

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

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

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie de l'environnement.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIÈRE : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement.

Par

➤ **Benlefki Hadjer**

➤ **Chaib Nada**

Intitulé

***Valorisation des biomatériaux extraits des raquettes de figue de barbarie
dans le traitement des eaux usées***

Soutenu le : 23/06/2024

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Établissement</i>
<i>Mme Boufassa Samia</i>	<i>MCA</i>	<i>Présidente</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Hellati Abdelhak.</i>	<i>Professeur</i>	<i>Encadrant</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.Dadache Derradji</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu le Bon Dieu tout-puissant pour le courage, la volonté et la santé qu'il nous a donnés afin de pouvoir accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre directeur de mémoire, **Abdelhak HELLATI**, Professeur à l'Université de **Mohamed El Bachir El Ibrahimi-BBA**, nous le remercions pour sa guidance, ses conseils et son soutien tout au long de ce processus de recherche.

Nous exprimons nos respectueuses salutations, aux membres du jury et espérons que ce travail trouve tout l'écho nécessaire auprès de leurs respectueuses appréciations.

Nous souhaitons également adresser nos remerciements chaleureux aux directrice de laboratoire GPE à l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi-BBA **Mme Farida HEBBICHE**, ainsi aux personnes qui travaillent à l'ONA pour leur coopération et leur aide dans la collecte des échantillons d'eau usée qui ont été essentielles pour la réalisation de cette étude.

DÉDICACE

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce modeste travail :

*À l'être le plus cher de ma vie, ma mère **Djahida BADJI**.*

*À celui qui a fait de moi une femme, mon père **Mohammed Hassan***

*À mes chers sœurs **Sara et Rima**.*

*Aux enfants **Islam, Celia et Amir**.*

*Malgré nos échanges limités, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mon proche amie **Abir**, qui a toujours été là pour me soutenir.*

À tous mes amies de la promotion de 2ème année Master en génie des procédés de l'environnement, ainsi qu'à toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

*À tous les membres de ma famille et à toute personne portant le nom **BENLEFKI** et **BADJI**, je dédie ce travail à tous ceux qui ont contribué à ma réussite.*

*Enfin, à la mémoire des martyrs de la chère **Palestine**, que la paix soit sur leurs âmes. Leur sacrifice ne sera jamais oublié, et leur courage continue de nous inspirer pour la liberté et la justice. Que leur âme repose en paix et que leur lutte nous guide vers un avenir meilleur.*

HADJER BENLEFKI

DÉDICACE

الحمد لله الذي ما تم جهد ولا ختم سعي ولا تحقق حلم إلا بفضله.

*Je dédie le fruit de mes efforts à un pays qui enseigne l'art de la patience,
la force et la vivre :*

L'Algérie.

*À mes très chers uniques et irremplaçables parents symboles du don
inconditionnel*

Ali et Zineb

*Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer
toute ma reconnaissance et tout l'amour que je vous porte. Ce travail
représente le résultat de votre soutien, vos sacrifices, et vos
encouragements. Mon père source de ma force et de mon espoir et ma
mère la plus précieuse que je possède, ce qui embrassait ma nervosité et
mon entêtement. Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie
pleine de santé et de bonheur.*

À mes sœurs :

Manar mon inspirante partenaire.

Rima la joie de mon cœur.

*À l'âme pure de mon grand-père Mouloud, dont la présence me manque
dans cette réussite.*

À ma grande- mère Djamila le parfum de ma vie.

À ma deuxième mère Oum el Kheir et ma deuxième père Ahmed.

*À tous mes oncles et tantes, mes proches qui étaient toujours là, en
particulier mon supporter qui était avec moi tous les jours, Rebiha.*

À mon fiancé Mohamed el amine mon partenaire de vie.

Enfin, à tous ceux qui portent le nom de : CHAIB et BOUKHORS.

Merci pour votre amour à tous.

Nada CHAIB

Résumé :

Ce mémoire explore la valorisation des biomatériaux extraits des raquettes de figue de barbarie pour le traitement et la clarification des eaux usées, proposé comme un bio-floculant technique, économique et écologique qui remplacent les produits chimiques coûteux et potentiellement toxiques.

Les tests effectués ont porté sur deux formes : gel et poudre de cactus, par la méthode de coagulation-floculation à travers le Jar test. Son efficacité a été testée via à vis la turbidité et la matière organique pour évaluer son aspect floculant a différents conditions : pH, concentrations d` (Al₂ SO₄)₃ , masses de bio-floculant.

Les résultats indiquent que ces bio-floculants peuvent réduire significativement la turbidité des eaux usées, et les meilleurs résultats de jus et poudre obtenus étaient respectivement : 72.06%, 93.78% à l'aide de Minitab.

Les biomatériaux extraits du cactus sont disponibles, biodégradables et offrent de très bons résultats sans porter atteinte à l'environnement.

Mots clés : Pollution, traitement des eaux usées, coagulation-floculation, OFI, Bio-floculant, Minitab.

Abstract:

This thesis explores the valorization of biomaterials extracted from prickly pear cactus pads for the treatment and clarification of wastewater. These biomaterials are proposed as cost-effective and ecologically friendly bio-flocculants that can replace expensive and potentially toxic chemical products.

The tests were conducted using two forms of the cactus material: gel and powder. The coagulation-flocculation method was employed, specifically the Jar test. The effectiveness of the bio-flocculant was evaluated in terms of turbidity and organic matter removal under different conditions, including pH, concentrations of (Al₂ SO₄)₃, and bio-flocculant masses.

The results indicate that these bio-flocculants can significantly reduce wastewater turbidity. The best results for juice and powder were achieved at 72.06% and 93.78%, respectively, using Minitab for data analysis.

The cactus-derived biomaterials are readily available, biodegradable, and offer excellent results without harming the environment.

Keywords: Pollution, wastewater treatment, coagulation-flocculation, OFI, Bio-flocculant, Minitab.

ملخص:

نستكشف من خلال هذه الأطروحة استخدام المواد الحيوية المستخرجة من سيقان صبار التين الشوكي لمعالجة وتصفية مياه

الصرف الصحي، والمقترحة كمواد تلبد حيوي تقني، اقتصادي ويبيئ يحل محل المواد الكيميائية المكلفة والمحتمل أن تكون سامة.

أجريت الاختبارات على شكلين: هلام ومسحوق الصبار، باستخدام طريقة التبختر والتلبد في اختبار الجار تاست بحيث تم

اختبار فعاليتها ضد العكارة والمواد العضوية لتقييم خصائص التلبد في ظل تغيير ظروف مختلفة: الأس الهيدروجيني، كتلة مادة التلبد

الحيوي وتركيزات $AL_2 (SO_4)_3$.

تشير النتائج إلى أن هذه المواد الحيوية الملبدة يمكن أن تقلل بشكل كبير من تعكر مياه الصرف الصحي، أفضل النتائج

كانت **72.06 %، 93.78 %** والمتحصل عليها من المسحوق والعصير على التوالي بواسطة برنامج **Minitab**.

المواد الحيوية المستخرجة من الصبار متوفرة وقابلة للتحلل الحيوي وتوفر نتائج جيدة للغاية دون الإضرار بالبيئة.

الكلمات المفتاحية: تلوث، معالجة المياه العادمة، تكتل وتكاثف، الصبار، مضاد حيوي-متكتل، مينيتاب.

Table des matières

Remerciement	
DÉDICACE	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
I.1.Introduction.....	3
I.2.Définition des eaux usées.....	3
I.3. L`origine des eaux usées	3
I.4.Caractéristiques des eaux usées	5
I.4.1. Les paramètres physiques	5
I.4.2. Les caractéristiques chimiques.....	5
I.4.3. Les caractéristiques biologiques	6
I.5. La pollution des eaux	6
I.5.1.Définition	6
I.5.2.Classification des polluants dans la pollution des eaux usées	6
I.6.Normes de rejets.....	8
I.6.1. Normes internationales	8
I.6.2. Normes de rejets Algérienne.....	8
I.7. Stratégies de traitement des eaux usées	9
I.7.1. Les objectifs recherchés par l`analyse des eaux.....	9
I.7.2. Les étapes de traitement des eaux usées	10
I.8. Conclusion	11
Références bibliographiques chapitre I	12
II.1.Introduction.....	16
II.2.Généralité sur la coagulation-floculation(CF)	16
II.2.1 Caractéristiques des particules à enlever	17
II.2.2 Types de colloïdes	18
II.2.4 Stabilité des particules colloïdales	18
II.2.4.1 Théorie de double couche	19
II.3 Mécanisme de coagulation.....	21
II.3.1 Modes de déstabilisation des particules colloïdales	21
II.3.2 Principe de coagulation.....	21

II.3.3 Coagulants usuels	22
II.3.5 Coagulants naturels biologiques	22
II.3.6 Choix des coagulants	22
II.3.7 Facteurs qui influencent sur la coagulation	23
II.4 La floculation.....	24
II.4.1 Principe	24
II.4.2 Types de floculation.....	24
II.4.3 Flocculants usuels.....	24
II.4.4 Choix des flocculant	25
II.5 Conclusion:	25
Références bibliographiques chapitre II.....	26
III.1 Introduction	30
III.2 Historique	30
III.3 Classification botanique	31
III.4 Structure générale de la plante.....	31
III.5 Description morphologique des différentes parties de la plante.....	32
III.6 Composition chimique.....	34
III.6.1 Composition chimique de la fleur	34
III.6.2 composition chimique des cladodes	34
III.6.3 composition chimique de pulpe	35
III.7 Utilisation de la figue de barbarie.....	35
III.8 Utilisation de FB en traitement des eaux usées	36
III.9 Conclusion	37
Références bibliographiques chapitre III.....	38
IV.1 Objectif de travail.....	42
IV.2 Présentation de site de travail.....	42
IV.3 Échantillonnage.....	43
IV.3 Matériels et produits utilisés	43
IV.3.1 Produits utilisés	44
Analyse physico-chimique	44
Analyse bactériologique	44
IV.4 Appareillages.....	44
IV.5 Préparation de bio-flocculant	47
IV.5.1 Récolte de la plante	47
IV.5.2 Mode opératoire	47

IV.6 Traitement physico-chimique.....	48
IV.6.1 Détermination de la dose optimale de coagulant	48
IV.6.2 Détermination de la dose optimale de bio-floculant	49
IV.6.3 Détermination de pH optimale	49
IV.7 Plan d`expériences	49
IV.7.1 Étapes d`une étude	50
IV.7.2 Les plans de Box-Behnken.....	50
IV.7.3 Réalisation d`étude.....	51
IV.7.4 Mesure du DCO, DBO ₅	51
IV.8 Analyse bactériologique.....	53
IV.8.1 Mode d`échantillonnage.....	53
IV.8.2 Méthode d`analyse	53
V.1 Traitement physico chimique	58
V.1.1 Caractéristiques des eaux usées brutes	58
V.1.2 Détermination de la dose optimale du coagulant	58
V.1.3 Détermination de la dose optimale du bio-floculant« Jus de figue de barbarie »	59
V.1.4 Détermination de la dose optimale du bio-floculant« poudre »	59
V.1.5 Détermination de pH optimale	60
V.1.6 Mesure de DCO	60
V.1.7 Mesure de DBO ₅	61
V.2.Étude par Minitab	61
V.2.1 Construction du plan.....	62
V.2.2 Modélisation de la réponse.....	62
V.2.3 Résultats expérimentaux et interprétation	62
V.2.4 Optimisation de réponse	64
V.2.5 Graphique de réponse de surface.....	66
V.3. Analyses bactériologiques	67
Conclusion générale	69

Liste des abréviations :

BCPL	bouillon lactosé au Bromo Crésol
CE	Conductivité électrique(mS/cm)
CF	Coliformes Fécaux
CT	Coliformes Totaux
DBO	Demande biochimique en oxygène carbonée en 5 jours(mg/l)
DCO	Demande Chimique en Oxygène(mg/l)
FB	Figue de Barbarie
HCl	Acide Hydrochlorique
M	Masse molaire de l'espèce considérée (g/mol)
MES	Matière en suspension
MM	Matière organique
MO	Matière minérale
MS	Matière sèche
NaCl	Chlorure de sodium
NPP	Méthode du nombres plus probable
OFI	Opuntia ficus-indica
pH	Potentiel Hydrogène
PPm	Partie par million
SAR	Sodium Absorption Ratio (Rapport d'adsorption du sodium).
SFB	Sélénite Cystéine
STEP	Station d'épuration des Eaux Usées
UTN	Unités de turbidité néphélométrique

Listes des figures:

Figure I.1: Schéma représentatif des étapes de traitement dans la station d'épuration des eaux usées..11	
Figure II.1: Temps de décantation de différentes particules d'après la loi de STOKES 17	17
Figure II.2: Dimensions de diverses particules rencontrées dans les eaux..... 18	18
Figure II.3: Double couche d'une particule colloïdale. 19	19
Figure II.4: Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion... 19	19
Figure II.5: Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale..... 21	21
Figure II.6: Variation de l'énergie potentielle en fonction de la distance..... 20	20
Figure II.7: Principe de floculation 24	24
Figure III.1: Plante de figuier de barbarie. 30	30
Figure III.2: Le figuier de barbarie : a) la plante, b) les cladodes, c) les fleurs, d) le fruit 32	32
Figure III.3: Détail de l'Opuntia Ficus-indica Miller. 33	33
Figure III.4: Schéma d'une coupe Transversale de la raquette D'opuntia 34	34
Figure IV.1: La station de traitement ONA..... 42	42
Figure IV.2: Localisation d'Office National de l'Assainissement (ONA)..... 43	43
Figure IV.3: Eau usée..... 41	41
Figure IV.4: Le jar test. 45	45
Figure IV.5: Un turbidimètre..... 43	43
Figure IV.6: Conductimètre. 45	45
Figure IV.7: pH mètre. 45	45
Figure IV.8: Balance électronique..... 46	46
Figure IV.9: Étuve. 46	46
Figure IV.10: Un broyeur..... 46	46
Figure IV.11: Tamis. 46	46
Figure IV.12: DBO mètre..... 47	47
Figure IV.13: Thermoréacteur..... 47	47
Figure IV.14: Photo Flex..... 47	47
Figure IV.15: Étapes de préparation du Jus de cactus..... 48	48
Figure IV.16: Étapes de préparation de la poudre..... 48	48
Figure IV.17: Schéma de la démarche associée à un plan d'expériences. 50	50
Figure IV.18: Schéma représentant le processus général d'une étude de plan d'expériences. 50	50
Figure IV.19: Matrice d'expériences pour un plan. 51	51
Figure IV.20: Étapes de réalisation d'une surface de réponse sur Minitab..... 51	51

Figure IV.21: Les bouteilles de test, portée de mesure et facteurs DBO.	52
Figure IV.22: Tubes de DCO.	52
Figure IV.23: Recherche et dénombrement des coliformes.	54
Figure IV.24: Recherche des streptocoques.	55
FigureIV.25: Recherche des salmonelles dans l'eau.....	72
FigureV.1: Eau usée avant et après traitement.	61
FigureV.2: Droites d'Henry	64
FigureV.3: Graphique de contour de Turbidité, flocculant et coagulant « Jus ».	65
FigureV.4: Graphique de contour de Turbidité, flocculant et coagulant pour la poudre.	65
FigureV.5: Diagramme surface de réponse (Jus).	66
FigureV.6: Diagramme surface de réponse (Poudre).	66
FigureV.7: virage de couleur de BCPL.	67
FigureV.8: Lecture visuelle des résultats.	67
FigureV.9: Pré-enrichissement sur SFB.	68
FigureV.10: Enrichissement et isolement sur le gélose Hektoen.	68

Listes des tableaux:

Tableau I.1:Analyse des paramètres et valeurs des contaminants dans les eaux domestiques...	4
Tableau I.2: Normes de rejets internationales.	8
Tableau I.3: Normes de rejets dans un milieu récepteur.	9
Tableau I.4: Étapes de traitement des eaux usées.	10
Tableau II.1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer.	22
Tableau II.2: les types des flocculants	25
Tableau III.1: Classification botanique de figuier de barbarie.	31
Tableau III.2: Composition moyenne de la fleur de la figue de barbarie.	34
Tableau III.3: Composition chimique des cladodes.	35
Tableau III.4: Composition physico-chimique et minérale de la pulpe de figue de barbarie...	35
Tableau III.5: Utilisation des différentes parties d'OFI.	36
Tableau IV.1: Principaux mesures pour la caractérisation des eaux usées.	43
Tableau IV.2: Matériels utilisés pendant l'étude.....	43
Tableau IV.3: Étapes de coagulation floculation par un jar test.	44
Tableau IV.4: Classes de turbidité usuelles.....	45
Tableau IV. 5: Étapes de dénombrement des coliformes.	53
Tableau IV.6: Étapes de recherche des streptocoques.....	55
Tableau IV.7: Tableau représentant les étapes d'une Recherche des salmonelles.....	56
Tableau V.1: Valeurs de turbidité pour différentes concentrations de coagulant.	58
Tableau V.2: Détermination de la dose optimale du jus par la mesure de turbidité.	59
Tableau V.3: Détermination de la dose optimale du poudre par la mesure de turbidité.	59
Tableau V.4: pH optimale.	60
Tableau V.5: Valeur de DCO pour chaque échantillon.....	60
Tableau V.6: Mesure de DBO ₅	61
Tableau V.7: Facteurs et domaine d'étude.	62
Tableau V.8: Plan de box-behnken.	62
Tableau V.9: Analyse de la variance pour le jus.	63
Tableau V.10: Analyse de la variance pour la poudre.	63
Tableau V.11: Résultats de l'analyse bactériologique.	67

Introduction générale :

L'eau tient une place particulièrement importante dans notre vie, elle est utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, l'industrie et l'hygiène, malheureusement est confrontée à des défis majeurs tels que la raréfaction et la pollution.

La pollution de l'eau est un problème environnemental très grave qui est toute les modifications chimiques, physiques ou biologiques de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants la consommant. Dans les pays développés et ceux en voie de développement, la qualité de cet élément vital est en détériorations à cause des déchets des industries chimiques déversés dans la nature.[1] Le traitement des eaux usées est un procédé qui vise à éliminer cette pollution afin de réduire la pollution et préserver notre environnement. Pour ce faire on procède à une série de traitement à savoir la coagulation, floculation, décantation, filtration.

Le premier traitement à faire est la coagulation floculation c'est une étape essentielle de traitement des eaux usées dans les stations d'épuration (STEP) qui consiste à enlever la turbidité, pour ce type de traitement on utilise des produits naturels ou de synthèse qu'on appelle coagulants ou flocculants.

Avec l'invasion des produits chimiques, leurs accessibilités, ainsi que leurs performances, les produits naturels sont moins en moins utilisés, on signale un danger de ces produits chimique à cause de son effet toxique sur la santé, l'environnement et son coût élevé, ce qui a poussé à trouver une alternative à ce problème.

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

Notre travail est basé donc sur la valorisation d'un bio flocculant utilisé dans le domaine de traitement des eaux, c'est le figue de barbarie, dont l'objectif est de tester son efficacité en coagulation floculation, ce produit est utilisé sous deux formes un jus et poudre de cactus extraits des raquettes. Des essais ont été réalisés afin de réduire la turbidité en variant la concentration de ces produits à différents pH. Les résultats obtenus ont été optimisés à l'aide du logiciel Minitab.

Partie théorique

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

I.1.Introduction:

Nombreuses maladies qui affectent la population de la planète sont liées en partie à l'insuffisance de l'évacuation des eaux usées domestiques et industrielles. Ces dernières sont devenues de plus en plus énormes devant le développement industriel, l'essor économique, l'expansion démographique et la grande densité des zones urbaines.

Ces eaux usées constituent en absence d'un traitement un danger croissant pour la santé humaine et le milieu naturel à cause de leurs charges en matières chimiques toxiques et de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites...). Elles constituent donc des menaces permanentes pour la santé aussi bien humaine qu'animale.

Selon l'OMS, 80% des maladies qui affectent la population de la planète sont liées à la pollution des eaux. En effet, c'est pourquoi, le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau notamment les eaux usées paraient de plus en plus indispensable. [2]

I.2.Définition des eaux usées :

Les eaux usées sont un mélange hétérogène de substances minérales organiques et toxiques, dans lequel des substances étrangères pénètrent et perdent leurs propriétés chimiques, physiques et biologiques, ce qui les rend impropres à l'utilisation par les humains, les Animaux et même les plantes. C'est un déchet liquide produit par une personne pour ses activités domestiques, agricoles et industrielles.[3]

I.3. L`origine des eaux usées :

Les eaux usées proviennent principalement de quatre sources :

I.3.1. Origine domestique :

Il s'agit des eaux polluées par toutes les activités domestiques, c'est-à-dire à la maison. On peut y distinguer :

- les eaux grises : il s'agit des eaux de douche et de cuisine. Elles sont généralement chargées de graisses, de tensioactifs (savons, lessive), de solvants, de restes alimentaires, etc.
- les eaux noires : il s'agit des eaux des toilettes. elles sont composées de matières fécales, d'urine et de papier.

Dans un projet d'assainissement d'une zone, il est facile d'estimer la pollution de ces eaux domestiques dès que l'on connaît le nombre d'habitants.[4]

Ce qui suit zoom sur la pollution journalière par un habitant :

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Tableau I.1: Analyse des paramètres et valeurs des contaminants dans les eaux domestiques.

Paramètre	Valeur
MO et MM (en suspension dans l'eau sous forme des particules).	90 grammes
Matières oxydables	57 grammes
Matières azotées.	15 grammes
Phosphore (issus des détergents).	4 grammes
Résidus des métaux lourds (Plomb, Cadmium, Arsenic, Mercure),	0.23 grammes
Des composées (Fluore, Chlore, Brome, Iode).	0.05 grammes
Des germes	1 à 10 milliards /100 ml

- pour une personne : utilisant 150 à 200 litres d'eau en une journée.[5]

I.3.2. Origine industrielle :

Évidemment, il s'agit des eaux polluées par les industries. Leurs caractéristiques sont très variables puisque la pollution produite dépend de l'activité de l'usine :

- Agroalimentaire. Papeterie.
- Pétrochimie. Textile.

En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir :

- des produits toxiques.
- des solvants.
- des métaux lourds.
- des micropolluants organiques.
- des hydrocarbures... [6]

I.3.3. Origine agricole :

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux.

Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation)
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides...).[7]

I.3.4. Origine pluviale :

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours), [8] elles contiennent des impuretés.

En effet, elles peuvent être polluées par la pollution de l'air (exemple : pluies acides). De plus, une fois qu'elles touchent les toits et sols, elles ruissellent et emportent avec elles ce qu'elles croisent. Ainsi elles peuvent dégrader la qualité des cours d'eau. [9]

I.4. Caractéristiques des eaux usées :

Les eaux usées sont caractérisées selon leur composition physique, biologique et chimique. Vu la diversité des matières polluantes, les caractéristiques des eaux usées ne sont pas souvent prises en considération pour chaque substance. Ainsi, on réunit les matières qui ont des effets de pollution qui se ressemblent en classes de caractéristiques ou de polluants.

I.4.1. Les paramètres physiques :

- **La couleur** : les eaux fraîches doivent être brunes et jaunâtres, cependant, elles peuvent devenir noires avec le temps.
- **Les matières en suspension MES** : elles sont solides, visibles à l'œil nu et insolubles en suspension dans un liquide.
- **La température** : pour les eaux usées résiduaires, leur température est corrélée à la température extérieure.
- **Turbidité** : les eaux usées ont une turbidité plus élevée à cause des matières en suspension.

I.4.2. Les caractéristiques chimiques :

Les eaux usées comprennent divers produits chimiques ayant différentes formes :

- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : cela consiste à mesurer la quantité de matières organiques qui se trouve dans les eaux usées selon l'oxygène qui est nécessaire pour les oxyder.
- **Azote** : on le mesure sous ses diverses formes (nitrate, nitrite, ammoniac et azote organique).
- **Phosphore** : on le mesure sous sa forme organique et minérale, le phosphore total.
- **Chlorures (Cl⁻)**.
- **Sulfates (SO₄⁻²)**.
- **Métaux lourds**.

I.4.3. Les caractéristiques biologiques :

- Demande biochimique en oxygène (DBO) : c'est la quantité d'oxygène qui est nécessaire à la stabilisation de la matière organique au travers de micro-organismes.
- Huile et graisse : elles proviennent de produits pétroliers et de déchets alimentaires.
- Vie microbienne dans les eaux usées : bactéries, protozoaires, champignons, virus, algues, rotifères, nématodes.[10]

I.5. La pollution des eaux :

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie.

I.5.1.Définition :

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique ; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels.[11]

I.5.2.Classification des polluants dans la pollution des eaux usées :

I.5.2.1.Pollution physique :

IL s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble .[12]

Polluants :

- Métaux lourds (mercure, plomb...).
- Particules organiques (matières fécales, déchets alimentaires, fibres de papier, matière végétale).
- Particules inorganiques (sable, résidus de caoutchouc de pneus, céramiques).
- Gaz (sulfure d'hydrogène, dioxyde de carbone, méthane)
- Micro plastiques (billes de polyéthylène, polyester et polyamide).[13]

I.5.2.2.Pollution chimique :

Est créé généralement par les déversements des établissements industriels. Elle est plus ou moins nocive, selon la nature des substances dissoutes dans l'eau.[14]

Polluants :

- Matière organique soluble (urée, sucres de fruits, produits pharmaceutiques)
- Matière inorganique soluble (ammoniac, sel de mer, cyanure, hydrogène sulfuré, thiocyanates, thiosulfates).

- Macro-solides (serviettes hygiéniques...).
- Émulsions (peintures, huiles émulsionnées).
- Toxines (pesticides, herbicides).[15]

I.5.2.3.Pollution minérale :

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux.

Polluants :

- Métaux lourds.
- Les éléments minéraux nutritifs.[16]

I.5.2.4.Pollution microbiologique :

La contamination microbienne de l'eau entraîne une grave contamination par de nombreux agents. L'importance de la pollution de l'eau dépend aussi des conditions d'hygiène de la population, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. On parle de contamination bactérienne, virale ou parasitaire. [17]

Polluants :

- Virus (hépatite A, rotavirus...).
- Bactéries (Salmonella...).
- Protozoaires (Entamoeba histolytica...).
- Parasites tels que les helminthes et leurs œufs (Ascaris), Ancylostoma (ankylostome) et Trichuris (trichocéphale).[18]

I.5.2.5.Pollution azotée :

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riche en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires.

Polluants :

- L'azote existe sous deux formes : la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 ou NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

I.5.2.6. Pollution phosphorée :

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

Polluants :

- Sont principalement des composés de phosphore, souvent sous forme de phosphates.[19]

I.6. Normes de rejets :

I.6.1. Normes internationales :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter.

Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi.

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau I.2: Normes de rejets internationales.

Caractéristiques	Unité	Normes utilisées par OMS
pH	-	6.5-8.5
DCO	mg/l	<90
DBO5	mg/l	<30
MES	mg/l	<20
NH₄⁺	mg/l	<0.5
NO₃⁻	mg/l	<1
P₂O₅	mg/l	<1
NO₂	mg/l	1
Température	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Incolore

I.6.2. Normes de rejets Algérienne :

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau suivant : [20]

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Tableau I.3: Normes de rejets dans un milieu récepteur.

Paramètre	Unité	Concentration maximale admissible
Température	°C	<30
pH	-	6.5-8.5
MES	mg/l	35
CE	mS/cm	3
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
SAR= 0-3 CE		0.2
3-6		0.3
6-12	mS/cm	0.5
12-20		1.3
20-43		3
Azote	mg/l	30
Phosphate	mg/l	0.2
Métaux lourds		
Fer		3
Cuivre		0.5
Zinc		3
Manganèse	mg/l	1
Chrome		0.5
Nickel		0.5
Cadmium		0.2
Plomb		0.5
Coliforme Fécaux	Nombre de CF/100ml	1000CF/100ml
Nématodes intestinaux	Oeufs /l	Absence

Quand les eaux usées ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, ou les normes de rejets ne sont pas respectés, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine, dans ce cas il nécessite d'un traitement des eaux usées. [21]

I.7. Stratégies de traitement des eaux usées :

L'utilisation d'un système de traitement biologique ou chimique, des installations simples ou sophistiquées, et une purification de l'eau du même objet.

Le recours au traitement de l'eau consiste à dépolluer l'eau afin qu'elle puisse considérée comme «l'eau propre » dans les activités humaines, afin de la rejeter dans le milieu naturel qui la reçoit.

I.7.1. Les objectifs recherchés par l'analyse des eaux :

L'analyse des paramètres des eaux usées permet de vérifier que les objectifs recherchés par le traitement de l'eau sont atteint :

- Recycler et récupérer les éléments valorisables des eaux usées

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

- Protéger la santé écologique du milieu récepteur
- Protéger la santé publique des populations qui entrent en contact avec les effluents

L'analyse des eaux usées permet, entre autres :

- de concevoir et dimensionner des stations d'épurations des eaux usées (STEP) appropriées pour respecter les normes de rejet.
- De surveiller et d'évaluer l'efficacité des procédés de traitement dans les STEP.
- D'étudier et de concevoir des installations pour la réutilisation des eaux usées traitées.
- D'évaluer l'impact environnemental [22].

Lorsque ces objets sont touchés, une chaîne de traitement complexe devrait être réelle, comprenant de nombreuses nouvelles primaires et secondaires.

I.7.2. Les étapes de traitement des eaux usées :

Tableau I.4: Étapes de traitement des eaux usées.

Étapes	
Prétraitement	Dégrillage, tamisage : une grille puis des tamis filtrent les plus gros déchets.
	Dessablage : par décantation, les sables contenus dans l'eau se déposent sur le fond des bassins.
	Dégraissage : par injection de bulles d'air dans les bassins, on élimine les graisses contenues dans l'eau, qui remontent en surface.[23]
Traitement primaire	La décantation : consiste à faire traverser un bassin par l'effluent à faible vitesse, de façon à ce que les matières en suspension puissent décanter. Le processus de décantation réside dans l'utilisation des forces de gravité pour séparer une particule de densité supérieure à celle du liquide jusqu'à une surface ou une zone de stockage.[24]
	La flottation : est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient (l'eau).[25]
	Coagulation-floculation : cet élément sera abordé en détails dans le deuxième chapitre.
Traitement secondaire (Traitement biologique).	<p>Implique l'utilisation de bactéries (de micro-organismes et d'autres agents biologiques) pour décomposer les contaminants biodégradables jusqu'à des niveaux sûrs permettant à l'eau d'être libérée ou réutilisée.</p> <p>Il existe deux principaux types de procès de traitement biologique des eaux usées : Aérobie Anaérobie.</p> <p>Contrairement au traitement anaérobie, le traitement aérobie des eaux usées nécessite l'utilisation d'oxygène.[26]</p>

Traitement tertiaire

Le traitement a pour but d'éliminer les nutriments résiduels, comme le phosphore et l'azote, non éliminés lors des traitements primaires et secondaires.

Les méthodes incluent l'utilisation de **clarifloculateurs** ainsi des techniques chimiques et physiques.

Dans certains cas, **un traitement plus approfondi** peut être nécessaire pour respecter les normes strictes de rejet.[27]

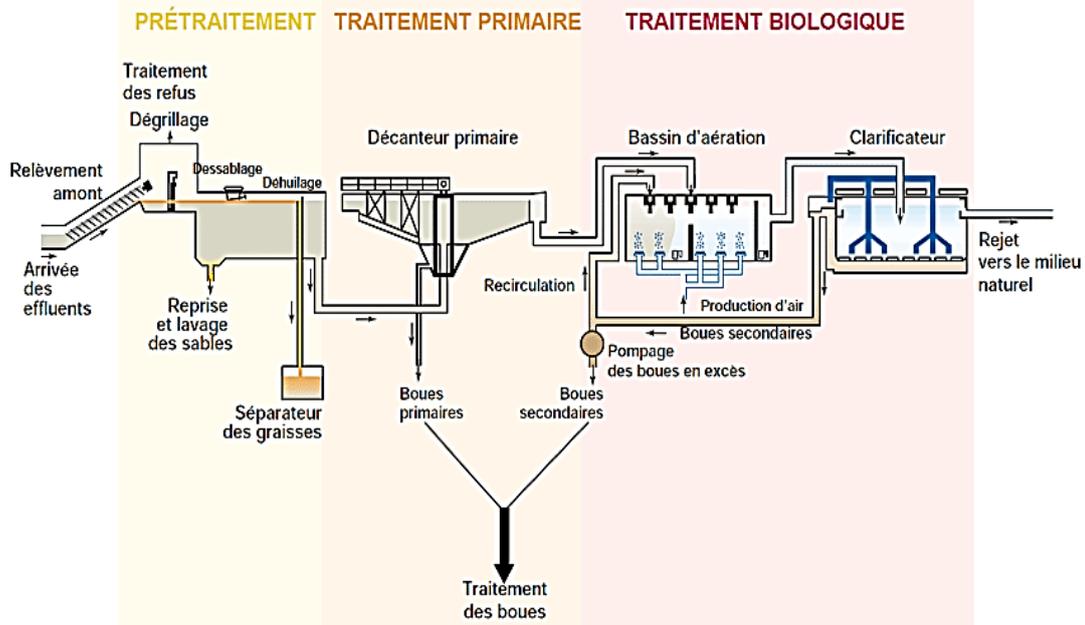


Figure I.1: Schéma représentatif des étapes de traitement dans la station d'épuration des eaux usées.[28]

I.8. Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a souligné l'importance cruciale d'une gestion efficace des eaux usées et, la gestion des eaux usées en tant que question cruciale pour la conservation de l'environnement et la santé publique. Nous avons exploré les diverses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des eaux usées, l'origine des eaux usées et les étapes de traitement, allant du prétraitement au traitement tertiaire, selon les normes de rejets démontrent la complexité et la nécessité d'approches sophistiquées pour assurer la purification de l'eau.

Références bibliographiques chapitre I :

[1] Baaisa.F.Z, Redjouh.S (2019). Charge métallique dans les eaux usées de chaâbet Roba [Mémoire de master] Université Mohamed Khider de Biskra.

[2] Bouguenoun.W (2020). Microbiologie de l'eau, Microbiologie de l'environnement [Document de cours] Université de Biskra Consulté le 06 mars 2024, disponible sur :

http://elearning.univbiskra.dz/moodle2019/pluginfile.php/31612/mod_resource/content/1/Cours%20Les%20eaux%20us%C3%A9es.pdf .

[3] Benttayeb.C, Amira.I (2021). Optimisation de quelques paramètres de pollution des eaux usées en utilisation un biomatériau [Mémoire de master], Université Kasdi Merbah Ouargla.

[4] Maji Solutions. Traitement des boues de vidange et des eaux usées. Consulté le 11 mars 2024, disponible sur : <https://maji-solutions.com/fr/les-eaux-usees>.

[5] Cieau. Qu'est-ce que les eaux usées ? Consulté le 11 mars 2024, disponible sur : <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quest-ce-que-les-eaux-usees/>.

[6] Tebib.F (2020). Évaluation des performances épuratoires de la STEP de Groupement Reggane Nord GRN [Mémoire de master], Université Ahmed Draia Adrar.

[7] Bouaicha.A, Killani A (2017). Optimisation des paramètres de la récupération du phosphate des eaux usées et sa valorisation dans la synthèse de l'acide phosphorique de Bejaia, Mines et Géologie [mémoire de master], Université Abderrahmane Mira, Bejaia.

[8] Gharbi.I, G.N (2019). Étude physico-chimique par boue activée et par électrocoagulation et Application aux eaux usées de Guelma [Mémoire de master], Université 8 Mai 1945, Guelma.

[9] Société d'ingénierie (2020). Les types d'eaux usées : définitions et caractéristiques, consulté le 05/03/2024, disponible sur : <https://maji-solutions.com/fr/a-propos/>.

[10] BELAASS (2023). Eaux usées : caractéristiques, types et assainissement. Consulté le 06 mars 2024, disponible sur : <https://bel-assainissement-service.fr/lassainissement-et-le-traitement-des-eaux-usees/>.

[11] Adjeroud.K (2015). Étude physico-chimique et organique des eaux usées de la ville d'Ain Beida, et leur impact sur l'irrigation [Mémoire de master], Université Larbi Ben M'hidi– Oum el Bouaghi.

[12] Adjeroud.K (2015). Étude physico-chimique et organique des eaux usées de la ville d'Ain Beida, et leur impact sur l'irrigation [Mémoire de master], Université Larbi Ben M'hidi– Oum el Bouaghi.

[13] Gatidou.G, Thomaidis.N.S, Stasinakis. A.S, Lekkas. T. D (2019). Revue sur l'apparition et le devenir des microplastiques dans les usines de traitement des eaux usées. Journal of Hazardous Materials, 367, 504-512.

[14] Baha.S,Bensari.F (2014). Épuration des eaux usées domestiques par les boues activées : Étude de la performance de la STEP d`Ain Houtz [Mémoire de master], Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[15] Gatidou.G, Thomaidis.N.S, Stasinakis. A.S, Lekkas. T. D (2019). Revue sur l'apparition et le devenir des microplastiques dans les usines de traitement des eaux usées. Journal of Hazardous Materials, 367, 504-512.

[16] Baha.S,Bensari.F (2014). Épuration des eaux usées domestiques par les boues activées : Étude de la performance de la STEP d`Ain Houtz [Mémoire de master], Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[17] Fechkeur.I.A, Fekir.M.F (2023). Contrôle de qualité des eaux usées traitées au niveau de la STEP de Mostaganem [Mémoire de master], Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.

[18] Organisation mondiale de la santé (2006). Lignes directrices pour une utilisation sûre des excréments d'eaux usées et des eaux grises (31 p). Genève, Suisse : Organisation mondiale de la santé. ISBN 978-9241546850.

[19] Merah.Y, Khelifi.R (2022). Traitement des eaux turbides par un bio-floculant figue de barbarie [Mémoire de master], Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.

[20] Mehammedia.A, Touati.T.K (2020). Évaluation de l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Guelma [Mémoire de master], Université 08 Mai 1945, Guelma.

[21] Djeddi.H (2007). Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines [Mémoire de Master], Université Mentouri, Constantine.

[22] 1H2O3. Paramètres des eaux usées : analyse et exemples. Consulté le 28/02/2024, Disponible sur : 1H2O3 - Paramètres des eaux usées.

[23] Josmose. Les eaux usées et leur traitement. Consulté le 05/03/2024, disponible sur : Josmose - Les eaux usées et leur traitement.

[24] Chelghoum.N, Yagoub.H (2020). Dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées – Ain Moussa Oum el Raneb- Ouargla [Mémoire de master], Université Kasdi Merbah, Ouargla.

[25] Lakhal.S, Maghlout.C, Merzougui.R (2020). Évaluation de l'effet génotoxique par le test d'Allium cepa des éventuels perturbateurs endocriniens présents dans les eaux usées de la station de Guelma [Mémoire de master], Université 8 Mai 1945 Guelma.

[26] Traitement biologique des eaux usées : aérobie et anaérobie(2024), consulté le 06 mars2024, disponible sur : <https://fr.hach.com/industries/wastewater/biological-treatment>.

[27] Laurence SARP (2023). Les méthodes de traitement des eaux usées expliquées en détail. Consulté le 06 mars 2024, disponible sur : <https://www.sarp-assainissement.fr/actualites/les-methodes-de-traitement-des-eaux-usees-expliquees-en-detail/>.

[28] Ausseil.A, et al (2004). Schéma général d'une installation courante avec traitement par boues activées. ResearchGate disponible sur : [Schéma général d'une installation courante avec traitement par boues / Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#).

Chapitre II :

Processus de coagulation-floculation en traitement des eaux

II.1.Introduction :

L'un des objectifs majeurs du traitement de l'eau, c'est de la clarifier, c'est-à-dire d'éliminer les matières en suspension qui la troublent. La décantation préliminaire peut contribuer à un degré non négligeable à cette clarification, mais elle ne supprime pas toutes les matières aptes à se sédimenter, elle n'élimine ni les colloïdes ni les matières qui confinent au domaine colloïdal. [1]

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par ces particules colloïdales qui sont très petites, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Puisque leur concentration est très stable, ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres [2], pour ce faire, on a souvent recours aux procédés physico-chimiques pour modifier l'état initial des corps présents dans l'eau et créer des conditions favorables à leur décantation, d'où la technique de la coagulation-floculation [3].

II.2.Généralité sur la coagulation-floculation(CF) :

La coagulation-floculation est un procédé qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés solides grâce à l'augmentation des interactions entre particules en suspensions. Une déstabilisation des fines particules en suspension peut faciliter leur agglomération grâce à un sel métallique trivalent. En neutralisant totalement ou partiellement les charges négatives sur ces particules, les interactions de van der Waals se retrouvent prédominantes, ce qui permet une agrégation des matières fines en suspension, puis leur floculation [4].

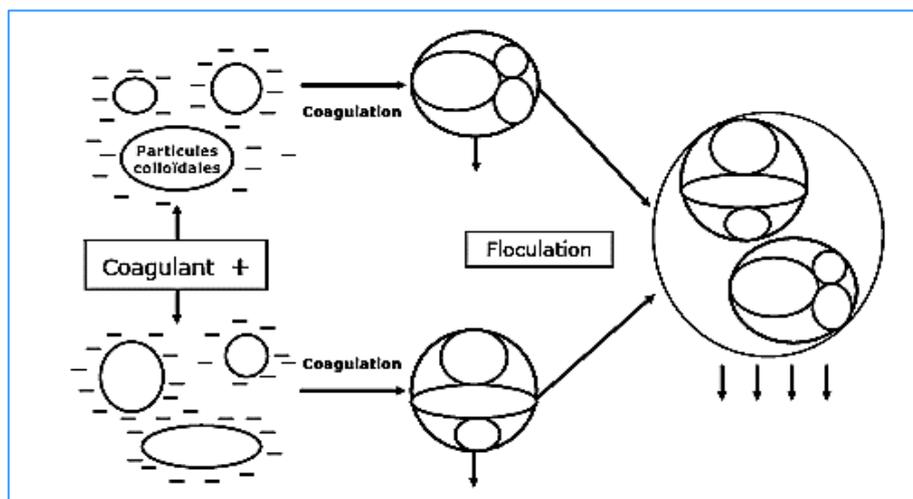


Figure II.1 : Schéma illustrant le procédé de coagulation-floculation[5].

II.2.1 Caractéristiques des particules à enlever :

Les composés retrouvés dans l'eau sont généralement regroupés dans trois catégories : les matières en suspension (MES), les matières colloïdales et les matières dissoutes.

1. **Les matières en suspension** : sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1 μm leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité.
2. **Les matières colloïdales** : sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est faible. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre de 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1.1, les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 666 000 années pour décanter de un mètre [6].
3. **Les matières dissoutes** : quant à elles, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre, elles décantent donc encore plus lentement [7].

Diamètre de particule		Type de particule	Temps de décantation pour 1 m d'eau	Surface spécifique $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$	
mm	μm				
10	10^4	Gravier	1 seconde	$6 \cdot 10^2$	décantations MES
1	10^3	Sable	10 secondes	$6 \cdot 10^3$	
10^{-1}	10^2	Sable fin	2 minutes	$6 \cdot 10^4$	
10^{-2}	10	Limon	2 heures	$6 \cdot 10^5$	
10^{-2}	10	Kyste de protozoaire	20 heures	$6 \cdot 10^5$	Colloïdes
10^{-3}	1	Argile	2 jours	$6 \cdot 10^6$	
10^{-3}	1	Bactérie	8 jours	$6 \cdot 10^6$	
10^{-4}	10^{-1}	Colloïde	2 ans	$6 \cdot 10^7$	
10^{-5}	10^{-2}	Colloïde	20 ans	$6 \cdot 10^8$	

Figure II.2: Temps de décantation de différentes particules d'après la loi de STOKES.

La figure montre donc que les colloïdes sont des **particules** :

- impossible à décanter naturellement.
- ayant une surface spécifique très élevée qui régit la **stabilité de leur suspension dans l'eau**. [8]

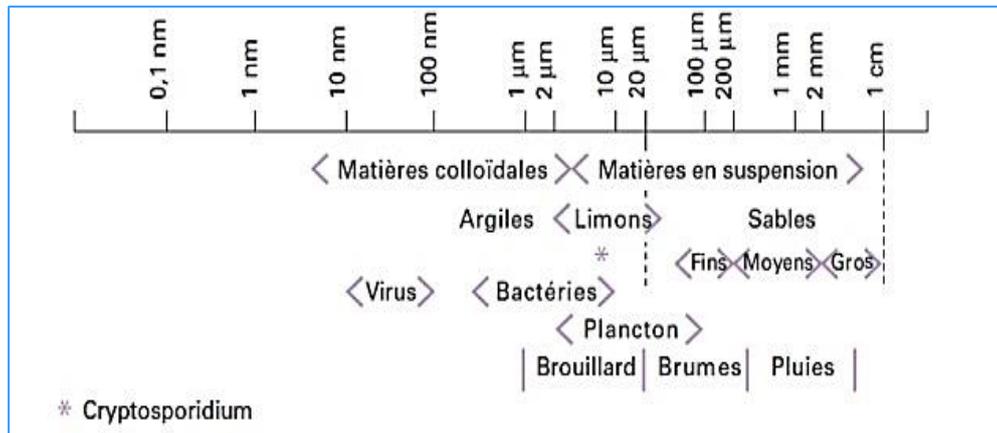


Figure II.3: Dimensions de diverses particules rencontrées dans les eaux [9].

II.2.2 Types de colloïdes :

Les particules colloïdales sont soit hydrophiles, soit hydrophobes.

- **Les particules hydrophiles déshydratées** se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourée de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules.
- **Les particules hydrophobes** ne sont pas entourées de molécules d'eau ; leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée, on doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques.

Les particules hydrophobes sont en général des particules de matières inorganiques, alors que les particules hydrophiles sont des particules de matières organiques. En fait, peu de particules sont exclusivement hydrophobes ou hydrophiles ; on retrouve plutôt des particules hydratées à différents degrés [10].

II.2.4 Stabilité des particules colloïdales :

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer. Elles demeurent donc stables.

Une particule typique est représentée dans (Fig. II.4).

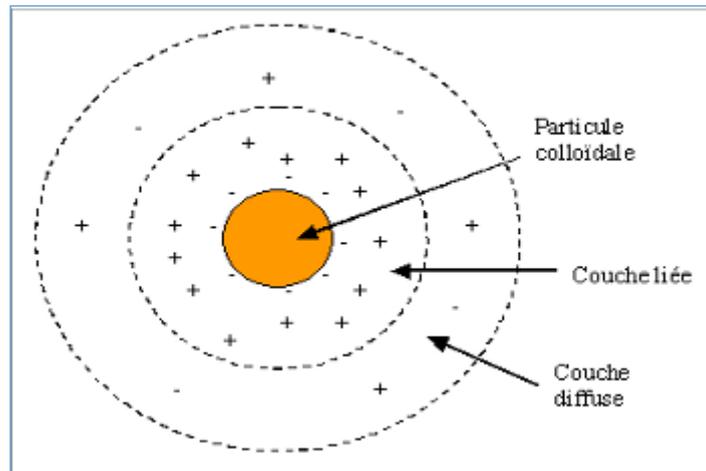


Figure II.4: Double couche d'une particule colloïdale.

Les colloïdes sont soumis à deux types de force de directions opposées :

- **Force d'attraction gravitationnelle de Van Der Walls (FA)** : liée à la surface spécifique et à la masse des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu.
- **Force de répulsion électrostatique (FR)** : liée aux charges superficielles des colloïdes et donc à leur potentiel zêta (ζ).

- Si $FA > FR$, l'agrégation se produit.

- Si $FR > FA$, il y a principalement la répulsion entre les particules colloïdales.

L'énergie totale d'interaction (E) entre les particules colloïdales est la somme de l'énergie répulsive (E_r) due au potentiel électrique et l'énergie attractive (E_a) (Fig. II.5) [11]

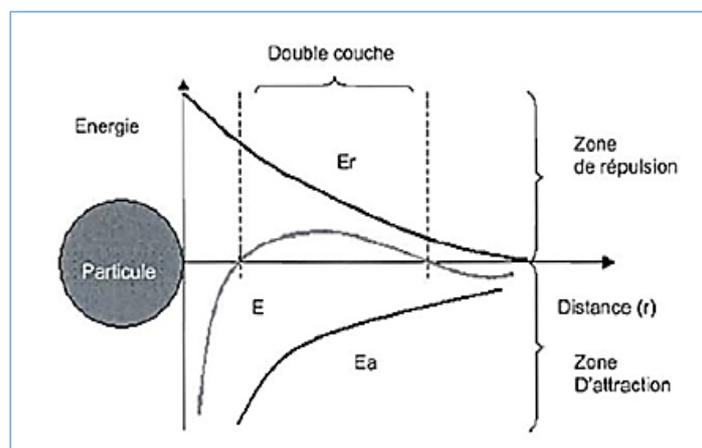


Figure II.5: Effet de la distance entre deux particules colloïdales sur la force de répulsion.

II.2.4.1 Théorie de double couche :

Pour expliquer la grande stabilité des colloïdes, on fera appel à la théorie de la double couche électrique.

Lorsqu'une particule colloïdale est suspendue dans un milieu polaire qui contient des ions, elle attire électro statiquement des ions de charge opposée. Il s'ensuit qu'aux abords de la particule chargée, les charges électriques portées par des ions se répartissent en deux couches. Diverses théories ont été avancées [12].

1. **La théorie de Helmholtz** : Une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).
2. **La théorie de Gouy-Chapman** : La couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à plus grande distance (couche diffuse).
3. **La théorie de Stern** : Qui combine les deux précédentes et considère la formation d'un double couches : la première formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant directement celui-ci. le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis diminue plus lentement à mesure que la distance augmente jusqu'à son annulation au point ζ (Point isoélectrique) [13]

❖ **Potentiel électrocinétique Zêta :**

Le potentiel électrostatique diminue à mesure où l'on s'éloigne de la particule. Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Lorsqu'un champ électrique est appliqué, les particules ayant un potentiel Zêta négatif se déplacent en direction de l'électrode positive. Le potentiel Zêta est important car il définit le comportement électrocinétique des particules et par voie de conséquence leur stabilité dans la solution, l'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations [14].

❖ **Potentiel thermodynamique :**

Encore appelé potentiel de Nernst, Un colloïde se caractérise donc par un potentiels présent à la surface même de ce colloïde mais non mesurable par des méthodes simples [15].

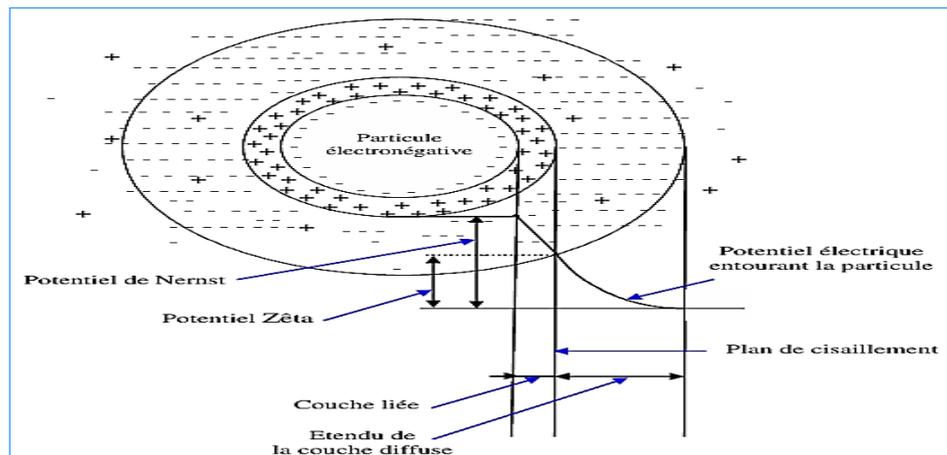


Figure II.6: Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale.

II.3 Mécanisme de coagulation :

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser des particules, on peut obtenir cette déstabilisation par :

II.3.1 Modes de déstabilisation des particules colloïdales :

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leurs agglomérations :

- Compression de la double couche.
- Adsorption et neutralisation des charges.
- Emprisonnement des particules dans un précipité.
- Adsorption et pontage. [16]

II.3.2 Principe de coagulation :

Considérons deux particules colloïdales A et B. Entre ces deux particules, il existe des forces de répulsion électrostatiques, dues à la charge de surface, et des forces d'attraction intermoléculaires, dues aux interactions de Van der Walls. L'énergie potentielle de A et B varie donc en fonction de la distance les séparant. [17]

Dans un premier temps, la coagulation, par un ajout de sels métalliques permet de supprimer les répulsions inter colloïdales : les cations métalliques se lient aux colloïdes et les neutralisent. Les particules colloïdales peuvent désormais se rencontrer. Il existe entre ces deux couches un potentiel électrostatique ou de NERNST, qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde. [18]

Dans la couche liée, le potentiel de NERNST décroît linéairement car les cations constitutifs sont empilés uniformément. En revanche, dans la couche de GOUY, le potentiel électrostatique varie de manière non linéaire, étant donné que la répartition ionique résulte d'un mélange aléatoire de cations et d'anions (la valeur du potentiel à la surface de la couche de

NERNST est appelée potentiel zêta). Les colloïdes étant chargés négativement, ce potentiel est négatif. Dans les eaux naturelles, sa valeur varie de -30 à -35 mV. [19]

On en déduit donc que l'élimination des colloïdes passe par l'annulation du potentiel zêta afin d'annuler les forces de répulsion. [20]

II.3.3 Coagulants usuels :

- Les coagulants sont des produits qui neutralisent ou inversent les charges de surfaces des matières en suspension. [21]
- Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau ci – dessous : [22]

TableauII.1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer.

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium (alun)	$Al_2(SO_4)_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

II.3.5 Coagulants naturels biologiques :

Au fil des ans, les coagulants naturels ont progressivement gagné en importance en tant qu'alternatives potentielles plus écologiques aux produits chimiques minéraux ou synthétiques. Les composés à base de plantes, d'animaux ou de micro-organismes sont les principales sources de coagulants d'origine naturelle. La disponibilité de coagulants d'origine végétale est beaucoup plus élevée que celle d'origine animale.[23]

- **Bio coagulants à base de plantes : *Opuntia focus Indica* (le figuier de barbarie).**

II.3.6 Choix des coagulants : Il est basée sur :

- Large disponibilité.
- Utilisation répandue dans le domaine de traitement des eaux.
- Coût des réactifs.
- Bonne efficacité de coagulation. [24]
- La température de l'eau.
- Les Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique),
- Les Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou matières organiques, par exemple).
- La Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc...).[25].

II.3.7 Facteurs qui influencent sur la coagulation :

a. L'influence du paramètre pH :

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant.

La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. [26]

b. L'influence de la dose de coagulant :

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Une dose de coagulant excessive entraîne une restalinisation des particules et une augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut se déterminer facilement.

c. L'influence de la température :

La température joue un rôle important. En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus, la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons.

d. L'influence de la turbidité :

La turbidité est, elle aussi, 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. La turbidité des eaux de surface est en grande partie due à la présence de particules de glaise dont le diamètre varie de 0.2 à 5µm. Il s'agit donc de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. [27]

e. Influence des conditions de mélange :

Les deux étapes de formation du floc consistent en une phase d'agitation rapide suivie d'une phase d'agitation lente permettant la maturation du floc. Néanmoins, il faut éviter que l'agitation

soit trop intense car elle empêche l'agrégation, ni trop prolongée car elle entraîne la déstabilisation des colloïdes.[28]

II.4 La floculation :

II.4.1 Principe :

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

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de rencontre entre les particules grâce à l'agitation du fluide.[29]

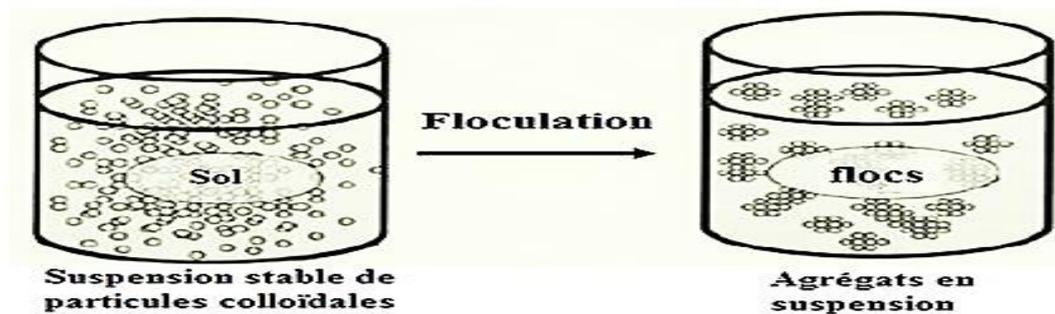


Figure II. 7 : Principe de floculation.[30]

II.4.2 Types de floculation :

On distingue trois types de floculation selon le type de mouvement qui anime les particules dans la suspension :

- a. **Floculation rapide ou pré cinétique (mouvement brownien) :** Les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien qui est fonction de la température de l'eau.
- b. **Floculation lente ou ortho cinétique (brassage mécanique) :** C'est la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contact entre les particules.
- c. **Floculation par entraînement :** Elle se produit dans une solution qui décante quand les grosses particules, tombant plus vite, entraînent les plus petites avec eux [31].

II.4.3 Floculants usuels :

L'utilisation d'un seul coagulant ne permet pas, dans tous les cas, d'obtenir une bonne coagulation floculation. L'utilisation d'un aide-coagulant permet d'améliorer les performances du procédé de coagulation floculation. [32]

Les flocculants sont des produits qui ont des actions inter particules par pontage. Ces flocculants sont pour la plupart constitués de polymères à haut poids moléculaire possèdent des groupes réactifs de charge inverse à celle de la suspension à traiter.[33]

Tableau II.2: les types des flocculants.

Types	Caractérisation	exemple
Flocculants minéraux	-Composés colloïdaux. -Agissent par adsorption soit par neutralisation.	-Silice activée - argiles colloïdales (bentonites) -hydroxydes métalliques a structure polymère (hydroxyde ferrique).
Flocculants naturels (bio-flocculants)	-Des polymères hydrosolubles. -Charge anionique, cationique ou neutre.	-Dérivés amylicés. -Polysaccharides. -alginates.
Flocculants synthétiques	-Dérivés de l'acrylamide Caractère non ionique Fonction amide très polaire.	Ayant pour formule générale : $\begin{array}{c} \text{--- CH}_2 \text{ --- CH ---} \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$

II.4.4 Choix des flocculant :

- Le pH de l'eau à épurer.
- La dose de coagulant.
- La vitesse d'agitation lors de la coagulation.
- La durée de coagulation La dose du flocculant.
- La vitesse d'agitation lors de la flocculation.
- La durée de flocculation. [34]

II.5 Conclusion:

La coagulation-flocculation représente une phase clé du traitement de l'eau. Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail ce procédé et son objectif principal. Nous avons également expliqués les mécanismes complexes qui caractérisent la coagulation-flocculation, ainsi que les conditions nécessaires pour obtenir une clarification efficace, la coagulation-flocculation vise à éliminer les matières colloïdales. En résumé, elle joue un rôle important dans le traitement de l'eau en facilitant l'élimination des particules en suspension et des colloïdes.

Références bibliographiques chapitre II :

- [1] Sefraoui.M (2015). Étude Comparative sur le prétraitement des eaux de mer par ultra filtration Et Coagulation Flocculation [Mémoire de master]. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- [2] MOUCHET, P (2000). Traitement des eaux avant utilisation. Ed. Techniques Ingénieur.
- [3] KETTAB.A (1992). Traitement des eaux, office des publiques universitaires, 1, place centrale de ben-aknoun, Alger.
- [4] Mark,H.F, Bikales C.G, verbergerG.O, Menges.T (1985). Encyclopedia of Polymer Science and Engineering (Vol. 1, pp 20-25), Wiley.
- [5] De León, H.R.H (2006). Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable [thèse de doctorat] INSA de Toulouse.
- [6] Des jardins.C (1999). Simulation et étude en laboratoire de la flocculation lestée (ACTIFLO®) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test [Mémoire de master], École Polytechnique de Montréal.
- [7] Des jardins.C (1999). Simulation et étude en laboratoire de la flocculation lestée (ACTIFLO®) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test [Mémoire de master], École Polytechnique de Montréal.
- [8] Wikipidia (2024). Colloïde . Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Collo%C3%AFde>.
- [9] Hadbi.T (2022). Polycopié de cours en hydraulique urbaine, traitement et dessalement des eaux, Université Hassiba Ben Bouali Chlef.
- [10] Cadot.G (2005). Génie de l'environnement, les traitements de l'eau procèdent physico-chimiques et biologique cours et problèmes résolus, Edition Ellipse.
- [11] Leblalta.M, Aouina.B (2020). Élimination des pesticides par coagulation-flocculation [Mémoire de master], Université Mohamed Boudiaf – Msila.
- [12] Assad.E (2006). Étude du processus de coagulation flocculation du système montmorillonite chitosane dans l'élimination de métaux de transition, [Mémoire de master] Université Québec Montréal.
- [13] Moumeni.M (2015). Traitement des eaux huileuses par coagulation/ flocculation [Mémoire Master] École Nationale Polytechnique.

[14] Siangsanum.V (2010). Procédé hybride : hydrocyclone, coagulation-floculation et flottation pour le traitement de l'eau, Hybrid [Thèse Doctorat], Université de Chulalongkon, Toulouse.

[15] Memento degremont de SUEZ Traitement de l'eau coagulation- floculation Généralités, consulté le 30 -03- 2024, disponible sur : <https://www.suezwaterhandbook.fr/> .

[16] Belkhiar.I (2019). Contribution à l'étude comparative de deux coagulants de la graine de Moringa Oleifera et le sulfate d'aluminium dans le traitement des eaux de surface du barrage de Tichy-Haf et des eaux usées de la STEP de Souk-El-Tenine-Bejaia [Mémoire de master], Université Bejaia.

[17] Cardot.C (2002). Les traitements de l'eau, procédés physico-chimiques et biologiques, Cours et problèmes résolus, Génie de l'environnement, Ed ellipses.

[18] Makhloufi.N.E (2011). Modelisation des paramètres physico-chimiques de la coagulation floculation pour les eaux potables [Mémoire de master] École Nationale Polytechnique ENP, EL Harrech Alger.

[19] Cardot, C. (2002). Les traitements de l'eau, procédés physico-chimiques et biologiques, Cours et problèmes résolus, Génie de l'environnement, Ed ellipses.

[20] Makhloufi.N.E (2011). Modélisation des paramètres physico-chimiques de la coagulation floculation pour les eaux potables [Mémoire de master] École Nationale Polytechnique ENP, EL Harrech Alger.

[21] KETTAB A (1992). Traitement des eaux, les eaux potables, O.P.U, Alger.

[22] Benhamou.A, Djedjai.H. Module Production d'eaux potables M1-GPE, Coagulation – Floculation Université Des Sciences Et De La Technologie D'oran - Mohamed Boudiaf.

[23] AYAT.A (2022). Biomatériaux et leurs applications comme coagulants/floculants dans le traitement des eaux usées [Mémoire de Doctorat] Université de Constantine 3 Salah Bounider.

[24] CHERIFIS, OUAGUED.A (2010). Efficacité de la coagulation-floculation dans le traitement des eaux de rejets de l'unité Ceramit « Tenes » Laboratoire eau-environnement, Chlef, Algérie.

[25] Benyoub, et al (2014). Article de revue : International Journal of Current Microbiologie et sciences appliquées, Vol. 3, non. 1, 1-7 réf 19.

[26] Hernandez de León H R (2006). Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées. Toulouse.

- [27] Ouchene.A (2022), Efficacité de l'élimination des composés organiques simples par des procédés physicochimiques de traitement des eaux de surface [thèse de doctorat] Université Ferhat Abbas – Sétif.
- [28] Lounas.A (2009). Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamdi-kroma de Skikda [Mémoire de Master] Université du 20 Août 1955 Skikda.
- [29] Zouaghi.F.Z, Hamdane.L (2016). Traitement des eaux contaminées par les Produits pétroliers : cas du complexe de Rhourde-Nouss [Mémoire de master] Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.
- [30] Share.W (2015). Explication du coagulation floculation. Cours assainissement urbain. Consulté le 3 mars 2024, disponible sur : <https://cmicho.blogspot.com/2015/12/explication-du-coagulation-floculation.html#gsc.tab=0>.
- [31] Sefraoui.M (2013). Étude comparative sur le prétraitement des eaux de mer par ultrafiltration et coagulation floculation [Mémoire de master] Université Abou Bekr Belkai Tlemcen.
- [32] Suez Water Handbook. Généralités sur les matières en suspension et colloïdes. Récupéré de <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau>.
- [33] KETTAB.A (1992). Traitement des eaux, les eaux potables O.P.U, Alger.
- [34] Cherifi.S, Ouagued.A (2010). Efficacité de la coagulation-floculation dans le traitement des eaux de rejets de l'unité Ceramit « Tenes » Laboratoire eau-environnement, Chlef.

Chapitre III:

Le figue de barbarie

III.1 Introduction :

Plusieurs études de terrain ont montré que les installations de traitement des eaux dans les pays qui souffraient d'un problème de coût et de robustesse technique qui provoque leur abandon. D'après ces études, la meilleure solution est d'utiliser des ressources locales pour assurer l'usage à long terme de ces installations. [1]

Parmi les nombreux végétaux qui composent la flore Algérienne (environ 14 000), il en est un qui se remarque tout d'abord par la singularité toute caractéristique de sa forme et par son abondance dans les terrains les plus arides. Après les graines de Moringa, c'est au tour du figuier de Barbarie que l'on désigne par le nom scientifique *Opuntia ficus-indica*, d'apporter un moyen bon marché, simple et accessible de potabilisation des eaux, il contient des substances de floculation.[2]

III.2 Historique :

Le figuier de barbarie est une plante originaire des régions arides et semi-arides d'Amérique Tropicale (sud des Etats-Unis et Mexique), mieux connue sous le nom de nopal dans son pays d'origine. Avant de prendre de l'ampleur dans plusieurs pays, chez les Indiens d'Amérique, le nopal appartient depuis toujours aux plantes médicinales les plus utilisées. Pour les populations précolombiennes, c'est une plante sacrée, au même titre que l'Agave, le Chocolat, le Maïs, En effet, grâce à sa faculté d'adaptation à des sols très secs et pauvres, sa résistance aux rigueurs des climats arides et sa capacité à emmagasiner l'eau. A titre d'exemple, la superficie cultivée dans la région du WANA (Ouest d'Asie et le Nord-Africain) est d'environ 900 000 hectares. [3]



Figure III.1: Plante de figuier de barbarie [4].

III.3 Classification botanique :

Les cactacées ou cactées sont des végétaux phanérogames, angiospermes, dicotylédones, leur classification botanique est rappelée ci-dessous :

Tableau III.1: Classification botanique de figuier de barbarie.

Règne : Plantae.	
Sous règne : Tracheobionta.	Famille : Cactaceae.
Division : Magnoliophyta.	Sous-famille : Opuntioideae.
Classe : Magnoliopsida.	Tribu : Opuntieae.
Sous classe : Caryophyllidae.	Genre : Opuntia.
Ordre : Caryophyllales.	Espèce : Opuntia ficus indica L.

La famille des Cactacées renferme 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces.

Les espèces d'Opuntia les plus répandues en Algérie sont : Opuntia cylindrica, Opuntia mieckleyi, Opuntia vulgares, Opuntia schumanni, Opuntia megacantha, Opuntia maxima et Opuntia ficus indica. [5]

III.4 Structure générale de la plante :

Le figuier de barbarie est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 mètres de hauteur (**Figure 3-a**), avec un tronc épais et ligneux. Ses articles aplatis en forme de raquettes (cladodes) (**Figure 3-b**) de couleur vert mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm, sont couverts de petites aréoles, d'épines et de glucides blancs. Ses fleurs, marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (**Figure 3-c**). Ses fruits sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines (**Figure 3-d**). Ils sont généralement verdâtres ou jaunes à maturité. La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune-orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines [6].

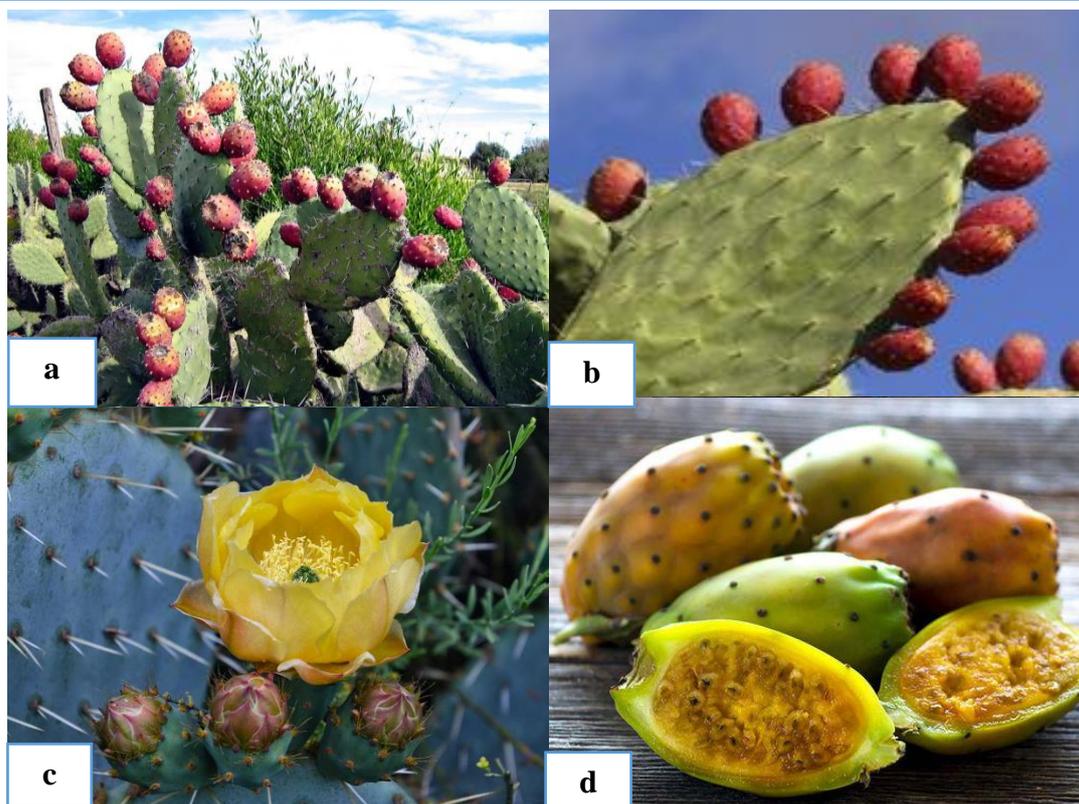


Figure III.2: Le figuier de barbarie : a) la plante, b) les cladodes, c) les fleurs, d) le fruit [7], [8].

III.5 Description morphologique des différentes parties de la plante :

La plante du figuier de Barbarie se compose de trois parties, à savoir le fruit (figue de Barbarie), les raquettes (raquettes) et les fleurs.

III.5.1 Le fruit :

La figue de Barbarie est constituée de pulpe et de graines. Le fruit se caractérise par sa faible acidité, sa teneur en sucre, sa couleur et son goût qui varient selon les variétés (jaune, rouge et blanc), de forme (ovoïde, ronde, elliptique, allongée).

Il est important de la récolter au stade de maturité optimal pour la transformation, la commercialisation ou encore la consommation à l'état frais. L'épaisseur de la peau varie selon la zone de culture et le rendement en pulpe est un facteur important à prendre en compte pour la transformation. [9]

III.5.2 Les raquettes :

Les raquettes sont également une partie comestible de la plante. Ils sont utilisés dans différentes industries. Lorsqu'ils sont jeunes avec des tiges tendres (10-15 cm), ils peuvent être utilisés comme légumes (Nopalitos). S'ils sont partiellement lignifiés (2-3 ans), lorsqu'ils sont complètement lignifiés.

Elle est de forme aplatie, elliptique ou ovoïde, de couleur verte, d'une taille variante entre 17 et 38 cm de long sur 12 à 26 cm de large et de 1,1 à 3,1 cm d'épaisseur, couverte de petites aréoles et d'épines.

III.5.3 Les fleurs :

Tout comme les jeunes raquettes, les fleurs peuvent être consommées comme tels. Les fleurs de figuier de Barbarie sont également utilisées dans les industries. [10].Elles se trouvant sur la face la plus exposée au soleil, sont hermaphrodites, de couleur jaune ou orange [11], deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante[12].

III.5.4 Appareil racinaire :

L'appareil racinaire est superficiel, il facilite l'absorption des eaux souterraines dans les sols de faibles consistances, bien qu'il soit robuste et capable de coloniser de façon efficace les milieux difficiles. Cet organe végétal améliore aussi la possibilité d'accueillir dans les racines des micro-organismes fixateurs d'azote. [13].

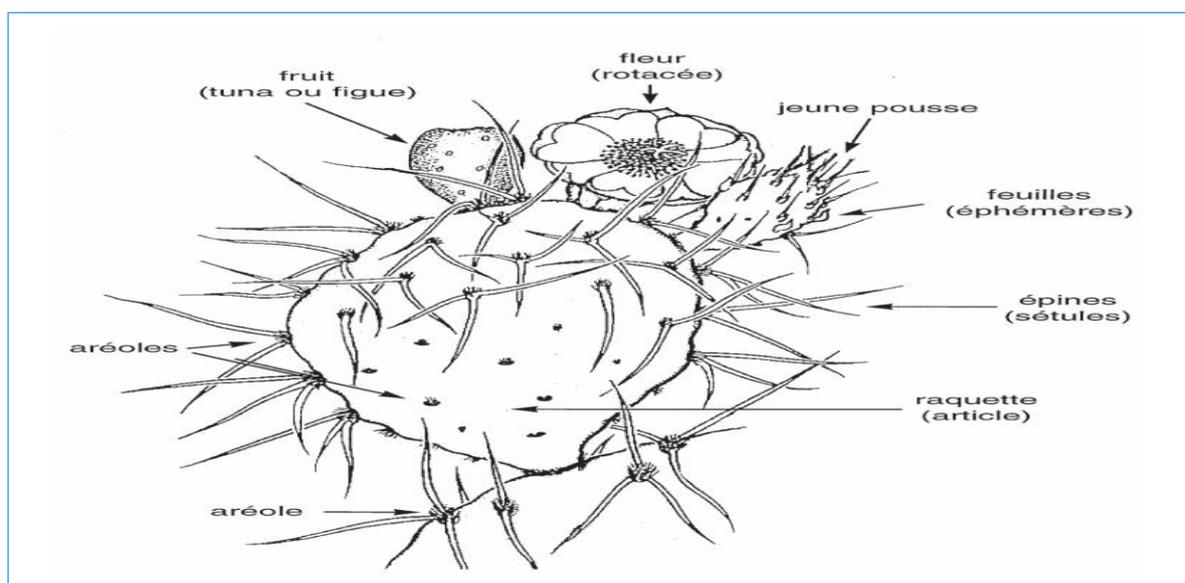


Figure III.3: Détail de l'Opuntia Ficus-indica Miller.

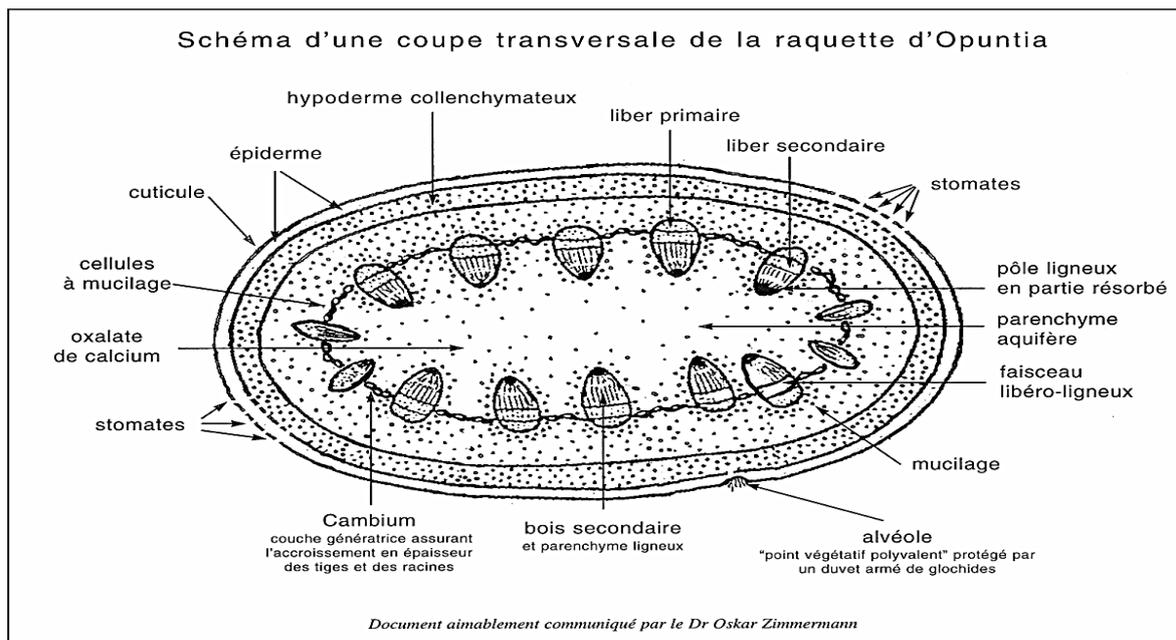


Figure III.4: Schéma d'une coupe Transversale de la raquette D'opuntia [14].

III.6 Composition chimique :

III.6.1 Composition chimique de la fleur :

Le suc de la fleur de l'Opuntia est plus visqueux que celui des raquettes. Il contient à peu près les mêmes principes que la tige auxquels on peut ajouter des dérivés flavoniques. Sa teneur en cendres avoisine 9 %. Elles comportent 30% de silice et 14% de chaux.[15]

Tableau III. 2: Composition moyenne (pourcentage en poids par rapport à la masse sèche) de la fleur de la figue de barbarie.

Constituants	Pourcentage
Cires	9-11
Minéraux (cendres)	7-8
Lignine Klason	2-3
Cellulose	27
Protéines	8-10
Autres polysaccharides	40-45

III.6.2 composition chimique des cladodes :

Varie en fonction des facteurs édaphiques, l'endroit de la culture, la saison et l'âge de la plante. Par conséquent, les teneurs en éléments nutritifs respectifs varient à la fois entre les espèces et les variétés et ils ne devraient pas être pris comme des valeurs absolues [16].

Tableau III.3: Composition chimique des cladodes.

Constituants	Pourcentage
Eau	92%
Glucides	4.3 %
Cendre	1.2 %
Fibres	0.6 %
Protéines	0.15 %
Lipides	1.5 %

III.6.3 composition chimique de pulpe :

La composition physico-chimique de la pulpe dépend de la variété, de l'état de maturation et des conditions environnementales. Le tableau suivant illustre la composition physico-chimique et minérale de la pulpe de la figue de barbarie [18].

Tableau III. 4: Composition physico-chimique et minérale de la pulpe de la figue de barbarie [19].

Paramètres	Teneur	Paramètres	Teneur
Humidité (%)	84-90	Composés phénoliques (mg/100ml).	45,20
pH	5,3-7,1	Acide-ascorbique (mg/100ml).	17,10
Acidité (mg d'acide citrique/100g)	50-180	Na (mg/Kg)	6,25
Brix	12-17	K (mg/Kg)	1583
Protéines (mg/100g)	200-1600	Ca (mg/Kg)	253
Lipides (mg/100g)	90-700	Mg (mg/Kg)	251
Taux de cendres (%)	0,3-1	Fe (mg/Kg)	1,98
Fibres-totaux (mg/100g)	20-3100	Zn (mg/Kg)	2,05

III.7 Utilisation de la figue de barbarie :

OFI est une plante qui contient la majorité des éléments dont notre organisme a besoin pour son bon fonctionnement. Elle est utilisée dans différents domaines : en médecine, en pharmacologie, en agroalimentaire, en cosmétique; elle est aussi utilisée comme clôture, dans le greffage, etc.[20]

Tableau III. 5: Utilisation des différentes parties d’OFI.

Partie utilisée	Domaines d’utilisation
Fruit	<ul style="list-style-type: none"> -Substitut de l’eau potable. -Aliment de base en cas de famine. Fabrication de jus, concentrés, confitures et marmelades, etc. Production de pectine. -Prévention des maladies telles que le diabète, certains troubles cardio-vasculaires, les infections de l’appareil urinaire et les troubles digestifs -Utilisation comme colorant naturel et édulcorant.
Fleur	<ul style="list-style-type: none"> -Apiculture (source nutritive très appréciée par les abeilles). -Remède contre le dysfonctionnement de la prostate et contre les insuffisances rénales. -Le bouilli des fleurs séchées est utilisé en pharmacopée traditionnelle, aux brûlures et coups de soleil.
Cladode	<ul style="list-style-type: none"> -Production de conserves à base de vinaigre. -Utilisation en tant que légumes. -Complément alimentaire pour les bovins et les ovins. -Matière première pour la fabrication de shampoing, crèmes capillaires et laits hydratants pour le visage. -Production d’adhésif. -Barrière contre la désertification et l’érosion des sols. -Production d’éthanol par fermentation. -Transformé en farine pour remplacer celle de blé dans les cookies.
Graine	<ul style="list-style-type: none"> -Extraction d’huile utilisée dans les produits cosmétiques. -Production de farine. -Réduction des risques de maladies cardio-vasculaires et maladies coronariennes.

III.8 Utilisation de FB en traitement des eaux usées :

Comme l’ont relevé certaines études, les coagulants à base d’aluminium, de fer et même les polymères synthétiques présentent un désavantage important : leur toxicité probante pour l’environnement. Cela a donc poussé quelques chercheurs à investiguer la possibilité d’utiliser des composés d’origine naturelle pour réaliser le procédé de coagulation-floculation, parmi ces coagulants naturels le cactus [21].

Comme le souligne Norma Alcantar [22], chercheur à l’université de Floride du Sud, les Mexicains utilisaient déjà cette plante au XIXe siècle pour purifier l’eau. Il s’agit aujourd’hui pour les scientifiques de comprendre le mécanisme développé par le cactus afin de pouvoir l’utiliser à grande échelle. Ils ont plongé le mucilage, la substance de la gomme du cactus qui confère à la plante son pouvoir de floculation, dans une eau contaminée par

des sédiments et des bactéries. Les sédiments, et une grande partie des bactéries se sont alors agglomérés entre eux, tombant au fond du récipient.

Le mucilage du figuier de Barbarie ne permet pas d'éliminer toutes les bactéries et polluants que peut contenir le liquide, mais il améliore considérablement la qualité des eaux de boisson et pourrait faciliter l'accès à l'eau potable.

Si certaines vérifications doivent encore être faites, et notamment l'évaluation du coût des ressources nécessaires à une culture à grande échelle des figuiers de Barbarie, ce cactus apparaît comme un moyen durable et peu coûteux de résoudre l'un des problèmes majeurs des pays en voie de développement [23].

III.9 Conclusion :

En conclusion, dans ce dernier chapitre, nous avons abordé le figuier de Barbarie, une plante qui connue par ces caractéristiques uniques et son utilisation dans divers domaines. Elle est particulièrement valorisée dans le traitement des eaux usées, où elle sert de bio-floculant.

Références bibliographiques chapitre III :

[1] Futura (2024). Eau potable : du cactus pour traiter l'eau dans les pays du tiers-monde, Consulté le 1 avril 2024, disponible sur <https://www.futura-sciences.com/>.

[2] Madani.K,Remini.H,Dahmoune.F,Lamia.H (2016). Le figuier de Barbarie : une plante d'intérêt industriel. Research Gate, disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/308343294>

[3] Schweizer.M (1997). Docteur Nopal le médecin du bon dieu. Paris, France : Aloe Plantes et Beauté.

[4] Jardinier malin, Fiquier de barbarie : Plantation et entretien consulté le , disponible sur : [Fiquier de Barbarie : culture et entretien \(jardinier-malin.fr\)](http://jardinier-malin.fr).

[5] Djebbari, N (2022). Valorisation du fruit de la figue de barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) de deux zones, une zone humide (Ait Yahya Moussa, TiziOuzou) et une zone semi-aride (Mdoukal Batna) par la fabrication de vinaigre [Mémoire de master], Université Mohamed Khider Biskra.

[6] Ben Idir.I, Babour.B (2016). Les caractéristiques morphologiques du figuier de barbarie et la valorisation des raquettes [Mémoire de master], Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.

[7] Cuisineetsentiments.com, Figue de barbarie, consulté le 6 juin 2024, disponible sur : <https://www.cuisineetsentiments.com/>.

[8] Schilliger.P. Le figuier de barbarie : où le planter ? Quels sont les bienfaits de la figue de barbarie ? Schilliger. Consulté le 6 juin 2024, disponible sur : <https://www.schilliger.com/le-figuier-de-barbarie-ou-le-planter-quels-sont-les-bienfaits-de-la-figue-de-barbarie/>.

[9] Tamer.T. M, Ibrahim.K. S, Ahmed.Y. S (2014). A study on chemical composition and nutritional value of cactus (*Opuntia ficus indica*) Cladodes. World Journal of Dairy & Food Sciences, 9(1), 18-23.

[10] Projet d'Accès aux Marchés des Produits Agroalimentaires et de Terroir (PAMPAT). (2021). Identification des marchés cibles pour la filière de la figue de barbarie tunisienne.

Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel-ONUUDI, disponible sur : <https://pampat.tn/documents-telechargeables-produits-de-terroir/>

- [11] Wang, H. J, Ng.T. B (1998). Studies on the toxicology of *Opuntia dillenii* Haw. (*O. vulgaris* Mill.) Mucilage. *Journal of Ethno pharmacology*, 62(1), 9-17.
- [12] Habibi.Z. (2004). *Opuntia ficus-indica*: a prickly and precious resource. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275-290.
- [13] Chougui. H (2014). Contribution à l'étude de la biodiversité des plantes médicinales de la région du Hodna (Algérie) et à la valorisation de leur potentiel thérapeutique [Thèse de doctorat], Université Badji Mokhtar - Annaba.
- [14] Schweizer.M (1997). Docteur Nopal le médecin du bon dieu. Paris, France : Aloe Plantes et Beauté.
- [15] Achacha.M (2022). Valorisation des biomatériaux extraits des raquettes et des pépins de figue de barbarie dans le traitement des eaux usées [Mémoire de master], Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- [16] Boutakiout. A (2017). Étude 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 d'Angers.
- [17] Piga.A (2004). Agro-industrial utilization of cactus pear. *FAO Plant Production and Protection*, 169, 141-154.
- [18] Diaz-Medina.E, Mayek-Perez.N, Gonzalez-Centeno.M. R, Machado.S (2006). Composition and antioxidant activity of prickly pear juice. *Ciencia e Tecnologia d'Alimentos*, 26(1), 129-134.
- [19] El Kossori. R. L, Alimenta. I. A (1998). Nutritional and chemical composition of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit and cladodes. *Food Chemistry*, 62(1), 165-173.

[20] Reggane, L. (2019). Étude bibliographique sur la valorisation biotechnologique des cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) [Mémoire de master] Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[21] Benalia.A, Derbal.K. Application de cactus traité par l'eau distillée sur la réduction de la turbidité et de la matière organique. Laboratoire LIPE, Université Constantine 3.

[22] La rédaction (2010) Eau potable : des cactus pour la purifier. Maxisciences, consulté le 4 avril 2024, disponible sur : <https://www.maxisciences.com>,

[23] La rédaction (2010) Eau potable : des cactus pour la purifier. Maxisciences, consulté le 4 avril 2024, disponible sur : <https://www.maxisciences.com>

Partie expérimentale

Chapitre IV : Méthodes et moyens utilisés

IV.1 Objectif de travail :

Notre étude consiste sur la détermination de l'efficacité des bio-floculants (jus et poudre extraits de cactus des figuiers de Barbarie) dans le traitement des eaux usées au sein de l'ONA de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

L'efficacité du traitement sera évaluée en fonction de la réduction de la turbidité après une période de décantation (30 minutes) par le procédé physicochimique de coagulation floculation.

Les paramètres étudiés comprennent le pH, la dose de coagulant, la dose de bio-floculant, et les tests bactériologiques pour la recherche et le dénombrement des coliformes (totaux, fécaux), les salmonelles et streptocoques.

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

IV.2 Présentation de site de travail :

L'Office National de l'Assainissement (ONA), usine de filtration d'eau (Station de traitement d'eau potable), est une installation essentielle pour purifier l'eau. Elle utilise divers processus tels que la filtration, la désinfection pour rendre l'eau potable et sûre à boire.



Figure IV.1: La station de traitement ONA.

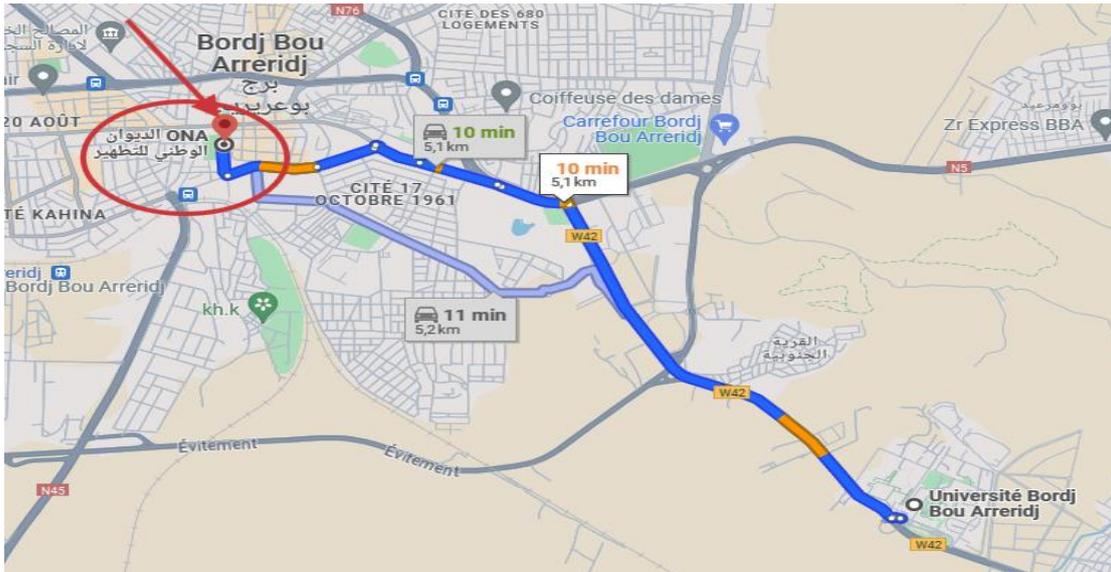


Figure IV.2: Localisation d'Office National de l'Assainissement (ONA).

IV.3 Échantillonnage :

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

La caractérisation de cet échantillon est réalisée à l'aide de mesures essentielles, ils sont résumés dans le tableau suivant :



Figure IV.3: Eau usée.

Tableau IV.1: Principaux mesures pour la caractérisation des eaux usées.

Paramètre	Méthode
pH	pH mètre
Conductivité	Conductimètre
Turbidité	Turbidimètre

IV.3 Matériels et produits utilisés:

IV.3.1 Matériels :

Tableau IV.2: Matériels utilisés pendant l'étude.

Étude physico-chimique	Étude bactériologique
Becher-erlenmeyer- pipette graduée- pissette- éprouvette graduée- Entonnoir- Seringue- spatule.	Tubes à essai stériles- Flacons stériles- boîtes pétri stériles- Micro pipette- Portoir- Bec bunsen- Seringue- L`anse de platine.

IV.3.1 Produits utilisés :

Analyse physico-chimique :

- **Sulfate d'aluminium** : Utilisé comme un coagulant synthétique.
- **Additifs chimiques** : SONT utilisés pour l'ajustement du pH.
 - a. **Acide chlorhydrique HCl** : Aussi appelé acide muriatique, est une solution aqueuse composée d'hydrogène et de chlore..
 - b. **Hydroxyde de Sodium NaOH** : ou soude caustique, est un composé chimique (base forte).
- **Jus et poudre de Cactus** : bio-floculant naturelle extraits de figue de barbarie.

Analyse bactériologique:

a. Dénombrement des coliformes :

- **BCPL** : bouillon lactosé au Bromo Crésol Pourpre.
- **Schubert** : pour la confirmation des Coliformes fécaux.
- **Covax** : Confirmation d'E.Coli.

b. Dénombrement des streptocoques :

- **Roth** : Analyse des streptocoques fécaux.
- **Eva litsky** : test de confirmation du streptocoque groupe D.

c. Salmonelles :

- **SFB** : pré enrichissement des salmonelles
- **Gélose hektoen** : Ensemencement.

IV.4 Appareillages:

IV.4.1 procédure de coagulation floculation sur jar test :

L'objectif du Jar test est d'estimer la dose optimale de coagulant ou floculant nécessaire pour traiter l'eau.

Ce flocculateur numérique permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans des béciers à 06 postes remplis chacun de 500 ml d'eau usée, ce dispositif est conçu pour la formation de floc dans le domaine de traitement des eaux.

Tableau IV.3: Étapes de coagulation floculation par un jar test.

Étapes	Durée	Nombre des tours
Étape Rapide	4min	160 tour/min
Étape lente	20 min	40 tour/min
Décantation	30 min	/



Figure IV.4: Le jar test.

IV.4.2 Turbidimètre :

Un turbidimètre mesure la turbidité de l'eau, il utilise une source lumineuse et un détecteur pour mesurer la lumière diffusée par les particules.

Unité : UTN (unité de turbidité néphélométrique).



Figure IV.5: Un turbidimètre.

Tableau IV.4: Classes de turbidité usuelles.

UTN<5	Eau claire
5<UTN<30	Eau légèrement trouble
UTN>50	Eau trouble

IV.4.3 Conductimètre :

Un conductimètre est un appareil permettant de mesurer la conductivité électrique d'une solution, reflétant sa capacité à conduire le courant électrique en fonction des ions dissous.

Unité : L'unité de mesure de la conductivité électrique dans le Système international (SI) est le siemens par mètre (S/m)



Figure IV.6: Conductimètre

IV.4.4 pH-mètre :

Utilisé pour la mesure d'activité des ions hydrogène dans des solutions à base d'eau, indiquant leur acidité ou leur alcalinité exprimée en pH, il mesure la différence de potentiel électrique entre une électrode de pH et une électrode de référence.



Figure IV.7: pH mètre.

IV.4.5 Balance électronique :

Mesure des différentes masses des échantillons avec une grande précision en utilisant des capteurs électroniques pour fournir des lectures numériques instantanées.



Figure IV.8: Balance électronique.

IV.4.6 Étuve :

Une étuve de laboratoire est un four de précision permettant un séchage d'échantillons, d'objet.

Par l'élévation de la température et la maintenir constante dans un environnement contrôlé.



Figure IV.9: Étuve.

IV.4.7 Broyeur type M20 :

Utilisé pour le broyage de sèches substances dures et cassantes (préparation de la poudre de cactus).



Figure IV.10: Un broyeur.

IV.4.8 Tamis :

Une grille de maillage contient des tamis plus ou moins fin, fixée sur un cadre, utilisé pour les analyses granulométrique pour trier les particules solides

La norme (EN 933-2) préconise pour l'analyse granulométrique la série des tamis suivante en mm : 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8,16, 31.5, 125



Figure IV.11: Tamis.

IV.4.9 DBO- mètre :

Est un appareil de mesure et d'analyse du demande biochimique en oxygène (DBO₅) pendant 5 jours, il représente la quantité d'O₂ nécessaire pour permettre à des bactéries d'oxyder des MO biodégradables dans un échantillon d'eau.



Figure IV.12: DBO mètre.

IV.4.10 DCO mètre :

La mesure de demande chimique en oxygène(DCO) s'effectue par :

Thermo réacteur : réalise les minéralisations thermiques lors de mesure de DCO.



Figure IV.13: Thermo réacteur



Photo Flex : Lecture de valeur numérique instantanément.

Figure IV.14: Photo Flex.

IV.5 Préparation de bio-floculant :

IV.5.1 Récolte de la plante :

La plante de figue de barbarie a été collecté à partir de la région de El-Mehir une commune de la wilaya de Bordj-Bou-Arredj, se situe au cœur des Bibans, à environ 40 km au sud-ouest de la wilaya, et à environ 150 km d'Alger.

La récolte a été effectuée au mois de février 2024.

IV.5.2 Mode opératoire :

a. Préparation de jus de cactus :

- Tout d'abord nous avons collecté les cladodes de figue de barbarie et les avons rincés à l'eau du robinet puis à l'eau distillée.
- A l'aide d'une pince à dissection, les épines de cladodes ont été enlevées.
- La peau rugueuse du cactus a été épluchée à l'aide d'un éplucheur ou d'un couteau.
- Ensuite les cladodes ont été coupées en petits dés et mixées à l'aide un hachoir

- Enfin le mélange obtenu a été conservé dans un bocal en verre au réfrigérateur.



Figure IV.15: Étapes de préparation du Jus de cactus.

b. Préparation de la poudre :

- De la même manière les cladodes ont été rincés, épluchés et coupés en petits morceaux.
- Ensuite, l'ensemble a été étalé dans des plateaux et placés dans l'étuve à 105°C pendant 48 heures.
- Le produit obtenu a été broyé dans un broyeur M20.
- La poudre produite a été passée dans un tamis d'une ouverture de 63µm et conservé dans un bécher à la température ambiante du laboratoire afin de suivre notre étude.



Figure IV.16: Étapes de préparation de la poudre.

IV.6 Traitement physico-chimique :

Dans une première étude nous avons commencé par la détermination des doses optimales :

IV.6.1 Détermination de la dose optimale de coagulant :

Afin de déterminer la dose optimale de coagulant synthétique Sulfate d'alun $Al_2(SO_4)_3$, nous avons suivis les étapes ci-dessus :

- Dans une série des béchers, une introduction de 500 ml d'eau usée.

- Ajout du coagulant dilué dans l'eau distillé (1g de coagulant dans un litre d'eau) à des doses croissantes (25-250 mg/l) a un pH stable de 7.
- Puis une agitation rapide (160 t/min) pendant 2 min.
- Ensuite nous avons mesurés une masse stable du gel (0.1 g) et l'avons placé dans chaque bécher.
- Une agitation rapide (160 t/min) pendant 4 minutes, suivie d'une agitation lente (40 t/min) pendant 20 minutes.
- Décantation pendant 30 minutes.
- Enfin, prélèvement des échantillons traités à l'aide d'une pipette graduée et la mesure de la turbidité.

IV.6.2 Détermination de la dose optimale de bio-floculant :

Suivant les mêmes étapes :

- Identification de notre échantillon (500 ml) dans des béchers.
- L'ajout de la dose optimale de coagulant déterminée dans l'expérience précédente (150mg/l).
- Agitation rapide 160 t/min pendant 2 minutes.
- Ensuite, l'introduction d'une quantité de bio-floculant (Masse variant entre 0.1-0.3g).
- Agitation rapide puis lente.
- Décantation et mesure de la turbidité

IV.6.3 Détermination de pH optimale :

- Introduction d'eau usée dans les béchers.
- Nous avons ajusté le pH dans un intervalle [5- 7- 9], en ajoutant des additifs chimiques : NaOH a été utilisé pour obtenir un milieu alcalin, l'HCl a été ajouté pour créer un milieu acide, le pH 7 donc est resté neutre.
- Nous avons répétés l'expérience de Jar test avec des différentes concentrations de coagulant, masses de floculants et pH ajustés.
- Mesure de turbidité.

IV.7 Plan d'expériences:

Un plan d'expériences est une approche systématique pour étudier l'effet de plusieurs facteurs sur une réponse donnée. Il permet d'optimiser les processus, d'identifier les facteurs clés et d'améliorer la qualité des produits ou des procédés.

Le Minitab est un logiciel statistique couramment utilisé pour concevoir et analyser des plans d'expériences.



Figure IV.17: Schéma de la démarche associée à un plan d'expériences.

Les plans d'expériences sont couramment utilisés dans les domaines de la recherche, de l'industrie, de la fabrication et de la qualité.

IV.7.1 Étapes d'une étude :

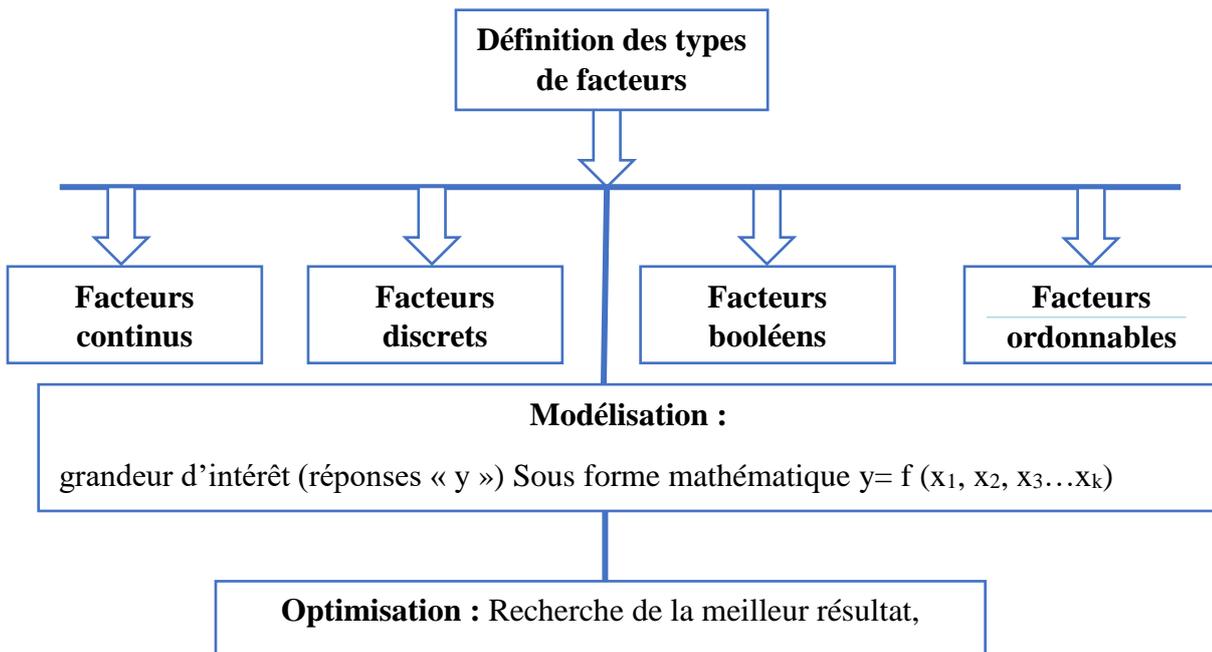


Figure IV.18: Schéma représentant le processus général d'une étude de plan d'expériences.

IV.7.2 Les plans de Box-Behnken :

Le plan de Box-Behnken est une méthodologie pour surfaces de réponse (RSM) qui ne nécessite que trois niveaux pour exécuter une expérience.

Il s'agit d'un plan spécial à 3 niveaux car il ne contient aucun point aux sommets de la région expérimentale.

Exp	A	B	C
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Figure IV.19: Matrice d'expériences pour un plan.

IV.7.3 Réalisation d'étude :

- Création du nouveau projet sur Minitab , en suivant les étapes précisées dans la photo ci dessous :
- Ensuite, continuant avec Box Benhnken, avec 3 facteurs (concentration de coagulant, masse de bio-floculant et pH.
- Nous écrivons nos valeurs et la réponse « Turbidité ».
- Lecture des résultats et les différentes courbes.

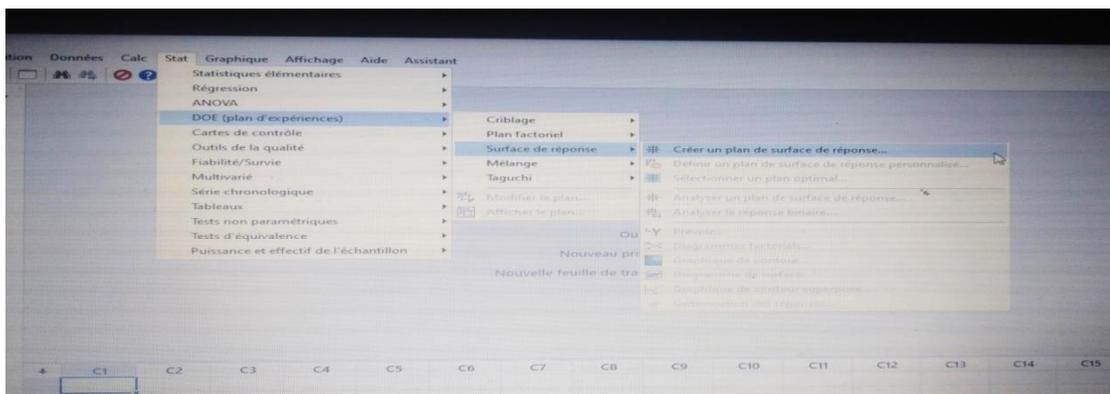


Figure IV.20: Étapes de réalisation d'une surface de réponse sur Minitab.

IV.7.4 Mesure du DCO, DBO5 :

La mesure du DCO et DBO₅ a été réalisée après l'optimisation des réponse à l'aide de Minitab.

a) DBO₅ :

Il existe deux méthodes pour mesurer le DBO₅ : la méthode manométrique, méthode de dosage

Pour notre étude on a sélectionné la méthode la plus couramment utilisé c'est la méthode manométrique qui est basée sur le principe du respiromètre de WARBURG.

- Nous prélevons volume de 250 ml d'échantillon d'eau.
- L'ajout du NaOH pour piéger le CO₂ dégager, On a Incubez l'échantillon dans des bouteilles hermétiques, remplies jusqu'au bord pour éviter toute présence d'air, à une température constante pendant 5 jours à l'obscurité pour éviter la photosynthèse.
- Au 5^{ème} jour, on a fait la lecture du valeur lue sur la bouteille puis calculer la concentration finale en oxygène dissous par le produit : **valeur lue* facteur.**
- La valeur obtenue est exprimée en mg/l d'oxygène consommé.



Portée de mesure	Quantité	Facteur
0 – 40	432 ml	1
0 – 80	365 ml	2
0 – 200	250 ml	5
0 – 400	164 ml	10
0 – 800	97 ml	20
0 – 2000	43,5 ml	50
0 – 4000	22,7 ml	100

Figure IV.21: Les bouteilles de test, portée de mesure et facteurs DBO.

b) DCO :

- Nous préparons la solution dans des tubes spéciaux pour l'analyse.
- Nous les mettons ensuite dans l'appareil DCO et laissons cette dernière fonctionner pendant deux heures.
- Après refroidissement, nous plaçons les échantillons dans une autre appareil qui nous donne la valeur exacte de chaque échantillon en mg/L d'oxygène.



Figure IV.22: Tubes de DCO.

IV.8 Analyse bactériologique :

Notre étude a été terminée par des analyses bactériologiques au sein du laboratoire de génie de l'environnement de l'université. Ces analyses ont permis d'évaluer la présence et l'activité des micro-organismes dans l'eau usée que nous avons prélevée.

Les résultats obtenus ont fourni des informations sur la qualité microbiologique de l'eau.

Principaux analyses effectuées :

- Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.
- Streptocoques.
- Salmonelles.

IV.8.1 Mode d'échantillonnage :

- Pour éviter toute types de contamination au cour de prélèvement, nous avons utilisés un flacon stérile a la chaleur humide (autoclave) en le maintenant à une température de 121°C, pendant 1 heure.
- Le transport d'échantillon a été effectué dans une glacière dans un délai d'une 45 minutes.

Remarque : il est important de procéder à l'analyse dans un délai très court.

IV.8.2 Méthode d'analyse :

Les normes de l'institut pasteur d'Algérie ont été notre guide pour réaliser ces analyses bactériologiques.

a. Dénombrement des Coliformes Totaux et Fécaux (CT-CF) :

La recherche des coliformes se fait selon les étapes suivantes :

Tableau IV. 5: Étapes de dénombrement des coliformes.

Étapes	Application
	-Dans une portoir contient 9 tubes pour chaque échantillon (eau usée, eau traitée) :
	-3 fois dans un 3 tubes contenant 10 ml de milieu (BCPL) D/C (double concentration).
	-3 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C

<p>Test de présomption</p>	<p>(simple concentration).</p> <ul style="list-style-type: none"> -3 fois 0.1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C. -Mélange de milieu puis une incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures. <p>Le test considérés comme positif + lorsque il y a :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Un trouble microbien. -Changement de couleur de milieu vers le jaune, à cause de fermentation du lactose.
<p>Test de Confirmation</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes fécaux parmi lesquels on appréhende surtout la présence d'Escherichia coli. -Repiquage des tubes BCPL dans un milieu Schubert. -Incubation se fait à 44 °C pendant 24 h.
<p>Lecture</p>	<p>Le test est considéré positif quand :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Il y a un dégagement gazeux. -La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP. (Voir annexe 1).

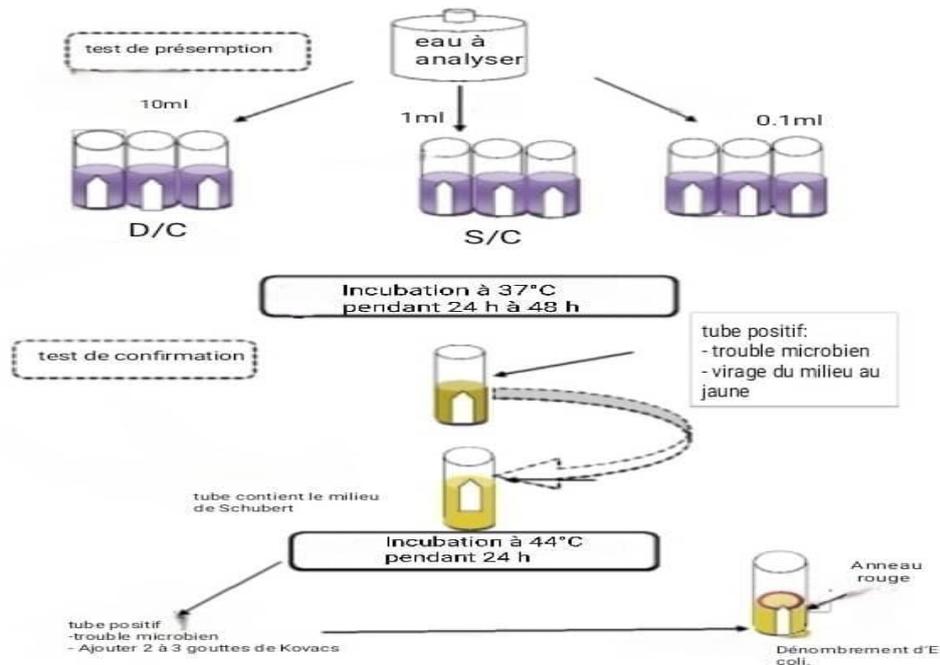


Figure IV.23: Recherche et dénombrement des coliformes.

b. Recherche des Streptocoques fécaux : Par la méthode NPP :

Tableau IV.6: Étapes de recherche des streptocoques.

Étapes	Application
Test de présomption	-Dans une portoir contient 20 tubes pour chaque échantillon (eau usée, eau traitée) : -50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu Rothe D/C . -5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C . -5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C -Mélange des milieux puis l'incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures.
Lecture	Le test positif : -Un trouble microbien . -Un virage de couleur dans le milieu .
Test de confirmation	-Le test de confirmation est basé sur la recherche de streptocoques - après l'agitation à l'aide d'une pipette Pasteur prélèvement de quelques gouttes du tubes Rothe positifs. -Repiquage dans un milieu Eva Litsky. -Incubation se fait à 37 °C pendant 24 h.
Lecture	Le test est considéré positif quand : -Un trouble microbien. - Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.

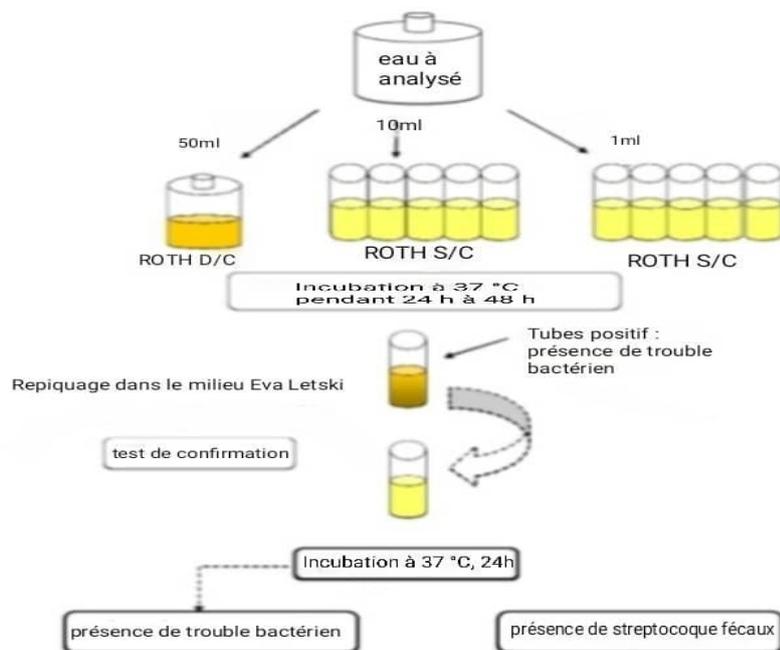


Figure IV.24: Recherche des streptocoques.

c. Recherche et isolement des Salmonelles :

Tableau IV.7: Tableau représentant les étapes d'une Recherche des salmonelles.

Étapes	Application
Pré-enrichissement	-Deux flacons stériles contenant 100ml des échantillons (eau usée, eau traitée) dans un 100ml de milieu Sélénite Cystéine (SFB) D/C. - L`incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures.
Enrichissement et isolement	Au deuxième jour : - Un isolement sur une gélose Hektoen. - Ensuite un deuxième enrichissement sur milieu Sélénite en tube à raison de 0.1ml. - Incubation à 37°C pendant 24 heures à 48 heures.
Lecture	- Après la période d'incubation le test sera considère comme positif lorsque se trouve des colonies en gris bleue à centre noir. - Le tube de Sélénite fera l'objet d'un autre isolement.
L'identification	Dans le troisième jour : les colonies présumées ou suspectées, à l'aide de : l'API20E.

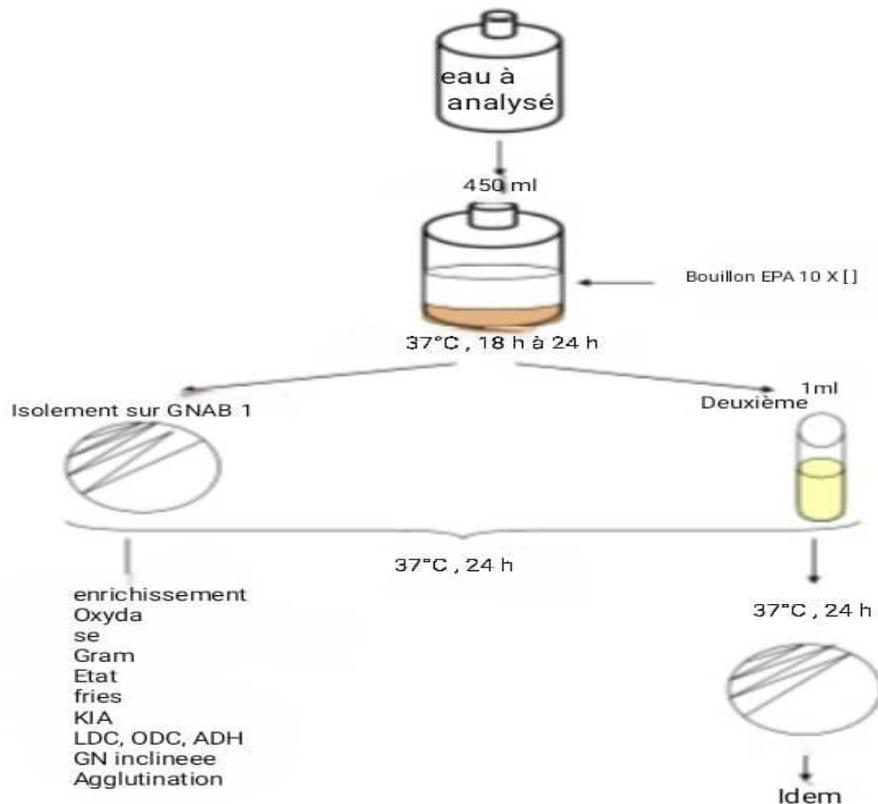


Figure IV.25: Recherche des salmonelles dans l'eau.

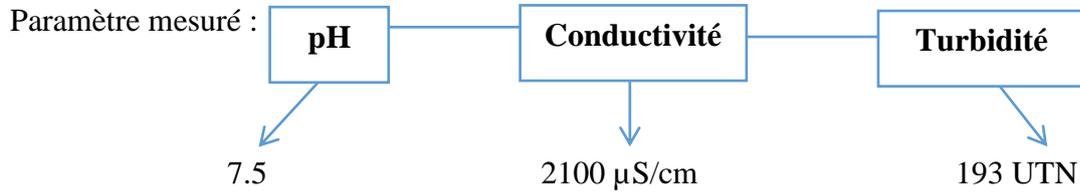
Chapitre V :

Résultats et discussion

Le résultat de tous les processus appliqués à l'eau usée de l'ONA sera présenté dans ce chapitre.

V.1 Traitement physico chimique :

V.1.1 Caractéristiques des eaux usées brutes :



V.1.2 Détermination de la dose optimale du coagulant:

Après avoir suivi les étapes de détermination de la dose optimale du coagulant sulfate d'Al synthétique on a obtenu les résultats suivants :

Tableau V.1: Valeurs de turbidité pour différentes concentrations de coagulant.

Essai	1	2	3	4	5	6	7
Coagulant (mg/l)	25	50	70	100	150	200	250
Floculant (Jus g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Turbidité UTN	45.2	29.7	24.3	14.5	70.56	52.7	41.8

- On observe une diminution de la turbidité avec l'augmentation des doses de coagulant de 25 mg/l à 100 mg/l.
- Au-delà de 100 mg/l, l'efficacité diminue, comme le montre l'augmentation de la turbidité pour les dosages de 150 mg/l, 200 mg/l, et 250 mg/l. Cela pourrait indiquer un surdosage, où trop de coagulant entraîne une stabilisation des particules plutôt qu'une agglomération.
- Le dosage de 100 mg/l de coagulant semble être le plus efficace, car il a abouti à la plus faible turbidité (14.5 UTN), ce qui pourrait être considéré comme le point optimal dans ces conditions expérimentales.

V.1.3 Détermination de la dose optimale du bio-floculant« Jus de figue de barbarie »:

Tableau V.2: Détermination de la dose optimale du jus par la mesure de turbidité.

Essai	1	2	3	4	5
Coagulant (mg/l)	100	100	100	100	100
Bio-floculant (g)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
pH	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
Turbidité UTN	26.4	46.8	27.5	21.2	47.6

- Le coagulant est maintenu à une dose constante de 100 mg/l (dose optimale) pour tous les essais.
- La dose de floculant varie de 0.1 g à 0.3 g. Cela permet d’observer l’impact de différentes quantités de floculant sur la réduction de la turbidité.
- La turbidité diminue lorsque la dose de floculant augmente de 0.1 g à 0.25 g, atteignant la turbidité la plus basse à 0.25 g (21.2 UTN).
- à 0.3 g une augmentation significative de la turbidité (47.6 UTN).
- la dose optimale de floculant est 0.25 g, car elle a produit la plus faible turbidité (21.2 UTN).

V.1.4 Détermination de la dose optimale du bio-floculant« poudre »:

Tableau V.3: Détermination de la dose optimale du poudre par la mesure de turbidité.

Essai	1	2	3	4	5
Coagulant (mg/l)	100	100	100	100	100
Bio-floculant(g)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
pH	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
Turbidité UTN	62.2	73	14.8	53.4	11.3

- La dose de bio-floculant varie de 0.1 g à 0.3 g.
- La turbidité la plus basse est observée à 0.3 g de bio-floculant (11.3 UTN), c’est la dose la plus efficace dans ces conditions expérimentales. Cependant, la turbidité augmente à 0.15 g (UTN), mais elle est également élevée à 0.1 g et a 0.25g.

V.1.5 Détermination de pH optimale :

Pour cette partie de l'étude nous avons ajusté le pH a [5.9] pour les deux échantillons, en utilisant les doses optimales de coagulant (100mg/l) et bio-floculants : 0.25g de jus),0.3g de poudre).

Tableau V.4: pH optimale.

	pH	5	7	9
Turbidité	Jus	2.71	21.2	4.38
UTN	Poudre	9.68	53.4	18

- **Bio-floculant « Jus » :**

À pH 5, la turbidité est de 2.71 UTN, ce qui est la plus basse, indiquant une efficacité élevée du bio-floculant au milieu acide.

À pH 7, la turbidité augmente significativement à 21.2 UTN, c'est à dire une réduction de l'efficacité dans des conditions neutres.

À pH 9, la turbidité diminue à 4.38 UTN, montrant une amélioration de l'efficacité par rapport à pH 7, mais pas aussi efficace qu'à pH 5.

- **Bio-floculant « Poudre » :**

À pH 5, la turbidité est plus basse avec une valeur de 9.68 UTN.

À pH 7, la turbidité est la plus élevée à 53.4 UTN, indiquant que le bio-floculant en poudre est le moins efficace dans des conditions neutres.

À pH 9, la turbidité est réduite à 18 UTN, est la plus proche au valeurs du pH 5.

Le bio-floculant sous forme de jus est plus efficace avec la plus faible turbidité observée à pH 5 et à pH 9, cependant l'utilisation de la poudre a montré une efficacité supérieure à celle du Jus au pH 5.

V.1.6 Mesure de DCO :

Tableau V.5: Valeur de DCO pour chaque échantillon.

Echantillon	Valeur lue
Eau usée non traité	>1500mg/l
Eau usée Traité (jus)	250mg/l
Eau usée Traité (poudre)	772mg/l

La mesure de la DCO est essentielle pour valoriser la pollution de l'eau et déterminer l'efficacité du procédé et du traitement, en remarque que la valeur de la quantité totale de matières organiques et inorganiques présentes dans une eau usée non traitée est **>1500 mg/l**, et pour l'eau traitée la valeur a diminué jusqu'à **250mg/l** cas de jus et a **772mg/l** dans le cas de poudre.

V.1.7 Mesure de DBO₅ :

Le calcul de la valeur réelle de DBO₅ s'effectue par la relation :

$$DBO_5 \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \text{Valeur lue (Mano)} \times \text{facteur.}$$

A travers le tablauV.9 on a utilisé 250 ml d'échantillon donc le facteur est 5.

Tableau V.6: Mesure de DBO₅.

Echantillon	Valeur lue	DBO ₅ (mg O ₂ /L)
Eau usée non traité	50	150
Eau usée Traité (jus)	24	72
Eau usée Traité (poudre)	49	147

Cette diminution de la demande biochimique en oxygène (DBO) s'explique par la diminution de la charge organique portée par les eaux usées. On constate que les résultats obtenus montrent que la concentration de matières non traitées dans les eaux usées est élevée avant traitement 150 mg /l et diminue d'un faible pourcentage par la suite de l'utilisation des poudres (147 mg/l) et en grande proportion lors de l'ajout de jus(72mg/l).

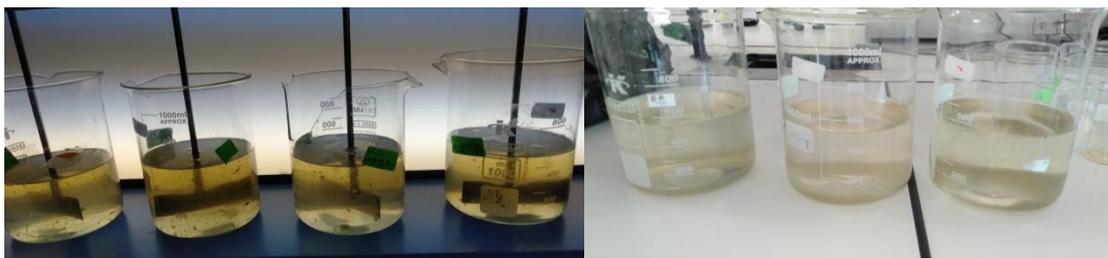


Figure V.1: Eau usée avant et après traitement.

V.2.Étude par Minitab :

Cette étude est basée sur les résultats obtenus dans la partie physico chimique afin de déterminer les valeurs optimales des différents facteurs en appliquant la méthodologie de surface des réponses.

Les trois facteurs étudiés sont :

- A :** concentration de coagulant (mg/l). **B :** masse de bio-floculant (g) **C :** pH

Réponse choisie : Turbidité(UTN).

On a manipulé ces facteurs pour l'optimisation des résultats selon le tableau suivant :

V.2.1 Construction du plan :

Tableau V.7: Facteurs et domaine d'étude.

	Facteur	Niveau-1	Niveau0	Niveau+1
X1	Coagulant(mg/l)	100	150	200
X2	Floculant(g)	0.2	0.25	0.3
X3	pH	5	7	9

V.2.2 Modélisation de la réponse :

Le plan de Box-Behnken pour trois facteurs, composé de quinze essais, il a été réalisé à l'aide du logiciel Minitab.

Tableau V.8: Plan de box-behnken.

Essai	Coagulant	Floculant	pH	Turbidité « Jus »	Turbidité « Poudre »
1	100	0.2	7	27.5	14.8
2	200	0.2	7	2.39	5.03
3	100	0.3	7	47.6	11.3
4	200	0.3	7	2.68	5.91
5	100	0.25	5	2.71	9.68
6	100	0.25	9	4.38	17.96
7	200	0.25	5	3.66	8.81
8	200	0.25	9	1.94	12.6
9	150	0.2	9	1.27	15.76
10	150	0.3	5	4.27	10.07
11	150	0.2	5	4.21	4.5
12	150	0.3	9	1.48	11.13
13	150	0.25	7	3.07	8.1
14	150	0.25	7	2.11	7.33
15	150	0.25	7	3.12	5.77

V.2.3 Résultats expérimentaux et interprétation :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau de l'analyse de variance

Tableau V.9: Analyse de la variance pour le jus.

Source	DL	SC	CM ajust	F	p
Modèle	9	1657.36	184.152	1.43	0.361
Linéaires	3	696.92	232.306	1.81	0.262
Carré	3	859.46	286.486	2.23	0.203
Erreur	5	642.50	128.500		
Inadéquation de l'ajustement	3	641.85	213.950	660.27	0.002
Erreur pure	2	0.65	0.324		

Tableau V.10: Analyse de la variance pour la poudre.

Source	DL	SC	CM ajust	F	p
Modèle	9	216.658	24.0731	8.37	0.015
Linéaires	3	131.903	43.9678	15.29	0.006
Carré	3	48.908	16.3027	5.67	0.046
Erreur	5	14.379	2.8757		
Inadéquation de l'ajustement	3	11.560	3.8534	2.73	0.279
Erreur pure	2	2.818	1.4092		

D'après l'analyse du tableau V.7, les valeurs de test Fisher (F) pour le jus et poudre sont respectivement : F = 1.43, F = 8.37.

V.2.3 .1 La valeur de probabilité (P> F) pour le test de Fisher :

- Le modèle global pour **le jus** a un F de 1.43 avec une valeur P de 0.361, donc le modèle n'est pas significativement meilleur que ce que l'on pourrait attendre par hasard, cela peut être dû à la grande variabilité des données ou aux erreurs.
- Le modèle global est significatif pour **la poudre** avec un F de 8.37 et une valeur P de 0.015, ce qui indique que le modèle explique bien la variabilité de la turbidité.

V.2.3.2 Équation de régression en unités non codées :

Turbidité (jus) = 2.77- 8.94 coagulant + 2.58 floculant- 0.72 pH+ 8.82 coagulant*coagulant+ 8.46 floculant*floculant - 8.41 pH*pH - 4.95 coagulant*floculant- 0.85 coagulant*pH+ 0.04 floculant*pH.

Turbidité (poudre) = 26.2 - 0.33 coagulant +79 flocculant -1.44 pH +0.000818
 coagulant*coagulant + 59 flocculant*flocculant + 0.788 pH*pH + 0.438 coagulant*flocculant-
 0.01122 coagulant*pH - 25.5 flocculant*pH

Les valeurs de **R²** que nous avons obtenues pour le jus de cactus et la poudre indiquent que les modèles peuvent expliquer respectivement **72,06%** et **93,78%** de la variabilité de turbidité, pour le jus nous avons trouvé un modèle acceptable, et un modèle excellent concernant la poudre ce qui permet d’avoir une idée sur l’influence des différents facteurs sur la turbidité.

(Jus)

(Poudre)

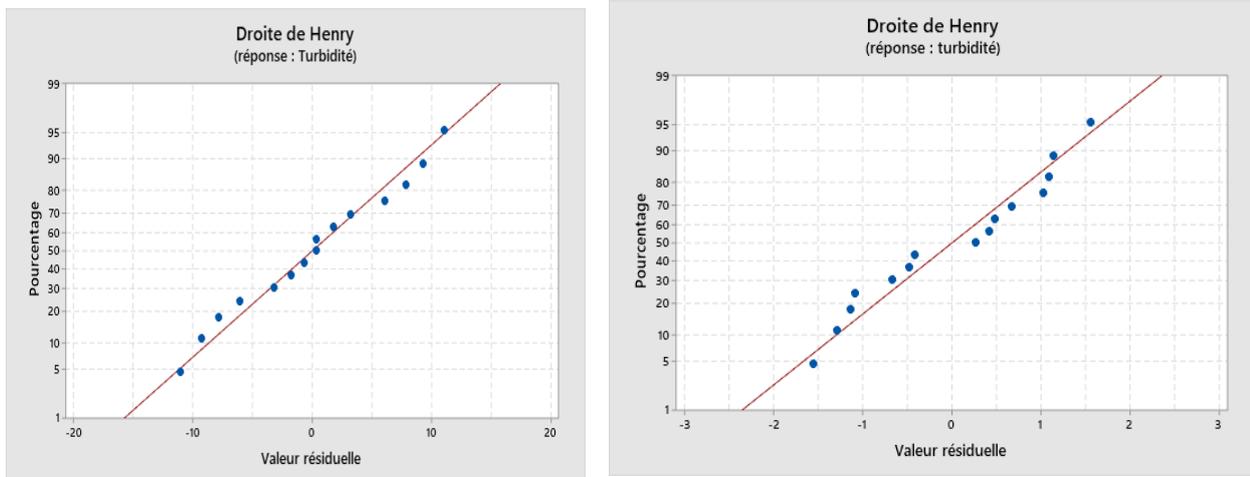


Figure V.2: Droites d`Henry .

Chaque point bleu représente une valeur résiduelle spécifique de modèle,

La ligne Rouge c`est la droite d`Henry, plus les points bleus sont proches de cette ligne, plus la distribution des résidus est proche de la normale.

Dans les deux courbes les points bleus sont rapproché de la droite d`Henry cela signifie que les résidus sont normalement distribués et que le modèle est bien ajusté aux données c`est a dire il est approprié pour les données analysées.

V.2.4 Optimisation de réponse :

La dernière étape de cette étude est l`optimisation de réponse c`est à dire détermination de la réponse optimale à l`aide du logiciel Minitab.

Le graphique de contour représente la relation entre la concentration de coagulant, la quantité de flocculant et la turbidité de l`eau.

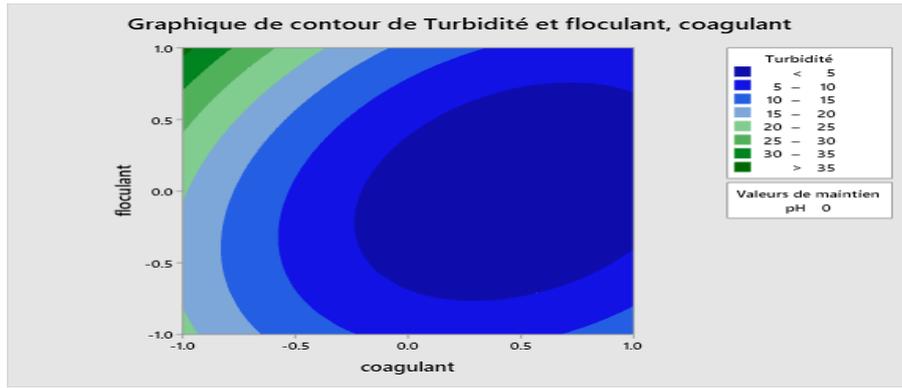


Figure V.3: Graphique de contour de Turbidité, flocculant et coagulant « Jus ».

- Les zones bleu foncé (< 5), clair(5 - 10) : Indique une turbidité très faible, acceptable pour la qualité de l'eau.
- La zone vert clair Vert moyen (10 - 35) : Indique une augmentation de la turbidité, cela peut être acceptable selon les normes de qualité de l'eau, mais il y a risque à l'amélioration.
- Le vert foncé(> 35) : une turbidité extrêmement élevée.

Donc la meilleure zone sur le graphique (a) est la couleur bleu foncé, indiquant des concentrations de coagulant et flocculant optimales pour une meilleure qualité d'eau.

De la même manière les résultats obtenus pour le bio-flocculant sous forme de poudre ont montré ce qui suit :

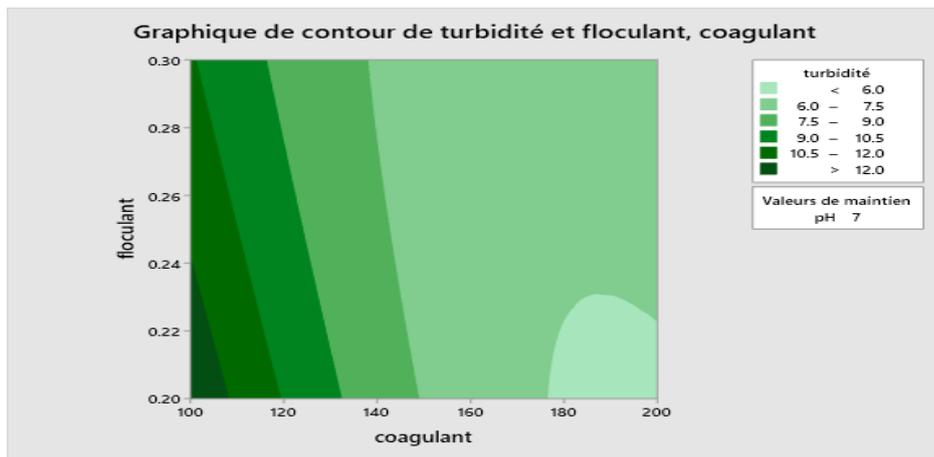


Figure V.4: Graphique de contour de Turbidité, flocculant et coagulant pour la poudre.

- La zone clair < 6 NTU jusqu'à vert moyen (6.0 - 7.5 NTU) : Indique une faible turbidité.
- Vert clair (7.5 - 10.5 NTU) : Signifie une turbidité modérée, acceptable pour certains usages.
- A partir de (10.5 - 12.0 NTU) jusqu'à(> 12 NTU) : augmentation de la turbidité.

La meilleure zone est celle où la couleur est vert clair, indiquant une turbidité inférieure à 6 NTU, c'est à dire les conditions sont idéales pour obtenir la plus faible turbidité.

V.2.5 Graphique de réponse de surface :

- Chaque ligne verticale représente les paramètres (coagulant, floculant, pH) et leur plage optimale.
- Ligne Horizontale Pointillée indique un niveau de référence ou un seuil pour la turbidité, ici à -9.0860.

Les valeurs optimales pour minimiser la turbidité sont :

• **Cas de Jus :**

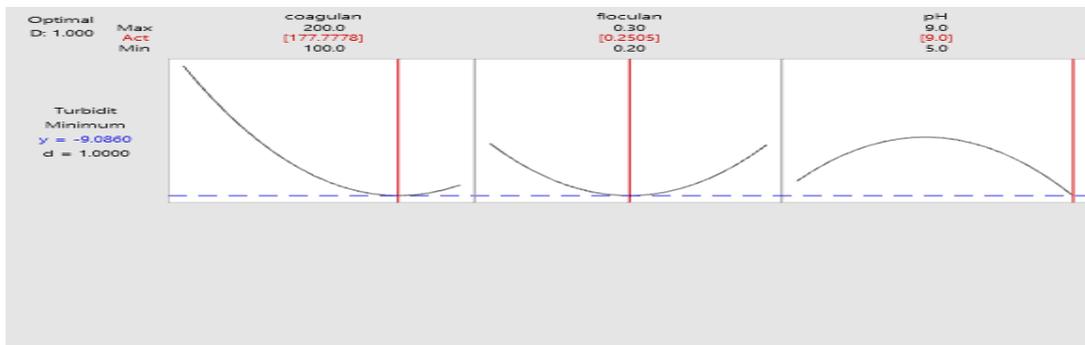


Figure V.5: Diagramme surface de réponse (Jus).

un coagulant entre [100 et 177.7 mg/l], un floculant entre [0.2 et 0.25g] et un pH 9.

• **Cas de Poudre :**

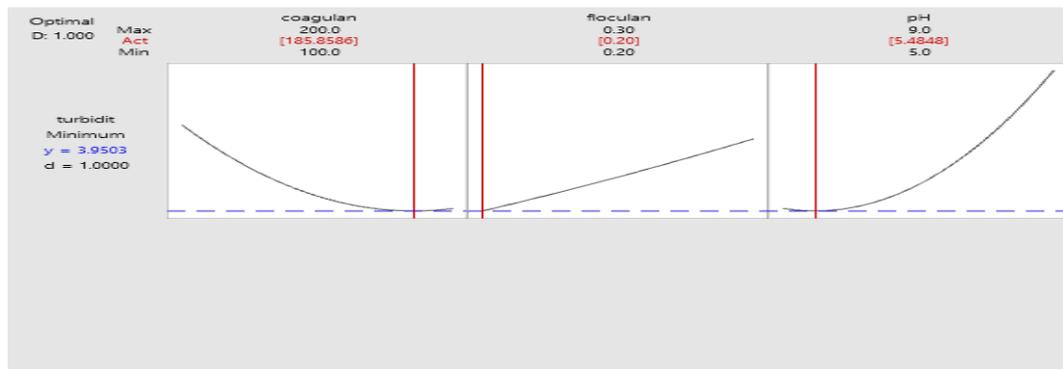


Figure V.6: Diagramme surface de réponse (Poudre).

un coagulant entre [100 et 185.8 mg/l], un floculant entre [0.2 et 0.3 g] et un pH 5.

V.3. Analyses bactériologiques :

L`objectif principale de ce travail est d`étudier le degré d`élimination et réduction des bactéries présentes dans l`eau usée avant et après traitement (Les résultats présentés dans cette étude ne concerne que le bio-floculant sous forme de Jus) .

Le résultat des analyses bactériologiques de l`eau usée après traitement (100mg/l de coagulant, 0.25g de bio-floculant et pH 7.5) est résumé dans le tablauV.10 :

Tableau V.11: Résultats de l`analyse bactériologique.

Échantillon	Coliformes Totaux	Coliformes fécaux	Streptocoques	Salmonelles
1	>1400/100ml	15/100ml	>240	Absence
2	>1400/100ml	30/100ml	>240	Absence

- Le résultat d`analyse des CT montre que les deux échantillons dépassent les normes établis (>1400/100ml)
- Ensuite le résultat de recherche des CF montre une amélioration de 15/100 ml jusqu`à 30/100ml après traitement.



Figure V.7: virage de couleur de BCPL.

- Le résultat d`analyse des streptocoques pour les deux échantillons est significative (>240).



Figure V.8: Lecture visuelle des résultats.

- Une absence des salmonelles pour les deux échantillons analysés.



Figurea V.9: Pré-enrichissement sur SFB.

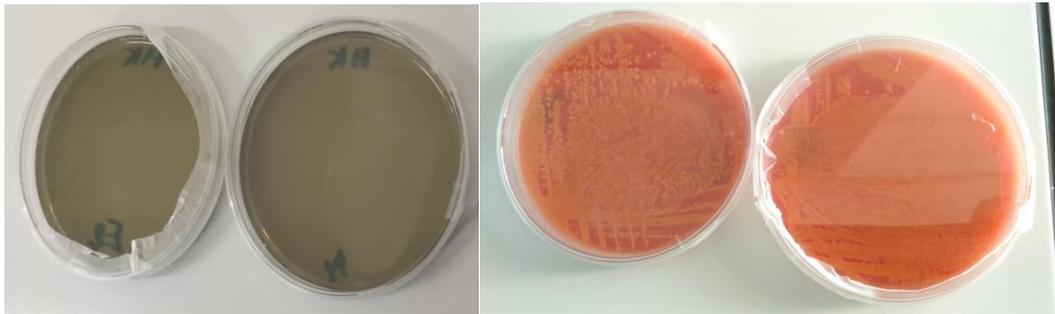


Figure V.10: Enrichissement et isolement sur le gélose Hektoen.

Interprétation :

Les eaux usées sont contaminées par diverses espèces bactériennes. Le traitement de ces eaux usées n'est pas toujours suffisamment efficace pour éliminer ces composés. Cette inefficacité peut être attribuée aux produits utilisés (tels que les bio flocculant, coagulant), la nature d'eau usée et aux conditions opérationnelles spécifiques.

Conclusion générale:

La clarification des eaux usées passe inévitablement par le procédé de coagulation-floculation qui a recours à l'utilisation des produits chimiques, dont l'utilisation pose certain nombre d'inconvénients, d'où la nécessité de leur trouver des alternatives naturelles d'une efficacité et moins de risque afin de réduire la turbidité.

Ce travail de thèse attient ce but, par l'utilisation de jus et poudre de cactus comme des flocculants naturelles. Les résultats d'étude vient comme suit :

- La turbidité a diminué de **193 UTN** à **21.2 UTN** dans le cas du jus et à **11.3 UTN** cas de poudre à pH neutre.
- Les résultats relatives à l'ajustement de pH indiquent que pour le jus, la turbidité(UTN) était de **2.71** à un pH de **5**, de **21.2** en milieu **neutre** et de **4.38** à un pH de **9**. Concernant la poudre la turbidité était de **9.68** à un pH de **5**, de **53.4** à un pH **7** et de **18** à un pH de **9**. Ce qui montre l'influence du potentiel d'hydrogène sur la turbidité.
- Les valeurs de DBO₅ diminuent de **150 mg/l** à **72 mg/l** dans le cas de jus et à **147 mg/l** cas de poudre.
- Le DCO avant traitement était **>1500 mg/l**, après le traitement sa valeur diminue jusqu'à **250 mg/l** pour le jus et à **772 mg/l** pour la poudre.
- Les résultats d'optimisation obtenus par Minitab ont montrés un coefficient de **72,06%** pour le jus et de **93,78%** pour la poudre. Mettant en évidence l'effet des facteurs étudiés sur la turbidité.
- Le bio-floculant a doublé l'effet sur les CF avec des résultats de **30/100 ml**. Pour les CT et les streptocoques les résultats sont restés stables avec des valeurs respectives de **>1400/100 ml** et **>240/100 ml**, et absence des Salmonelles.

Au final, cette étude montre clairement que le jus et la poudre de cactus peuvent remplacer l'utilisation des produits chimiques comme flocculants, d'autant plus les turbidités mesurés répondent aux normes internationales et algériennes.

Annexe 01 :

1 X 50 ml	5 X 10 ml	5 X 1 ml	Nombre caractéristique	Limites de confiance	
				Inférieure	Supérieure
0	0	0	<1		
0	0	1	1	<0,5	4
0	0	2	2	<0,5	6
0	1	0	1	<0,5	4
0	1	1	2	<0,5	6
0	1	2	3	<0,5	8
0	2	0	2	<0,5	6
0	2	1	3	<0,5	8
0	2	2	4	<0,5	11
0	3	0	3	<0,5	8
0	3	1	5	<0,5	13
0	4	0	5	<0,5	13
1	0	0	1	<0,5	4
1	0	1	3	<0,5	8
1	0	2	4	<0,5	11
1	0	3	6	<0,5	15
1	1	0	3	<0,5	8
1	1	1	5	<0,5	13
1	1	2	7	1	17
1	1	3	9	2	21
1	2	0	5	<0,5	13
1	2	1	7	1	17
1	2	2	10	3	23
1	2	3	12	3	28
1	3	0	8	2	19
1	3	1	11	3	26
1	3	2	14	4	34
1	3	3	18	5	53
1	3	4	21	6	66
1	4	0	13	4	31
1	4	1	17	5	47
1	4	2	22	7	59
1	4	3	28	9	85
1	4	4	35	12	100
1	4	5	43	15	120
1	5	0	24	8	75
1	5	1	35	12	100
1	5	2	54	18	140
1	5	3	92	27	220
1	5	4	160	39	450
1	5	5	>240		

Annexe 02 :

Nbre de tube ayant virés au jaune (+) Série des 03 tubes BCPL (D/C)	Nbre de tube ayant virés au jaune (+) Série des 03 tubes BCPL (S/C)	Nbre de tube ayant virés au jaune (+) Série des 03 tubes BCPL (S/C)	N. P. P <i>Le Nombre le Plus probable</i>
0	0	0	00
0	0	1	03
0	1	0	06
0	1	1	06
0	2	0	06
1	0	0	04
1	0	1	07
1	0	2	11
1	1	0	07
1	1	1	11
1	2	1	15
1	3	0	16
2	0	0	09
2	0	1	14
2	0	2	20
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	2	30
2	2	0	20
2	2	1	30
2	2	2	35
2	2	3	40
2	2	0	30
2	3	4	35
2	3	2	41
3	0	0	25
3	0	1	40
3	0	2	65
3	4	0	45
3	1	1	35
3	1	2	145
3	1	3	160
3	2	0	95
3	2	1	150
3	2	2	200
3	2	3	300
3	2	0	250
3	3	1	450
3	3	2	1100
3	3	3	>1400
3	3		