



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj de
Bouira

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie des procédés

Mémoire de Master

en Génie des procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

Thème

**Valorisation de produit vert dans la filière des
traitements des eaux.**

Réalisé par:

Bouda Mélissa

Encadré par:

LOUNICI HAKIM

Membre du jury :

Président AOUDJIT Farid
Examinatrice El Hanafi Naoual

Directeur de mémoire Lounici Hakim

2022/2023

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à remercier Dieu, de m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour achever ce modeste travail et de m'avoir aidé tout au long de mes années d'étude.

Je tiens également à adresser toute ma gratitude à mon mentor , Lounici Hakim, pour avoir orienté et enrichi mon travail. Je le remercie pour sa disponibilité, sa compréhension et sa patience, ses précieux conseils ainsi que son souci du détail, qui ont abouti à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui, à un moment donné, ont cru en moi, ma famille, mes amis ainsi que les personnes qui m' ont soutenu de près ou de loin au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à mes parents, qui sont un pilier dans les moments les plus agités de ma vie, à mes parents qui m'ont soutenue et qui me soutiennent toujours par leur prières et leur amour.

a mes amis qui m'ont poussé à sortir du gouffre

A Mon frère pour ses encouragements, et pour avoir été un admirable modèle.

et une source inépuisable de soutien

Je dédie ce travaille a mes professeur qui m'ont tout appris , et aussi à mr.lounici ce puits de savoir qui a su me fair aimé la science , et

malgré mes échecs m'a poussé à me surpasser .

Je pense à vous tous .

Bouda Mélissa

Tables des matière :

Remerciement

Dédicace

Listes Des Tableaux

Listes Des Figures

Liste des symboles et des abréviations

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....1

CHAPITRE I

I. Introduction.....4

II. Les Différents Types d'Eaux Usées.....4

A. Les Eaux Usées Domestiques.....4

B. Les Eaux Usées Industrielles.....4

C. Les Eaux Pluviales.....4

III. Paramètre physico chimique et biologique des eaux usées.....5

A. Paramètres organoleptiques.....5

B. Paramètres physiques.....5

C. Paramètre chimique.....6

D. Paramètres biologiques.....7

E. Autres paramètres.....8

IV. Station d'épuration des eaux.....9

V. Le Traitement Des Eaux.....10

A. Traitement primaire.....10

| | |
|--|----|
| B. Traitement secondaire..... | 11 |
| C. Traitement tertiaire..... | 12 |
| VI. La Bio Coagulation-floculation..... | 13 |
| CHAPITRE II | |
| I. Opuntia ficus-indica..... | 16 |
| II. Description morphologique..... | 16 |
| III. Habitat et culture..... | 16 |
| IV. Composition chimique des cladodes..... | 17 |
| V. Exigences écologiques..... | 18 |
| VII. Utilisations multiples..... | 19 |
| A. Utilisation alimentaire..... | 19 |
| B. Production de fourrage pour le bétail..... | 20 |
| C. Apiculture..... | 20 |
| D. Production de produits..... | 20 |
| E. Autres utilisations..... | 20 |
| VIII. Cactus Opuntia ficus indica en coagulation floculation..... | 21 |
| IX. Conditionnement du cactus..... | 23 |
| CHAPITRE 3 | |
| I. Caractérisation de la suspension de boue liquide..... | 26 |
| A. Teneur en matières sèches ou siccité (MS)..... | 26 |
| B. Teneur en matières volatiles (MV)..... | 26 |
| II. Déshydratation mécanique par filtration sous pression constante..... | 27 |
| III. Cellule de filtration/compression..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| IV. Mise en œuvre de l'opération de déshydratation..... | 28 |
| V. Préparation de bioflocculant (la poudre de cactus)..... | 29 |
| RÉSULTATS ET DISCUSSION | |
| I. Caractérisation de la suspension de boue liquide..... | 30 |
| II. Essais de filtration..... | 32 |
| III. Détermination de la concentration ajustée de la boue..... | 33 |
| IV. Filtration de la boue brute..... | 34 |
| V. Influence de la dose du flocculant sur le volume du filtrat..... | 34 |
| VI. Effet de la dose sur la Résistance Spécifique à la Filtration RS..... | 37 |
| Conclusion Générale..... | 40 |
| Source..... | 41 |

Liste des tableaux :

- **Tableau I.1:** les principaux coagulants utilisés12
- **Tableau II.1 :** Composition des cladodes en % massique18
- **Tableau III. 1 :** Caractérisations de la boue brute de STEP de Bouira.....30

Liste des figures :

- **Figure I.1:** image aérienne d'une station d'épuration de eaux10
- **Figure I.2 :** schéma explicatif des différents stade d'un traitement des eau.....13
- **Figure II.1 :** Morphologie d'Opuntia ficus indica.....17
- **Figure II.2 :** Interactions chimiques possibles dans le procédé de coagulation
floculation entre l'acide polygalacturonique en solution aqueuse et les particules
chargées positivement de l'effluent (P) [Yin et al.20].....23
- **Figure III.1 :** Cellule de filtration sous pression normalisée.....28
- **Figure III. 2:**Photos des gâteaux récupérés après filtration sous pression.....32
- **Figure III. 3 :** Évolution du volume de filtrat en fonction du temps pour
différentes doses (kg/tonne MS) de floculants35
- **Figure III. 4:** Evolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes
doses (kg/tonne MS) de floculants.....35
- **Figure III. 5:** Évolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes
doses (kg/tonne MS) de floculants. AF40.....36
- **Figure III.6:** Evolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes
doses (kg/tonne MS) de Poudre de cactus.....36

Liste des abreviation:

| | |
|------------------------|--|
| DCO | Demande chimique en oxygène |
| DBO₅ | Demande biochimique en oxygène |
| MES | Matière en suspension |
| MV | Matière volatile |
| PH | Potentiel Hydrogène |
| STEP | Centre de traitement de l'eau |
| CTE | Centre d'Enfouissement Technique |
| MOs | Micro organismes |
| CF | Coagulant Flocculant |
| BIOCF | Bio Coagulant Flocculant |
| RSF | Résistance Spécifique à la Filtration |
| FAO | Food and Agriculture Organization |

Introduction Generale

La rapide croissance de l'industrialisation, de l'urbanisation et du nombre de la population au cours des dernières décennies ont engendré une catastrophe majeure dans la gestion de l'eau. Cette expansion effrénée a entraîné une demande croissante en eau potable tout en provoquant une détérioration significative de la qualité de l'eau à l'échelle planétaire. Dans ce contexte, la méthode de coagulation/floculation se présente comme une solution efficace pour le traitement des eaux usées, apportant de nombreux avantages tels qu'une réduction de la quantité éléments toxiques, et apporte amélioration de la qualité et de la clarté de l'eau, tout en étant économiquement viable

Néanmoins, il est essentiel de reconnaître que l'utilisation de produits chimiques, en particulier le sulfate d'aluminium, dans le processus de coagulation, peut avoir des effets néfastes sur la faune et l'environnement. Cette crainte nous pousse à explorer des alternatives plus respectueuses de l'environnement et durables.

Dans ce contexte axé sur la santé et la sûreté de l'environnement et le développement durable, la recherche de substituts devient impérative. L'utilisation de la figue de barbarie devient une évidence en Algérie. Cette ressource abondante peut être transformée en un coagulant biodégradable permettant de déstabiliser les particules en suspension dans l'eau, tout en favorisant la formation de flocons faciles à éliminer par décantation. Cette approche présente de nombreux avantages environnementaux, notamment une réduction des coûts de transport et de l'empreinte carbone associée à l'importation de coagulants chimiques.

L'eau est vital, elle nous sert à tout, à vivre à manger à nous habiller à rester propre, à abreuver nos animaux et nos plantations; on passe notre temps à la salir, et en demande toujours plus d'eau, avec les sécheresses actuelles dans bien de lieux différents sur la terre; la gestion de l'eau devient la première préoccupation mondiale. Bien que la méthode de coagulation/floculation soit efficace pour le traitement de l'eau, il est impératif de prendre en compte les conséquences des coagulants chimiques sur la santé humaine et l'environnement. La recherche et l'adoption de produits alternatifs biodégradables, comme les cladodes de cactus, constituent des étapes essentielles vers un avenir où l'accès à une eau propre et saine

est garanti, tout en préservant notre planète. c'est un premier pas vers un procédé écologique, à nous de saisir cette opportunité .

En premier lieu on s'intéresse au traitement des eaux , ce processus vital consistant à purifier l'eau pour divers usages. Il implique l'élimination de contaminants et de polluants, garantissant ainsi la sécurité de l'eau pour la consommation humaine, l'industrie et l'agriculture. Les étapes typiques du traitement de l'eau incluent la coagulation, la floculation, la décantation, la filtration et la désinfection. L'objectif majeur est de répondre aux normes de qualité de l'eau, protégeant ainsi la santé publique et l'environnement. Ce processus joue un rôle essentiel dans la gestion durable des ressources en eau et dans la préservation de cette ressource précieuse.

En second lieu, notre intérêt se pose sur l'Opuntia ficus-indica, un cactus largement répandu dans diverses régions du monde, notamment en Amérique latine, en Afrique du Sud et dans la région méditerranéenne. appréciée pour sa richesse en nutriments, ce qui en fait un aliment précieux et une plante médicinale intéressante . Elle offre des opportunités de valorisation économique, notamment par l'extraction de colorants naturels à partir de ses fruits et la production de produits capillaires et cutanés à partir de son mucilage, contribuant ainsi à son importance dans divers domaines de la vie humaine et de l'industrie.

En dernier on s'intéresse à nos résultats sur le conditionnement des boues avec nos actifs différents et avec la poudre de cactus , on s'attardera sur la technique de packaging de la bien [filtre à piston] sur le conditionnement de l'opuntia



CHAPITRE I :

Traitement des eaux

I. Introduction

Les plans d'eau naturels ont la capacité intrinsèque de dépolluer eux-mêmes dans une certaine mesure. Toutefois, avec l'augmentation de l'activité humaine, cette capacité est mise à rude épreuve. L'industrialisation, la croissance démographique, les déversements d'eaux usées domestiques, l'agriculture intensive et l'utilisation de pesticides ont tous contribué à la pollution croissante des réserves naturelles d'eau.

Cela souligne l'importance cruciale du traitement des eaux de surface pour garantir la santé, la durabilité écologique et la qualité essentielle de l'eau. En effet, maintenir une eau de haute qualité est fondamental pour la vie et pour toutes les activités humaines. Dans ce contexte, ne pas traiter les eaux est devenu à la fois inacceptable et non viable.

II. Les Différents Types d'Eaux Usées

A. Les Eaux Usées Domestiques :

Les eaux usées domestiques sont des eaux utilisées dans l'activité de vie humaine, communément appelée eau ménagère ; Les eaux ménagères proviennent des salles d'eau (commodités) et des cuisines, contenant généralement des détergents, des graisses, des solvants, diverses matières organiques azotées ainsi que des bactéries fécales.

B. Les Eaux Usées Industrielles :

Les caractéristiques des eaux usées industrielles varient considérablement d'un secteur industriel à l'autre. Elles peuvent contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures, etc. Bien souvent, un prétraitement est pratiqué par les industries avant d'être déversé dans les réseaux de collecte.

C. Les Eaux Pluviales :

Lorsque la pluie tombe, elle entre en contact avec l'air pollué et ramasse des impuretés. En ruisselant sur les différents éléments urbains, elle accumule les résidus

présents , les eaux pluviales se mélangent aux eaux usées domestiques. Lors de fortes précipitations, il est conseillé de traiter cette eau polluée avant de la rejeter dans l'environnement. car dans les zones urbaines qui sont quasi-imperméable due à l'urbanisation ajoute un risque d'inondation aux problèmes de pollution d'où l'importance de la recueillir et la traiter [1].

Ces distinctions entre les types d'eaux usées soulignent l'importance de comprendre et de gérer chaque catégorie de manière appropriée pour préserver la qualité de l'eau et l'environnement. Un traitement non nécessaire est un gain de temps et de monopolisation des infrastructures [2].

III. PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EAUX USÉES

A. Paramètres organoleptiques :

- **Couleur** : La couleur des eaux usées est généralement grisâtre, ce qui indique la présence de matières organiques dissoutes, de matières en suspension, et de fer précipite à l'état d'oxydes ainsi que de colloïdes.
- **Odeur** : Toute odeur indique la pollution, cette dernière concernant les eaux usées est due à la présence de matières organiques en décomposition[3].

B. Paramètres physiques:

- **Température** : Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination de pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivants dans l'eau[3].
- **Potentiel d'hydrogène pH:**

Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique. La valeur du pH altère la croissance des micro-organismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9)[3].

- **Turbidité:**

Elle est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous

forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension présentes dans l'eau[3].

- **Matières en suspension MES :**

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques (MVS) ou minérales(MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel[3].

- **La conductivité électrique CE:**

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sel dissous (salinité de l'eau). La mesure de conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau[3].

C. Paramètre chimique :

- **Demande chimique en oxygène DCO**

C'est à mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables, comme les composés organiques[3].

- **Demande biologique en oxygène (DBO5)**

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les micro-organismes du milieu. Mesure par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temp qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées. Le rapport DCO/DBO est l'indice de la biodégradabilité d'une eau. Pour qu'une pollution soit biodégradable le rapport est inférieur à 2,5. La moyenne pondérée de la DCO et la DBO5 suivant la formule: $(DCO + 2 DBO)/3$ correspond aux matières organiques MO[2].

- **Carbone total organique COT**

Détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon[2].

- **Matières azotées:**

Cet élément peut être présent sous différentes formes : nitrates(NO₃⁻), nitrate (NO₂⁻) et ammoniac et azote organique. Outre sa toxicité intrinsèque l'azote ammoniacal se transforme en nitrites puis en nitrates en consommant de l'oxygène. Leur présence dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine ou industrielle[3].

- **Phosphore total PT** : Le phosphore se trouve dans les ERI sous forme :

Orthophosphate, soluble H₂PO₄⁻; Polyphosphate qui à tendance à s'hydrolyser en orthophosphate; phosphore non dissous[3].

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie.

- **Chlorures** : Ils ne sont pas nocifs, mais constituent un important indicateur d'arrivée de pollution. Ils ne sont pas éliminés par les stations d'épuration. Dans la nature, ils sont souvent indicateurs d'arrivée des effluents urbains[3].

D. Paramètres biologiques:

- **La biodégradabilité:**

Elle traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradation est exprimée par un coefficient K, tel que $K = DCO/DBO_5$

- Si $K < 1.5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables.

- Si $1.5 < K < 2.5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

- Si $2.5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.

- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence des éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne dans l'eau, tels que les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures...

La valeur du coefficient est biodégradable on applique un traitement biologique, si non on applique un traitement physico-chimique[1].

E. Autres paramètres :

- **Hydrocarbures :**

La mesure des hydrocarbures dans les eaux usées industrielles constitue une opération souvent délicate. En effet, l'échantillonnage est fréquemment hasardeux, particulièrement lorsque les eaux ne sont pas prélevées dans un réseau sous pression ou quand elles sont très chargées d'huile. par ailleurs, les valeurs obtenues lors du dosage réalisé sur un même échantillon et selon la méthode utilisée, car celle-ci se rapporte alors à la détection partielle ou totale de composés différents[2].

- **Micropolluants :**

Le terme micropolluant désigne un ensemble de substance qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités; Les principaux micropolluants sont: Des Composés phénoliques, organohalogénés, organophosphorés, huiles minérales, Hydrocarbures aromatiques polycycliques; Et Certains dérivés nitrés[3].

- **Métaux lourds :**

Les éléments métalliques et leurs dérivés organiques sont pour certains très dangereux car ils sont potentiellement toxiques non biodégradables et bioaccumulables dans les chaînes alimentaires. Ils sont principalement d'origine industrielle (Rejets atmosphérique des incinérateurs de déchets,...)

Ces métaux lourds sont :

- L'arsenic (As): est une substance hautement toxique qui peut être présente naturellement dans le sol et les eaux souterraines ou résulter de la pollution du sol antérieure.
- Le cadmium (Cd) :provient des rejets industriels, de l'incinération des déchets, de l'utilisation d'engrais, entre autres sources. Il est extrêmement toxique, s'accumule dans les chaînes alimentaires et représente une menace pour les prédateurs secondaires.
- Le chrome (Cr) : utilisé dans le traitement de surface des métaux pour améliorer leur résistance. Le chrome, sous forme de chromate (CrO_4), est extrêmement toxique et considéré comme cancérigène.
- Le cuivre (Cu): n'est pas toxique en petite quantité , mais sa présence dans l'eau provient souvent de l'érosion des conduites ou de l'activité industrielle.
- Le fer (Fe) :provient du sous-sol ou de l'industrie et n'est généralement pas nocif. Le sulfate de fer peut être présent dans les stations de traitement des eaux où il est utilisé comme flocculant.
- Le nickel (Ni) a des effets cancérigènes.
- Le plomb (Pb) : toxic ,provient souvent de l'érosion des canalisations d'eau potable en plomb. Il est également utilisé dans diverses industries, notamment dans la fabrication de batteries, d'alliages, de traitements de surface, de munitions, etc.

Ces substances chimiques présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement, et leur gestion appropriée est essentielle pour minimiser leur impact néfaste[3].

IV. Station d'épuration des eaux :

Une station d'épuration des eaux (**STEP**) est un ensemble d'infrastructures destiné à traiter les eaux de provenance divers (eaux pluviales ,industrielles ou domestiques) ; Pour bute de séparer les impuretés et les substances indésirables et nocives présentes dans l'eau .

installer en amont d'un réseau de collect , l'eau passer par une succession de dispositif conçue pour extraire les differant polluant selon le type et leur caractéristique ;

C'est l'ensemble des techniques et procédés permettant de dépolluer les eaux avant et après son utilisation à des fins domestiques commerciales ,industrielles ,agricoles ; Afin de préserver au mieux l'équilibre fragile de la nature et la santé de tout être qui consomme l'eau .

Suivie par la collecte du polluant sous forme de boue qui sera dirigé par la suite dans un CTE ou bien dans un station de pollution des sols .

Ce travail est fait par les compagnies des eaux (public) ou par des compagnies privées. dans de grandes cuves pour assurer le traitement d'un grand débit d'eau par jour [1] [2].



Figure I.1: image aérienne d'une station d'épuration des eaux .

V. Le Traitement Des Eaux :

Cela consiste à éliminer les polluant présent dans l'eaux engendré par l'activité humaine , domestique industriel et agricole ou même pluviale ; Avant son retour dans la nature ou sa réintégration à la consommation ; On dénombre plusieurs type de traitement conçue pour répondre au mieux au caractéristique des polluant à traiter , cela comprend généralement les point suivant [2].

A. Traitement primaire :

Ou aussi appeler le prétraitement ; Cette étape consiste à retirer les débris dans l'eau, les matières en suspensions comme les boues de bois, les verres les bouteilles en plastique, le sable, et les cailloux ; Appelé communément le dégrillage, En généralité cette étape consiste à éliminer par décentration les grosses impures, et la majeure partie des polluants en suspension dans l'eau ce qui donne son aspect trouble.

L'opération se déroule dans des bassins de décantations qui diffère en fonction du volume d'eau traitée, le temps de traitement varie en fonction de la quantité d'impuretés à éliminer et de l'efficacité des installations sous l'effet de la gravitation plusieurs couche de Saleté non miscible se séparent et se forment à la surface (**les huiles et les graisses**) nommer chapeaux de boue, et au fond des cuves de décantation, en draguant ces couches se retrouve avec une boue appeler boue primaire. Les eaux ensuite subie 4 traitements pour un bon processus[2] :

- **Le dégrillage** : Il s'agit de séparer les débris dans l'eau en l'acheminement à travers des grilles d'en l'espacement se réduisant au fur et à mesure du chemin.
- **Le dessablage** : Étape essentielle pour la préservation des infrastructures , car le sable a tendance à s'accumuler dans les tuyaux et de boucher ainsi le flux, afin d'éviter cela on dessale l'eau par simple décantation .
- **Dégraissage**: Le dégraissage a pour but de retirer les graisses pour éviter son acheminement dans les secondes étape du traitement, sous le principe du flottement des fines bulles de gaz sont injectés dans l'eau cela fait remonter plus rapidement les graisses à la surface et par un simple raclage se font intercepter .
- **Dégazage**: Souvent l'eau transporté des agents chimique gazeux dissoute indésirable dans le but de s'en débarrasser, l'eau subit un intime contacte avec l'aire afin de d'absorber .

Cette étape même importante est dispensable car le traitement secondaire peut tout à fait s'en passer, et cela n'influe en rien à son efficacité grâce à sa partie traitement physique qui consiste à un décantage plus poussé et une filtration plus fine .

B. Traitement secondaire :

Les prétraitements sont la première étape essentielle du processus d'épuration. Ils visent à effectuer une élimination initiale des éléments solides volumineux et grossiers,

tels que les sables et les corps gras, qui pourraient potentiellement causer des dommages aux équipements de traitement ultérieurs. par ailleurs il reste des débris plus léger et plus petit au sein de l'eau , un traitement plus poussé est nécessaire ; ces éléments sont les colloïdes (des matières en suspension ,des fines particules à très petit diamètre de $1\mu\text{m}$ à 1 nm qui procède une vitesse de sédimentation quasi nulle) ,leur vitesse de sédimentation et de leur charge électrostatique les rend indispensable ;La turbidité et la couleur de l'eau sont principalement dues à la présence de ces particules fines [2] .

Pour les éliminer efficacement, on fait appel aux processus de coagulation et de floculation.

- **La coagulation** : Cette étape vise principalement à introduire dans le milieu des sels minéraux cationiques cités ci-dessus .

Tableau I.1: les principaux coagulants utilisés.

| Sel d'aluminium | | Sels de fer | |
|----------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Sulfate d'aluminium | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | Chlorure ferrique | FeCl_3 |
| Chlorure d'aluminium | AlCl_3 | Sulfate ferrique | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| Alunites de sodium | NaAlO_2 | Sulfate ferreux | FeSO_4 |

Cela déstabilise la charge électrostatique des **MES** soit en se collant au petit débris soit en neutralisant leur charge , dans le but qu'il s'agglutine .

- **La floculation** : ce procédé vise à favoriser les interactions entre les particules déstabilisées en utilisant un agitateur à mouvement lent. Ces particules s'agglomèrent pour former des floccs , qui peuvent ensuite être aisément décantés par sédimentation .

C. Traitement tertiaire :

Ce traitement s'attaque aux éléments biodégradables ou non. L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, Ces traitements sont basés sur la capacité des micro-organismes à minéraliser partiellement ou totalement , le traitement se fait dans un bioréacteur ou le polluant joue le rôle de substrat pour les MOs .cette étape est bien souvent suivie d'une dénitrification (procédé qui permet d'interagir avec l'azote présent dans l'eau et le libérer dans l'atmosphère) [2].

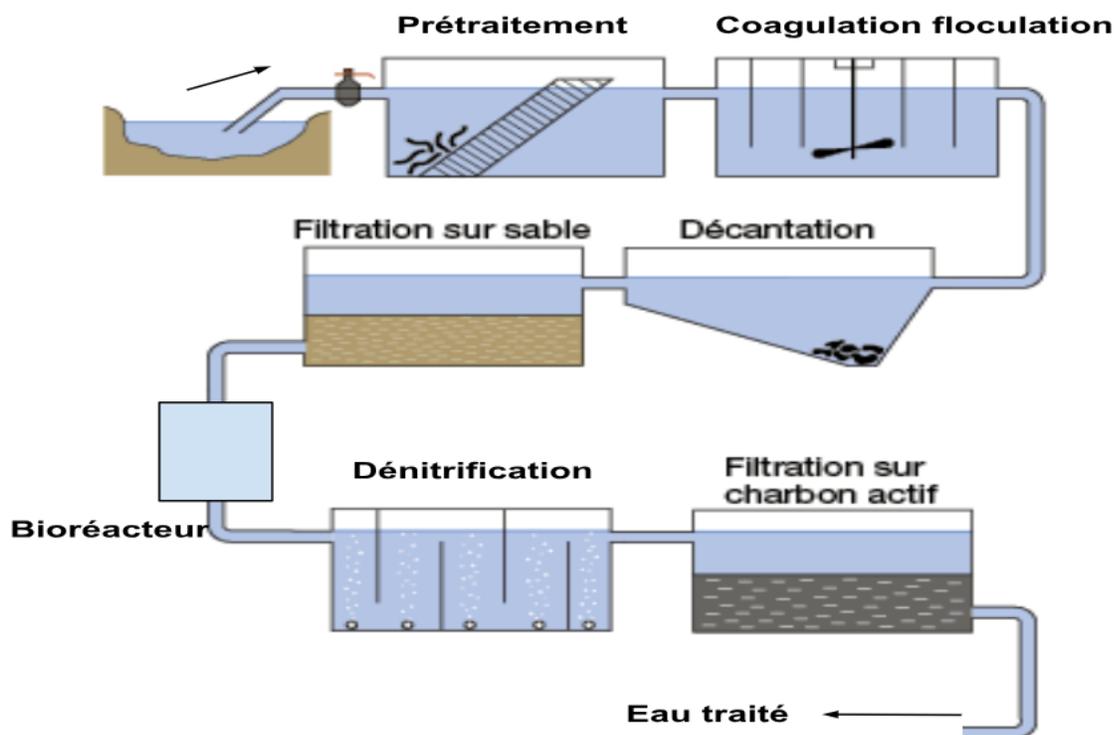


Figure I.2 : schéma explicatif des différents stades d'un traitement des eaux

Malgré les avantages indiscutables technico-économiques des coagulants chimiques dans le traitement des effluents liquide, il présente un énorme point discutable sur le point de respect de la chimie verte. Dès les années 60, leur utilisation soulève des préoccupations concernant les effets néfastes des coagulants chimiques sur la santé humaine et sur l'environnement ; Les résultats de nombreuses études épidémiologiques et observations cliniques ont suggéré qu'il existait au moins une corrélation de 70% entre la présence d'aluminium dans l'eau potable et la maladie d'Alzheimer.

D'où l'importance de trouver une alternative plus écologique et qui respecte mieux les besoins des êtres vivants en les gardant en sûreté, l'une de ces alternatives sont les bio-coagulants.

VI. La Bio Coagulation-floculation :

Les bio-coagulants ou biofloculants sont réputés pour leur innocuité, leur caractère écologique et leur faible toxicité. Contrairement au CF chimique l'alternative biologique

engendre jusqu'à 5 fois moins de boue, et les résidus dans l'eau sont non toxiques et biodégradables (source). Les avantages de **bioCF** représentent un large spectre qui va de l'aspect écologique jusqu'à l'aspect économique.

Généralement dérivés de matières organiques naturelles, qui les rendent plus respectueux de l'environnement, moins susceptibles de provoquer des réactions indésirables ou des impacts négatifs sur la santé humaine ou la faune et proviennent de sources renouvelables locales, comme les plantes ou les micro-organismes ce qui peut créer des emplois dans la récolte de ces ressources, ce qui contribue à la durabilité et réduit la dépendance à l'égard de produits chimiques dans les processus de traitement de l'eau.

Il est important de noter que l'efficacité des bio-coagulants et biofloculants peut varier en fonction de la composition de l'eau à traiter et des conditions spécifiques du processus. Par conséquent, leur utilisation optimale doit être évaluée au cas par cas. Cependant, ces solutions offrent généralement des avantages environnementaux, économiques et sanitaires importants par rapport aux produits chimiques traditionnels. [4].

CHAPITRE II :

Opuntia

I. Opuntia ficus-indica

Également connu sous les noms de figuier de Barbarie ou figuier d'Inde, est un cactus largement répandu en Amérique latine, en Afrique du Sud et dans la région méditerranéenne.

Cette plante revêt une grande importance à des fins médicinales et nutritionnelles en raison de sa riche composition en composés tels que les vitamines, les caroténoïdes, les acides gras et les huiles essentielles.

II. Description morphologique

Le figuier de Barbarie se distingue par sa robustesse, avec un tronc épais et ligneux. Ses cladodes, en forme d'ellipse ou d'ovale, mesurent généralement de 30 à 50 cm de long, 15 à 30 cm de large et ont une épaisseur de 1,5 à 3 cm. Ces cladodes, souvent appelés raquettes, sont protégés par une cuticule cireuse qui limite la transpiration et offre une défense contre les prédateurs. De courtes feuilles coniques apparaissent à la base des cladodes jeunes, tandis que des épines blanchâtres sont présentes au niveau des aréoles, situées à la base des feuilles.

Il existe deux variétés de cette plante, l'une dépourvue d'épines (variété inerme) et l'autre en étant pourvue (variété épineuse). Les cladodes sont également dotés de minuscules glochides, de fines épines brunâtres qui peuvent facilement s'implanter dans la peau.

Les fleurs de l'*Opuntia ficus-indica* sont hermaphrodites, initialement jaunes, mais prenant une teinte rougeâtre en vieillissant. Chaque cladode a la capacité de porter jusqu'à une trentaine de fleurs[5].

III. Habitat et culture

L'aire de dispersion du figuier de Barbarie couvre diverses régions du monde. Originaire du Mexique, cette plante s'est propagée en Europe au XVI^e siècle, lorsqu'elle a été introduite en Espagne. Elle a ensuite conquis l'Afrique du Nord, devenant un élément emblématique du paysage dans des pays tels que la Tunisie, l'Algérie et le Maroc.

Sa culture intensive et moderne a été promue dans des nations telles que l'Italie, l'Espagne et le Mexique, avec des programmes de recherche visant à maximiser la production de ses fruits et de ses raquettes, qui ont diverses applications, de la consommation alimentaire à l'industrie.

Ainsi, le figuier de Barbarie est devenu une ressource mondiale, étendant son influence dans différentes régions du globe en raison de ses avantages agronomiques, environnementaux et médicaux.

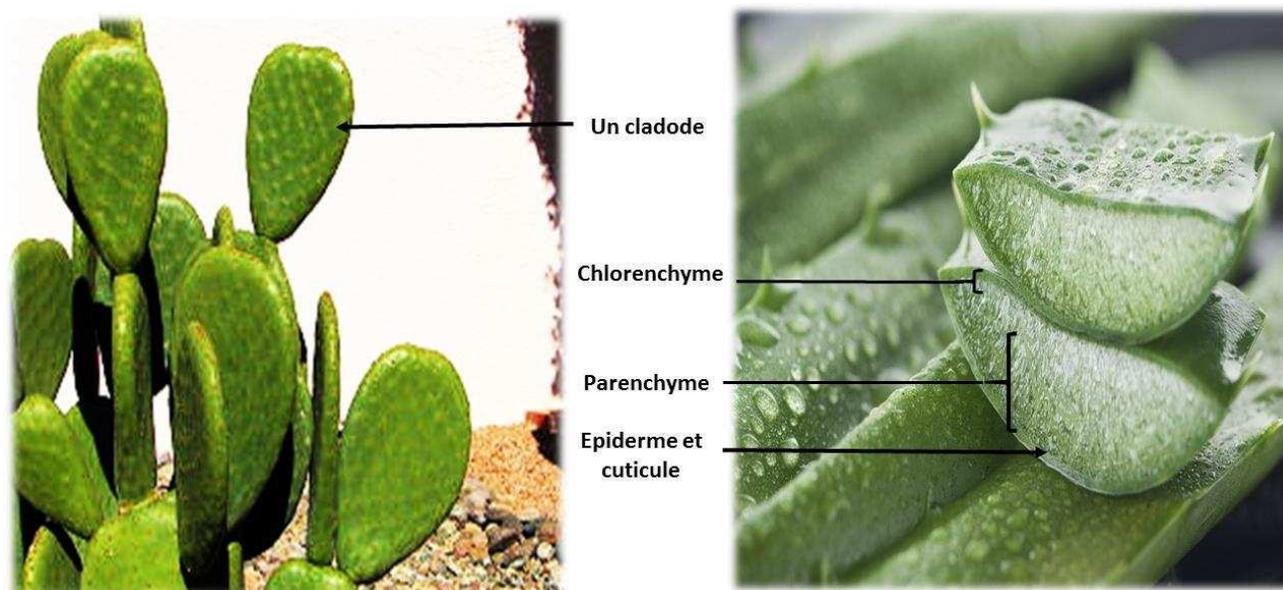


Figure II.1 Morphologie d'*Opuntia ficus indica*

La figure 2.1 représente un schéma de la structure des cladodes d'*Opuntia*. Le cladode est constitué essentiellement de cellules épidermiques, de parenchyme et de chlorenchyme (parenchyme chlorophyllien). Le parenchyme est le tissu fondamental des végétaux supérieurs, formé de cellules vivantes peu différenciées, aux parois celluloseuses ni épaissies ni lignifiées. La cuticule contient les tanins et la lignine[5] [8].

IV. Composition chimique des cladodes

Le tableau 2.1 représente la composition biochimique de quelques éléments majeurs des cladodes: les sucres, suivis par les fibres (qui contiennent elle-même de la cellulose).

- **Les minéraux** : Dans les cladodes, les principaux minéraux sont le potassium et le calcium, avec des quantités allant de 0,24 à 5,5 g dans 100 g de MS [9]. Dans la pulpe (partie molle et charnue des végétaux), le potassium est présent à 161 mg pour 100 g de MS de cladode, dépassant la concentration d'autres minéraux

comme le calcium et le magnésium [10].

- **Les sucres :** Les sucres sont présents sous forme polymérique (cellulose et amidon) ou monomérique. Une étude a montré que le mucilage d'*Opuntia ficus indica* contient du D-glucose, du D-galactose, de l'arabinose, du D-xylose et du L-rhamnose[11]. La teneur en sucre libre est de 0,32 % du poids sec [8];

Tableau II.1 : Composition des cladodes en % massique

| Composés identifiés dans le cladode en % (m/m) | Malainine et al., 2003 | Batista et al., 2003 |
|--|------------------------|----------------------|
| Minéraux | 20 | 23.5 |
| Sucres | 48 | 71 |
| Fibres (lignine cellulose hémicellulose) | 25 | 30 |
| Protéines | Non évaluées | 10 |
| Lipides | 7.2 | 4 |

V. Exigences écologiques

En ce qui concerne ses exigences écologiques, le figuier de Barbarie est une plante xérophyte parfaitement adaptée à la vie dans des environnements arides et semi-arides. Elle peut survivre et prospérer en période de sécheresse grâce à sa capacité de stockage d'eau dans ses cladodes charnus ; De plus, elle présente une grande tolérance aux variations de température, résistant à des températures minimales aussi basses que -10°C, bien que sur de courtes périodes, et supportant des températures maximales élevées, atteignant souvent entre 50 et 58°C.

En ce qui concerne le sol, elle s'adapte à divers types, mais elle préfère particulièrement les sols très perméables, comme les sols sableux ou caillouteux. [8][4].

VI. L'importance d'Opuntia ficus indica

Enfin, l'importance d'Opuntia ficus-indica ne se limite pas à ses caractéristiques morphologiques et à son habitat. Sur le plan agronomique, cette plante se distingue par ses fruits comestibles et ses raquettes, qui ont une grande importance économique dans de nombreuses régions du monde. En période de sécheresse, la **FAO** souligne son rôle crucial en tant que source essentielle d'eau et de nourriture, offrant un soutien vital aux populations et à la biodiversité ; Sa culture est répandue dans de nombreux pays, témoignant de sa polyvalence et de son adaptabilité aux différents climats.

De plus, le figuier de Barbarie contribue à la lutte contre les gaz à effet de serre en réduisant la méthanogénèse chez les ruminants. Sur le plan de la santé, cette plante offre des bienfaits thérapeutiques, notamment la réduction du cholestérol et des propriétés anti-diarrhéiques, ce qui en fait une ressource médicinale précieuse.

Enfin, ses dérivés, tels que son huile et sa crème, sont reconnus pour leurs vertus cicatrisantes et anti-oxydantes, offrant un large éventail d'applications dans le domaine de la santé et de la beauté.

En somme, le Fiquier de Barbarie se révèle être une plante extraordinairement polyvalente, apportant des bénéfices notables tant sur le plan agronomique que médicinal, tout en contribuant à la préservation de l'environnement [8].

VII. Utilisations multiples :

A. Utilisation alimentaire :

Les fruits du figuier de Barbarie sont renommés pour leur teneur élevée en sucre, minéraux et vitamines. Ils sont récoltés et commercialisés en été et en automne, selon la variété. Les jeunes cladodes, tendres et riches en nutriments tels que l'eau, les glucides, les protéines, la vitamine C et le β -carotène, sont consommés comme légumes.

Au Mexique, on les appelle "Nopalitos" et ils sont considérés comme un légume traditionnel depuis des siècles. Ils peuvent être consommés frais ou cuits et sont recommandés pour les personnes atteintes de diabète indépendant de l'insuline, car leur consommation peut améliorer la régulation du sucre dans le sang et réduire le taux de cholestérol.

Les cladodes sont également utilisés pour fabriquer de la confiture, des cornichons et des cladodes confits. Autrefois utilisées comme substitut de viande lors des périodes de jeûne, elles sont aujourd'hui consommées en accompagnement de repas similaires à des haricots verts [8].

B. Production de fourrage pour le bétail :

Le cactus est une source de nourriture pour le bétail dans les zones arides depuis longtemps. Sa culture est plus rentable que celle d'autres cultures fourragères telles que le maïs et le sorgho[5].

c. Apiculture:

Le cactus est une plante à floraison abondante, attirant massivement les abeilles grâce à ses grandes fleurs jaunes, son abondance de pollen et de nectar[5].

D. Production de produits :

L'huile extraite des graines du fruit du figuier de Barbarie est renommée pour sa richesse en acides gras insaturés tels que l'acide linoléique et l'acide oléique. Elle est prisée dans l'industrie cosmétique en raison de ses propriétés bénéfiques pour la peau, notamment la prévention du vieillissement cutané et des rides. Les graines sont également utilisées pour préparer des crèmes pour la peau. Deux colorants, le carmin et la bétanine, peuvent être extraits de la figue de Barbarie[5] [8].

Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication de produits tels que des shampooings, des adoucissants capillaires, des crèmes pour la peau et des lotions hydratantes. Des technologies récentes ont permis la production de "aliments" sous forme de gélules ou de capsules à base de figue de Barbarie, offrant des propriétés thérapeutiques pour traiter des affections telles que l'obésité, le cholestérol, la constipation et les coliques, tout en contribuant à la régulation du transit intestinal[5].

E. Autres utilisations :

Les résidus des raquettes, des fruits et d'autres parties de la plante constituent un excellent engrais vert pour les sols.

En résumé, le figuier de Barbarie, avec sa diversité d'utilisations allant de l'alimentation à la médecine en passant par l'agriculture, joue un rôle significatif dans la vie des populations et dans la préservation de l'environnement dans les régions où il prospère. [5] .

VIII. Cactus *Opuntia ficus indica* en coagulation floculation :

Le cactus *Opuntia ficus indica* présente un intérêt particulier en coagulation-floculation dans le traitement des eaux usées. Plusieurs composés présents dans les cladodes de ce cactus ont la capacité d'agir comme des biofloculants naturels. La composition chimique des cladodes est riche en sucres, notamment des monomères glucidiques tels que le D-glucose, le D-galactose, le L-arabinose et le rhamnose.

Ces sucres monomériques ont démontré leur capacité à agir comme agents floculants, réduisant la turbidité de l'effluent synthétique de kaolin de jusqu'à 50% [6].

De plus, les polysaccharides contenus dans les cladodes sont considérés comme les principaux acteurs de la floculation induite par le cactus *Opuntia ficus indica* [7]. D'autres familles de composés biochimiques, notamment les protéines, ont également été suggérées comme étant responsables de l'efficacité de la floculation, en se référant à des études similaires menées sur d'autres plantes telles que le *Moringa Oleifera*.

Les polyphénols, en particulier les tanins, ont montré leur efficacité dans le traitement des eaux par coagulation-floculation et pourraient également contribuer à l'effet de floculation élevé (>90%) observé avec *Opuntia ficus indica*.

De même, on a rapporté que les polysaccharides sont considérés comme les matières floculantes actives de cactus[12]. D'autres familles biochimiques sont soupçonnées d'avoir un effet de synergie avec les polysaccharides, tels que les protéines qui ont déjà été rapportées responsable de la floculation pour *Moringa Oleifera*[13]. Les polyphénols et surtout les tanins qui ont déjà montré leur efficacité en traitement des eaux par coagulation floculation, pourraient aussi expliquer le meilleur abattement de floculation (>90%) d'*Opuntia ficus indica*[4][5].

On peut observer la présence de l'activité coagulante de l'ensemble du cladode sauf de l'épiderme [14]. D'autre part, ils ont remarqué une relation entre l'augmentation de la température de préparation de la poudre d'*Opuntia ficus indica* et la réduction de l'activité coagulante, qui peut être expliquée par la perte des matières actives à des températures qui dépassent 80 °C. Dans la littérature, il existe d'autres modes de préparation du cactus :

- **Extrait liquide du cactus :** après enlèvement des épines, les cladodes sont lavés premièrement par de l'eau potable, ensuite par de l'eau ultrapure ; ils sont coupés

par la suite en petits morceaux, et broyés avec un broyeur domestique. Le jus extrait est stocké au réfrigérateur à 4°C après une dernière étape de filtration . D'autres chercheurs, ont inactiver les enzymes dans les cladodes en les chauffant dans de l'eau à 85 ° C pendant 20 minutes[15], puis en les neutralisant à pH 7 afin d'induire une dés-estérification des groupes méthoxyles, pour extraire le maximum de mucilage.

- **Extrait solide du cactus** : Les cladodes de cactus sont lavés, coupés, puis séchés au soleil pendant deux semaines avant d'être séchés au four à 60 °C pendant 24 heures.

Des études ont montré l'efficacité pour le traitement d'effluents synthétiques ou réels par ajout d'extrait de cactus liquide ou solide. ont a la possibilité de traiter deux effluents (eaux usées de l'industrie alimentaire et de l'industrie des colles) par l'ajout d'un jus de cactus sans ajuster le pH initial des effluents (PH 4). Les doses optimales étaient, pour l'effluent de l'industrie alimentaire et de l'industrie des colles, respectivement de 56 et 616 mg L⁻¹[4].

Les différentes préparations d'*opuntia ficus indica* ont montré leur efficacité pour des pH basiques (>8) , par contre d'autres types d'effluents réels ont montré un meilleur abattement en condition acide (PH 5). La variation de la dose entre 0,5 et 50 mg L⁻¹ peut être expliquée

- Par la nature des effluents et de leur teneur et nature en éléments mesurés
- Par l'extrait de cactus dont la nature et la quantité des molécules présentes varient selon le mode de préparation. En général, l'ajout de coagulants chimiques améliore la qualité du traitement avec un abattement plus important de la turbidité et de la **DCO** [7][6].

ont discuté le mécanisme de traitement d'un effluent synthétique de kaolin par le cactus. L'étude du potentiel zêta a éliminé la possibilité d'avoir deux type de réaction :

Un mécanisme d'adsorption inter-colloïdale et neutralisation totale des charges, puisque l'effluent et l'extrait de cactus sont chargés tous les deux négativement aux conditions de traitement.

Une coagulation électrostatique par compression de la double couche puisque la force ionique fournie par le cactus est insuffisante. D'autres part, l'excès en dose de coagulant a montré une relation stœchiométrique entre l'efficacité de traitement et la dose ajoutée, ce qui correspond plutôt à un mécanisme d'adsorption et pontage. Les auteurs ont observé que l'acide galacturonique du mucilage pourrait être

responsable d'une partie de l'élimination de la turbidité par le cactus[5].

L'acide galacturonique, ajouté de manière isolée, a été capable d'éliminer plus de 50% de la turbidité initiale de l'effluent [14]. Des résultats similaires ont été obtenus par une étude [17] au cours du processus de coagulation appliqué à des eaux de surface du barrage de Taksebt en Algérie. L'élimination de Pb (II) des eaux de surface par l'ajout d'*Opuntia ficus indica* en poudre a montré la coexistence de deux mécanismes : une adsorption et neutralisation des charges et un pontage par adsorption en raison de la nature anionique et macromoléculaire de l'acide polygalacturonique déprotoné dans le coagulant [16].

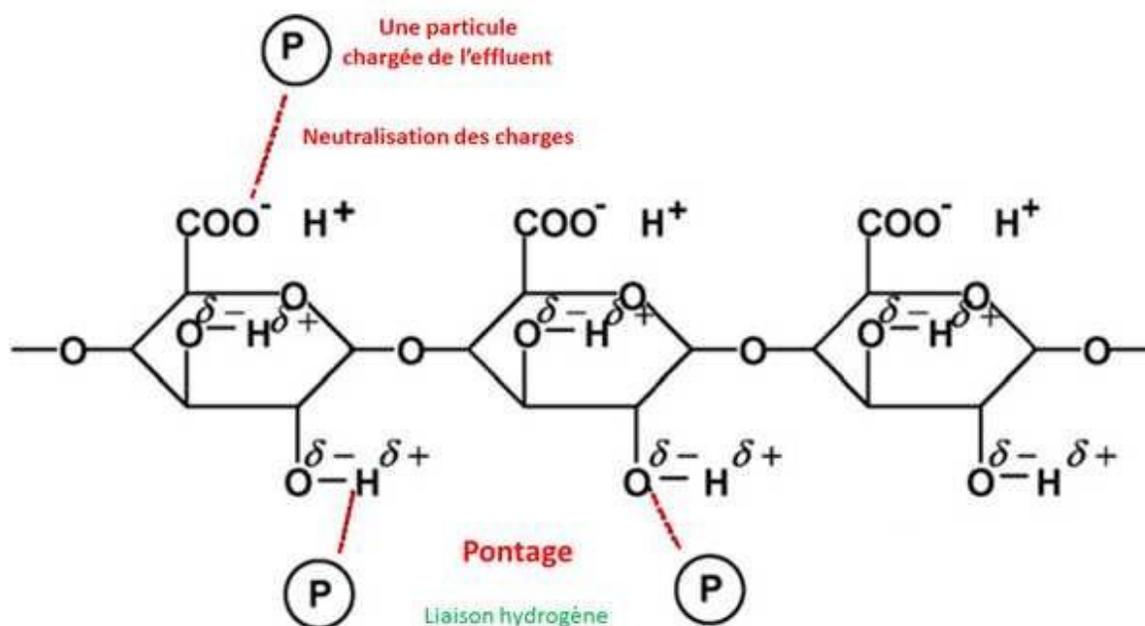


Figure II.2 : Interactions chimiques possibles dans le procédé de coagulation floculation entre l'acide polygalacturonique en solution aqueuse et les particules chargées positivement de l'effluent (P)

IX. Conditionnement du cactus

Le processus de conditionnement du cactus joue un rôle crucial dans son efficacité en tant qu'agent de coagulation-floculation. Il a été observé que l'ensemble des cladodes, à l'exception de l'épiderme, présente une activité coagulante. De plus, la température de préparation de la poudre de cactus a un impact sur son efficacité coagulante. Une augmentation de la température de préparation au-delà de 80°C peut

entraîner une réduction de l'activité coagulante, probablement en raison de la perte de certaines substances actives.

Il existe plusieurs méthodes de préparation du cactus pour une utilisation en coagulation-floculation. Une méthode consiste à préparer un extrait liquide en retirant d'abord les épines des cladodes, puis en les lavant avec de l'eau potable et de l'eau ultra-pure. Les cladodes sont ensuite coupés en petits morceaux, broyés avec un broyeur domestique, et le jus extrait est filtré et stocké à 4°C après une dernière étape de filtration. Il est important d'inactiver les enzymes dans les cladodes en les chauffant à 85°C pendant 20 minutes, puis en neutralisant le pH à 7 pour induire une dés-estérification des groupes méthoxyles, afin d'extraire au maximum le mucilage [8].

Une autre méthode implique la préparation d'un extrait solide en lavant, coupant, et en séchant les cladodes au soleil pendant deux semaines, puis en les séchant au four à 60°C pendant 24 heures.

Ces méthodes de préparation du cactus permettent d'exploiter ses propriétés floculantes pour le traitement efficace des eaux usées.

CHAPITRE III :

Méthode . Résultat et Discussion

MÉTHODES

I. Caractérisation de la suspension de boue liquide

Dans cette section, les méthodes de détermination des caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon brut sont présentées.

A. Teneur en matières sèches ou siccité (MS)

Pour obtenir la teneur en matières sèches, une quantité connue de l'échantillon de boue (liquide, déshydratée, ...) est placée dans une capsule en aluminium pré-tarée et mise à sécher à 105 °C dans une étuve jusqu'à stabilisation de la masse, soit pendant environ 24 heures, pour obtenir la masse du résidu sec. Connaissant la masse initiale et la masse finale après étuvage, la teneur en matières sèches est calculée. Les matières sèches incluent les matières en suspension et les sels dissous. Pour chaque échantillon trois analyses sont effectuées et les résultats sont moyennés.

$$\text{Siccité [\%]} = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

M_1 : masse de la boue humide avant étuvage [g];

M_2 : masse de la boue séchée à 105° C [g].

B. Teneur en matières volatiles (MV)

La détermination des Matières Volatiles est réalisée à partir du résidu sec obtenu lors du calcul de la teneur en MS. Les échantillons secs sont broyés puis calcinés dans un four à moufle à 550 °C pendant 2 heures. Connaissant la masse initiale et la masse finale, par différence la teneur en matières volatiles rapportées aux matières sèches est

calculée. Le taux de MV donne une indication sur le caractère organique de la boue. La formule donnant le taux des MV est établie comme suit :

$$MV [\%] = \left(1 - \frac{M_3}{M_2}\right) \times 100$$

M₂: masse de la boue séchée à 105° C [g];

M₃: masse de la boue séchée à 550° C [g] .

II. Déshydratation mécanique par filtration sous pression constante

L'étape de déshydratation a pour but d'extraire une partie importante de l'eau contenue dans la boue par voie mécanique, de manière à augmenter sa siccité. Cette partie s'attèle à décrire la toile filtrante indispensable à la mise en œuvre de cette étape, ainsi que l'outil de filtration mécanique utilisé et la procédure y relative.

III. Cellule de filtration/compression

En laboratoire, l'opération de déshydratation mécanique est réalisée dans une cellule de filtration/compression normalisée mais de notre conception.

Ce type de cellule permet de traiter jusqu'à 650 mL de suspension sous une pression variant entre 0.5 à 8 bar. La cellule de filtration/compression, en acier inoxydable et de forme cylindrique, est reprise sur la Figure II.1. Elle est composée de quatre parties distinctes: le piston, le socle, le corps de la cellule et le couvercle. Le piston est composé d'une tige guide et d'une extrémité cylindrique pourvue d'une vis de purge.

Le socle comprend une partie amovible perforée permettant l'écoulement du filtrat. Le filtre est disposé sur cette partie amovible. Le corps de la cellule est un cylindre creux dont le diamètre intérieur et la hauteur valent respectivement 70 et 270 mm.

Le couvercle possède deux orifices; le premier, au centre, est destiné au guidage du piston et le second orifice est une entrée pour l'injection de l'air sous pression.

La fixation du corps au socle d'une part, et du couvercle au corps d'autre part, est assurée par deux fois quatre vis. L'étanchéité entre le corps et le couvercle d'une part, le corps et le socle d'autre part, est garantie par deux joints en papier. Au niveau du piston, des O-rings disposés dans le trou central du couvercle empêchent les fuites d'air. Un manomètre permet la régulation de la pression d'entrée de l'air dans la cellule. L'air comprimé permettant la mise à pression du dispositif est fourni par le réseau du bâtiment.

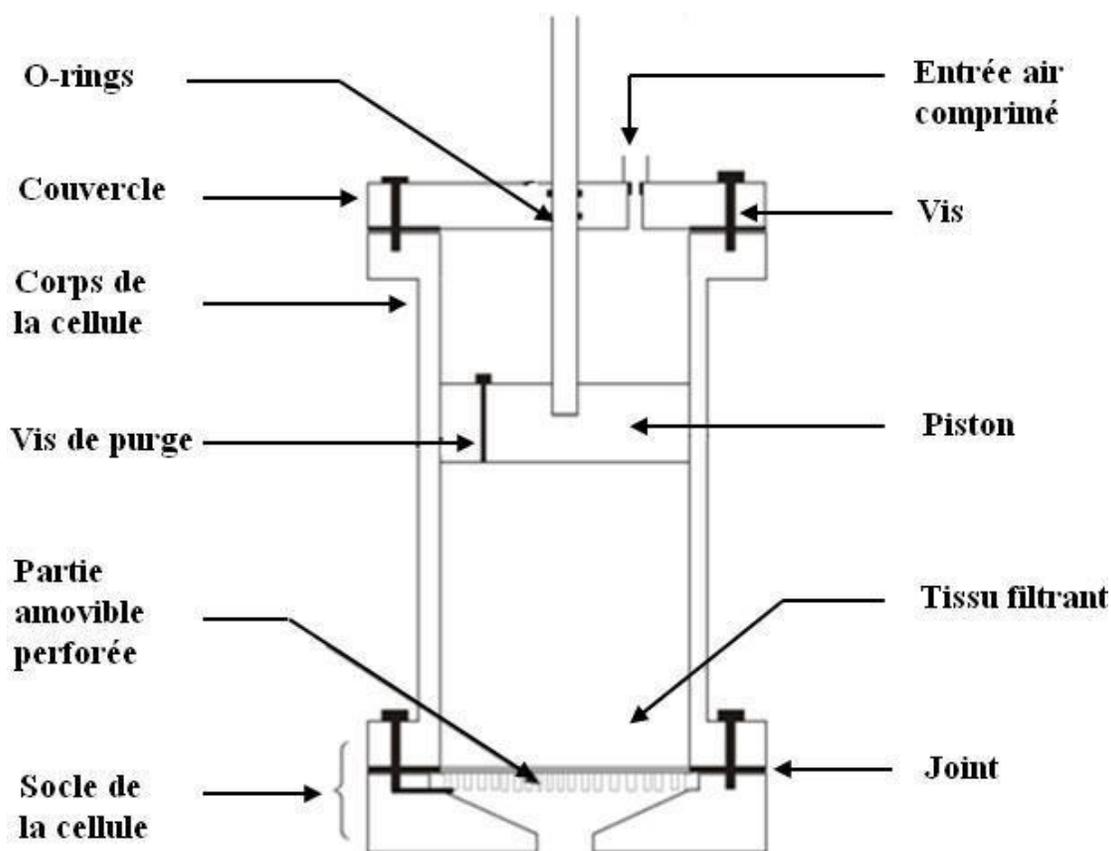


Figure III.1 : Cellule de filtration sous pression normalisée

IV. Mise en œuvre de l'opération de déshydratation

Après la mise en place du filtre, le corps de la cellule est fixé hermétiquement au socle. Ensuite, la suspension de boue est transférée dans la cellule de filtration immédiatement après l'étape de coagulation/floculation de la boue. Le piston est introduit dans la cellule

jusqu'au niveau de la solution, la vis de purge permettant l'expulsion de l'air pendant la descente du piston est placée après constatation de l'expulsion de quelques gouttelettes d'eau pour favoriser le dégazage du milieu liquide ainsi constitué.

Pendant la mise en place du piston, un certain volume de filtrat s'écoule par drainage libre sous l'effet de la gravité. Il s'agit du volume d'égouttage.

La durée de tous les essais est fixée arbitrairement à 1.0 heure, ce qui permet une comparaison rationnelle des différents essais. Cette durée de filtration permet d'atteindre la stabilisation du volume de filtrat collecté.

V. Préparation de bioflocculant (la poudre de cactus) :

Les raquettes de cactus ont été collectées à Bouira, qui se caractérisent par un climat méditerranéen, il se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Les raquettes collectées sont de tailles différentes, Elles ont été lavées avec l'eau du robinet, nettoyées et débarrassées de leurs épines avant d'être coupées en petits morceaux. Ces derniers ont été rincés avec de l'eau distillée pour préparer par la suite notre poudre.

Les morceaux de cactus ont été pesés puis déposés les uns devant les autres sur des plateaux bien nettoyés et couverts avec du papier cellophane. Les morceaux ont été laissés dans l'étude pendant 24 Heures à une température de 60 C

Après le séchage, les morceaux de cactus ont été pesés, puis broyés avec un broyeur de laboratoire et tamisés à 400 µm. A la fin, on a obtenu une poudre très fine, d'une couleur verdâtre

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Caractérisation de la suspension de boue liquide

Le **tableau III.1** représente les différentes valeurs de la caractérisation de la boue de STEP de Bouira obtenues. On remarque que la boue utilisée est caractérisé par une siccité faible de 4.8 à 5.7 % seulement, cette valeur est similaire à celle obtenue par Zemmouri avec des boues issues –de la station d’épuration Bouira qui est de 3.22%, notant que la siccité des boues liquides issues des station d’épuration urbaine ne doit pas dépasser ; Les 10 %. On remarque ainsi une valeur de la résistance spécifique à la filtration très importante de $1.52 \cdot 10^{13}$ m/kg, Cette valeur de RSF obtenue est à comparer avec celle obtenue par Pambou pour le cas d’une boue brute ou il obtenu des valeurs identiques et de même ordre de grandeurs.

Tableau III. 1 Caractérisations de la boue brute de STEP de Bouira

| Paramètres | Valeur |
|--|---------------------------|
| pH | 6-7 |
| Matières sèches (MS) | 5-8 g par 100 ml |
| Teneur en matières volatiles (MV) | 2-2.4 % |
| La siccité | 4.8% -5.7% |
| RSF | $1.79 \cdot 10^{13}$ m/kg |
| MV/MS | 53.33 %- 66% |
| Protéines (% MS) | 25 |
| Azote (N) (% MS) | 205 |
| Phosphate (P_2O_5) (% MS) | 1.9 |
| Potasse (K_2O) (% MS) | 0.3 |
| Cellulose (% MS) | 10.11 |
| Fer (% MS) | 3.25 |
| Phosphate (P_2O_5) (% MS) | 1.9 |
| Potasse (K_2O) (% MS) | 0.3 |

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Cellulose (% MS) | 10.11 |
| Fer (% MS) | 3.25 |
| Alcalinité, (mg CaCO ₃ /l) | 952 |

Le rapport MV/MS est un rapport très important car il permet de connaître la nature de la boue étudiée. Si ce dernier est entre 50 et 70%, on peut considérer la boue de caractère organique donc le polymère qui convient dans ce cas est de type cationique, par contre s'il est compris entre 30 et 35 % en la boue est prédominante de matières minérales et l'utilisation de polymère anionique s'impose. Dans notre cas et après avoir calculé le rapport MV/MS on a trouvé un taux compris entre 53.33% et 66%, cela nous mène à une conclusion que la boue est fortement organique et nos valeurs obtenues se situent dans la gamme couramment rencontrée pour les boues mixtes.

Les gâteaux obtenus après filtration par cellule de filtration sous pression sont regroupés dans la **figure III.2** la boue brute est de nature pâteuse liquide se décolle difficilement du papier filtre, par contre les deux gâteaux conditionnés par le **NF 102** et **AF 400** sont moins pâteuses et moins liquides avec un aspect finement granulé.

Les gâteaux conditionnés avec le **SUPERFLOC 8396** et avec la poudre de cactus montre un aspect plus déshydraté et tend à être presque sec formé par des granules grande et bien claire et décolle facilement du papier filtre.



NF 102



AF 400



Boue brute



SUPERFLOC 8396



Poudre de cactus

Figure III. 2:Photos des gâteaux récupérés après filtration sous pression

II. Essais de filtration

Tous les essais de filtration ont été réalisés dans la même cellule, conçue conformément à la norme AFNOR T97-001. La détermination de la résistance spécifique

à la filtration a permis d'évaluer les conditionneurs de manière quantitative en calculant le potentiel de déshydratation à chaque dose considérée. Les tests de filtration effectués au laboratoire sont faits sur la boue épaisse :

- **brute (sans flocculant);**
- **conditionnée avec le polymère superfloc;**
- **conditionnée avec le bio flocculant poudre de cactus**

La durée des essais de filtration a été contrôlée par la chute de la pression qui survenait lors de la déshydratation du gâteau. La période de filtration diminuait avec l'augmentation du dosage en polymère. Lors du démantèlement de la cellule de filtration, il a été constaté que la chute de la pression est due soit à la diminution du diamètre du gâteau et/ou le développement d'une fissure, vers le centre,

Quand la boue est adéquatement flocculée, le traitement des résultats de filtration est problématique. La pertinence des résultats de filtration d'une boue flocculée a rendu nécessaire de développer une approche de calcul pour traiter les résultats. Cette approche est présentée à la section suivante .

III. Détermination de la concentration ajustée de la boue

La norme **AFNOR T97-001** recommande de soustraire le volume initial de filtration qui s'écoule pendant la phase de formation du gâteau. Il est noté, dans la norme, que ce volume ne doit pas dépasser les 20% du volume de l'échantillon de boue à filtrer. D'après les résultats préliminaires de filtration, cette condition ne cause aucun problème quand on traite la boue brute (sans flocculant) ou bien la boue flocculée à de faibles doses. Cependant, quand la dose de flocculant ajoutée est suffisante pour rendre

la boue bien floculée, le volume initial de filtration dépasse, des fois même largement, les 20% du volume de l'échantillon.

IV. Filtration de la boue brute:

Le tracé de la courbe $t/F = f(F)$, F étant le volume de filtrat obtenu au bout de chaque durée de filtration, permet d'exploiter les résultats de filtration et déterminer la valeur de la résistance spécifique à la filtration. L'allure de cette courbe doit être une droite ou comporter une partie linéaire. La norme AFNOR T97-001 mentionne que si le cas ne se présente pas, leur méthode de détermination de la résistance spécifique à la filtration n'est pas applicable.

V. Influence de la dose du flocculant sur le volume du filtrat:

En ajoutant le flocculant et après agitation, la première observation à l'œil nu est l'absence presque totale des floccs donc on a affaire à une mauvaise floculation (presque la même consistance de la boue brute) dans les béchers qui contiennent le AF400 (anionique) et le NF102 (non-ionique). Par contre, dans les béchers qui contiennent le SUPERFLOC 8396(cationique) et celui conditionné avec la poudre de cactus on a constaté une bonne formation des floccs.

On met les échantillons dans le filtre presse, après observation et prélèvement des volumes des filtres chaque deux minutes, nous avons obtenu les courbes illustrées dans la figure III.2.

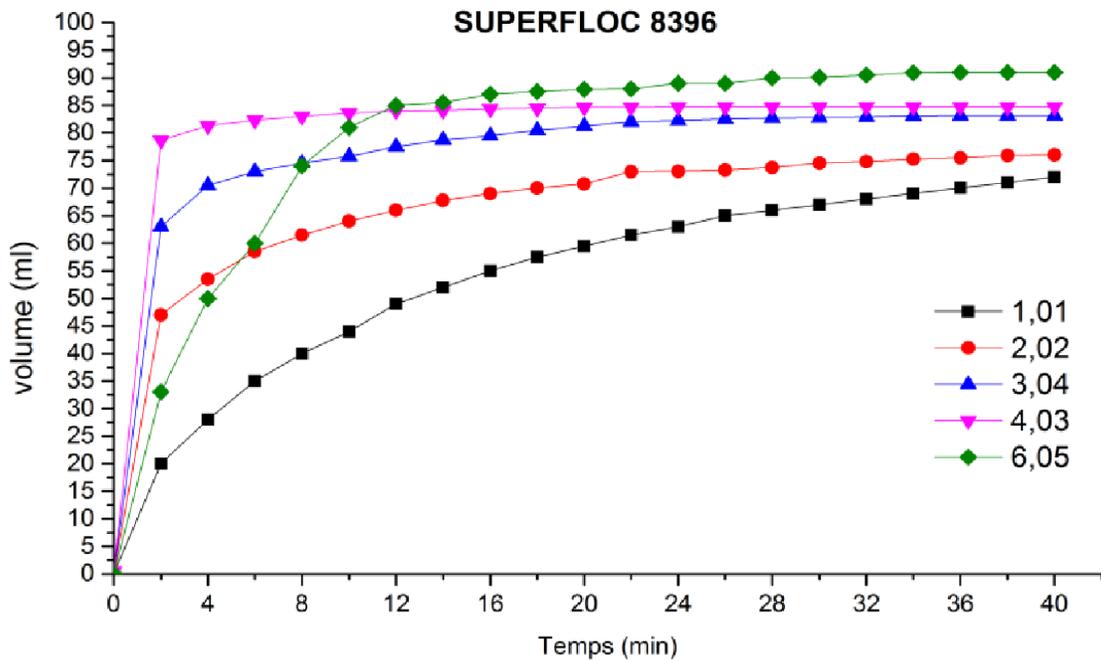


Figure III. 3 : Evolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes doses (kg/tonne MS) de floculants.

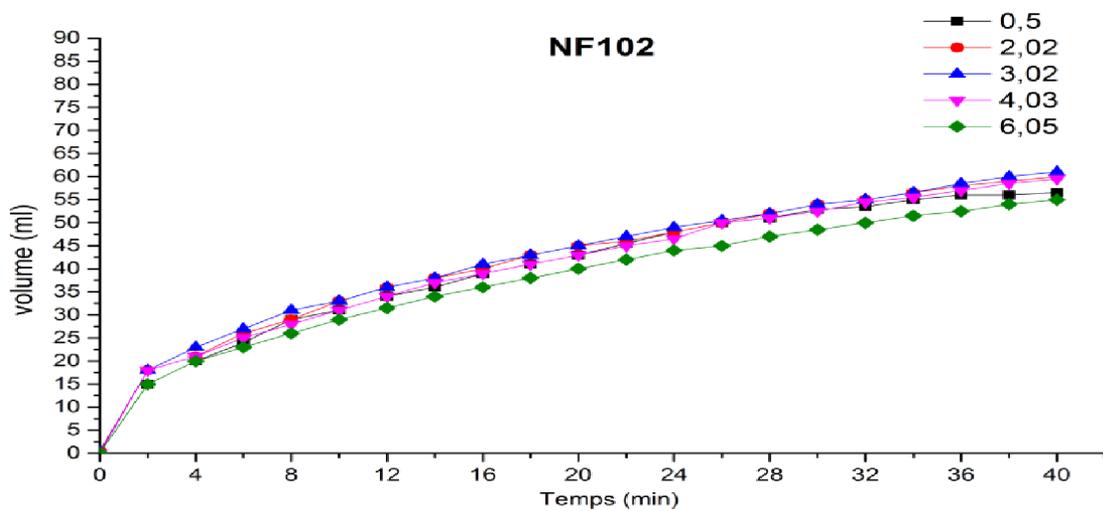


Figure III. 4: Evolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes doses (kg/tonne MS) de floculants.

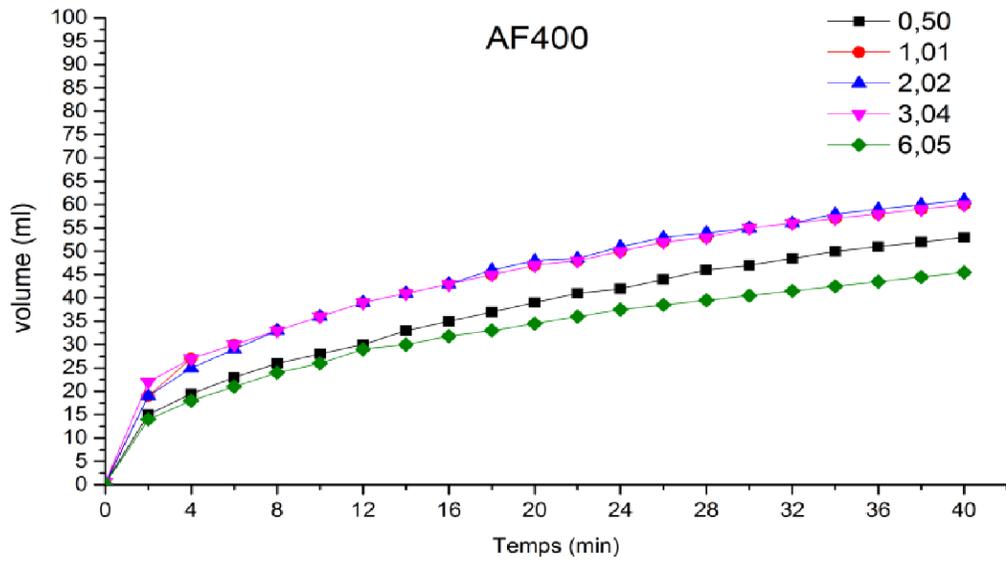


Figure III. 5: Évolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes doses (kg/tonne MS) de flocculants. AF400

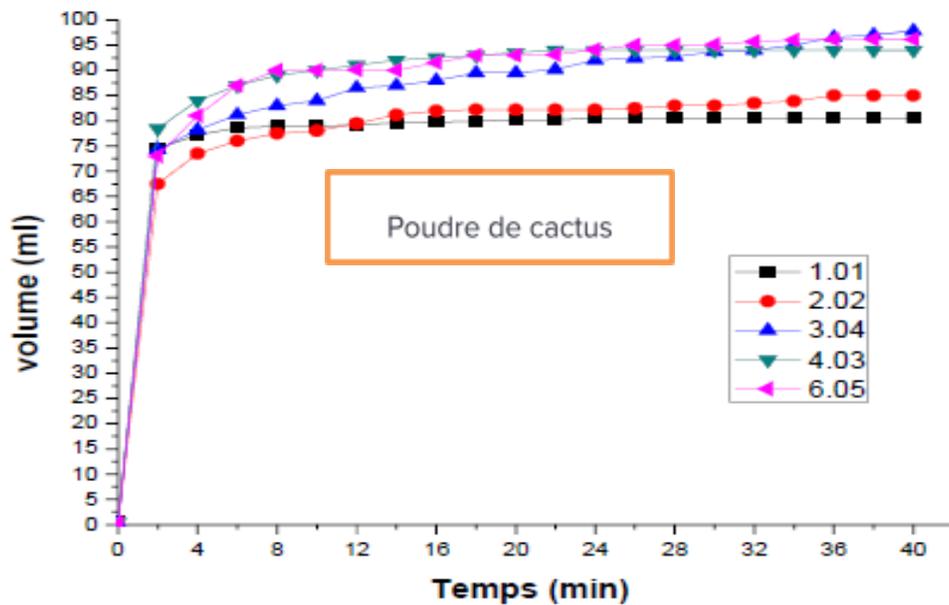


Figure III. 6 : Evolution du volume de filtrat en fonction du temps pour différentes doses (kg/tonne MS) de Poudre de cactus

En vue de ces résultats, on obtient un volume de filtrat final allant jusqu'à 61 ml pour une dose correspondante de 2.02 kg/tonne pour le AF400 et le NF102, et pour le SUPERFLOC 8396, on a eu un volume maximal de 85,75 ml correspondant à une dose de 3,53 kg/tonne MS, ainsi le meilleur volume recueilli a été obtenu par poudre de cactus avec une valeur de 97.8 ml pour une dose correspondante de 3.04 kg/tonne MS.

Une augmentation de la dose de polymère engendre une grande altération de la filtration et bloque par conséquent le passage du filtrat à travers le milieu filtrant ceci est causé par la formation d'une pré-couche sur le papier filtre pour le AF400 et NF102. Mais ce n'est pas le cas pour le SUPERFLOC 8396 et la poudre de cactus, cela peut être dû au fait que ces deux polymères ont une bonne capacité de retenir la boue et donc empêchent la formation de pré-couche.

Du fait que les polymères les plus efficaces donnant le volume le plus important sont le SUPERFLOC 8396 et la poudre de cactus respectivement, les effets de différents paramètres telle que la dose et la pression sur la RSF ainsi que la siccité des gâteaux obtenus ont été étudiés avec ces deux polymères et comparés avec ceux obtenus à partir de la boues brute.

VI. Effet de la dose sur la Résistance Spécifique à la Filtration RSF

La figure juste après Figure III.3 représente l'effet de la dose du **SUPERFLOC 8396** et la poudre de cactus sur la Résistance Spécifique à la Filtration, il est bien clair que l'ajout du flocculant diminue la **RSF** donc le but voulu par cette ajout est atteint cela conduit bien sûr a une bonne déshydratation de la boue.

Le meilleur résultat a été observé avec la poudre de cactus pour une dose de 3.04 kg/Tonnes **MS**, la **RSF** atteinte et de $0.193 \cdot 10^{13}$ m/kg, au-delà de cette dose la **RSF** ré-augmente, ceci peut être dû au fait que le surdosage du polymère induit à une déstabilisation de la suspension boueuse conduisant ainsi à l'augmentation de la RSF.

Une chute remarquable aussi de la RSF pour la boue conditionnée avec le **SUPERFLOC 8396** atteignant une valeur de $0.50 \cdot 10^{13}$ m/kg pour une dose de 6.05 kg/Tonnes **MS** est observée, ces deux résultats comparés à celui obtenu pour la boue brute avec une **RSF** de $1.52 \cdot 10^{13}$ m/kg représentent un gain très prometteur en termes de réduction de **RSF**.

Des résultats semblables ont été obtenus par l'ajout de différents polyélectrolytes synthétiques ou bien naturels, par exemple Zemmouri [19] a obtenu des valeurs de RSF de $0.634 \cdot 10^{12}$ m/kg et $0.932 \cdot 10^{12}$ m/kg avec le Sed CF 802 et le chitosane respectivement à partir d'une boue brute de la STEP de Beni-Messous d'une RSF initiale de $6.78 \cdot 10^{12}$ m/kg .

Wu Yan a obtenu une RSF de l'ordre de $1.13 \cdot 10^{12}$ m/kg à partir d'une boue brute issue de STEP de Changsha, Hunan, China d'une RSF de $10.40 \cdot 10^{12}$ - $51.3 \cdot 10^{12}$ m/kg en utilisant le charbon de balle de riz modifié par le chlorure de fer [18] . De même Chen Chang Ya [18] a utilisé les cendres volantes du charbon modifiés par l'acide sulfurique pour conditionner la même boue et il a obtenu une RSF de l'ordre de $4.23 \cdot 10^{11}$ m/kg.

Les particules de la boue sont connues être chargées positivement ou le plus souvent négativement, les conditionneurs chimiques, souvent avec les charges opposées, sont utilisés pour coaguler les colloïdes des boues par neutralisation des charges en plus de l'adsorption.

Quand les particules d'un conditionneur avec des charges de surface sont introduites dans la suspension boueuse, les interactions entre les différentes particules chargées se produisent soit par neutralisation ou bien par pontage intra particulier. Un polymère peut être adsorbé sur la surface d'une particule colloïdale en raison d'une force chimique (par exemple une liaison chimique due à une charge) ou d'une force physique (par exemple une force de van der Waals), ou des deux. Certaines parties des chaînes de polymères peuvent alors se fixer aux zones libres sur une autre particule en approche pour former des ponts.

Le polymère cationique **SUPERFLOC8396** et la poudre de cactus chargée positivement s'adsorbent à la surface des particules colloïdales par des liaisons hydrogène formées avec les charges négatives situées à la surface des particules de la boue.

Les interactions électrostatiques attractives entre les segments du **SUPERFLOC** chargés positivement ainsi que la poudre de cactus et les sites chargés négativement à la surface des particules favorisent l'adsorption

Les particules de la boue sont connues être chargées positivement ou le plus souvent négativement, les conditionneurs chimiques, souvent avec les charges opposées, sont utilisés pour coaguler les colloïdes des boues par neutralisation des charges en plus de l'adsorption.

Quand les particules d'un conditionneur avec des charges de surface sont introduites dans la suspension boueuse, les interactions entre les différentes particules chargées se produisent soit par neutralisation ou bien par pontage intraparticulaire.

Un polymère peut être adsorbé sur la surface d'une particule colloïdale en raison d'une force chimique (par exemple une liaison chimique due à une charge) ou d'une force physique (par exemple une force de van der Waals), ou des deux. Certaines parties des chaînes de polymères peuvent alors se fixer aux zones libres sur une autre particule en approche pour former des ponts

Le polymère cationique **SUPERFLOC8396** et la poudre de cactus chargée positivement s'adsorbent à la surface des particules colloïdales par des liaisons hydrogène formées avec les charges négatives situées à la surface des particules de la boue.

Les interactions électrostatiques attractives entre les segments du **SUPERFLOC** chargés positivement ainsi que la poudre de cactus, et les sites chargés négativement à la surface des particules favorisent l'adsorption

Conclusion Générale :

À l'issue de cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Ce travail représente une contribution prometteuse dans le domaine de la valorisation des ressources naturelles locales . Il ouvre la voie à l'introduction d'un réactif biodégradable novateur dans le processus de traitement physico-chimique par coagulation/floculation.

A travers ce travail, on souhaite remplacer certains coagulants et flocculants inorganiques largement utilisés dans le traitement des eaux usées, mais qui présentent des inconvénients pour l'environnement, en particulier pour la sûreté de la faune .

Les biomatériaux à base de cactus se révèlent très attrayants pour le traitement des eaux usées en raison de leur accessibilité, de leur caractère renouvelable, leur abondance, et le respect de l'environnement qui s'en dégage , en outre ,nos données sur l'efficacité des extrait de cactus ont démontré leur capacité à éliminer divers polluants.

Ce n'est que le premier pas , qui prouve l'efficacité , au futur cherche et scientifique de poursuivre la recherche en explorant d'autres modifications des procédures de traitement des eaux usées, et de là élaborer une méthode un protocole plus fiable . moult travaux ont déjà confirmé l'efficacité des cactus en tant que coagulant/floculant dans le traitement des eaux usées et ont suggéré que les cactus représentent une alternative viable aux produits chimiques. Il est important de continuer à approfondir cette recherche et à améliorer ce procédé naturel, qui est à la fois disponible et exempt de risques et de toxicité.

Sources:

- [1]Brahmi Z. et BenaissaN, Influence de la coagulation floculation et décantation sur la qualité des eaux épurées de la station de Ain El Houtz, Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2010.
- [2]Mémoire:TRAITEMENT DES EAUX PAR ACTION COMBINÉE DE LA PHOTOCATALYSE SOLAIRE ET DE L'ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF Rediger par Grah Patrick Atheba
- [3]Rapport de l'OPECST n° 2152 (2002-2003) de M. Gérard MIQUEL, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech., déposé le 18 mars 2003
- [4]Utilisation d'un nouveau bio-floculant extrait de cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation Aziza ABID, Abdeljalil ZOUHRI* et Abdelali IDER
- [5] Étude bibliographique sur la valorisation biotechnologique des cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*)Melle REGGANE Lydia
- [6] Amale Boutakiout, Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*), Thèse de doctorat, Université Sultan Moulay Slimane, 2015
- [7] Jeon.J.R, Kim.E.J, Kim.Y.M, Murugesan.K, Kim.J.H, Chang.Y.S Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere* 77, pp. 1090–1098, 2009
- [8]ELIMINATION DES POLLUANT PAR DES BIOMATERAUX;UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA;GUELLAMAT Malek,GUELLAMAT Malek,HADJIRI Roumaissa

-
- [9]Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making M.A. Ayadi *, W. Abdelmaksoud, M. Ennouri, H. Attia
 - [10]Lotfi MSADDAK .Propriétés techno-fonctionnelles et substances bioactives de deux ingrédients alimentaires : cladodes du figuier de barbarie et feuilles de vigne
 - [11]Chemical and Rheological Characteristics of Orange-Yellow Cactus-Pear Pulp from Egypt♦ S. K. El-Samahy, E. A. Abd El-Hady, R. A. Habiba, and T. E. Moussa*
Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, Suez Canal University
41522, Ismailia, Egypt
 - [12]Diversification internationale, comportements des investisseurs et effets des crises .Jihed Majdoub
 - [13]Effectiveness of Using Natural Materials as a Coagulant for Reduction of Water Turbidity in Water Treatment . *Hussein Janna*
 - [14] DNA methylation and histone acetylation work in concert to regulate memory formation and synaptic plasticity Courtney A. Miller *, Susan L. Campbell, J. David Sweatt
 - [15]Comparative study between Moroccan cactus and chemicals coagulants for textile effluent treatment O. Bouaouine1* , M. Baudu2 , F. Khalil1 , H. Chtioui1 , H. Zaitan
 - [16]A STUDY ON ANTI-TUMOUR EFFECT OF SOLANUM LYRATUM THUNB. EXTRACT IN S180 TUMOUR-BEARING MICE;Yin Guan; Hong Zhao;Xiang Yan;Jing Meng ;Weilan Wang;Medical Oncology Department of PLA General Hospital,Beijing,China
 - [17]Le déficit en hormone de croissance chez l'enfant : formes cliniques et biologiquesGrowth hormone deficiency (GHD) in child : clinical and biological aspects

-
- [18] VALORISATION DES DECHETS VERTS ET DE BIOMASSES EN TRAITEMENT DES EAUX. KEBAILI Maya
 - [19] Les cendres d'incinération de boues de stations de traitement des eaux polluées sont-elles utilisables dans les matrices cimentaires ? Martin Cyr, Gilles Klysz, Simone Julien, Pierre Clastres