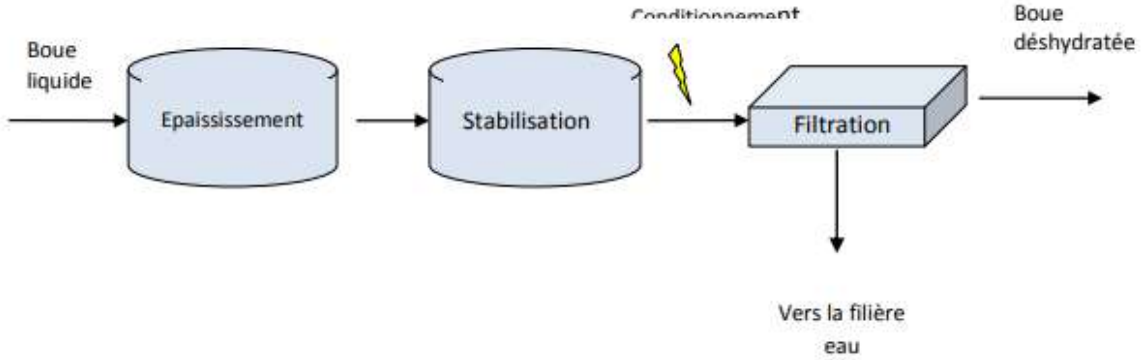


Figure I.2 : Schéma des étapes de la filière de traitement des boues.

Les procédés de traitement des boues peuvent varier suivant leurs natures, la taille de la station d'épuration et la charge massique, Trois grands types de traitement sont à distinguer :

- des traitements de stabilisation, dont l'objectif est de réduire le pouvoir fermentescible des boues afin de limiter ou d'annuler les nuisances olfactives.

- des traitements de réduction de la teneur en eau des boues, visant :

(i) à diminuer le volume de boues à stocker ou à épandre et/ou

(ii) à améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment),

- des traitements d'hygiénisation qui visent à éliminer la charge en microorganismes pathogènes.

I.2.1. Stabilisation :

Les traitements utilisés sont de types biologiques, chimiques ou thermiques. Ils s'appliquent aux boues fraîches issues des traitements primaires, aux boues issues des traitements secondaires, ou à l'ensemble des boues.

- La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec production de biogaz riche en méthane.

- La deuxième technique de stabilisation utilisée est le compostage mixte qui est un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage.

- La troisième voie possible est la stabilisation chimique qui bloque simplement l'activité biologique et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux, élevant le pH au-delà de 12. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues.

I.2.2. Conditionnement :

Les boues soutirées en pied de décanteurs subissent deux opérations successives de concentration : l'épaississement et la déshydratation. L'épaississement est une opération de décantation qui permet de concentrer les boues liquides de 3 à 10 fois selon le procédé et la

nature de départ de la boue.

L'étape de déshydratation mécanique permet de donner une consistance plus solide à la boue en atteignant des siccités variant de 15 à 40 %. Telle quelle, la boue peut être difficilement déshydratée (et parfois épaissie) et doit être conditionnée pour améliorer sa tartinabilité. En effet, les matières organiques qui constituent la boue ont un caractère hydrophile marqué et font de la boue un système colloïdal stable dont l'eau interstitielle est fortement liée. Il est nécessaire de rompre cette stabilité colloïdale afin de libérer l'eau et permettre la déshydratation mécanique. On regroupe sous le terme « conditionnement » .

Les différentes opérations permettant la rupture de la structure colloïdale. Les techniques les plus utilisées sont le conditionnement thermique et le conditionnement chimique. Ce dernier est plus largement utilisé dans les STEP, il consiste à ajouter des réactifs qui déstabilisent les colloïdes et provoquent la coagulation/floculation de la suspension.

I.2.3. Filtration des boues :

Les boues extraites en sortie de l'épaississeur se trouvent sous forme liquide et sont peu concentrées en matières sèches (moins de 1 %). Afin de réduire de manière significative les volumes produits, il est nécessaire de les déshydrate mécaniquement pour obtenir un produit pâteux ou solide.

Il existe quatre techniques de traitement utilisées au niveau des stations de traitement des eaux usées :

a- Filtration sur bandes :

solution la plus répandue dans les années 90, elle est remplacée progressivement par la centrifugation. Le traitement est basé sur la filtration des boues préalablement floculées entre deux bandes mobiles entrainées par des rouleaux, les pressions mises en œuvre restant modérées (3 à 7 bars). La toile fait l'objet d'un nettoyage sous pression permanent afin d'éviter son encrassement, les eaux de lavage retournant en tête de station. La siccité finale des boues atteint 16 %, qualité non compatible avec un recyclage direct en agriculture. Ce type de matériel demande beaucoup de maintenance, celle-ci pouvant être mise en œuvre directement par l'agent d'exploitation.

b- Centrifugation : se développe de manière significative depuis les années2000. Le procédé utilise le principe de la centrifugation pour essorer les boues après floculation. La vitesse de rotation du bol atteint 3600 tours par minute avec obtention d'un produit à environ 20 % de matières sèches et un concentrât qui retourne en tête de station d'épuration. La technologie spécifique mise en œuvre nécessite l'intervention de sociétés spécialisées pour la maintenance. En général, le produit ne peut être épandu directement en agriculture.

c- Filtration sur plateaux (filtre presse): Après un traitement préalable des boues (concentration sur table d'égouttage) avec ajout de différents réactifs (polymère, chlorure ferrique et lait de chaux), les boues sont pressées entre des plateaux dotés de toiles filtrantes, à une pression voisine de 15 bars, en sortie, les boues se présentent sous forme de « gâteaux » solides avec une siccité de l'ordre de 30 à 35 %. Ces filtres peuvent être équipés de plateaux à membranes permettant d'augmenter le niveau de pressurisation avec deux objectifs principaux: réduction du temps de pressage et augmentation de la siccité du gâteau de 5points. Le système fonctionne en discontinu et nécessite une présence humaine importante. La boue produite présente une bonne qualité : produit solide et stabilisé, riche en chaux. La reprise et l'épandage de ces boues se font facilement,

Aspects pour les agriculteurs.

d- Filtration dans des poches : solution mise en œuvre sur quelques communes pour pallier le dysfonctionnement des filières lits de séchage ou comme solution transitoire dans le cas de la reconstruction d'une station d'épuration. Le principe est simple puisqu'il suffit de remplir la poche de boues floculées. Le filtrat s'évacue ensuite par gravité (membrane poreuse) et permet l'obtention d'un produit d'une siccité comprise entre 12 et 15 %. Dès lors que la poche atteint son taux de remplissage maximal, il est nécessaire de la découper pour récupérer la boue. La poche est donc considérée comme un consommable, et peut être, en théorie recyclée en direct (réutilisation en géotextile).

La qualité des boues varie en fonction du traitement choisi (tableau I.1).

Tableau I.1 : Qualité des boues en fonction du traitement.

Déshydratation	Filière à bande	centrifugeuse	Filière à plateau	Poche filtrante
Texture du produit	Pâteuse	Pâteuse à solide	Solide	Pâteuse
Valeur agronomique	Azote et phosphore		Azote phosphore et chaux	Azote et phosphore
Dose d'apport théorique (t/ha)	19	15	12	25
Hygiénisation	Non	non	Oui	non
Siccité (%)	16	20	30-35	15
Filière d'élimination	Compostage		agriculture	compostage

Plus la filière est performante, plus les boues déshydratées sont concentrées en phosphore et en azote organique, et plus la dose d'épandage doit être réduite. En général, les boues ne peuvent être recyclées directement en agriculture puisqu'elles présentent un état pâteux peu propice au stockage et à l'épandage.

Elles doivent donc subir un traitement complémentaire pour être recyclées en agriculture : chaulage, compostage ou séchage. Seule la filière de déshydratation par filtre à plateaux permet l'obtention d'une boue pouvant être recyclé directement en agriculture, la qualité finale des boues répondant aux critères souhaités par les utilisateurs : boues solides, chaulées, et hygiénisées.

I.2.4 Séchage des boues :

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente.

a) Séchage thermique : Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %. Ces deux procédés sont très énergivores : ils représentent un poste sur lequel il est possible de réduire l'empreinte environnementale de la filière boue, par exemple en mettant en place des boucles de récupération d'énergie.

b) Les lits de séchage : Ce procédé consiste à répartir les boues à dés hydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchages sont mis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. Une autre variante de ce procédé consiste à mettre les lits de séchage sous couvert végétal (roseaux), ce qui permet de s'affranchir des conditions climatiques. Ce procédé est appelé lits à macrophytes. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 %. Ce procédé de séchage présente l'intérêt d'être en plus une solution de stockage des boues. Il est particulièrement bien adapté aux stations d'épuration des collectivités de moins de 5.000 EH.

II. Description générale d'une chaîne classique de traitement d'eaux de surface :

Le principal objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit qui satisfait à un ensemble de normes de qualité à un prix raisonnable pour le consommateur .

L'efficacité du traitement adopté dépendra de la façon dont sera conduite l'exploitation de l'usine de traitement. Pour atteindra l'objectif souhaité. l'exploitant devra d'une part respecter certains principes élémentaires pour assurer le control du processus de traitement et le contrôle de l'eau traitée .et d'autre part disposer d'un certain nombre de moyens technique et humains[8].

Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement constitué des étapes suivantes :



Figure I.3: Schématisation dune station de potabilisation d'une eau de surface.

II-1 le prétraitement :

les eaux brutes doivent généralement subir. avant leur traitement proprement dit .un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations :

II-1.1. Le dégrillage et le tamisage : (réservés aux eaux de surface) :

Ce sont procédés physique. Les gros déchets sont retenus par une simple grille .les plus fins dans des tamis à mailles fines.

II-1.2. La peroxydation :

C'est un procédé chimique qui utilise le chlore (ou l'hypochlorite de sodium).l'ozone le dioxyde de chlore ou le permanganate de potassium .Il est destiné à permettre l'élimination de fer et du mangées (notamment pour les eaux souterraines). de la couleur et des algues (essentiellement pour les eaux. La peroxydation empêche le développement algal dans les bassins lorsque la station travaille à ciel (photosynthèse)[9].

II-2.1 La coagulation - floculation

a. Définition :

Pour comprendre les ^processus de la coagulation - floculation. La connaissance du terme colloïde est nécessaire .Un colloïde est un agrégat atomes/ ions ou molécules dont la densité et proche de celle de l'eau avec des diamètre assez petits que la gravité n'est pas en mesure de les déstabilisés .C'est une suspension de particules solides fines dans un solvant liquide.

Les processus de coagulation - floculation sont les stratégies de traitement de eaux qui sont appliquées pour éliminer les particules colloïdales de l'eau. La coagulation est l'addition et l'agitation rapide de coagulant (FeCl3. Al2. (SO4)3 .synthétiques . polymères naturels .etc.) Dans les eaux à traiter en vue de déstabiliser les particules et initier l'agrégation des particules colloïdalest l'agitation lente douce qui favori l'agrégation des particules déstabilisées qui conduit finalement à la décantation rapides flocs qui sont ensuite physiquement séparés de la phase liquide.

b. les inconvénients de la coagulation chimique :

Malgré la supériorité du point de vue technico-économique des coagulants chimiques dans le traitement des eaux .ils ont un très grand inconvénient celui du non-respect aux principes de la chimie verte. en 1960 .une étude a été publiée sur les effets des coagulants chimiques au détriment de la santé humaine [11].

Les débats ont été focalisés sur la relation entre le développement des maladies graves comme l'Alzheimer et l'Aluminium résiduel dans les eaux traitées par le chlorure de fer [12].

Et la maladie de sénile démenti [13].

les résultats d'un grand nombre d'études épidémiologiques et des observation chimiques ont suggérés qu'au moins 70 % de corrélation entre la présence de l'Aluminium dans les eaux potables et l'Alzheimer [14].

Autre inconvénient de l'Aluminium résiduel dans les eaux .c'est réduction de l'efficacité de la désinfection [15].

II-2.Les avantages des bio-floculant :

Contrairement aux coagulants chimiques. Les bio-coagulants ou bio-floculant sont sans danger .écologiques et généralement sans toxicité .Ces bio produits génèrent un volume de boues moins important allant jusqu'à 5 fois moins que les coagulants chimiques [16].

et par conséquent un traitement moins couteux et plus durable'figure1.1). Les bio-floculant peuvent être fabriqués avec des produits locaux et une main d'œuvre locale. Ils sont indépendants du PH. Ce qui traduit un traitement plus facile à une large gamme de PH.

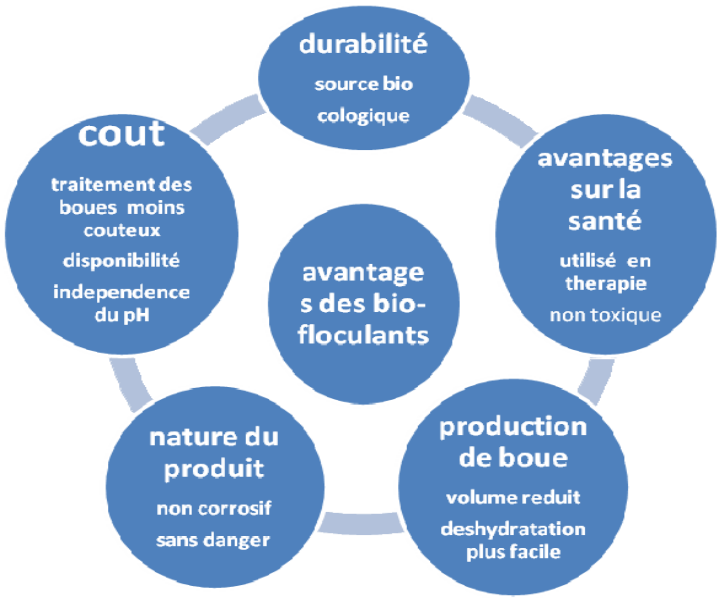


Figure I.4: Résumé des avantages des bio-floculant.

II-3 Classification des bio-floculant selon leurs origines:

- **II-3.1. Déchets des fruits:**

Les fruits sont riches en vitamines et nutriments tels que les sucres et protéines, plus de 50% des fruits sont composés de déchet comme les pelures, les grains, qui sont

généralement non consommable, vue leurs compositions chimiques ces déchets peuvent être valorisés comme bio-floculant.

Jusqu'à nos jours, 9 déchets de fruits on été utilisés dans le traitement des eaux, ce sont

Les grains de Caricapapaya, Feronialimonia, Mangiferaindica, Perseaamericana, Phoenixdactylifera, Prunusarmeniaca, Tamarindusindica, les pelures de Citrussinensis, les feuilles de Hylocereusundatus.

Tableau I.2 : plantes utilisées en floculation

N°	Nom des plantes	Spécificité	Références
		Cactus	
1	Cereusrepandus	Turbidité résiduelle similaire au sulfate d'aluminium avec un dosage plusfaible	[16]
2	Stenocereusgriseus	réduction des colorants de 50 to 25% dans l'eau	[17]
3	Opuntia ficusindica	Pourcentage de turbidité minimal a pH 6 La contribution du mucilage dans la Coagulation, notamment la présence de l'acidegalacturonique	[18] [19]
		% de réduction du Nickel de plus de 65%, et les bactéries de 20%	[20]
		Céréales	
4	Oryzasativa	% de réduction de 96.4%, a turbidité de 1g/l	[21]
5	Zeamays	Plus de 20% de reduction du zinc	[22]
		Fungus	
6	Pleurotus tuber-	Pas sensible au Escherichia coli; (absence de l'activité antimicrobienne)	[23] [24]
		Noisettes	
7 8	Jatrophacurcas Strychnospotatorum	Elimination de Escherichia coli et coliformsfecaux elimination de E. coli et bacteries d'au moins 40% Et Elimination de la dureté d'au moins 30%	[23],[25] [26],[27]et[28]
		Les abrustes	
9	Cassiaalata	Pas efficace pour l'élimination du fer et manganèse, mais efficace pour l'élimination de la turbidité	[29]
10	Maerua	Contient une fraction de proteines et polysaccharides	[30]
11	Prosopis	Meileur % de reduction a pH 11	[16]

Epices			
12	Trigonelle	% de réduction minimal a pH 4	[23]
	Foenum-graecum	Activité coagulante a température et pH précis	

- **II- 3.2 Clarification par coagulation floculation:**

En traitement des eaux, la coagulation et la floculation sont des traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension et colloïdales. Ces traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent en deux étapes principales: à savoir la déstabilisation des particules et la collision des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. La déstabilisation et l'agrégation sont des phénomènes physicochimiques. Contrairement à la séparation par décantation et filtration mettant en jeu des phénomènes essentiellement physiques.

La déstabilisation est le procédé par lequel les particules stables en suspension sont modifiées de façon à leur conférer la possibilité de s'accoler entre elles.

La stabilité des particules en suspension peut être rompue par l'ajout de réactifs chimiques appropriés qui réduisent ou éliminent les forces de répulsion, le système est alors dit déstabilisé. Par la suite, les particules déstabilisées sont mises en contact par une agitation mécanique extérieure, les collisions favorables à la formation de flocs et d'agrégats. La déstabilisation et l'agrégation font donc appel à une agitation externe pour favoriser le mélange des phases et promouvoir les collisions. La pratique consiste à mettre en œuvre deux séquences d'agitation : une agitation rapide qui favorise le mélange des réactifs et la déstabilisation des particules, une phase d'agitation lente pour favoriser les collisions entre les particules déstabilisées et ainsi entrainer leur agrégation.

En chimie des colloïdes, coagulation et floculation font directement référence à un mode de déstabilisation donné[32]. Ainsi, la floculation est le processus par lequel les tous premiers flocs apparaissent dans un système déstabilisé. Ces flocs sont peu denses et en général ne sédimentent pas. Si ces flocs se consolident en s'agrégeant et en devenant plus denses, on parle alors d'agrégats et leur mode d'obtention est appelé coagulation. La floculation fait donc référence à la formation de petits agrégats à partir de particules primaires et la coagulation, la croissance et la restructuration de ces flocs en agrégats denses, susceptibles de se séparer par sédimentation ou crémage. Une autre distinction voudrait aussi que la floculation soit un processus réversible au contraire de la coagulation. En traitement

des eaux par contre, la terminologie en usage associe la coagulation à la déstabilisation du système en présence d'agitation rapide et la floculation à l'agrégation des particules déstabilisées sous agitation lente[33]..

- **II-4 Aspects théoriques : stabilité des suspensions colloïdales:**

Les particules en suspension dans l'eau sont soumises à des forces opposées qui varient avec la distance entre ces particules. L'énergie potentielle d'interaction entre deux particules est la somme de l'énergie d'attraction de van der Waals et de l'énergie de répulsion électrostatique liée aux charges de surface des colloïdes. Aux valeurs de pH habituelles d'une eau de surface (pH compris entre 5 et 8), la surface des colloïdes est généralement chargée négativement.

Lorsque les particules se rapprochent sous l'effet du mouvement brownien ou de l'agitation de la solution, l'énergie d'interaction quasi nulle à grande distance devient négative, les molécules s'attirent. Puis les forces électrostatiques deviennent prépondérantes. Les particules se repoussent. Cette énergie de répulsion est maximale à un niveau correspondant à l'énergie d'activation ou « barrière d'énergie » E_{max}. Le système est d'autant plus stable que E_{max} est élevée. Si l'on arrive à surmonter cette barrière énergétique, les forces attractives deviennent à nouveau prépondérantes et il y a coagulation. Pour cela, il faudrait agiter ou chauffer l'eau pour que l'énergie cinétique des particules soit supérieure à E_{max}, ou bien il faut réussir à abaisser la valeur de la barrière d'énergie.

L'apport énergétique nécessaire étant considérable compte tenu des volumes mis en jeu, il est bien préférable de chercher à diminuer E_{max} par un ajout de cations susceptibles de neutraliser la charge de surface en s'adsorbant sur la surface des particules.

Il est possible de mesurer la différence de potentiel qui existe entre le voisinage d'une particule et le sein du liquide à l'aide d'un appareil appelé zêta mètre qui la détermine par observation de la migration des particules sous l'action d'un champ électrique. Sous l'influence du champ électrique, les particules se déplacent jusqu'à atteindre une vitesse limite correspondant à l'équilibre entre la force électrique d'attraction et la force de friction due à la viscosité du milieu. La valeur du potentiel électrique correspondant, appelée "potentiel zêta" ou potentiel électrocinétique, est indépendante du diamètre de la particule. Le potentiel zêta caractérise la stabilité d'une suspension de colloïdes : plus sa valeur absolue est élevée et plus le système est stable. [34]

II-5 Les modes d'action des coagulants et floculant:

Pour favoriser la séparation des colloïdes, il faut d'une part déstabiliser la suspension par annulation du potentiel zêta - c'est l'étape de coagulation - et augmenter la taille des micro flocs issus de la coagulation - c'est l'étape de floculation.

II -6 Mécanisme de la coagulation-floculation:

On peut considérer qu'il existe quatre grands mécanismes qui agissant individuellement ou ensemble dans la coagulation floculation[35,36].

- Réduction de l'épaisseur de la couche ionique (compression de la double couche): transportée par les particules, par augmentation de la force ionique de la solution.
- Adsorption et neutralisation des charges ioniques : par ajout d'un réactif chimique contenant des contres ions du colloïde.
- Adsorption et pontage entre les particules : par utilisation des polymères de haut poids moléculaire.
- Piégeage des particules (sweep floculation): par formation de polymères d'hydroxydes minéraux volumineux.

Le tableau**1-3**donne un bref perçu des principes et considérations expérimentales qui peuvent être expérimentalement utilisé pour différencier un mécanisme de l'autre.

Tableau1-3: Les principes et les considérations de chaque mécanisme de coagulation [37].

Mécanismes	Adsorption et neutralisation de charge	Sweep floculation	Compression de la double couche	Adsorption et pontage
Principe	Les particulescolloïdalessontattirés/sorbéessurlecoagulant avec une charge Opposéequiles neutralisent	Les particules colloïdales	L'augmentation de la force Ionique du Système colloïdal causelacompression de la double couche Entraînantune déstabilisation des particules. Les répulsions	Lorsque de petites doses de macro- polymères sont ajoutées à un système de colloïdes,les particules s'ad sorbentsur polymères,unecha

			électrostatiques sont surmontés parlesforces attractives de Van DerWaals	îneindividuellede vient attachée à plusieurs particules et les comblant ainsi ensemble (pontageou réticulation)
Effet du dosage	Relation Stoichiometric entre laconcentration de colloïde et le Dosage optimal.	L'augment ation des particules	Mêmequantitéd'électrolyte est nécessaire.'	Relation Stoichiometricent relaconcentration des colloïde et le dosageoptimal.
Effet du dosage après l'optimum	Restabilisationdescolloïdes Ce qui implique une	Améliorati on du % deréductio n. Le risque diminution du %de d'éliminat onde s polluants	Pas du surdosage du coagulant. Même quantité d'indifférentélectr olytesurdosage est évitépourlimiterle volume Desbouesest nécessaire	Floculation diminuée enraison de la stabilisation stérique.

La dureté du floc et çarupture	formation intégrale de flocs aprèsrupture petit mais résistant	Flocs faibles. La rupture des flocs n'est pas entièrement réversible (grand maislâche)	-	Flocs solides qui ne peuvent pas réformer une fois rompue. Adsorptionestspécifique (Habituellement une liaison chimique).
Autres considérations	Donne une mauvaise élimination des particules danslessuspensionsdiluées. Floculation optimale au point de charge nulle.	Flocs se forment plus rapidement etdevientbeaucoupplusgrande, réalisationplusgrande du degré de séparation que par neutralisation de charge. Les mécanismes les plus importants dans le traitement des eaux [37]	Responsable du delta formation lorsque l'eau de la rivière se mélange avec l'eau salée (mer / l'océan) Pas très efficace dans le traitement des eaux usées. [35-38]	Il est possible d'absorber négatifs ou neutres polymères typiquement à la surface négative du colloïde. [39]

En utilisant les informations présentées sur le tableau, les chercheurs ont pu identifier les mécanismes de coagulation-floculation qui ont été impliqués lors de l'élimination des

polluants. En faisant varier le dosage du floculant du bas au surdosage, les mécanismes de sweep floculation et de compression de la double couche peuvent être sans ambiguïté identifiés tandis que la neutralisation de la charge et le pontage montrent une relation stœchiométrique entre la concentration de colloïde et le dosage optimal. Les deux peuvent être différenciés par le contrôle de la réforme de flocs après leur rupture [40]

II-7 Les coagulants usuels:

- **a- Les sels minéraux :**

Ce sont des réactifs minéraux comme le sulfate et chlorure d'alumine Al2$(SO_4)_3$, 18 H2O et $AlCl_3$, 6 H_2O, chlorure et sulfate ferrique $FeCl_3$, 6 H_2O et $Fe_2(SO_4)_3$, 9 H_2O sulfate ferreux $FeSO_4$, 7H_2O .Leur comportement est lié essentiellement au pH du milieu. A pH élevé Les hydroxydes de ($Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$)deviennent prépondérants ,ce précipité floconneux possédant une surface spécifique très élevée et pouvant piéger et adsorber les particules avec lesquelles il rentre en contact ,ce qui génère une floculation (actions des hydroxydes métalliques).Quant aux pH faibles le cation métallique (Al^{3+}; Fe^{3+}) prédomine .Le potentiel Zêta passe d'une valeur négative à une valeur nulle ,ce qui modifie la couche diffuse et rapproche les particules aboutissant à une coagulation(déstabilisation par les cations métalliques).

- **b - Les coagulants organiques synthétiques**

Ce sont des polymères organiques de synthèse de nature cationique, anionique ou non ionique qui ont un poids moléculaires élevé entre $10^4 - 10^6$Da.

Les poly électrolytes cationiques ont le même mécanisme que lors de l'introduction de cations métalliques induisant une coagulation. Tandis que les poly électrolytes anioniques et les polymères non ioniques possèdent des sites actifs qui leurs confèrent la capacité de s'adsorber à la surface des particules ce qui donne lieu à la formation de ponts /réticulation/ floc ce qu'est appelé floculation

- **c- Les bio floculant:**

Dans le but de valoriser les substances naturelles et de minimiser l'effet toxique des produits chimiques (chlorure de fer et sulfate d'alumine ,polymères synthétique) utilisés dans les procédés de coagulation floculation, respecter les normes de plus en plus rigoureuses et réduire le coût du traitement des eaux dans le contexte du développement durable ,les scientifique se sont tournés vers des produits alternatifs d'origine végétale(alginate, cactus, xanthan , amidon…) et animale (chitosan).

Ces biomatériaux se caractérisent par leurs abondances, biodégradabilité, ils sont aussi économiques (ne coutent pas cher), le plus important c'est qu'ils sont surs et ne portent pas atteinte à l'environnement et à la santé humaine(Ecofriendly).

II-8 Facteurs influençant la coagulation:

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation, comme le pH, les sels dissous, la température et la couleur.

- **a -Influence du pH :**

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation a lieu rapidement, plage qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. Lorsque la coagulation se produit hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité.

Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de pH optimales s'étendent respectivement de 4à 6 et de 5 à 7. Pour certaines eaux, il faut parfois corriger le pH à l'aide de divers produits (acide, chaux ou soude). [39]

- **b -Influence des sels dissous :**

Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation et la floculation : [39]

- ✓ modification de la plage du pH optimale;
- ✓ modification du temps requis pour la floculation;
- ✓ modification de la quantité de coagulant requis;
- ✓ modification de la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent.

- **c- Influence de la température de l'eau:**

On dispose de peu d'information en ce qui concerne l'influence de la température de l'eau sur la coagulation. Toutefois, l'expérience révèle que durant l'hiver, lorsque la température de l'eau avoisine 0° C, le floc se décante plus difficilement et a tendance à pénétrer plus profondément dans les filtres due à l'augmentation de la viscosité de l'eau.

- **d-Influence du mélange:**

Au cours de la coagulation et de la floculation, on procède au mélange des produits chimiques en deux étapes. A la première étape, le mélange est énergique et de courte durée (120s au maximum) : c'est le mélange rapide. Ce mélange a pour but principal de disperser

les produits coagulants dans la totalité du volume d'eau à traiter..Un mélange rapide

inadéquat entraîne un accroissement de la quantité de produits chimiques nécessaires.

A la deuxième étape, le mélange est lent et il a pour but de favoriser les contacts entre les particules de floc. Cependant, le mélange doit être suffisamment énergique pour engendrer des différences de vitesse de l'eau dans le bassin, mais pas trop pour ne pas briser les flocs formés. La durée du mélange dans un bassin de floculation varie entre 15 et 20 min.[34]

- **e- Influence de la turbidité:**

La turbidité des eaux de surface est due à la présence de particules dont le diamètre varie de 0,2 à 5,0 μm. La coagulation de ces particules est assez facile à réaliser lorsqu'on maintient le pH dans sa plage optimale. C'est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant. Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation.[34]

II-9Décantation ou flottation:

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation.de la gravité. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les flocs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface.

A l'inverse, la *flottation* consiste à favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux flocs. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur.

II-10 Filtration :

C'est un procédé physique disposé généralement après la décantation ou la flottation. La filtration permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de la pré-oxydation. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines karstiques). La plus répandue est la filtration sur lit de sable (lit filtrant) : une couche de sable retient les

particules et laisse passer l'eau filtrée.

La filtration sur membranes (microfiltration notamment) est de plus en plus fréquemment utilisée, mais elle reste encore onéreuse. Elle est fondée sur l'utilisation de membranes de faible épaisseur, comportant des pores réguliers de très petites dimensions. Ces membranes peuvent être d'origine organique ou minérale [41].

II -11 Etude sur l'OFI:

II-11.1 Description et distribution d'OFI:

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[37].



Figure I.5 : La plante d'Opuntia Ficus Indiça.

Le genre *Opuntia* est originaire des régions arides et semé- arides du Mexique. Sa distribution géographique est très large: Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Inde, Asie[42-43-44-45] , Corée, Argentine et Afrique du Nord[46-47] . 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) [48]. 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 [49]

II-11.2 Approches méthodologiques employées:

- **La préparation d'OFI 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 bio sorption).

Les cladodes sont utilisées fraîches ou après séchage comme poudre. Les étapes de préparation varient légèrement selon la matière utilisée (fraîche ou sèche).

III - GENERALITES SUR LESCACTUS

III -1 Définition :

Le mot *cactus* vient du grec ancien κάκτος / *káktos*, désignant le chardon. Les Cactacées (également rencontrées sous l'appellation Cactées) sont des plantes grasses, vivaces, terrestres ou arboricoles. On les qualifie de plantes xérophytes. Ce terme signifie qu'elles stockent dans leurs tissus des réserves de « suc » pour faire face aux longues périodes de sécheresse (Habibi, 2004). On y rencontre des plantes de formes variées telles que des sphères, des cylindres, des cônes renversés, des oves et des prismes. Leurs fleurs sont construites un peu comme celles du Nénuphar avec de nombreux pétales prenant insensiblement la forme de sépales. Leurs fleurs sont hermaphrodites et solitaires, rarement groupées en panicule qui est une inflorescence composée, formée par une grappe de grappes sur un axe simple. Elles admettent un axe de symétrie (symétrie radiaire) et sont actinomorphes ou faiblement zygomorphes dans la mesure où elles ne possèdent qu'un plan de symétrie (symétrie bilatérale) (Lavastine, 1947). Leurs tiges, leurs rameaux, lorsqu'elles en possèdent, sont généralement anguleux, garnis de côtes, de bossettes et de verrues disposées en lignes droites ou en spirales, hérissés d'aiguillons plus ou moins groupés. Dans leur ensemble, on peut répartir les Cactées en deux groupes, suivant qu'elles ont des graines à enveloppe mince ou des graines à enveloppe épaisse et dure (Fournier, 1954). Les premières de ces graines sont en général très petites, les secondes, plus grosses, ressemblent assez à de très petits noyaux de cerise et ne sont guère moins résistantes (Fournier,1954).

III-2 Classification des Cactus :

Les cactacées sont des plantes vasculaires dans les groupes des phanérogames (plantes

à fleurs) et dans la classe des angiospermes (plantes à graines renfermées dans un fruit), dicotylédones, dialypétales (ses pétales ne sont absolument pas soudés), caliciflores (plantes dont les étamines sont insérées sur le calice) de l'ordre des Caryophyllacées ,

L'appartenance à la famille des Cactacées se détermine par trois critères principaux :

- Les points végétatifs sont des aréoles, c'est-à-dire des sortes de dépressions dans l'épiderme, garnis de laine ou de duvet leur donnant l'aspect de petits coussins, d'où sont issus les segments ou rejets, les fleurs et les feuilles réduites que sont les épines et les glochides (petits aiguillons barbelés très irritants pour la peau trouvés sur certaines plantes). L'existence d'aréoles est le critère le plus employé par l'amateur pour l'identification, d'abord parce qu'il n'est pas nécessaire d'attendre la floraison et la fructification pour les observer, ensuite parce que, contrairement aux deux autres critères, les aréoles n'existent dans aucune autre famille de plantes.
- L'ovaire doit être infère, c'est-à-dire qu'il doit être situé sous les pièces florales (sauf chez quelques cactus très primitifs comme *Pereskiaaculeata*).
- Le fruit doit être une baie à une seule loge, il n'existe pas de cloisons internes séparant les graines ou groupes de graines.

III-3 Les trois grandes sous-familles de Cactus :

La famille des Cactaceae, comprenant environ 2500 espèces réparties en près de 90 genres, est subdivisée en trois sous-familles : les Péreskioideae, les Opuntioïdeae et les Cactoïdeae (Griffith et Porter, 2009; Kirkpatrick*etal*., 2009 ; Rebman et Pinkava, 2001). Ces 3 sous- familles (**Figure 1.6**) partagent la même capacité à stocker l'eau et en tant que telles, sont qualifiées de plantes succulentes (Oldfield, 1997). Toutes les plantes succulentes ne sont pas des Cactus. Ce sont des familles de plantes qui ont adopté les mêmes méthodes de lutte contre les périodes de sécheresse, comme les Asclepiadaceae ou les Crassulaceae

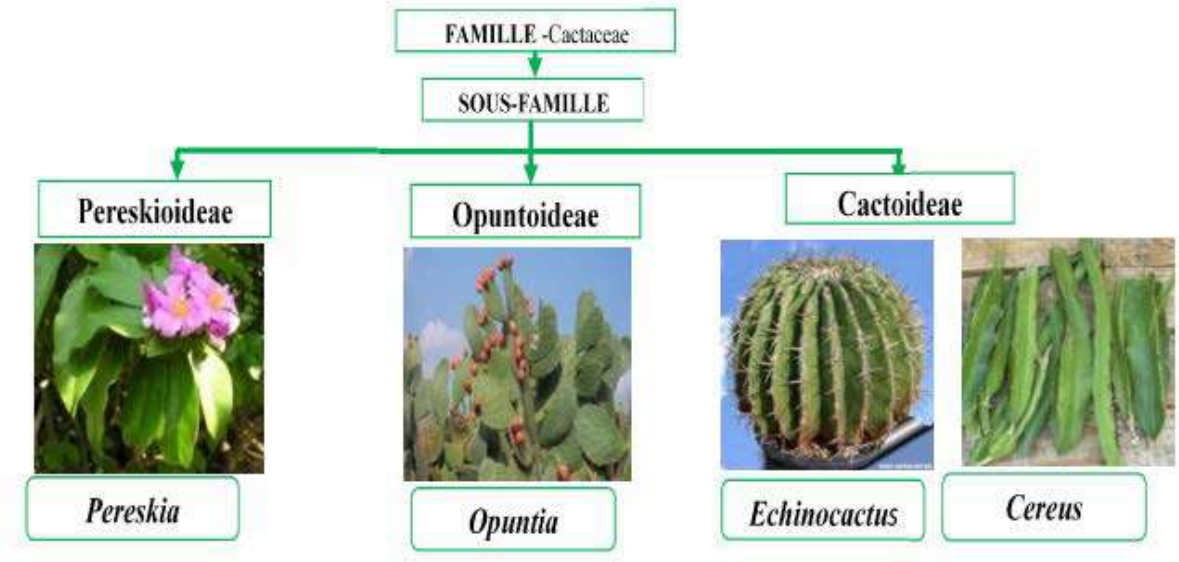


Figure 1.6 : Classification des cactus (Kirkpatrick*et al.*,2009).

- **a- Sous-famille des Pereskioideae :**

La sous-famille des Pereskioideae (*Pereskia*.) regroupe des arbres, des arbustes ou des lianes su bsucculentes aux feuilles caduques saisonnièrement mais bien développées. Leurs tiges sont droites dépourvues de glochidies, et leurs graines noires sont dépourvues d'arille (un arille est une enveloppe charnue plus ou moins développée autour d'une graine). Excepté en ce qui concerne un point commun relatif à la floraison (les fleurs poussent sur les aréoles), leur relation avec le reste de la famille est difficile à établir.

La sous-famille Pereskioideae comprend environ 25 espèces regroupées en un seul genre : le genre *Pereskia*(Anderson, 2001, Leuenberger, 1986).

- **b- Sous-famille des Opuntioideae :**

La sous-famille des Opuntioideae se caractérise par des arbres, des arbustes ou des sous- arbrisseaux aux feuilles rapidement caduques sur les jeunes pousses. Les fleurs sont de formes conique ou cylindrique et les tiges sont plus ou moins cylindriques et pourvues de glochidies (le terme glochidie désigne des poils rigides). Les graines sont couvertes d'un arille pâle et dur. Cette sous-famille regroupe environ 17 genres parmi lesquels le genre *Opuntia* est le plus répandu et connu sous le non de figuier de barbarie . Les espèces du genre *Opuntia* poussent avec des articles plats en forme de raquettes appelés cladodes. Ces plantes portent de grandes et fortes épines assurant un rôle défensif, mais aussi des glochides. Elles recouvrent aussi les fruits. Les *Opuntia* sont parfois appelés «Cactus raquettes» en raison de la forme de leurs cladode sou encore dans leurs régions d'origine «Nopal» ou «Nopals». Certaines espèces d'*Opuntia* donnent des fruits comestibles. Ainsi *Opuntia ficus- indiça*

produit les figues de Barbarie qui font l'objet d'une production commerciale dans de nombreux pays.

- **c- Sous-famille des Cactoideae :**

La sous-famille des Cactoideae, à laquelle appartient le genre *Cereus*, regroupe de nombreux genres aux feuilles absentes ou vestigiales (feuilles subissent une régression phylogénétique) et rapidement caduques. Les tiges sont très succulentes, sphériques à cylindriques ou colonnaires (ayant la forme d'une colonne, sans bras, telles que les espèces du genre *Cérès*) et dépourvues de glochidies (Mauseth, 2006). Les graines sont noires ou brunes et non enveloppées par un arille dur. Cette sous-famille, regroupant environ 117 des genres, est subdivisée en neuf tribus. Il a été décrit que les cladodes du genre Cereus jamacarus et les fruits du genre Cereusundatus contiennent des pectines .

Conclusion:

Les conséquences de la pollution des eaux usées sont multiples, que se soit directement ou indirectement sur l'homme ou indirectement sur le milieu où il vit.

L'assainissement des eaux usées, répond donc à ces deux préoccupations essentielles en vue de préserver les ressources en eaux et le cadre de vie.

Chapitre II

MATERIEL ET METHODES

II-MATERIEL ET METHODES :

II-1Echantillonnage :

Notre étude a été réalisée sur trois types d'échantillons d'eaux polluées. Le premier échantillon et le second sont des solutions pseudo industrielles de sel de zinc et de cuivre, puis d'argile préparées au laboratoire. Le troisième échantillon est une solution issue d'un rejet industriel d'une unité de traitement de surface chargée en cuivre et en zinc (bains de laitonnage) .Le prélèvement du rejet du bain de lavage a été effectué pendant la production en pleine activité.

Nous décrivons dans ce qui suit les différentes étapes d'extraction de notre bio floculant à base des cladodes de cactus ainsi que la caractérisation qualitative de notre produit. En outre, nous décrirons les techniques et les procédés adoptés et les matières premières utilisées au cours des différentes préparations ainsi que les différentes méthodes de caractérisation et de contrôle réalisés sur le jus et les suspensions. Et enfin, nous décrirons les études préliminaires effectuées et la méthodologie expérimentale employée.

- **II-2Provenance et caractéristiques des additifs chimiques utilisés :**

Le tableau ci-dessous présente les additifs utilisés lors de ce travail et leur provenance .les produits concentrés d'hydroxyde de sodium et d'acide chlorhydrique ont été dilués .les solutions diluées obtenues ont servi à modifier le pH de la suspension .Les sels de chlorure de fer et de calcium sont ajoutés au suspension et au jus de cactus pour augmenter leur force ionique.

Tableau II-1 : Caractéristiques des additifs chimiques et leur provenance

Nom usuels	Formule chimique	Propriété physique	Fournisseur
chlorure de fer	Fecl3	M=162.20g/mol Aspect: poudre vert foncé à noir Pureté minimum:97% point de fusion:304°C-dec. Densité:2.800g/cm3 a 25°C Solubilité dans H2O:soluble	SIGMA-ALDRICH
Hydroxyde de Sodium	Naoh	M_w: 40g/mol Pression de vapeur:<18mmHg (20°C) Solubilité : 1260g/là 20°C Pureté :98%	SIGMA-ALDRICH

Sulfate de cuivre	CuSo4	M= 249.685g/mol Densité : 2.286 Solubilité : Eau : 220g/L éthanol : légèrement soluble Méthanol : soluble	SIGMA-ALDRICH
Sulfate de Zinc	ZnSo4	M=161.44g/mol	SIGMA-ALDRICH

- **II-3 Techniques d'analyse:**
- **a- Analyse spectroscopique UV-Visible:**

La technique de spectrophotométrie est basée sur la propriété de la matière, et plus particulièrement de certaines molécules, d'absorber certaines longueurs d'ondes du spectre UV-visible.

Elle permet de réaliser des dosages grâce à la *loi de Berr-Lambert* qui montre une relation de proportionnalité entre l'absorbance et la concentration (A=etc.).

Pour nos travaux, la spectroscopie UV-visible a été utilisée pour suivre l'évolution de la concentration d'acide humique dans l'eau traitée en fonction du volume du jus ajouté et du pH à une longueur d'onde de 292 nm.

Les spectres UV-visible ont été enregistrés sur un spectromètre de marque Shimizu UV-1601 avec des cellules de quartz de 10 mm de trajet optique.

- **b- Le pH:**

Le potentiel hydrogène (ou pH) est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènesH^+(appelés aussi couramment protons en solution, évaluée sur une échelle logarithmique, qui varie en pratique de 0 à 14 pour les solutions aqueuses. Un pH inférieur à 7 signifie une solution acide, Au-dessus de 7, c'est une solution basique .Il dépend de plusieurs paramètres .Dans le traitement des eaux le pH est un facteur très important qui influence directement les équilibres physico- chimiques. Chaque type d'eau est caractérisé par une plage de pH bien définie

Dans notre travail la mesure du pH est réalisée à l'aide d'un multi paramètre de marque CRISON MM40 qui donne à le pH, la conductivité, la température et le TDS(total des solides dissouts).

- **c- La conductivité:**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. Elle donne un aperçu sur l'ensemble des sels minéraux présents dans une solution.

Une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée .Cette mesure détermine la quantité des ions liés contenue dans une solution qui sont séparés en deux groupes cations et anions .Ces sels dissouts vont accorder une valeur de conductivité mesurée en us/cm en donnant une indication sur la qualité de l'eau employée.

Dans notre travail la mesure de la conductivité est réalisée à l'aide d'un multi paramètre de marque CRISON MM40.

- **d- La turbidité:**

La turbidité est l'effet optique qui traduit le caractère trouble de l'eau .Elle est due à la présence de diverses matière en suspensions finement divisées telles que les fines particules de matières organiques ou d'argiles et microorganismes …etc. La turbidité se mesure par la technique optique : absorption ou de diffusion des rayons lumineux par les particules en suspension.

Les mesures de la turbidité des suspensions de bentonite à traiter sont réalisées à l'aide d'un turbidimètre de marque HANNA, modèles HI 93703 au niveau du laboratoire d'Analyses fonctionnelles des procédés chimiques, Université de medea .Elle est exprimée en NTU Différentes dilutions sont effectuées en cas de nécessité pour rentrer dans la gamme choisie.

Le turbidimètre utilisé envoie un faisceau de lumière infrarouge de 890 nm, cette dernière traverse la cuvette contenant l'échantillon à tester. Un capteur placé à un angle de 90° par rapport au faisceau incident permet à l'appareil de mesurer l'intensité de lumière en retour

La mesure de turbidité est relative.

L'appareil est étalonné pour mesurer une turbidité de 0, 10,100 et 500 pour la suspension initiale sans traitement et pour l'eau claire.

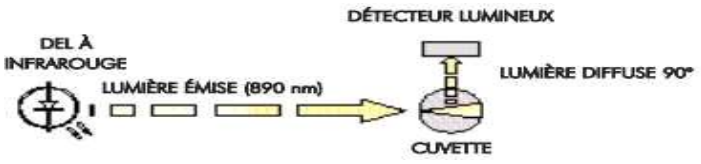


Figure II.1 : Schématisation du principe d'un turbidimètre.

- **e- Les acides humiques:**

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

se retrouvent sous forme de macromolécules carbonées hétérogènes et complexes dans tous les écosystèmes au niveau des sols ainsi que des sédiments, des eaux de surface ce qui leur donne une coloration jaune brun en même temps qu'une acidité pouvant aller jusqu'à pH4.

- **II-4 Caractéristiques des acides humiques:**

Tableau II-2 : Caractéristiques des acides humiques

Caractéristiques	Acides humiques
Couleur	Brun
Degré de polymérisation	Elevé
Poids moléculaire (Da)	300 000
Carbone	62 %
Oxygène	30 %
Acidité échangeable	< 500
Degré de solubilité	Faible

- **II-4-1 Préparation de la solution d'Acides Humiques(1g/l):**

La solution est obtenue en dissolvant 1 gramme d'acide humique dans 62.5 ml d'une solution de Naoh à 2N, et complété avec de l'eau distillée jusqu'à 1 litre, cette solution est agitée pendant 24h et conservée à l'abri de la lumière à 4°C.

- **II-5L'eau de surface:**

Pour tester l'efficacité de notre bio floculant on l'avait appliqué sur une eau réelle. L'eau a été ramenée de poval de berrouaghia.

Propriétés de cette eau :

Tableau II-3 : Propriétés de l'eau de surface .

Propriété	**Valeur**
Ph	5.9
conductivité (us/cm)	430
turbidité (NTU)	10

- **II-6Préparation du Bio floculant extrait des cladodes de cactus:**
- **a-Préparation préliminaire de la matière première fraiche:**

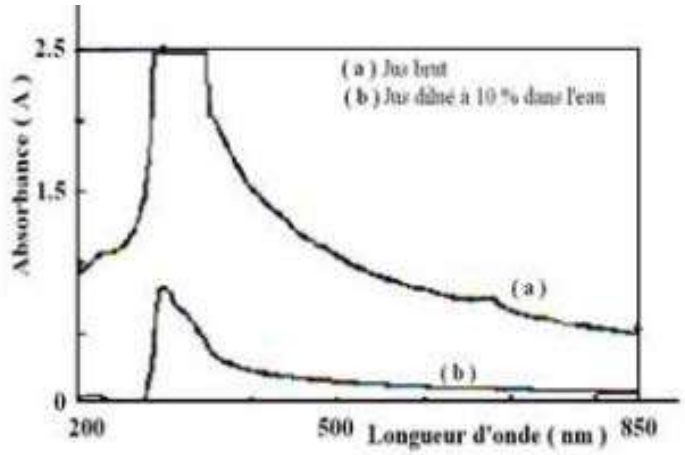
Les cladodes (raquettes) d'OFI (cactus) ont été collectées durant le mois de Mai 2020 de berrouaghia wilaya de Médéa, dont la température moyenne est de 22 °C .Pendant les mois les

plus chauds elle est de l'ordre de 33 °C, tandis qu'elle varie entre 0 et 7 °C pendant les mois les plus froids. La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 600 mm

b- Préparation de jus de cactus

Les feuilles de plantes utilisées dans le traitement des eaux polluées ont été broyées après nettoyage. L'extrait aqueux de plante recueillit par tamisage sur un filtre de diamètre 500 microns, a été dilué à 10 % dans de l'eau, puis homogénéisé par agitation pendant 15 à 20 minutes.

Le jus de cactus obtenu est relativement stable. Il peut conserver sa capacité floculant en dehors de tout système de conservation pendant plusieurs jours. Ce produit est un liquide visqueux de coloration verte, de pH = 6,5, miscible à l'eau, de densité volumique 1.008 kg/l et contient environ 96 % d'eau. Son analyse réalisée par spectroscopie UV a donné le spectre ci-dessous (Fig.II.2).



FigureII.2 : spectre d'absorbance UV de jus de cactus vers 300 nm (a) jus brut, (b) jus dilué 10% dans l'eau.

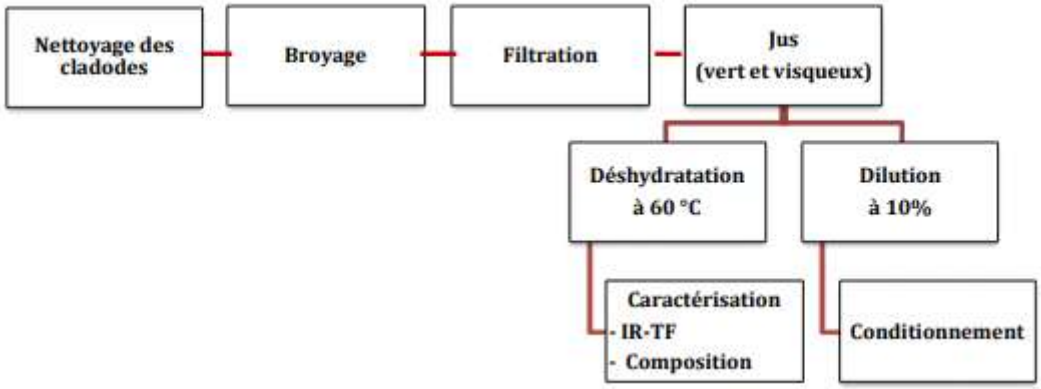


Figure II.3 : Etape de préparation du jus de cactus



Figure II.4 : cladode du figuier de barbarie



Figure II.5:jus de cactus

- **II-7 Le jar-test:**

Le Jar test est un appareil qui permet de déterminer les conditions optimales de la coagulation floculation telle que la concentration optimale du coagulant ou du floculant, le temps, la vitesse d'agitation et le pH optimum.

Le test a été réalisé à l'aide des floculateurs (agitateur) avec 6 béchers de 1l de volume. Cet appareil a été programmé pour deux vitesses d'agitation où la vitesse d'agitation de la coagulation est estimé égale à 150 tr/min pendant 2minutes et la celle de la floculation est de 40 tr/min pendant 15 minutes .Le temps nécessaire pour la décantation est égale à 30minutes.

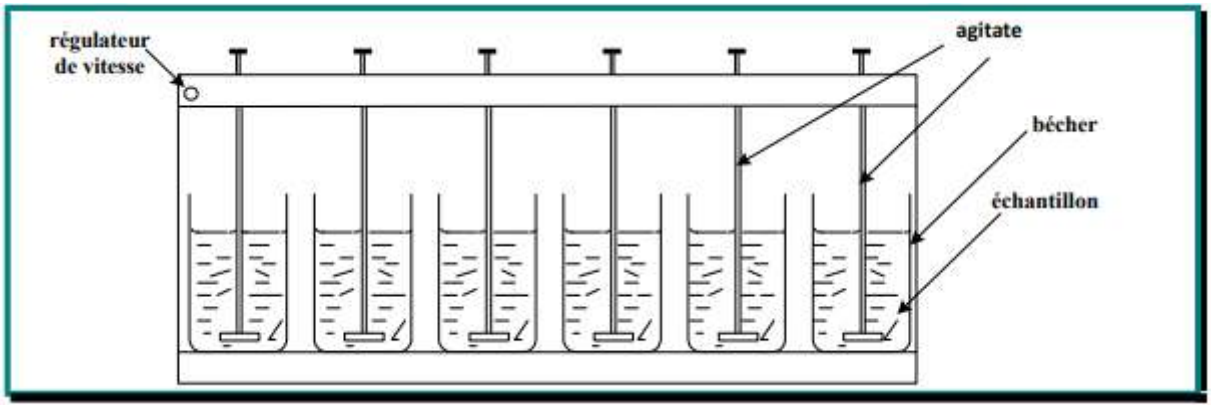


Figure II.6 : figure montrant le jar test

- Les 6 bécher sont été remplis avec de l'eau à traiter (eau synthétique) en prenant soin que ces derniers soient homogènes en vue de turbidité,
- L'ajustement du pH a été effectué selon test (milieu acide ou basique). La mesure du pH, conductivité et turbidité initiale est nécessaire. Les lamelles ont été introduites dans les béchers.

- L’appareil a été programmé pour deux vitesses d'agitations différentes et successives, à savoir la vitesse de coagulation qui est de 150 tr/min pendant 2minutes et la vitesse de floculation qui est de 40 tr/min pendant15minutes.
- Au temps 0, le floculant été ajouté le plus rapidement possible avec une pipette, de façon identique dans chaque bécher. Les doses sont croissantes de façon à "encadrer" la dose optimale présumée.
- Les lamelles ont été retirées lentement pour laisser les flocs décanter pendant 30 minutes.
- A l’aide d’une pipette un prélèvement a été effectué à 1cm de la surface de l’eau dans chaque béchers.
- La mesure du pH, conductivité et turbidité finale est nécessaire.

Chapitre III

Résultats et discutions

- **1 - Essais de coagulation floculation:**

Afin de déterminer l'efficacité de notre bio-floculant à clarifier les eaux turbides, nous avons procédés à une série de tests, en faisant varier plusieurs paramètres (pH, turbidité, composition de la suspension), dans le but de définir les domaines de validité, ainsi que les conditions optimales de notre bio-floculant, en mesurant la turbidité, le pH, la conductivité initiale et finale ainsi que la densité optique à 254nm qui est spécifique à la matière organique. Les résultats du jus de cactus seront comparés au chlore de fer, à forte et faible turbidité.

2- Caractérisation de jus cactus :

a- Le PH :

Le pH du jus est égal à 3.5. Cette valeur peut être expliquée par la présence de groupements fonctionnels responsables de l'acidité du milieu, tels que les fonctions carboxyles (le COOH) présentes dans la pectine.

- **b- La conductivité:**

La conductivité du jus est égale à 2ms/cm, cette valeur montre que le jus contient une quantité importante d'ions

- **c- La densité:**

La densité du jus de cactus est égale à 1108g/l.

3- Spectroscopie Infrarouge à transformer de Fourier (L.R.T.F) :

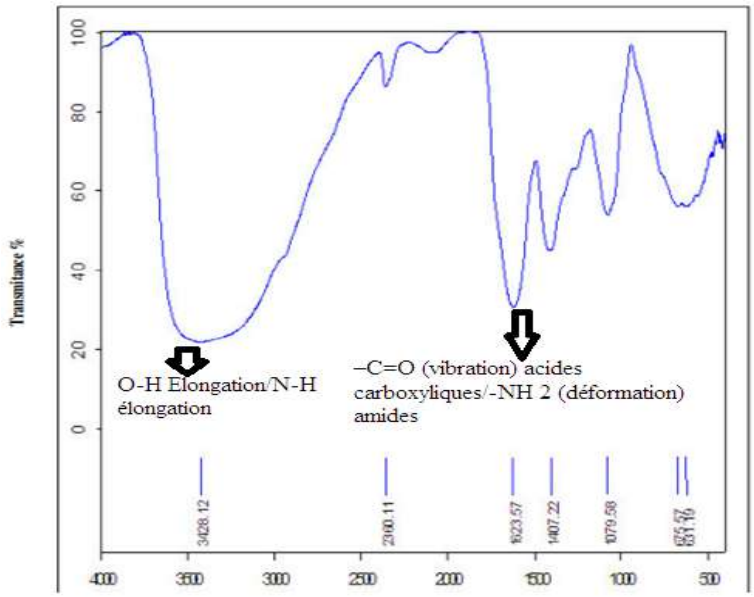


Figure III .1 : Spectre I.R du jus de cactu

Longueur d'onde (m^{-1})	**Type de liaison**

Tableau III-1: Longueurs d'ondes des ban des IR des structures constituants le jus de cactus :

3428.12	O-H Elongation/N-H élongation
2380.11 **1623.57**	Alcynes/ Nitriles –C=O (vibration) acides carboxyliques/-NH 2 (déformation) amides primaire
1407.22 **1079.58**	–C=O élongation Carboxylates/élongation O-H P-OH vibration /(-OH /–C–O- C–) Polysaccharides
675.57	Groupes aromatiques
631.19	Groupes aromatiques

La bande large située entre 3200-3500 cm est attribuée à la vibration d'élongation d'hydroxyle (OH) qui indique la présence d'un alcool associé aux polysaccharides

On remarque aussi une intensification de cette bande située entre1000 et1300cm qui peut être attribuée à une liaison -CO ou à une élongation d'une amine primaire.

Le faible étirement de la bande de vibration autour de 2380.11 m^{-1}pourrait être affecté aux alcynes ou aux nitriles. La bande intense observée à 1623.57 m^{-1}est attribuée à une élongation de la fonction –C=O des acides carboxylique comme elle peut être attribuée à une déformation de la liaison–NH2amidesprimaires existants dans les protéines. En outre, la bande à 1407.22cm correspond à une élongation de la fonction–C=O des carboxylates ou à une élongation O-H des phénols.

Le signal moyen enregistré à 1079.58 m^{-1}correspond à la vibration de la liaison P-OH des phosphates ainsi que les liaisons-OH et –C–O- C– des sucres constituants les polysaccharides Enfin, les bandes obtenues à 675.57 et 631.19 m^{-1}sont dues probablement aux groupes aromatiques ou aux vibrations de valence des liaisons d'halogénures (C-X).

4- Evaluation du pouvoir floculant de jus de cactus :

Afin de déterminer la combinaison adéquate de travail (coagulant / jus de cactus)pour le traitement par coagulation-floculation, nous avons réalisé des essais sur deux types de produits chimiques (chlorure de fer et chaux). Ces derniers sont couramment utilisés dans le

traitement physico-chimique des effluents industriels [50,51].

Le traitement de la solution pseudo industrielle par coagulation-floculation a été réalisé sur deux combinaisons notées respectivement 1 et 2 (chlorure de fer / jus du cactus et chaux / jus du cactus).

Les teneurs retenues en métaux sont de 50 ppm pour le cuivre et de 50 ppm pour le zinc. Les différents essais de traitement ont été réalisés dans une zone de pH comprise entre 7 et 12 correspondant à la précipitation de cuivre et de zinc [53].

Pour chaque essai réalisé sur un litre de solution; le pH est ajusté dans la combinaison 1 avec la soude suivi d'une coagulation avec 5 ml d'une solution de chlorure de fer à 40g/l et dans la combinaison 2 avec la chaux suivi immédiatement d'une étape de floculation par 0,2 ml de jus de cactus (Tableau 2).

Le choix de ces doses a été dicté par les résultats de nombreux travaux réalisés pour Le traitement des rejets industriels [54,52].

L'analyse du Tableau 2 montre que dans les deux types de traitement, la formation des flocs est très rapide et optimale à pH 9. En dehors de cette zone et pour des pH inférieurs à 9, le traitement par la combinaison 1 (chlorure de fer / jus de cactus) en présence de la soude est plus avantageuse.

Pour les valeurs de pH supérieurs à 9, le traitement nécessite uniquement l'utilisation de la chaux qui agit simultanément en tant qu'ajustant de pH et de coagulant suivi de l'ajout de jus de cactus.

Tableau III-2: Conditions de traitement des différents échantillonnes utilisant le FeCl3, 6H2O ou la chaux :

Ajustant de pH	Soude						chaux					
Coagulant	FeCl3, 6H2O						chaux					
Floculant	Jus de cactus						Jus du cactus					
pH	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
Forme des floc.	G	G	G	G	G	M	M	G	G	G	G	G
Temps (mn)	2	1	1	3	5	8	9	7	1	1	1	3
T: Temps de formation des flocs, G: grande, M: moyen												



FigureIII.2 : Flocs obtenus a différents ph ; (A) flocs obtenus a ph <5. (b) flocs obtenus a ph >5.

- **5- Les résultats des essais jar test:**

a- Variation de la concentration a fortes turbidité (120NTU):

Le premier essai consiste à varier la concentration du jus de cactus à des pH différents, on a choisi 8 valeurs de concentration, en allant de 0.04ml de jus dans 1 litre d'eau à traiter à 1ml/l, à savoir: (0.04; 0.08; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 et 1ml/l), ce choix a était fait par la suite d'un balayage de concentrations de 0.02ml/l à 3.5ml/l , et on a trouvé que cette plage de concentration est la meilleure pour notre jus. Notant que pour ce premier test on a utilisé une turbidité plus au moins élevée qui est de120NTU.

On a voulu modifier le pH de l'eau à traiter, afin de déterminer la zone de pH pour laquelle notre jus présente une efficacité (pH optimal), et également avoir une idée sur la dépendance du jus vis-à-vis du pH, c'est à dire, est ce qu'il faut que le jus soit dans des conditions de pH bien précises (acide ou basique) pour qu'il soit efficace? Ces données sont d'une grande importance, elles peuvent servir d'indices pour comprendre le mécanisme d'action du jus (neutralisation de charge, adsorption, pontage).

On a choisi 6 valeurs de pH, à savoir: (5, 6, 7, 8, 9, 10), qui coïncident parfaitement avec les valeurs de pH retrouvées dans différents types d'eaux. Les résultats des analyses sont présentés dans les tableaux suivants:

Tableau III-3.: Les résultats des essais jar test avec le jus de cactus.

[C] (ml/l) PH	0.04		0.08		0.1		0.2		0.4		0.6		0.8		1	
5	T_i	T_f	T_i	T_f	T_i	T_f	T_i	T_f	T_i	T_f	T_i	T_f	T_i	T_f	T_i	T_f
	120	3,90	120	3,60	120	1,80	120	2,40	120	3,07	120	3,50	120	4,30	120	5,60
6	120	2,40	120	2,70	120	3,00	120	3,69	120	5,15	120	6,35	120	10,50	120	11,00
7	120	2,80	120	1,90	120	2,08	120	2,90	120	3,78	120	3,98	120	4,26	120	4,13
8	120	4,45	120	3,59	120	1,10	120	2,25	120	3,25	120	3,74	120	5,32	120	7,64
9	120	3,15	120	4,08	120	5,07	120	5,50	120	6,39	120	6,41	120	7,78	120	8,60
10	120	5,75	120	4,66	120	4,80	120	4,43	120	3,91	120	5,03	120	12,50	120	13,70

[C] (ml/l)pH	0.04	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
5	96,75	97,00	98,50	98,00	97,44	97,08	96,41	95,33
6	97,96	97,71	97,46	96,89	95,67	94,67	91,21	90,80
7	97,66	98,41	98,26	97,58	96,85	96,68	96,45	96,55
8	96,29	97,00	99,08	98,12	97,29	96,88	95,56	93,63
9	97,37	96,60	95,77	95,41	94,67	94,65	93,51	92,83
10	95,20	96,11	96,00	96,30	96,74	95,80	89,58	88,58

Tableau III-4: Les taux de réduction des essais jar test du jus de cactus.

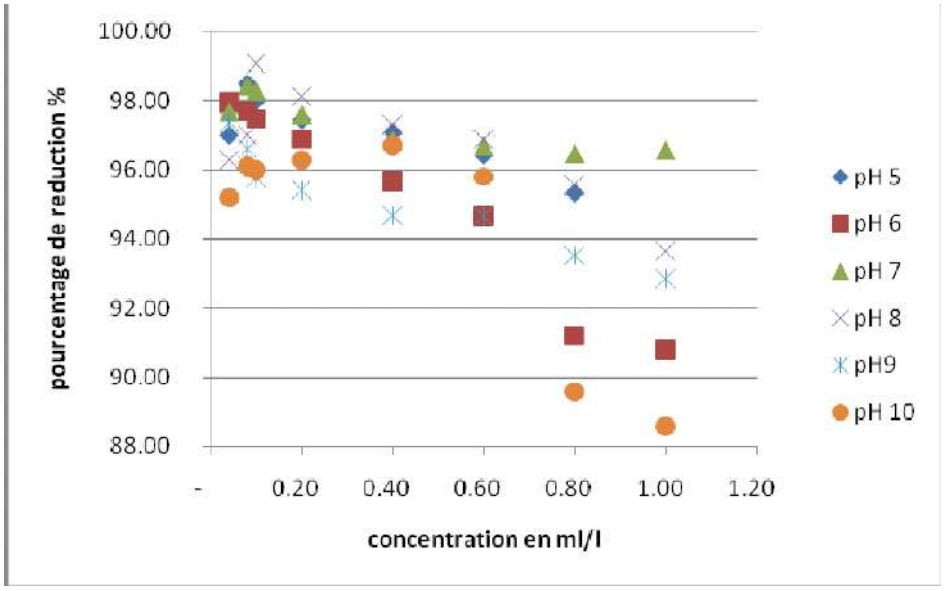


Figure III.3 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du jus (120NTU).

- **Interprétation:**

Les résultats obtenues lors des variations des concentrations du jus à différents pH donnent des courbes sous forme de cloche, quel que soit la valeur du pH (figure **III.3**). On remarque que toutes les courbes présentent une valeur maximale à une concentration de 0.1ml/l avec des pourcentages de réduction 97%. A pH 6 l'optimum a été obtenu à une concentration moindre de 0,04ml/l, avec des pourcentages de réductions égales à 97%. On remarque que notre jus présente un taux de réduction important souvent supérieur à 96% quelque soit le pH. La valeur la plus élevée a été obtenue à pH 8 avec un taux de réduction de 99,08%. On remarque qu'au delà du pH 9, les taux de réductions diminuent d'une façon significative. Les valeurs les plus faibles ont été obtenues à pH 10 avec un minimal de 88,58%.

Il est important de noter que l'ajout d'une dose très petite du jus à savoir 0.02ml a provoqué une diminution importante de la turbidité de 120 à 2,4 NTU (un taux de réduction de 97,96%) à un pH=6, pour les autres pH (5, 7, 8,9,10), on remarque un taux de réduction qui varie de 95,20% à97, 96%.

On a remarqué que la turbidité diminue de 120 à 1,1 NTU à une concentration de 0,1 ml/l du jus de cactus, avec un taux de réduction égale à 99,08%. Cette valeur représente la concentration optimale de notre jus à pH de8.

Au delà de 0.1ml/l, on remarque une baisse du taux de réduction surtout à des pH

basiques (pH 9 et 10), où on remarque une baisse sensible par rapport aux autres pH. On comprend de cela qu'au delà de l'optimum, on assiste à un surdosage en jus ce qui provoque peut être une rentabilisation des particules colloïdales du fait de l'augmentation du rapport polymère/particule.

On a remarqué aussi que le jus de cactus forme des flocs collants à des pH basiques, qui grandissent au fur et à mesure de la floculation pour donner un agglomérat sous forme de pelote d'une taille de l'ordre de quelques centimètres. Tandis qu'à des pH acides, les flocs ne sont pas aussi collants, ils sont plus petits mais visibles à l'œil nu.

(**Figure III.4 et Figure III.5)**



Figure III.4: structure des flocs à pH 9.



Figure III.5 : structure desflocs à pH 6.

b- Variation de concentration à faible turbidité :

Cet essai consiste à faire varier la concentration du jus de cactus en fonction du taux de réduction à pH=8 (le pH optimum) mais à des faibles turbidités. On a procédé à deux essais (turbidité initiale=30NTU, turbidité initiale=15NTU). Les 2 valeurs de turbidité ont été choisies parce qu'elles correspondent parfaitement avec les turbidités rencontrées dans les eaux des surfaces.

- **Turbidité initiale30NTU:**

: Le premier essai a été réalisé avec une turbidité initiale de 30NTU, les concentrations choisies sont (0.04; 0.08; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1 ml/l). La conductivité initiale est de 825 s/cm

Tableau III.5 : les résultats des essais jar test à 30NTU.

[c](ml/l)	0.04	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6
T_f(NTU)	2,9	2,4	2,7	3,15	3,31	4,5
% R	90,33	92,05	91,04	89,50	88,96	85,04
pH_f	8,25	8,25	8,26	8,26	8,26	8,26
$Cond_f$(s/cm)	847	847	851	850	849	850

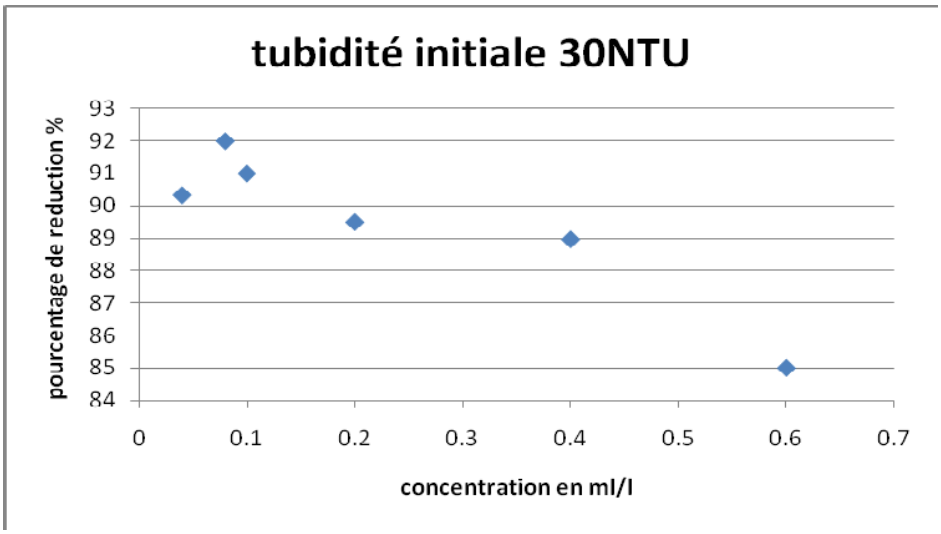


Figure III.6 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du jus (30 NTU).

- **Turbidité initiale15NTU:**

: Le deuxième essai a été fait avec une turbidité initiale de 15NTU, c'est la valeur qu'on trouve dans la plupart des eaux de surfaces, les concentrations utilisées sont (0.02; 0.03; 0.04; 0.08; 0.1; 0.2), on a baissé un peu la plage de concentration du fait de faible turbidité de l'eau à traiter. La conductivité initiale est de 865 s/cm.

Tableau III-6 : les résultats des essais jar test à une turbidité 15NTU.

[C] (ml/l)	0.02	0.03	0.04	0.08	0.1	0.2
T_f(NTU) %R	6,24 58,4	4,02 73,2	3,85 74,33	3,47 76,86	3,09 79,4	4,35 71
pH_f	8,19	8,20	8,20	8,19	8,21	8,22
$cond_f$(s/cm)	878	879	880	879	880	880

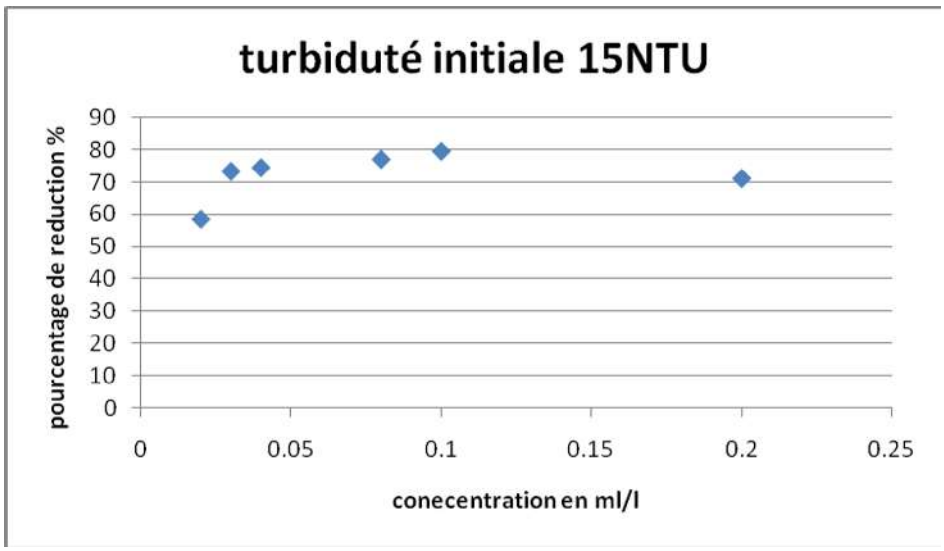


Figure III.7 : Représentation graphique du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du jus (15 NTU).

- **Interprétation:**

Les résultats obtenus en variant les concentrations du jus à un pH de 8 (pH optimum), avec de faibles turbidités, donnent des courbes sous forme de cloches (figure III.7).

Pour la turbidité de 30NTU, on a marqué un taux de réduction maximal de 92,05%, avec une diminution de la turbidité jusqu'à 2,4NTU, qui correspond à une concentration en jus de cactus égale à 0.08ml/l. Cette valeur représente la concentration optimale en jus.

On remarque une diminution sensible dés qu'on dépasse la concentration optimale, pour atteindre un taux de réduction minimal de 85,04% à 0.6ml/l

Pour la turbidité de 15 NTU, on marque un taux de réduction maximal de 79,4% avec une diminution de la turbidité jusqu'à 3,09 NTU, qui correspond à une concentration de

0.1ml/l. Cette valeur représente la concentration optimale en jus

On remarque aussi que la concentration optimale en jus de cactus est presque la même pour les trois valeurs de turbidité (120, 15, 10 NTU). Mais le taux de réduction est plus important pour les eaux à forte turbidité. Ce qui est logique parce que les turbidités les plus faibles sont les plus difficiles à floculer.

A partir de ces résultats, on déduit que la concentration optimale n'est pas fonction de la turbidité. Donc le mécanisme n'est par stœchiométrique. ce qui nous permet d'exclure le mécanisme de floculation par neutralisation de charge.

6- Evaluation du pouvoir épuratoire du jus de cactus :

6.1 Traitement d'une eau chargée en cuivre et en zinc :

Pour évaluer le pouvoir épuratoire du jus de cactus, nous avons suivi l'évolution des concentrations en ions de zinc et de cuivre dans des solutions pseudo industrielles et dans des rejets industriels en utilisant comme agents floculant le nouveau produit extrait des cactus algérienne et le floculant industriel (Tableau III.7).

Le pH 9, considéré comme pH de floculation optimum pour une bonne précipitation de zinc et de cuivre, est adopté.

Tableau III-7 : Evolution des concentrations en ions de Zn et de Cu dans les différents échantillons traités.

Floculant	Coagulation	[Zn] Avant Traite Ment (ppm)	[Zn] Avant Traite Ment (ppm)	% Elimination	[Cu] Avant Traite Ment (ppm)	[Zn] Avant Traite Ment (ppm)	% Elimination
Jus de 1 cactus	Chaux Fe Cl_3	50 50	1.7 1.8	96.6 96.4	50 50	0.9 0.8	98.2 98.4
Jus de 2 Ca	Chaux Fe Cl_3	52 52	2.5 2.7	95.2 94.8	27 27	1 1.2	96.3 95.5

ctus							
Floculant 2 industriel	Chaux Fe Cl_3	52 52	2.3 2.3	95.5 95.5	27 27	1.5 1.2	94.4 95.5
	Solution pseudo industrielle			Rejet industriel			

1 Solution pseudo industrielle _ 2 Rejet industriel

Les résultats du Tableau **III-7** montrent que dans le cas de la solution pseudo industriel, l'élimination des éléments polluants cuivre et zinc avoisine 97 % pour les deux combinaisons de traitement (chlorure de fer / jus du cactus, chaux / jus du cactus).

Pour l'échantillon industriel considéré, on a travaillé avec les fortes teneurs en cuivre et en zinc. Les concentrations des rejets de laitonnage varient en fonction de l'activité journalière de l'usine, elles sont de 5 à 27 ppm pour le cuivre et de 9 à 52 ppm pour le zinc.

Les tests réalisés montrent d'une part des résultats semblables pour les deux combinaisons étudiées et d'autre part, à partir du traitement avec le jus de cactus ou le floculant industriel, le taux d'abattement reste pratiquement invariable (≈ 95%), avec des concentrations de Cu et de Zn dans l'effluent traité qui varient respectivement entre1 et 1,5 mg/l pour le cuivre et entre 2,3 et 2,7 mg/l pour le zinc. Ces valeurs répondent aux normes de rejet en vigueur [55,56].

Par ailleurs, des valeurs légèrement basses (≈ 95 % pour le Zinc et le cuivre) sont enregistrées dans les solutions industrielles, en comparaison avec celles pseudo industrielles (≈ 97 % pour le Zinc et ≈ 98 % pour le cuivre).

Ceci peut s'expliquer par la faible concentration en MES (environ 3 ppm) qui peut priori largué des polluants en fonction des propriétés physico-chimiques de la solutionconcernée, comme le pH ou la teneur en matières organiques [50,51]. Toutefois, pour évaluer ces résultats, on a pensé à contrôler l'efficacité de notre floculant (jus de cactus) dans le traitement d'une eau chargée en matière en suspension.

6.2 Traitement d'une eau chargée en matière en suspension :

Les eaux à traiter sont préparées au laboratoire. Elles sont constituées d'une argilede type sandix à 10 % qui ne décante pas rapidement. La figure 2 ci-dessous représentela précipitation spontanée de cette argile en fonction du temps en dehors de tout traitement.Selon les résultats enregistrés, on constate qu'après une heure de décantation la solution reste toujours turbide avec une valeur de l'ordre 240NTU.

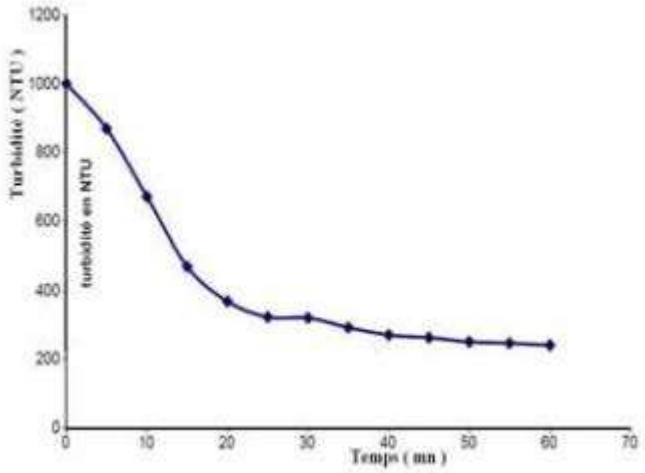


Figure III.8 : Suivi de la turbidité en fonction du temps de décantation en dehors de tout traitement.

C’est ainsi que dans cette partie du travail, nous proposons de comparer la capacitéfloculant de jus de cactus à celle du floculant industriel généralement utilisé pour letraitement des eaux chargées en matière en suspension, sur des eaux chargées en argile, de déterminer les différents paramètres optimums (pH, quantité de floculant, temps de sédimentation) des deux floculant, d’estimer le pouvoir d’abattement de la turbidité dechacun et d’évaluer leur aptitude pour un tel traitement.

Les eaux chargées d’argile subissent des ajustements de pH avec la chaux puis unefloculation à l’aide du jus de cactus ou du floculant industriel et en fin une décantation. Valorisation d'un nouveau bio floculant (extrait de cactus) dans le traitementLe floculant est ajouté aux solutions à traiter pendant la phase d’agitation rapide(100 tr/mn) de 1 à 2 mn suivie d’une agitation modérée (40 tr/mn) de 15 à 20 mn.

6.2.1 Optimisation du pH de floculation :

Pour optimiser le pH de floculation, nous avons fixé la dose des deux floculant. Aun litre d’eau à traiter, on ajoute 0,1 ml du floculant industriel à 1 % dans l’eau (dose recommandée par la Fiche technique du Floculant Praaestolr2515.TR en 2004) et 1 ml de jus de cactus à 10 % dans l’eau.

La turbidité a été suivie en fonction de pH pour un temps de décantation de 20 mn pour tous les essais.

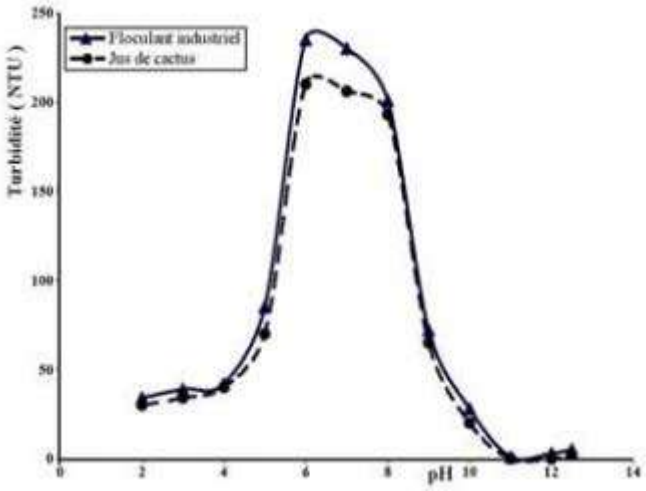


Figure III.9: Variation de la turbidité en fonction de pH.

Optimisation de pH :

Au regard des résultats repris dans la figure **III.9**, la turbidité a montré une évolution en trois zones de pH pour les deux floculant:

- Pour la zone de pH compris entre 5,5 et 9, la turbidité atteint son maximum alors que la sédimentation reste lente.

- Pour les deux zones de pH inférieur à 4 ou supérieur à 10, on note une très bonne floculation, la turbidité étant faible. La valeur optimale de pH qui est de 11, assure une bonne séparation solide-liquide d'où l'augmentation de la performance du procédé du traitement en terme d'élimination de la matière en suspension.

6.2.2 Détermination de la concentration optimale du floculant :

Après 5 mn de décantation, nous avons suivi la turbidité en fonction du volume ajouté de jus de cactus et de floculant industriel. Le pH est fixé à 11.

Les résultats obtenus affichent une turbidité minimale pour un volume de 0,1 ml defloculant industriel à 1 %, et de 0,5 ml de jus de cactus à 10 % (Fig.III.10). On note que levolume de ce dernier est approximativement le même que celui du floculant industriel,si on prend en considération la teneur en eau dans le jus de cactus qui est de l'ordre de 96%

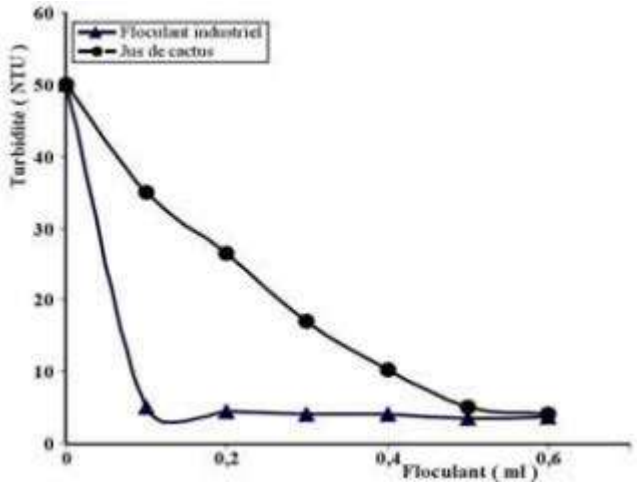


Figure III.10: Variation de la turbidité en fonction du volume de floculant (ml)Optimisation de la concentration de floculation.

6.2.3 Détermination du temps optimal de la décantation :

Les résultats obtenus dans la figure 5 indiquent, pour un pH de 11 et un volume de0,1 ml de floculant industriel à 1 %, ou de 0,5 ml de jus de cactus à 10 % (conditions optimales obtenues), que la faible valeur de la turbidité est obtenue par un traitement avec 10 à 12 mn de décantation pour les deux floculant .ceci montre que l'efficacité et la fiabilité du traitement restent étroitement dépendantes du bon déroulement de la phase de décantation.

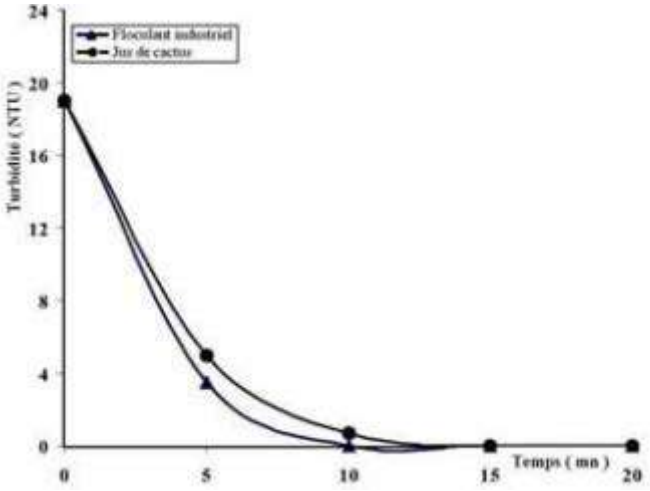


Figure III.11 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à pH=11.

Optimisation du temps de décantation :

Ces observations laissent conclure que les deux combinaisons étudiées (chaux/jus de cactus) et (chaux/floculant industriel) ont un effet similaire quant à l'élimination des MES par sédimentation.

La mise en œuvre de cette étude pilote, a permis de mettre en évidence les effets positifs du jus de cactus dans le traitement des effluents industriels. Les résultats montrent

une bonne efficacité de ce jus pour l'élimination du chrome [57], du cuivre, du zinc et des matières en suspension. Les taux d'abattement sont supérieurs à 94 %pour le cuivre et le zinc et supérieurs à 98 % pour le chrome et les MES.

Les performances pour l'élimination de la MES sont similaires à celles obtenues avec des procédés utilisant une plante aquatique [58], et le jus de cactus comme coagulant [54, 59].

Parmi les autres avantages, le jus de cactus constitue une alternative possible aux coagulant et floculant chimiques. En conséquence, les propriétés physico-chimiques de l'échantillon traité ne sont pas modifiées et la boue produite est exempte de fer, d'aluminium et des polymères chimiques.

Conclusion

ff

Conclusion

Au terme de ce travail, nous avons utilisé le jus de cactus comme floculant naturel pour le traitement des rejets liquides industriels et pseudo-industriel.

La clarification de l'eau dans le domaine de traitement des eaux potables, passe inévitablement par le procédé de coagulation-floculation qui a recourt à l'utilisation de réactifs chimiques, dont l'utilisation pose un certain nombre d'inconvénients, allant jusqu'à toucher à la santé humaine, d'où la nécessité de leur trouver des substituants qui présentent la même efficacité avec moins de risques pour la santé.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre-là. On a procédé a une nouvelle méthode d'extraction d'un floculant à base de cladodes de cactus, et on l'a utilisé pour des essais jar test.

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

-Les boues biologiques sont un sous-produit inévitable du traitement des eaux usées. Elles sont la conséquence d'un transfert partiel de polluants initialement sous forme dissoute ou particulaire organique et minérale en boues.

- Le jus de cactus présente une très bonne capacité de floculation en présence de la chaux seule ou mélangée avec du chlorure de fer.

-Le jus de cactus est efficace pour la coagulation floculation notamment pour les eaux à fortes turbidité

Les taux de réductions sont supérieurs à 96%, à une large gamme de pH (de 5 jusqu'à 10), avec un maximal de 99,02% à pH 8. Quoi qu'il est moins efficace que le sulfate d'aluminium dans les eaux à faibles turbidité.

Le jus de cactus présente d'autres avantages, tels que le volume des boues qui est réduit, la quantité du jus à ajouter qui est de 0,1ml seulement contre 25mg de sulfate d'aluminium par litre d'eau à traiter.

Au final, ce travail montre clairement que le jus de cactus peut remplacer les sels métalliques utilisés comme coagulants, d'autant plus que les turbidités mesurées répondent à la norme algérienne et même européenne.

Références

Références :

[1]Jahn, S.A.A., 2001. Drinking water fromChineserivers: challenges ofclarification.J. Water SupplyResTechnol.

[2]Choy, S.Y., Prasad, K.M.N., Wu, T.Y., Ramanan, R.N., 2013. A review on commonvegetables and legumes as promising plant-basednatural coagulants in water clarification. Int. J. Environ. Sci. Technol. 1–24.. http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-04462. Le 07 mai 2020

[3]Jardé, E., « Composition organique de boues résiduaires de stations d'épurations Lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation ». Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I. 2002

[4] Mémento technique de l'eau, Dégremont, 10 éme édition, 2005

[5] Moulin. S., Rozen-Rechels. D., Stankovic. M., «Traitement des eaux usées », Atelier l'eau : Qualité vs quantité, Ecole Normale Supérieure, 2013

[6] Leonard. A., « Etude du séchage convectif de boues de stations d'épurationsuivi de la texture par microtomographie à rayon ». Thèse de doctorat, Université de Liège. 2002

[7]Boeglin. J.C, « Progres réalisés dans la clarification des eaux résiduaires et le séchage mécanique des boues par l'emploi de polymères organiques de synthèse ». XXIV th International Congress of Pure and AppliedChemistry, Hamburg, FederalRepublic of Germany, 2–8 September 1973

[8]Valentin .N. Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable. Thèse de doctorat, UTC/Lyonnaise des Eaux/CNRS ,2000.

[9]Degrémont, Mémento technique de l'eau : Tome 1, Lavoisier - Technique et documentation, Paris,1989.

[10]Ghernaout, D., Al-ghonamy, A.I., Boucherit, A., Ghernaout, B., Naceur, M.W., Messaoudene, N.A., Aichouni, M., Mahjoubi, A.A., Elboughdiri, N.A., 2015. Brownian motion and coagulation process. Am. J. Environ. Prot. 4, 1-15. 5http://dx.doi.org/10.11648/j.ajeps.s. Le 07 mai 2020

[11]Simate, G.S., Iyuke, S.E., Ndlovu, S., Heydenrych, M., Walubita, L.F., 2012.Humanhealtheffects of residualcarbon nanotubes and traditional water treatmentchemicals in drinking water.

[12](McLachlan, 1995; Flaten, 2001; Gauthier et al., 2000; Walton, 2013; Rondeau et al.,2000).

[13]Rondeau, V., Commenges, D., Jacqmin-Gadda, H., Dartigues, J.F, 2000. Relation betweenaluminum concentrations in drinking water and Alzheimer'sdisease: an 8- yearfollow-up study. Am. J. Epidemiol.

[14] Doll, S.R., 1993. Review: Alzheimer'sdisease and environmental aluminium. Age Ageing 22 (2), 138–153..

[15]DRISCOLL CT and LETTERMAN RD (1995) Factorsregulatingresidual Al concentrations in treated waters. Environmetrics 6 287-309.

[16]Diaz Diaz, A., Rincon, N., Escorihuela, A., Fernandez, N., Chacin, E., Forster, C., 1999. A preliminaryevaluation of turbidityremoval by natural coagulants indigenous to Venezuela. ProcessBiochem. 35 (3–4), 391–395.

[17]Fuentes MMPB, Bateman BL, Hamann M (2011a) Relationship between tropical cyclones and the distribution of seaturtlenesting grounds. Journal of Biogeography, 38, 1886–1896

[18]Zhang, J.D., Zhang, F., Luo, Y.H., Yang, H., 2006. A preliminarystudy on cactus as coagulant in water treatment. ProcessBiochem. 41 (3), 730–733

[19]Miller, S.M., Fugate, E.J., Craver, V.O., Smith, J.A., Zimmerman, J.B., 2008. Towardunderstanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. Environ. Sci. Technol. 42 (12), 4274–4279.

[20]Shilpa. G. Chomde Sonal G., JadhavAasawari. S and Rahut Prakash. D (2012) Impact of physico-chemicalcharectaristics of ShivajiUniversitylakes phytoplanktoncommunitiesKolhapur, India. Research. jou. ofReecent Sciences., 1(2): 56-58.

[21]Thakre, V.B., Bhole, A.G., 1985. Relative evaluation of a few natural coagulants. J. Inst. Eng. (India) Environ. Eng.

[22]Subramanium, S., Nand, V., Maata, M., Koshy, K., 2011. Moringaoleifera and other local seeds in water purification in developing countries. Res. J. Chem.Environ.

[23]Yongabi KA, Lewis DM, Harris PL. 2011a. Application of phytodisinfectants in water purification in rural Cameroon. African Journal of MicrobiologicalResearch 5(6), 628-635.

[24]Yongabi, K.A., 2006. Studies on the potential use of medicinal plants and macro- fungi (lower plants) in water and waste water purification.

[25]Abidin, Z.Z., Ismail, N., Yunus, R., Ahamad, I.S., Idris, A., 2011. A preliminarystudy on Jatrophacurcas as coagulant in wastewatertreatment. Environ. Technol.

[26]Tripathi, P.N., Chaudhuri, M., Bokil, S.D., 1976. Nirmaliseed a naturallyoccurring coagulant. Indian J. Environ.

[27]Sowmeyan R, Santhosh J, Latha R. 2011. Effectiveness of herbs in community water treatment. International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics (11), 297-303.

[28]Aweng ER, Anwar AI, SitiRafiqah MI, Suhaimi O. Cassia alata as a Potential Coagulant in Water Treatment, Research Journal of Recent Sciences. 2012; 1(2):28-33.

[29]Mavura WJ, Chemelil MC, Saenyi WW, et al. (2008) Investigation of chemical and biochemicalproperties of Maeruasubcordata plant extract: a local water clarification agent. Bull Chem Soc Ethiop 22:143–8

[30]Mishra, R. C., Dasen, P. R., &Niraula, S. (2003). Ecology, language, and performance on spatial cognitive tasks. International Journal of Psychology, 38, 366-383.

[31]La Mer, V. K. and Healy, T. W. (1963). The role of filtration in investigatingflocculation and redispersion of colloidal dispersions. Journal of PhysicalChemistry, 67, 2417-2420. La Mer, V. K. (1964). - Coagulation symposium - Introduction. Journal of Colloid Science, 19,291.

[32]Fiessinger, F. coagulation and flocculation Part I: Coagulation. Congressof International Water Supply Association [Kyoto, Japan,Specialsubject N° 3]. 1978. Kyoto,Japan.

[33]Yves M, Texte de la 279e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 5 octobre 2000

[34]Miller, S.M., Fugate, E.J., Craver, V.O., Smith, J.A., Zimmerman, J.B., 2008.Towardunderstanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a naturalcoagulantforpotential application in water treatment. Environ. Sci. Technol. 42,4274-4279.

[35]Renault, F., Sancey, B., Badot, P., Crini, G., 2009. Chitosan for coagulation/floculation. processes-an ecofriendlyapproach. Eur. Polym. J. 45, 1337e1348. http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027.

[36]Duan, J., Gregory, J., 2003. Coagulation by hydrolysingmetalsalts. Adv.Colloid Interface Sci. 100e102,475-502.

[37]Chukwudi, B.C., Uche, R., 2008.Flocculation of kaolinite clayusingnaturalpolymer.Pac. J. Sci. Technol. 9, 495-501

[38]Tripathy, T., De, B.R., 2006. Flocculation: a new way to treat the waste water. J. Phys.Sci. 10,93-127.

[39]Jekel ,M.R,Interactions of humicacids and aluminumsalts in the flocculationprocess, 1986, Pages1535-1542.

[40]Cieu, B. L .Rapport de "Qualité des ressources en eau et production d'eau potable: la situation en Poitou-Charentes", réalisé en 2002 par le Comité Régional de l'Environnement (CRE), dans le cadre des Secondes Assises de l'Eau dePoitou-Charentes.

[41]Betatache, H., Aouabed, A., Drouiche, N., Lounici, H., 2014. Conditioningofsewagesludge by pricklypear Cactus (Opuntiaficus-indica) juice. Ecol. Eng. 70,465-469. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.06. 31.

[42]Saravanakumar, A., Ganesh, M., Peng, M.M., Aziz, A.S., Jang, H.T., 2015. Comparative antioxidant and antimycobacterialactivities of Opuntiaficus-indica fruit extractsfromsummer and rainyseasons. Front. Life Sci. 8,182-191.http://dx.doi.org/10.1080/21553769.2015.1028655.

[43]Mattheaus, B., EOzcan, M.M., 2011. Habitat effects on yield, fattyacid composition and tocopherol contents of pricklypear (Opuntiaficus-indica L.) seedoils. Sci. Hortic.131, 95-98.http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2020.08. 27.

[44]Osuna-martínez, U., Reyes-esparza, J., Rodríguez-fragoso, L., 2014. Cactus(Opuntiaficus-indica): areview on itsantioxidantsproperties and potentialpharmacologicaluse in chronicdiseases. Nat. Prod. Chem. Res. 2, 2-9.http://dx.doi.org/10.4172/2329-6836.1000153.

[45]Abdel-Hameed, E.S.S., Nagaty, M.A., Salman, M.S., Bazaid, S.A., 2014. Phytochemicals, nutritionals and antioxidantproperties of twopricklypear Cactus cultivars(Opuntiaficus-indica Mill.) growing in Taif, KSA. Food Chem. 160, 31-38.http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.05. 06.

[43]Leo-Martínez, F.M., M_endez-Lagunas, L.L., Rodríguez-Ramírez, J., 2010.Spraydrying of nopal mucilage (Opuntiaficus-indica): effects on powderpropertiesand characterization.Carbohydr.Polym.81,864-870. http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.06. 01.

[44]Spano, D., Pintus, F., Pes, R., Medda, R., Floris, G., 2011. Purification and characterization of a solublenucleotidepyrophosphatase/phosphodiesterasefrompricklypear (Opuntiaficus-indica) fruits. Food Res. Int. 44, 2264-2270. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.07. 05.

[45]Finti, A.E.L., Boullani, R.E.L., Fallah, M., Msanda, F., Mousadik, A.E.L., 2013. Assessment of some agro-technologicalparameters of Cactus pear fruit (Opuntiaficusindica.) in Moroccocultivars.J. Med. Plants Res. 7, 2574-2583.http://dx.doi.org/10.5897/JMPR12.1236.

[46]Edeline, F, 'L'Epuration Physico-Chimique des Eaux, Théorie et Technologie', Cebedoc, 4ème Edition, Paris, France, 282 p. 1993,

[47] Bontoux, J. 'Introduction à l'Etude des Eaux Douces: Eaux Naturelles, Eaux Usées, Eaux de Boisson, Qualité et Santé', Lavoisier Édition, Paris, France, 170 p., 1993.

[48] Youcef L. et Achour,S, 'Traitement des Eaux Fluorées du Sud Algérien par Combinaison Chaux/Sulfate d'Aluminium', Watmed2- Marrakech, 14-17 Novembre 2005.

Références :

L. Lacourcelle, 'Traité de Galvanotechnique', Galva-conseil, France, 561 p., 1996

[49] Diaz , A., N. Rincon, A. Escorihuela, N. Fernandez, E. Chacin and C.F. Foter, 'A Preliminary Evaluation of TurbidityRemoval by Natural Coagulants Indigenous to Venzuela', ProcessBiochemistry, Vol. 35, N°3-4, pp. 391 – 395, 1999,

[50]Document, FODEP., 'Fonds de Dépollution Industrielle, Critères d'Eligibilité et Termes de Références de l'Etude Technique', Direction de l'observation des études et de la coordination, secrétariat chargé de l'environnement, 2003.

[51]Document du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et l'Environnement, 'Les Nouvelles Lois de Protection de l'Environnement', MATEE, 2003,

[52] Abid,A , Zouhri A ,et Ider A, 'Utilisation d'un Nouveau Bio-floculant Extrait du Cactus Marocain dans le Traitement des Rejets Chargés de Chrome (VI) par le Procédé de Coagulation - Floculation', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°2, pp. 251-257,2008.

[53] Benzaizoune ,S, Yatribi A, Achour, B et Srhiri,A 'Essai d'Epuration des Eaux Usées Brutes par une Plante Aquatique Enracinée sous Climat Tempéré: Cas du Roseau', in: Watmed2-Marrakech, 14-17 Novembre, 2005.

[54]Zhang J, Fang Z, Yunhong L, Hong Yang,, 'A PreliminaryStudy on Cactus as Coagulant in Water Treatment', ProcessBiochemistry, Vol. 41, N°3, pp. 730 - 733, 2006.

Annexes

Annexes :



Figure1 : photo du multi paramètre CRISON

f

Figure2 : Appareil UV shimadzu UV-1601

Annexes :



Figure3 : photo du spectrophotomètre a flamme JENWAY PFP7