

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

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

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie des procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

Par

- **Merah Yasmine**
- **Khelifi Romila**

Intitulé

Traitement des eaux turbides par un bio-floculant figue de barbarie

Soutenu le : 30/06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Ayeche Riad</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Hellati Abdelhak</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Karce Houssam Eddine</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Remerciements :

Avant tout, nous tenons à remercier le bon Dieu pour nous avoir donné force, courage, patience et volonté pour mener à terme ce modeste travail.

Nous voudrions exprimer notre sincère gratitude à Monsieur Abdelhak Hellati, pour la confiance qu'il a bien voulu nous accorder. Nous le remercions sa grande disponibilité, sa patience, son soutien chaleureux et ses conseils avisés. Nous tenons à lui exprimer notre profonde reconnaissance pour ses critiques constructives d'une rigueur absolue.

Nos vifs remerciements s'adressent également à toute l'équipe de laboratoire de l'environnement, et laboratoire de microbiologie, particulièrement Monsieur Khalil, et les techniciens de labo. Ils nous ont acceptés au sein de leur laboratoire, et ils nous ont beaucoup aidés.

Nous remercions aussi les Jurys pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail. Sans oublier Monsieur Ayache chef de département de génie des procédés de son soutien et sa compassion envers nous pendant ces dernières années.

Nous tenons à remercier profondément Hima Belkis et Ben hamida Jomana qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci à toute la famille Khelifi et Merah, particulièrement nos parents, notre joie et raison de vivre, Nos frères, sœurs, et proches qui nous ont accompagné et fortement encouragée dans cette aventure, Nous voudrions terminer en remerciant tout particulièrement Choutri Aya. Elle a toujours été présente à nos côtés.

Nous exprimons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Résumé

Résumé :

Cette présente étude porte sur la préparation et l'application d'un nouveau bio-floculant biodégradable, non polluant et économique à base de cladodes de cactus naturels disponibles (*Opuntia Ficus Indica*) pour la clarification de l'eau. L'objectif principal de ce travail est de remplacer les produits commerciaux classiques tels que les coagulants chimiques ($FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$), polymères organiques synthétiques, s'avérant inadéquats, infructueux ou coûteux à mettre en œuvre et pouvant répondre à des normes de plus en plus sévères. L'utilisation de cette nouvelle génération de biomatériaux devrait réduire le coût du traitement de l'eau dans un contexte sanitaire, environnemental et de développement durable, l'efficacité de ce nouveau produit est évaluée à travers un « Jar Test », en examinant certains paramètres utiles pour éliminer la turbidité.

Les résultats ont montré clairement que la réduction maximale de la turbidité de l'eau usée est obtenue pour un rapport volumétrique très faible.

Mots clés : bio-floculant, *Opuntia Ficus Indica*, clarification, coagulation-floculation.

Abstract :

This present study deals with the preparation and application of a new biodegradable, non-polluting and economical biofloculant based on available natural cactus cladodes (*Opuntia Ficus Indica*) for water clarification. The main objective of this work is to replace conventional commercial products such as chemical coagulants ($FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$) synthetic organic polymers, proving inadequate, unsuccessful or expensive to apply and to be able to meet increasingly stringent standards. The use of this new generation of biomaterials should reduce the cost of water treatment in a health, environmental and sustainable development context, the efficiency of this new gelled product is evaluated through a Jar Test, by examining some parameters deemed useful in eliminating turbidity. These parameters are turbidity.

The present results showed overall and clearly that the maximum reduction in the turbidity of synthetic water is obtained for a very low volumetric

ملخص :

تركز هذه الدراسة الحالية على إعداد وتطبيق مادة عضوية جديدة قابلة للتحلل البيولوجي غير ملوثة واقتصادية تعتمد على الصبار الطبيعي المتاح لتنقية المياه. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو استبدال المنتجات التجارية التقليدية مثل المخثرات الكيميائية والبوليمرات العضوية الاصطناعية (الأيونية أو الموجبة أو غير الأيونية) التي ثبت أنها غير كافية أو غير ناجحة أو مكلفة للتنفيذ والتي يمكن أن تلبى معايير الجودة. يجب أن يقلل استخدام هذا الجيل الجديد من المواد الحيوية من تكلفة معالجة المياه في سياق التنمية الصحية والبيئية والمستدامة تم تقييم فعالية هذا المنتج الجديد من خلال "اختبار الجار تاست" ، لفحص بعض العوامل للتخلص من تعكر المياه. اظهرت النتائج بوضوح انخفاض درجة المياه العكرة

Sommaire

Remerciement	2
Résumé	3
Sommaire	4
Liste des abréviations	7
Liste des figures	8
Liste des tableaux	9
Introduction général	10
Partie bibliographique	11

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées.

I.1.Introduction	12
I.2. Les différents types des eaux usées	12
I.2.1. Eaux usées domestiques	12
I.2.2. Eaux usées industrielles	12
I.2.3. Eaux de pluie	13
I.2.4. Les eaux usées d'origine agricole	13
I.3. Objectifs du traitement des eaux usées	14
I.4. Les différents polluants présents dans les eaux usées	15
I.4.1. La pollution physique	16
I.4.2. La pollution chimique	16
I.4.3. Pollution azotée	17
I.4.4. Pollution par le phosphore	17
I.4.5. La pollution microbiologique	17

Chapitre II : Coagulation-floculation.

II.1. Introduction	19
II.2. Les particules mises en jeu : Les Colloïdes	19
II.3. La coagulation-floculation	20
II.3.1. La coagulation	20
II.3.1.1. Le principe de phénomènes	20
II.3.1.2. Les modes de déstabilisation des particules colloïdales	20
II.3.1.3. Les facteurs influençant la coagulation	21
II.3.1.4. Choix du coagulant	21

II.3.2. La floculation	22
II.3.2.1. Le principe de phénomènes	22
II.3.2.2. Les type de floculation	22
II.3.2.3. Les flocculants utilisées	23
II.3.3. Technologie de la coagulation-floculation	23

Chapitre III : Généralités sur la figue de barbarie.

II.1. définition	25
III.2. Description morphologique	26
III.3. Utilisations	27
I.4. Cactus Opuntia ficus indica en coagulation floculation	29
I.4.1 Présence d'éléments flocculant	29
I.4.2 Conditionnement du cactus	29

Partie expérimentale :

Chapitre I : Matériels et méthodes.

I.1.Introduction	31
I.2.Matériels et produits	31
I.2.1. Les matériels utilisés	31
I.2.2. Les réactifs utilisés	31
I.3. Description des appareillages	32
I.4. Échantillonnages	34
I.5. Méthode de préparation	35
I.5.1. La récolte de la plante	35
I.5.2. Préparation des échantillons	36
I.5.2.1. Préparation de la poudre	36
I.5.2.2. Préparation de jus	37
I.3.1. Détermination de la dose optimale de coagulant	38
I.3.2. Détermination de la dose optimale de bio flocculant	38
I.3.3. Détermination de la dose optimale du pH	38
I.3.4. Mesure de la demande biologique en oxygène (DBO ₅)	39
I.4.1. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs	40
I.4.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (VRBG)	42
I.4.3. Recherche et dénombrement des champignons, levures, et les FTAM (PCA)	43

Chapitre II : Résultats et discussion.

II.1. Objectif	45
II.2. Caractéristiques des eaux brutes	45
II.3.1 Détermination de la dose optimale de coagulant	45
II.3.2. Détermination de la dose optimale de flocculant	46
II.3.3. Détermination de la dose optimale du pH	47
II.3.4. Mesure de la DBO ₅	50
II.4. Objectif	51
II.5.1. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs	51
II.5.1. Résultats du dénombrement des Coliformes totaux et fécaux	53
II.5.3. Résultats du dénombrement des FTAM et les champignons et les levures	54
Conclusion	58
Références	59

Liste des abréviations :

CF : Coliformes fécaux

CT : Coliformes totaux.

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène carbonée en 5 jours (mg/l)

ERU : Eau résiduaire urbaine

FB : Figue de Barbarie

FTAM : Flore aérobie mésophile totale

HCl : Acide Hydrochlorique

M : Masse molaire de l'espèce considérée (g/mol)

MES : Matière en suspension

MS : Matière sèche

NaCl : Chlorure de sodium

OFI : Opuntia ficus indica

pH : Potentiel d'hydrogène

PPm : Partie par million

UTN : Unités de turbidité néphélométrique

Liste des figures :

N°	Titre du Figure	Page
1	représentation du colloïde hydrophile.	19
2	Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre <i>Opuntia</i> .	25
3	Coupe transversale d'une raquette d' <i>Opuntia ficus indica</i>	26
4	Schéma illustrant quelques organes du cactus	27
5	Jar Test « Fisher Bioblock Scientific » Type 10408..	32
6	Turbidimètre TB300 IR	32
7	conductimètre « inolab cond 7110	33
8	pH mètre « inolab ph 7110 ».	33
9	Balance électronique	34
10	Compteur de colonies	34
11	Prélèvement de l'eau usée a la Station d'épuration de BBA.	35
12	Champ de cactus (figue de barbarie) a El Mansoura BBA.	36
13	Les étapes de préparation de la poudre de figue de barbarie.	37
14	Les étapes de préparation du Jus de FB .	37
15	Recherche de des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs.	41
16	Recherche des coliformes totaux, fécaux, champignons, levures, et FTAM.	43
17	Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant.	46
18	Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de flocculant.	47
19	Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH 'eau usée'	48
20	Eau usée avant et après traitement.	48
21	Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH 'eau de source'	49
22	Boites pétri des coliformes totaux dans le milieu solide VRBG	53
23	Boites pétri des coliformes fécaux dans le milieu solide VRBG	54
24	Boites pétri des FTAM dans le milieu solide PCA	55
25	Boites pétri des champignons et levures dans le milieu solide PCA	56

Liste des tableaux :

N°	Titre du Tableau	Page
1	Objectifs des différents niveaux de traitement des eaux usées (adapté de M&E, 2003)	15
2	caractéristiques de quelques coagulants.	22
3	Tableau des matériels utilisés.	31
4	Classe de turbidités usuelles (UTN, unités de turbidité néphélogométrique).	32
5	Volumes utilisés pour la mesure de la DBO ₅ en fonction des concentrations de l'eau à analyser.	39
6	Les échantillons utilisés dans le traitement bactériologique.	40
7	Caractéristique des eaux brutes.	45
8	Tableau de mesure de la dose optimale de coagulant.	45
9	Tableau de mesure de la dose optimale de floculant.	46
10	Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH 'eau usée	47
11	Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH 'eau de source	49
12	Résultats du DBO ₅ .	50
13	Dénombrement et interprétation des Clostridium sulfito-réducteurs	52
14	Résultats de dénombrement de coliformes totaux, fécaux, FTAM, champignons et levures	58

Introduction générale :

L'augmentation rapide de l'industrialisation, de l'urbanisation et de la population au cours des dernières décennies a provoqué une augmentation spectaculaire de la demande en eau de surface, ainsi que des détériorations importantes de la qualité de l'eau dans le monde entier [1].

Le procédé de coagulation/floculation offre divers avantages pour le traitement des eaux usées industrielles et municipales, notamment la sensibilité réduite aux charges toxiques et aux quantités plus élevées de matières organiques, la facilité d'utilisation, l'économie d'énergie, etc.

Le but de la coagulation repose sur la déstabilisation des particules en suspension par injection et dispersion de produits chimiques. Par la suite, la floculation favorise au moyen d'un mélange les contacts entre les particules déstabilisées pour former un floc facilement éliminable par décantation.

Ces produits chimiques appelés coagulants peuvent avoir des effets nocifs tant sur la santé humaine que sur l'environnement. Le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus largement utilisé en raison de sa disponibilité et de son prix [2].

La recherche de produits alternatifs devient une nécessité. Dans un contexte de santé, d'environnement et de développement durable; nous concentrerons notre étude sur l'intégration de produits biodégradables dans le processus de traitement de l'eau [2].

Pour cela nous avons choisi de travailler sur la valorisation des cladodes de cactus (Figue de barbarie) disponibles localement dans la ville Bordj Bou Arreridj, Algérie.

Partie théorique

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

I.1.Introduction :

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine [3]. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels [4]. La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade sa qualité, ce qui rend son utilisation dangereuse et perturbe le milieu aquatique en particulier la vie des poissons. Le traitement des eaux usées est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques. Ce chapitre a pour objectif de donner une idée sur les origines des eaux usées, leurs systèmes d'évacuations, ainsi que les différentes techniques utilisées pour leur épuration.

I.2. Les différents types des eaux usées :

I.2.1. Eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires. Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension.

Elles peuvent être un danger pour la santé car elles véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne. Une des plus grandes réussites de la civilisation humaine a été la réduction des transmissions de maladies par les eaux-vannes avec la mise en place de règles d'hygiène et d'un processus d'assainissement, y compris le développement des réseaux d'égout et de la plomberie [3].

I.2.2. Eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires) ;
- Des hydrocarbures (raffineries) ;
- Des métaux (métallurgie) ;
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries) ;

- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs)

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations [5].

I.2.3. Eaux de pluie :

Ces eaux proviennent des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie par deux mécanismes :

- Le lessivage de sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces, sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décan tables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts [6].

I.2.4. Les eaux usées d'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,...). Donc ces eaux sont l'issus :
- Des apports directs dus aux traitements des milieux aquatiques et semi-aquatiques tels que le désherbage des plans d'eau, des zones inondables (faucardage chimique) et des fossés, ainsi que la démoustication des plans d'eau et des zones inondables (étangs et marais).
- Des apports indirects dus en particulier à l'entraînement par ruissellement, aux eaux de rinçage des appareils de traitement, aux résidus présents dans des emballages non

correctement rincés ou détruits, aux eaux résiduaire des usines de fabrication et de conditionnement. [4], [7].

I.3. Objectifs du traitement des eaux usées :

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de réduire ou éliminer les contaminants présents dans les effluents avant leur rejet dans le milieu récepteur et respecter ainsi les exigences de rejet environnemental. Selon l'origine des eaux usées, une chaîne de traitement sera mise en place afin d'atteindre des cibles préétablies. Typiquement, le procédé de traitement des eaux usées sera composé de plusieurs niveaux : prétraitement, primaire, secondaire et tertiaire, et lorsque c'est nécessaire un niveau avancé peut s'ajouter. Les objectifs de chaque niveau de traitement sont décrits au Tableau 1 [8].

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

Tableau 1 : Objectifs des différents niveaux de traitement des eaux usées (adapté de M&E, 2003) [8].

Niveau du traitement (procédé)	Objectif du traitement
Prétraitement (e.g. dégrillage, dessablage, déshuilage et dégraissage)	Enlèvement des particules grossières (matières flottantes, chiffons et autres impuretés) et des graisses qui risqueraient de nuire au bon fonctionnement des équipements en aval
Primaire (décantation)	Enlèvement d'une fraction des matières en suspension et de la matière organique.
Primaire avancé (coagulation-floculation)	Enlèvement amélioré des matières en suspension et de la matière organique à l'aide de produits chimiques.
Secondaire (e.g. biofiltres, boues activées)	Enlèvement de la matière organique biodégradable et des matières en suspension. La désinfection peut aussi faire partie du traitement secondaire conventionnel.
Tertiaire	Enlèvement des matières en suspension résiduelles (après un traitement secondaire). Typiquement la désinfection fait partie du traitement tertiaire. L'enlèvement des éléments nutritifs (azote et phosphore) est souvent inclus dans cette fonction.
Avancé	Enlèvement des matières en suspension et dissoutes restantes après un traitement biologique normal quand la réutilisation de l'eau traitée est requise pour certaines applications.

I.4. Les différents polluants présents dans les eaux usées :

On distingue :

I.4.1. La pollution physique :

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes : mécanique, thermique et radioactive [9].

a) La pollution mécanique :

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les ERI, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES [10].

b) La pollution thermique :

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...) ; ont une température de l'ordre de (70 à 80) °C. Elle diminue jusqu' à (40 à 45) °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène. En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralenti la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [9].

c) La pollution radioactive :

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [9].

I.4.2. La pollution chimique :

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) ;
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) [10].

a) Pollution organique :

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives [11].

b) Pollution minérale :

- Métaux lourds

La présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés à la pollution. Par ordre décroissant de toxicité spécifique. Les métaux sont classés comme suit :

$Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn$

Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire ou leur toxicité augmente. L'irréversibilité de cette pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipés dans la nature [11].

I.4.3. Pollution azotée :

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riches en azote (élément nutritif) issus des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries

chimiques et agroalimentaires. 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}) [9].

I.4.4. Pollution par le phosphore :

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire [12].

Comme l'azote, 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 [9].

I.4.5. La pollution microbiologique :

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique...) [13].

Chapitre II :

Coagulation - Floculation

II.1. Introduction :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration [8].

II.2. Les particules mises en jeu : Les Colloïdes

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivants :

- état de suspension qui regroupe les plus grosses particules
- état colloïdal.
- état dissous des sels minéraux et des molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules. Les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de charges électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion intercolloïdales. Celles-ci permettent d'expliquer la grande stabilité de ces particules mises en solution. Leur densité, qui peut atteindre 2,5, ne modifie pas la valeur de leur vitesse de décantation. L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles [8].

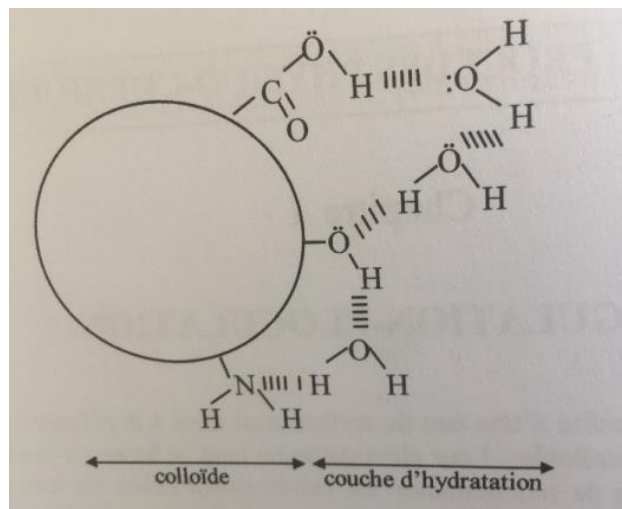


Figure 1 : représentation du colloïde hydrophile [8].

II.3. La coagulation-floculation :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années [14].

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdales présente dans l'eau [15], puis formation de floes par absorption et agrégation. Les floes ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [14].

II.3.1. La coagulation :

II.3.1.1. Le principe de phénomènes :

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer » [14]. Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants [14].

L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes [16]. Le procédé nécessite une agitation importante [14].

II.3.1.2. Les 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 entre les particules

La compression de la double couche :

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de van der Waal ne sont pas affectées.

L'adsorption et neutralisation des charges :

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi rentabilisées [17].

II.3.1.3. Les facteurs influençant la coagulation :

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation [6]. Ces variables sont liés à la qualité de l'eau à traiter : le pH, la turbidité, la couleur, les sels dissous et la température. D'autres sont liés au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection [15].

Les interrelations complexes entre ces facteurs interdisent actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants [6].

II.3.1.4. Choix du coagulant :

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. On ne peut, néanmoins, négliger son prix et les effets secondaires comme les fuites en Fe^{3+} et Al^{3+} . Il faut savoir que le chlorure ferrique contient du manganèse sous forme de Mn^{2+} à raison de 0,057 g pour 100 g de coagulant. Le traitement d'eau chargée en matières organiques exige du chlorure ferrique. Les coagulants à base de sels d'aluminium permettent d'obtenir une eau traitée très faible en turbidité. La vérification de la dose de coagulant à mettre en œuvre passe par le JAR-TEST. En analyse continue, la quantité de matières organiques déterminée à 254 nm, permet d'obtenir le taux optimum de traitement du coagulant [8].

Chapitre II

Coagulation-floculation

Tableau 2 : caractéristiques de quelques coagulants [8].

Nom commercial	Masse molaire	Densité	Forme	Formule	Apport en M_2O_3	Remarques
Sels Aluminium						
Sulfate d'alumine	666	-	Solide	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	17 à 18	Poudre irritante
Sulfate d'alumine	645	1.45	Liquide		8.2	Liquide corrosif
Polychlorosulfate basique d'aluminium	-	1.2	Liquide	$Al_n(OH)_m(SO_4^{2-})_{k-m}Cl_{3n-m-2k}$	10	Réactif acide dénommé WAC
Sels de Fer						
Chlorure ferrique	162.5	1.45	Liquide	$FeCl_3$	41% Fe	Réactif acide
Sulfate ferreux	278	-	Poudre	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	20% Fe	
Chlorosulfate ferrique	187	1.5	Liquide	$FeClSO_4$	14% Fe	Réactif acide

Les sels d'aluminium sont très largement utilisés dans le domaine de l'eau potable. Les sels de fer sont plutôt destinés aux eaux résiduaires et en particulier pour l'élimination physico-chimique du phosphore. Le chlorure ferrique a sa place dans les filières de traitement des boues hydroxydes ou organiques [8].

II.3.2. La floculation :

II.3.2.1. Le principe de phénomènes :

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 des contacts entre les particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules [6].

Ce phénomène est pour la formation de floccs de taille plus importante. On utilise, pour ce faire, des flocculants.

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floccs risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes [14].

II.3.2.2. Les type de floculation :

Pour arriver à la décantation des particules colloïdales coagulées, il est nécessaire de les passer par une opération de floculation. Cette floculation peut être faite à l'aide d'une de ces deux

méthodes suivantes :

- La floculation physique
- La floculation chimique

II.3.2.3. Les flocculants utilisés :

Les flocculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire [14].

- Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des floccs [20].

Les flocculants peuvent être de trois natures différentes :

- Les flocculants minéraux ;
- Les flocculants organique ;
- Les flocculants de synthèse [17].

II.3.3. Technologie de la coagulation-floculation :

Stratégie :

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles. En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celles de la floculation. On distingue les deux phases suivantes :

- 1ère phase : mélange rapide et vigoureux.
- 2ème phase : mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pâles ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de flocc sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différences de vitesse dans le bassin nécessaire à la rencontre des particules [8].

Chapitre III :

Généralités sur la figure de Barbarie

III.1. Définition :

Le figuier de Barbarie est une plante grasse appartenant à la famille des cactées et plus précisément au genre *Opuntia*. Il est cultivé dans les climats arides, comme dans les régions méditerranéennes et d'Amérique centrale [21]. Les régions semi-arides du Mexique renferment la plus grande diversité de cactus dans le monde [22]. Le genre *Opuntia* contient environ 300 espèces et beaucoup d'entre elles produisent des tiges et des fruits bien tendres et comestibles [23]. Parmi ces espèces on cite *Opuntia ficus-indica* (inermes ou sans épines) et *Opuntia megacantha* (épineuse) largement connues sous le nom de figuier de Barbarie et qui ont fait l'objet de notre étude (fig.2).



Figure 2 : Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre *Opuntia*: (a) *Opuntia megacantha* (épineuse), (b) *Opuntia ficus indica* (inermes),

La jeune partie de la tige du cactus, ou cladode, est souvent consommée comme un légume dans les salades, tandis que le fruit est consommé en frais [24]. La composition chimique des cladodes dépend de la variété, du stade de croissance et des conditions environnementales. Elles ont une valeur nutritive élevée, principalement en raison de leurs ressources minérales, en protéines, en fibres alimentaires et en contenu photochimiques [25]. On les utilise à des fins médicinales et cosmétiques, comme fourrage ou matériaux de construction et en tant que source de couleurs naturelles. Cependant, leurs utilisations sont encore essentiellement limitées aux pays d'origine [26].

La figure 3 représente un schéma de la structure des cladodes d'*Opuntia*. Le cladode est constitué essentiellement de cellules épidermiques, de parenchyme et de chlorenchyme (parenchyme chlorophyllien). Le parenchyme est le tissu fondamental des végétaux supérieurs, forme de cellules vivantes peu différenciées, aux parois cellulosiques ni épaissies ni lignifiées. La cuticule contient les tanins et la lignine.

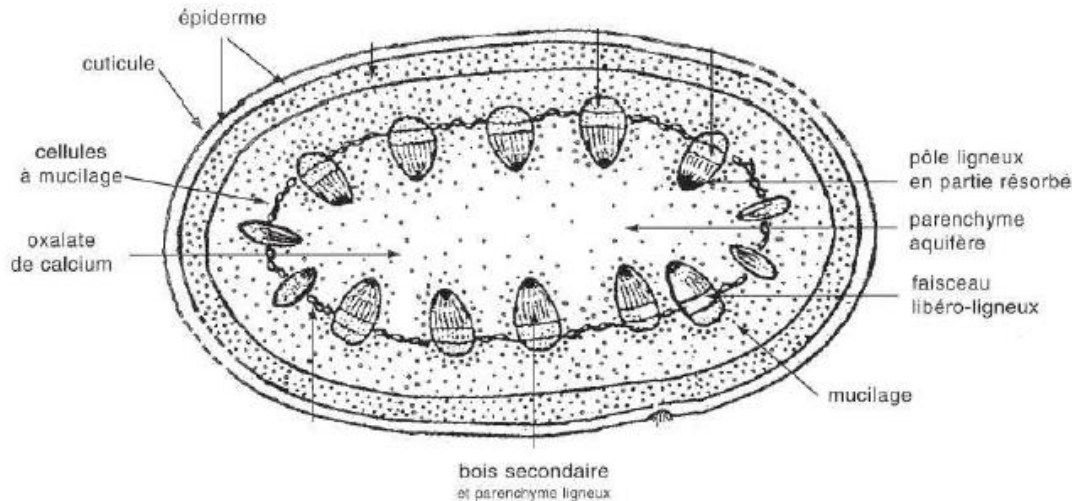


Figure 3: Coupe transversale d'une raquette d'*Opuntia ficus indica* [27].

III.2. Description morphologique :

Le figuier de Barbarie est une plante arborescente, caractérisée par des tiges en forme de raquettes plates charnues et ovales pouvant atteindre 3 à 4 mètres de haut. Les raquettes, appelées cladodes, mesurent 30 à 40 centimètres de long, sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur. De couleur verte, elles s'unissent les unes aux autres, en formant des sortes de branches. Elles sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration de la plante et la protège tout en assurant la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles. Leur surface est parsemée d'alvéoles au sein desquelles naissent, sur les cladodes en formation, des feuilles fragiles, éphémères et caduques. Elles portent de redoutables épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base. Les cladodes de la base, en vieillissant, finissent par se lignifier pour former un véritable tronc. Le figuier de Barbarie donne des fleurs et des fruits en abondance. Les fleurs apparaissent sur le dessus des raquettes, larges de 4 à 10 cm et de couleur jaune, orange ou rouge. Ces fleurs sont comestibles, comme le fruit auquel elles donnent naissance qui se présente sous la forme d'une grosse baie ovoïde et charnue, dont la peau verte jaunâtre est, elle aussi, ornée de petites épines. Dans les climats tempérés, la floraison a lieu en avril, mai et les fruits sont cueillis fin juillet à septembre, dès qu'ils deviennent un peu mous. Dans certaines contrées arides et chaudes, la plante peut donner des fruits deux fois par an. Appelé figue de Barbarie, ce fruit a une chair d'une couleur variant du jaune clair au rouge violacé et dont le goût se révèle délicieux et subtil. Ses graines, riches en vitamines et en oligoéléments, lui confèrent de nombreuses propriétés et c'est à partir de ces graines que l'on obtient une huile très recherchée [28].

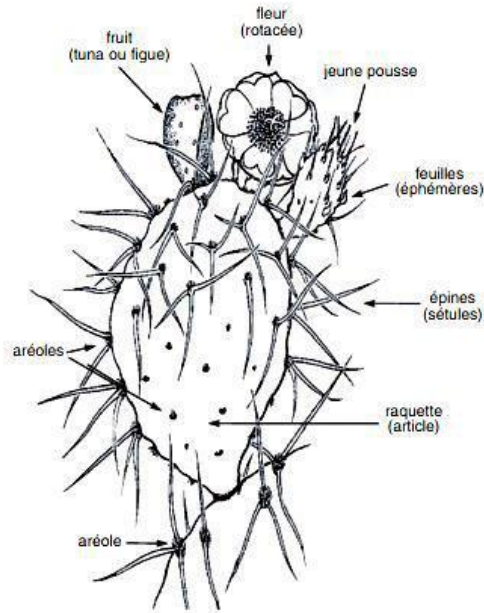


Figure 4: Schéma illustrant les différentes parties du figuier de Barbarie [28].

III.3. Utilisations :

1- Alimentation humaine :

- **Fruit** : Les fruits sont connus par leurs teneurs élevées en sucre, minéraux et vitamines. Ils sont produits et vendus en été et en automne, selon la précocité de la variété [29].
- **Cladode** : Les jeunes cladodes sont consommées en tant que légume car elles sont tendres et fibreuses. Leur valeur nutritive est similaire à celle d'un grand nombre de légumes et feuilles. Elles sont riches en eau, en hydrates de carbone, en protéines, en vitamine C et β -carotène qui est un précurseur de la vitamine A. Ces jeunes cladodes sont appelés « Napolitos » au Mexique où elles sont considérées comme un légume traditionnel depuis des siècles. Elles sont consommées à l'état frais ou après cuisson en tant que légume vert. Elles sont conseillées pour les diabètes à diabétisme indépendant de l'insuline, car leur consommation peut améliorer le contrôle du sucre chez ces patients et peut réduire le taux du cholestérol dans le sang [30]. Il existe d'autres produits dérivés à partir des cladodes: confiture, cornichon et cladodes confits. Alors que les cladodes ont été traditionnellement utilisés comme un substitut de viande pendant les périodes de jeûne, elles sont aujourd'hui servies avec un repas semblable à des haricots verts [26].

2- Production de fourrage pour le bétail

. Le cactus est utilisé depuis longtemps dans l'alimentation du bétail des zones arides et sa production dans ces zones est plus rentable que celle d'autres espèces fourragères comme le maïs et le sorgho. [30].

3- Apiculture :

Le cactus est une plante à floraison abondante et son cycle de floraison peut s'étendre de 3 à 6 mois selon la région et la variété. Sa floraison attire les abeilles en masses par leurs grandes fleurs de couleur jaune, leur pollen abondant et leur nectar [30].

4- Produits :

- **Production des huiles :** L'huile extraite des graines du fruit du figuier de Barbarie appartient à la famille des huiles polyinsaturées comme la plupart des huiles végétales. La valeur commerciale de cette huile est intéressante en raison de ses particularités cosmétiques recherchées. Elle est riche en acide gras insaturé comme l'acide linoléique (64,43%) et l'acide oléique (18,46%). Parmi les acides gras saturés, le plus important est l'acide palmitique (12,60%) et l'acide stéarique (2,82%). Par contre, sa particularité réside dans sa richesse en matière insaponifiable (stérols et tocophérols). Cette caractéristique pourrait être un levier pour son exploitation dans le domaine de la cosmétologie; étant donné les effets bénéfiques de ces substances sur l'élasticité de la peau, le métabolisme cellulaire et la restauration de la structure cutanée. Elle possède des particularités cosmétiques remarquables, car elle prévient le vieillissement et les rides de la peau. Les graines servent également pour la préparation de crème à usage dermique [29].
- **Production agroalimentaire**
- **Production de colorants :** les deux colorants extraits à partir de la figue de barbarie sont le carmin et la bétalaine
- **Production cosmétique et pharmaceutique :** Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants [31].
- **Production de médicaments :** Les technologies mises au point récemment ont démontré la possibilité de production des alicaments sous forme de gélules ou capsules. Ce sont des aliments naturels qui ont des fonctions thérapeutiques pour le traitement des maladies comme l'obésité, le cholestérol, la constipation et les coliques. Ils contribuent à la régulation du transit de l'intestin [29].

5- Autres utilisations :

Engrais vert : Les résidus des raquettes ou des fruits et les autres parties de la plante constituent un excellent fertilisant [28].

I.4. Cactus *Opuntia ficus indica* en coagulation floculation :

I.4.1 Présence d'éléments floculant :

Plusieurs composés des cladodes de cactus sont susceptibles d'agir comme des bio floculant. Comme nous venons de le voir, la composition chimique des cladodes de cactus est riche en sucres, avec des monomères glucidiques tels que le D glucose, D galactose, L arabinose et le rhamnose. Ces sucres monomériques ont montré leurs pouvoirs floculant en traitement d'un effluent synthétique de kaolin avec un abattement de la turbidité de 50% [32].

De même [33], ont rapporté que les polysaccharides sont considérés comme les matières floculant actives de cactus. D'autres familles biochimiques sont soupçonnées d'avoir un effet des synergies avec les polysaccharides, tels que

Les protéines qui ont déjà été rapportées par [34], comme la molécule responsable de la floculation pour *Moringa Oleifera*. Les polyphénols et surtout les tanins qui ont déjà montré leur efficacité en traitement des eaux par coagulation floculation [35], pourraient aussi expliquer le meilleur abattement de floculation (>90%) d'*Opuntia ficus indica*.

I.4.2 Conditionnement du cactus :

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

- **Extrait liquide du cactus** : après enlèvement des épines, les cladodes sont lavés premièrement par de l'eau potable, ensuite par de l'eau ultra pure ; ils sont coupés par la suite en petits morceaux, et Broyés avec un broyeur domestique. Le jus extrait est stocké au réfrigérateur à 4°C après une dernière étape de filtration. On inactive les enzymes dans les cladodes en les chauffant dans de l'eau à 85 ° C pendant 20 minutes, puis en les neutralisant à pH 7 afin d'induire une dé-estérification des groupes méthoxyles, pour extraire le maximum de mucilage[36].
- **Extrait solide du cactus** :

Les cladodes de cactus sont lavés, coupés, puis séchés au soleil pendant deux semaines avant d'être séchés au four à 60 °C pendant 24 heures [36].

Partie expérimentale

Chapitre I : matériels et méthodes.

I.1. Introduction :

Le travail expérimental de ce mémoire a été réalisé au niveau de laboratoire de Génie des Procédés, Facultés des Sciences et technologie à l'Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi, (BBA), durant la période comprise entre février et mai de l'année 2022. L'objectif de l'étude consiste au prétraitement d'une eau usée et une eau de source par un procédé physicochimique, la coagulation-floculation; en utilisant un coagulant (sulfate d'aluminium) et un bio floculant naturel (figue de barbarie), l'efficacité du traitement sera jugée par le taux d'abattement de la turbidité après 30 min de décantation, et un test bactériologique pour le but de la recherche et le dénombrement des coliformes totaux, fécaux, champignons, levures, et les FTAM présents dans l'eau.

I.2. Matériels et produits :

I.2.1. Les matériels utilisés :

Le matériel utilisé dans ce travail est mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 3. Tableau des matériels utilisés.

Traitement physicochimique	Traitement bactériologique
Bécher - erlenmeyer – entonnoir- éprouvette gradué - pipette - pissette – barreau magnétique - agitateur - Pince à dissection- Fiole jaugée – Seringue – Spatule	Micropipette – boîte de pétri stérile – Tubes à essai stériles – Flacons stériles - Verre – bec bunsen – Portoir – vortex - l'anse de platine – Autoclave.

I.2.2. Les réactifs utilisés :

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

- **Les réactifs coagulants:** Sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$).
- **Les réactifs floculants :** le jus de figue de barbarie et son poudre
- **Réactifs pour ajuster le pH :**
 - Hydroxyde de sodium NaOH
 - Acide Hydrochlorique HCl
- **Les additifs :** Alun de fer et le sulfite sodium.

I.3. Description des appareillages :

a. Jar-test :

Le Jar-test que nous avons utilisé, est flocculateur numérique « Fisher Bioblock Scientific » Type 10408, comporte 6 agitateurs dont la vitesse de rotation peut varier plus que 200 tr/min. Les pales sont de type à hélices et le volume des béchers est de 1 litre.



Figure 5 : Jar Test « Fisher Bioblock Scientific » Type 10408.

b. Le turbidimètre :

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, Organismes microscopiques...).

Le turbidimètre permet de mesurer la quantité de lumière diffusée à angle droit par un faisceau lumineux traversant l'échantillon. Les résultats sont directement exprimés en UTN.

Tableau 4 : Classe de turbidités usuelles (UTN, unités de turbidité néphélométrique).

Turbidité < 5 UTN	Eau Claire
5 < turbidité < 30 UTN	Eau légèrement trouble
Turbidité > 50 UTN	Eau trouble



Figure 6. Turbidimètre TB300 IR.

c. Le conductimètre :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle est proportionnelle au degré de minéralisation.



Figure 7. Conductimètre « inolab cond 7110 ».

d. Le pH mètre :

Est l'appareil de mesure constitué d'une électrode de pH que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité son pH s'affiche alors sur l'écran. L'électrode doit être bien rincée à l'eau du robinet, puis eau distillée puis à l'eau analysée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que ces mesures soient justes.

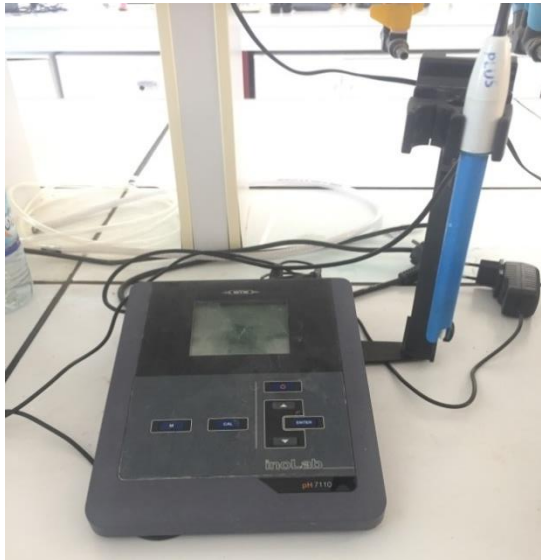


Figure 8. pH mètre « inolab ph 7110 »

Chapitre I

Matériels et méthodes

e. **Balance électronique** : pour Mesurer la masse de la plante utilisée (poudre).

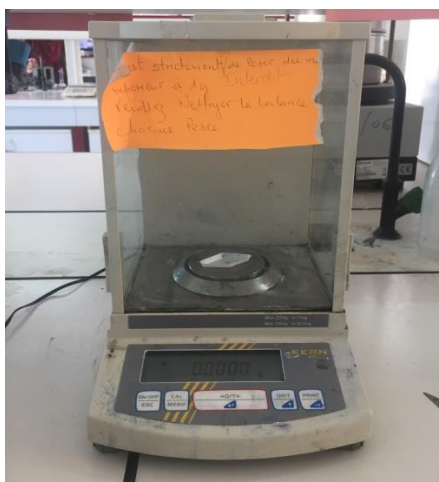


Figure 9. Balance électronique.

f. **Compteur de colonies** :

Le compteur de colonies convient pour des comptages fiables et efficaces, de colonies de bactéries sur les boîtes Pétri, de plaques phages développées sur agar, de colonies de bactéries développées sur disques nutritifs, Utilisable avec une pointe de stylo, la pression exercée sur la boîte de Pétri déclenche le comptage et effectue l'incrémentation.



Figure 10. Compteur de colonies.

I.4. Échantillonnages :

Prélèvement des échantillons :

Deux types d'échantillons ont été étudiés à savoir eau usée (station d'épuration BBA), et eau potable (source Ain Soltane)

a- Echantillon 1 : eau usée

L'eau usée a été prise au niveau de la station d'épuration (ONA) qui est localisée à El Hamadia Route BBA, Algérie, plusieurs prises d'échantillons ont été ramenées à l'entrée de la station à des intervalles de temps durant tout la durée de notre étude.



Figure 11. Prélèvement de l'eau usée a la Station d'épuration de BBA.

b- Echantillon 2 : eau de source.

L'échantillon a été prélevé à Ain Soltane Route à Bordj Bou Arreridj, le prélèvement a été fait selon les conditions adéquats afin d'éviter tout type de contamination.

I.5. Méthode de préparation :

Le bio floculant :

I.5.1. La récolte de la plante :

Cladodes de cactus ont été collecté au cours du mois de février dans la région de la région El Mansoura et El Main, sont des communes de la wilaya de Bordj-Bou-Arreridj (Algérie), en 2022. de température moyenne de 22°C. Dans les mois les plus chauds elle est de l'ordre de 33°C, alors qu'elle varie entre 0 et 7°C pendant les mois les plus froids.



Figure 12. Champ de cactus (figue de barbarie) a El Mansoura BBA.

I.5.2. Préparation des échantillons :

I.5.2.1. Préparation de la poudre :

Après avoir retiré les épines du cactus, les cladodes ont été rincés à l'eau du robinet puis à l'eau distillée. Ensuite coupés en petits dés où la peau a été pelée. L'ensemble a été placé dans une étuve à 105°C pendant 72 heures. Le produit obtenu a été broyé à l'aide d'un broyeur « universel M 20 – IK », qui tourne à vitesse de 200 tr/min, la poudre obtenue a été tamisée par un « Retsch Tamiseuse AS 200 » une granulométrie de 71 μm a été sélectionnée dans la suite de notre travail. La poudre de raquettes ainsi obtenue est conservée dans un bocal hermétique à une température ambiante. Cette poudre fine sera ultérieurement utilisée pour la préparation des différents extraits.

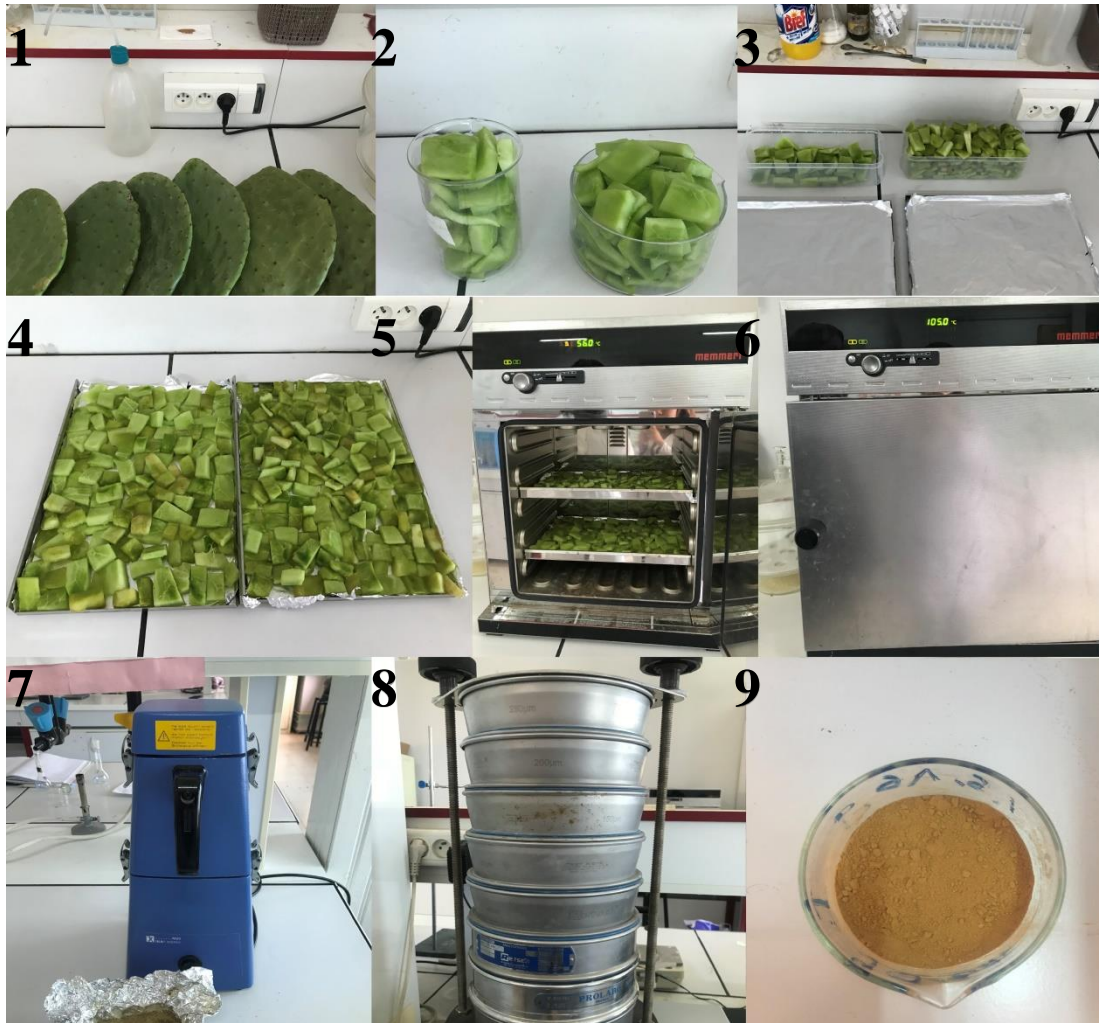


Figure 13. Les étapes de préparation de la poudre de figue de barbarie.

I.5.2.2. Préparation de jus :

On a enlevé toutes les épines des cladodes de figue à l'aide d'une pince à épiler ensuite les cladodes ont été nettoyés, puis découpés en petites tranches, pour être mélangé dans un mixeur « Philips » enfin le jus obtenu est conservé dans un flacon en verre stérilisé.



Figure 14. Les étapes de préparation du Jus de FB.

Traitement physicochimique :

I.3.1. Détermination de la dose optimale de coagulant :

Pour identifier la concentration optimale en sulfate d'aluminium, les étapes suivantes ont été suivies :

Dans une série de béchers :

- Introduction de 500 ml de l'échantillon.
- Ajout de coagulant des doses croissantes entre (50 et 250 mg.L⁻¹) au pH fixé à 7. (1g dilué dans 1L de l'eau distillé)
- Agitation rapide (150 t/min) pendant 3 min.
- Après la dilution du jus (20ml dans 1L de l'eau distillé), 50ml de cette solution ont été ajouté dans chaque béchers.
- Réduction de l'agitation à 40 t/min sous agitation lente pendant 15 min.
- décantation pendant 30 min
- Prélèvement, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 10ml pour mesurer la turbidité,

I.3.2. Détermination de la dose optimale de bio flocculant :

Dans une série de béchers :

- Introduction de 500 ml de l'échantillon.
- Ajout de coagulant (dose optimale 150ml)
- Agitation rapide (150 t/min) pendant 3 min.
- Ajout de flocculant des doses croissantes entre (10 et 50 mg.L⁻¹) sous agitation lente pendant 15 min à 40 tr/min.
- décantation pendant 30 min
- Prélèvement, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 10ml pour mesurer la turbidité,

I.3.3. Détermination de pH optimale :

Dans une série de béchers :

- Introduction de 500 ml de l'échantillon ;
- Variation de pH de la solution entre (4.1 et 10.02) en ajoutant soit du NaOH ou du HCl.
- Ajouter la dose optimale du coagulant (dilué) 150 ml e sous agitation rapide pendant 3 min à 150 tr/min.

- Ajout de la dose optimale du bio flocculant 20ml (dilué), sous agitation lente pendant 15 min à 40 tr/min.
- décantation pendant 30 min
- Prélèvement, à l'aide d'une seringue un volume d'environ 10ml pour mesurer la turbidité,

I.3.4. Mesure de la demande biologique en oxygène (DBO₅) :

Parmi les méthodes de mesure de la DBO₅ d'un échantillon d'eau, on a choisis la méthode manométrique, c'est la plus utilisée, elle est basée sur le principe du respiromètre de WARBURG au cours duquel la respiration de la biomasse est directement mesurée par un appareil.

Mode opératoire :

- Pour chaque phase de traitement on prélève le volume 250ml.
- Puis on ajoute l'hydroxyde de sodium NaOH (qui a pour rôle de piéger le CO₂ dégazé pendant la respiration),
- On incube ce flacon dans un incubateur pendant 5 jours à l'obscurité à une température de 105°.
- la lecture est faite sur l'échelle indiquée sur l'appareil

Tableau 5. Volumes utilisés pour la mesure de la DBO₅ en fonction des quantités de l'eau à analyser.

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	50
0 – 4000	22.7	100

Traitement bactériologique :

Tableau 6. Les échantillons utilisés dans le traitement bactériologique.

Echantillon 1	Eau usée	Non traité	-
Echantillon 2	Eau potable	Non traité	-
Echantillon 3	Eau usé pH8	Traité	Jus
Echantillon 4	Eau usée pH9	Traité	Poudre
Echantillon 5	Eau potable pH8	Traité	Jus
Echantillon 6	Eau potable pH9	Traité	Poudre

I.4.1. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs :

Mode opératoire :

A partir de l'eau à analyser :

- Transférer environ 20 ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 75°C pendant 15 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes. Un autre flacon rempli d'une autre eau servira de témoin de température.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse, sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou Tryptose Sulfite Néomycine ou encore gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à 47 ± 1°C, additionnée de leurs additifs spécifiques (VF + Alun de Fer et Sulfite de Sodium).
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène.
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à :
 - 44 +/- 4°C, pendant 20 +/- 4 heures, dans le cas de la gélose TSC ou TSN.
 - 36 +/- 2°C, pendant 44 +/- 4 heures, dans le cas de la gélose Viande Foie.

Lecture :

- La première lecture doit absolument être faite après 16 heures car très souvent les spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont envahissantes auquel cas on se trouvera en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire

Chapitre I

Matériels et méthodes

impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de 10^{-1} voire 10^{-2} , la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et dernière à 44 +/- 4 heures.

- Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, ayant poussé en masse et rapporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser.

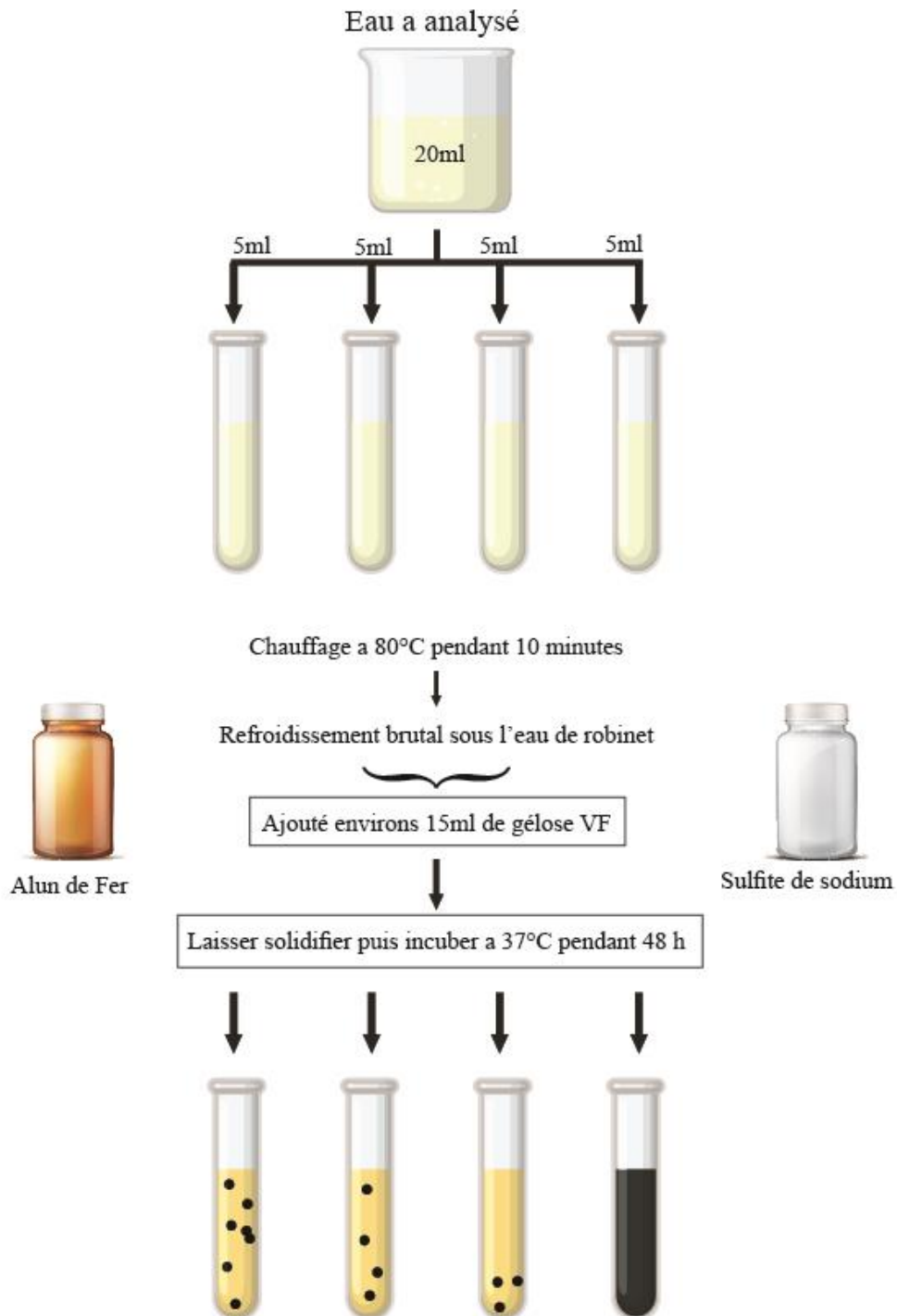


Figure 15. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs (Institut Pasteur D'Algérie, 2002).

I.4.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (VRBG) :

Mode opératoire :

Réalisation des séries de dilutions et l'ensemencement :

Dilution décimale en cascade

Pour diminuer le nombre des bactéries on a opté pour des dilutions décimales. La dilution décimale en cascade est effectuée en transférant une prise d'essai de 1 ml de suspension à diluer dans un tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. (Comme indiqué dans la figure)

Après avoir réalisé les dilutions nécessaires on a étiqueté les boîtes de pétri stérile avec les noms des échantillons et la dilution et on a passé à l'ensemencement.

Les échantillons traités une dilution

Les échantillons non traités	deux dilutions
------------------------------	----------------

Les étapes pour réaliser l'ensemencement dans la masse :

- Déposez votre échantillon de 1ml dans une boîte de Pétri vide (et stérile évidemment).
- Ajoutez une couche de milieu VRBG (Violet Red Bile Dextrose), en général de 10 à 20ml. Attention, la température du milieu doit être maîtrisée. Si celle-ci est trop élevée, vos microorganismes n'y survivront pas !
- Procédez à l'agitation. Elle doit se faire en forme de « 8 » afin de répartir l'échantillon de manière homogène dans le milieu de culture.

Cette opération doit être effectuée en double pour chaque dilution car :

- La première série de boîtes sera incubée à 37°C et sera réservée à la recherche des coliformes totaux.
- La deuxième série de boîtes sera incubée à 44°C et sera réservée à la recherche des coliformes fécaux.

I.4.3. Recherche et dénombrement des champignons, levures, et les FTAM (PCA) :

Les mêmes étapes pour le milieu PCA (Plate count Agar), mais dans cette opération on doit effectuer 2 séries :

- La première série de boîtes sera incubée à 22°C et sera réservée à la recherche des champignons et les levures
- La deuxième série de boîtes sera incubée à 37°C et sera réservée à la recherche des FTAM

Les 2 séries seront incubées pendant 24 heures, et la lecture se fait à l'aide d'un compteur des colonies

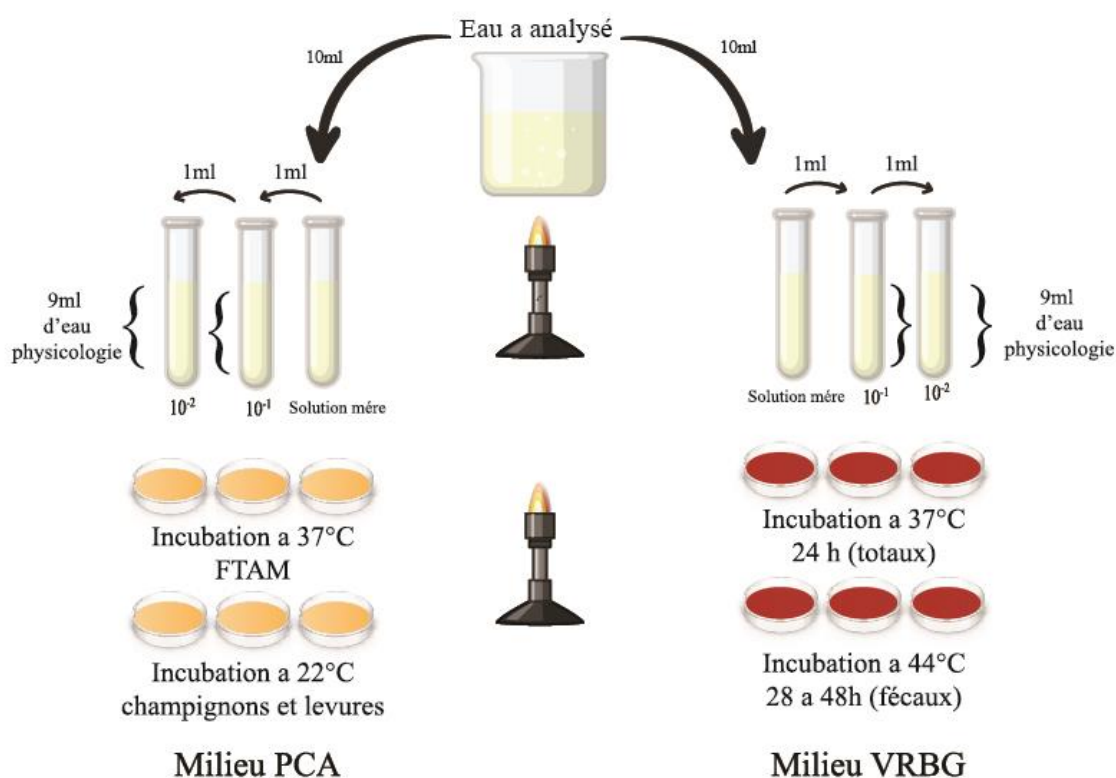


Figure 16. Recherche des coliformes totaux, fécaux, champignons, levures, et FTAM.

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1. Objectif :

L'objectif de la présente étude est le prétraitement de l'eau usée et l'eau de source par un procédé physicochimique (coagulation floculation), dans le but d'optimiser ses performances en déterminant les conditions optimales permettant un meilleur abattement de la turbidité :

- La dose optimale du Coagulant
- La dose optimale du Floculant
- Le pH optimal.

Traitement Physico-chimique :

II.2. Caractéristiques des eaux brutes :

Tableau 7. Caractéristiques des eaux brutes.

Paramètres	Eau usée	Eau de source
Température	28°C	27°C
Turbidité	202 UTN	3.09 UTN
Conductivité	3.47 ms.cm ⁻¹	955 us/cm
pH	7.81	8.16

II.3.1. Détermination de la dose optimale de coagulant :

Dans le but d'étudier l'effet de la dose de coagulant (Sulfate d'aluminium) sur le processus de la coagulation floculation, des séries d'essais ont été effectuées à plusieurs doses de coagulant allant de 50 à 250 ml. Le choix de la dose optimale du coagulant sera jugé en fonction de l'abattement de la turbidité. La variation de la turbidité en fonction des différentes doses appliquées est représentée sur le tableau et le graphe suivant :

Tableau 8. Tableau de mesure de la dose optimale de coagulant.

Coagulant	50 ml	100	150	200	250	témoin
Floculant	40ml	40	40	40	40	-
Turbidité	8.88 UTN	4.71	1.41	1.81	2.2	220

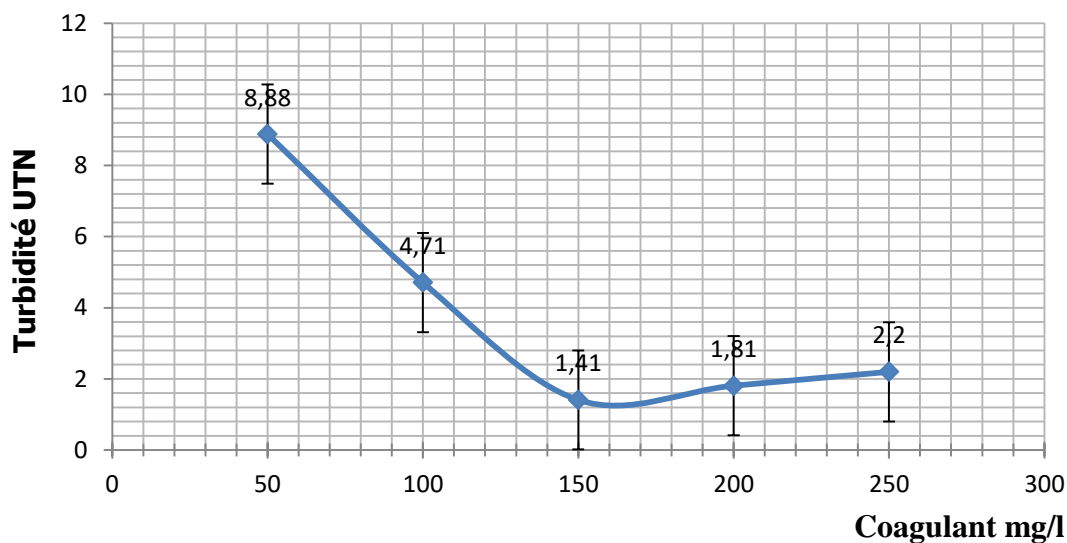


Figure 17. Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de coagulant.

L'allure de la courbe représentant l'évolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant, montre la diminution progressive de la turbidité avec l'augmentation de la dose du coagulant jusqu'à atteindre une valeur minimale de 1.41 NTU. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau.

II.3.2. Détermination de la dose optimale de flocculant :

A partir des concentrations optimales de coagulant déterminé précédemment, une série d'essais avec différent dose de bio flocculant de 10 jusqu'à 50 ml ont été réalisé.

Cette essai est effectuée pour approcher la concentration optimale de bio flocculant avec une concentration en coagulant de 150ml les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau et le graphe suivant.

Tableau 9. Tableau de mesure de la dose optimale de flocculant.

Coagulant	150 ml	150	150	150	150	témoin
Flocculant	10ml	20	30	40	50	-
Turbidité	1.24 UTN	1.14	1.25	1.48	1.82	220

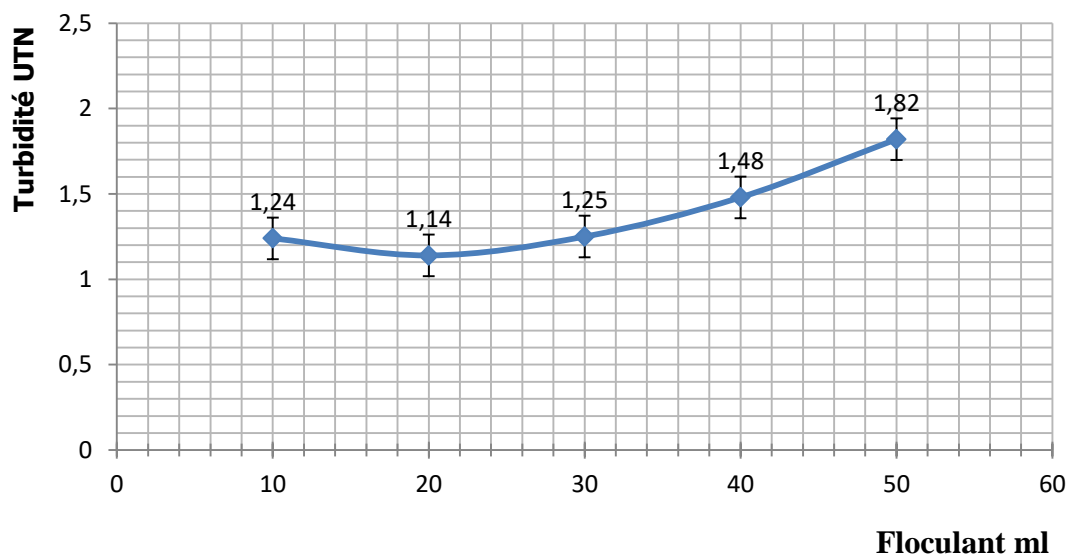


Figure 18. Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de flocculant.

L’allure de la courbe représentant l’évolution de la turbidité en fonction des doses du bio flocculant, montre la diminution progressive de la turbidité avec l’augmentation de la dose du bio flocculant jusqu’à atteindre une valeur minimale de 1.14 NTU. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau.

II.3.3. Détermination de la dose optimale du pH :

De la même manière, nous avons voulu étudier l’effet de pH sur le processus de coagulation-floculation en présence d’un coagulant et un bio flocculant. Donc une série d’essais a été effectuée dans un intervalle de pH [4,1-10.02] et en fixant la dose du coagulant à 150 ml, et une dose de 20 ml de flocculant, La variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH est présentée sur les figures

1- Eau usée :

Tableau 10. Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH ‘eau usée.

Coagulant ml	150	150	150	150	150	150	150
Flocculant jus (ml)	20	20	20	20	20	20	20
pH	4.1	5.1	6.1	7.1	8.2	9.2	10.02
Turbidité (UTN)	13.8	12.6	2.22	0.79	1.61	2.06	6.79
Conductivité	2.33	2.2	2.26	2.02	1.97	2.02	2.11
Flocculant poudre (mg)	20	20	20	20	20	20	20
Turbidité (UTN)	21.1	9.2	3.44	2.24	1.67	1.93	5.37
Conductivité (uS/cm)	2.5	2.52	2.35	2.28	2.23	2.22	2.3

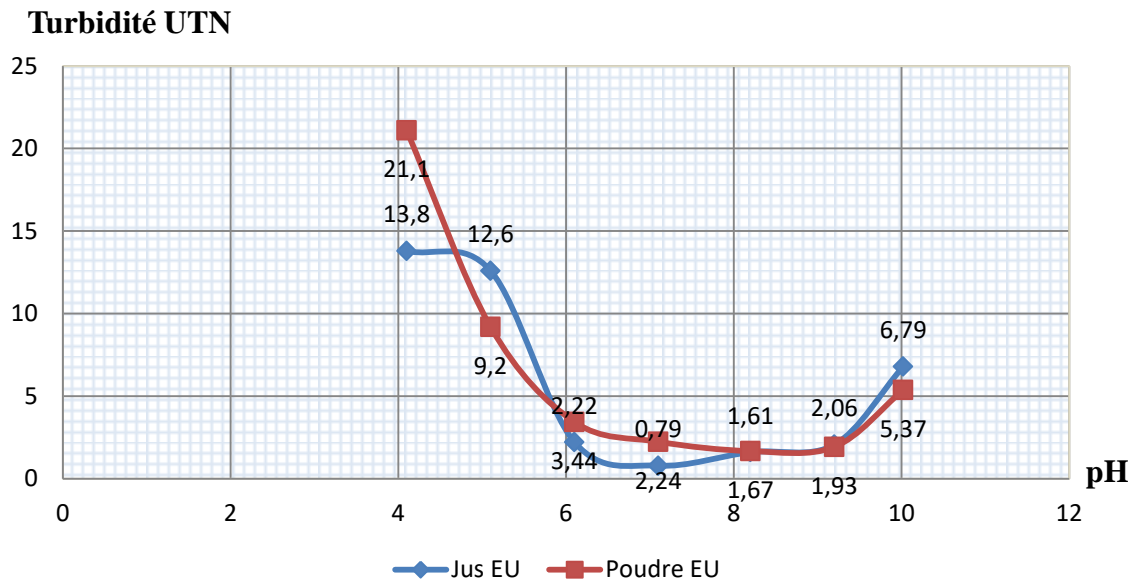


Figure 19. Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH 'eau usée'.

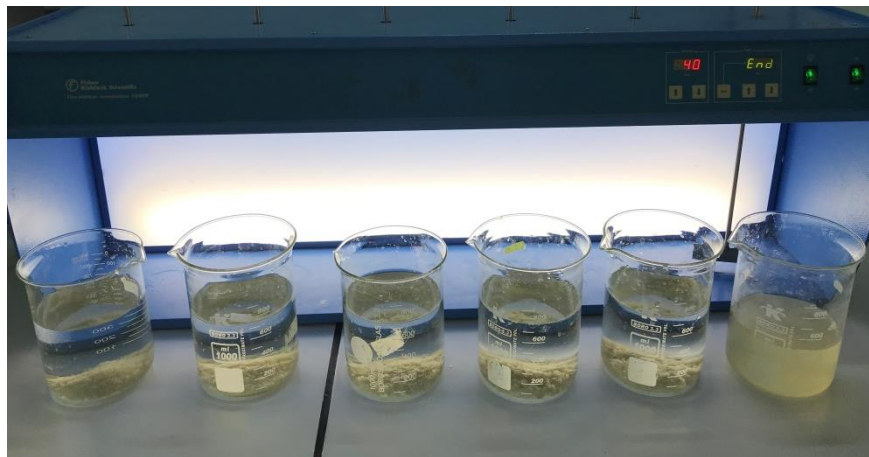


Figure 20. Eau usée avant et après traitement.

- **Traitement par le jus de bio flocculant :**

Les mesures de la turbidité qui sont illustrées sur la figure ci-dessus, nous montre que cette dernière diminue en augmentant le pH jusqu'à une valeur minimale de 0,79 NTU pour un pH optimal de 7,1. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau.

- **Traitement par le poudre de bio flocculant :**

Les mesures de la turbidité qui sont illustrées sur la figure ci-dessus, nous montre que cette dernière diminue en augmentant le pH jusqu'à une valeur minimale de 1.67 NTU pour un pH optimal de 8.2 Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau.

2- Eau de source :

Tableau 11. Variation de la turbidité en fonction des différentes valeurs de pH 'eau de source.

Coagulant	150 ml	150	150	150	150	150	150
Floculant jus	20 ml	20	20	20	20	20	20
pH	4.1	5.1	6.1	7.1	8.2	9.2	10.02
Turbidité	1.73	1.53	1.21	0.85	0.25	0.58	0.82
Conductivité	1316	1080	914	925	795	797	862
Floculant poudre	20 mg	20	20	20	20	20	20
Turbidité	2.57	2.26	2.09	1.51	0.85	1.16	1.34
Conductivité	1129	1.038	985	823	808	787	875

Turbidité UTN

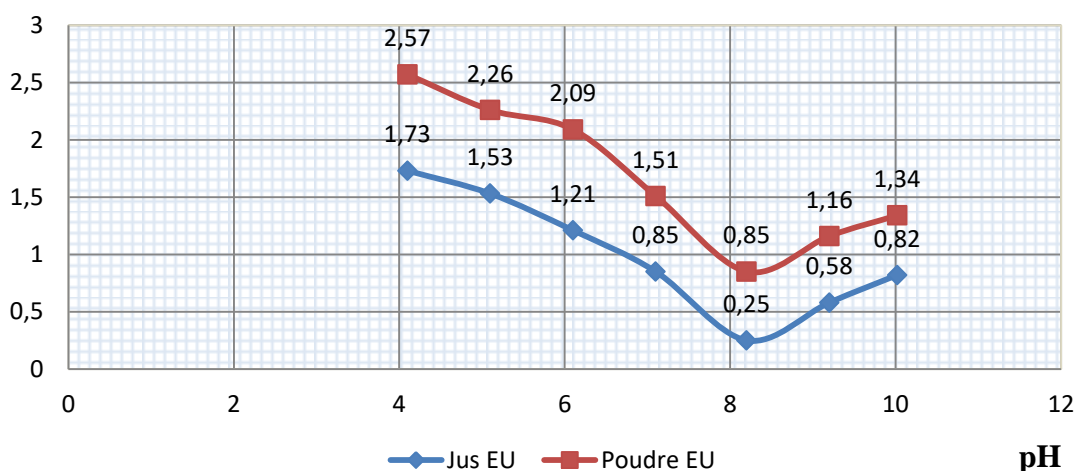


Figure 21. Variation du pH en fonction de la turbidité eau de source

- **Traitement par le jus de bio floculant :**

Les mesures de la turbidité qui sont illustrées sur la figure ci-dessus, nous montre que cette dernière diminue en augmentant le pH jusqu'à une valeur minimale de 0,25 NTU pour un pH optimal de 8,2. Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau.

- **Traitement par la poudre de bio floculant :**

Les mesures de la turbidité qui sont illustrées sur la figure ci-dessus, nous montre que cette dernière diminue en augmentant le pH jusqu'à une valeur minimale de 0.85 NTU pour un pH optimal de 8.2 Au-delà de cette valeur la turbidité augmente de nouveau.

Remarque :

Les études de floculation ont prouvé que le jus d'opuntia Ficus Indica était l'agent de floculation le plus efficace par rapport aux poudre. Selon les résultats obtenus.

II.3.4. Mesure de la DBO₅ :

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

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \text{Valeur lue (Mano)} \times \text{facteur}$$

On a utilisé 250 ml d'échantillon donc le facteur est 5

Tableau 12. Résultats du DBO₅.

Echantillon	Valeur lue	DBO ₅ (mg O ₂ /L)
Eau usée non traité	35	175
Eau usée Traité (poudre)	6	30
Eau usée Traité (jus)	3	15

Les résultats obtenus montrent :

La valeur de l'eau usée non traité est supérieure aux normes algériennes définies (35 mg/l), mais après traitement la valeur diminue jusqu'à 30 mg/l quand on l'a traité avec le poudre et 15 mg/l quand on l'a traité avec le jus.

La diminution de la DBO est expliquée par une diminution de la charge organique charriée par les eaux usées.

Traitement bactériologique :

II.4. Objectif :

L'objectif principal de ce présent travail est d'étudier la qualité hygiénique et microbiologique du l'eau usée et l'eau de source avant et après traitement.

D'une manière spécifique il s'agira de la recherche et de dénombrement des germes d'altération :

- La flore aérobie mésophile totale (FTAM)
- Les champignons et les levures.
- Les coliformes fécaux
- Les coliformes totaux.
- Clostridium sulfito-réducteurs

II.5.1. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs :

Les clostridium jouent un rôle subsidiaire dans l'examen de l'eau car ils forment des spores, qui leur permettent de survivre plus longtemps que les coliformes, et sont par conséquent utilisés comme indicateur d'une pollution fécale passée.

Après l'incubation, se développent les bactéries ou les spores produisant à partir des sulfites qui donnent un précipité noir en présence d'ions fer 3

Les résultats sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau 13. Dénombrement et interprétation des Clostridium sulfito-réducteurs

Aspect de VF après incubation

Dénombrement et Conformité

Aspect de VF après incubation

Dénombrement et Conformité

Eau usée non traité



Nous avons constaté l'envahissement de VF par les spores (indénombrable) donc la non-conformité de notre échantillon

Eau usée traité (jus)



Nous avons constaté la présence d'une spore (1 spore/20ml d'eau) donc la conformité de notre échantillon

Eau usée trait (poudre)



Nous avons constaté la présence des spores (> 1 spore/20ml d'eau) donc la non-conformité de notre échantillon

Eau de source non traité



Nous avons constaté la présence des spores (> 1 spore/20ml d'eau) donc la non-conformité de notre échantillon

Eau de source traitée (jus)



Nous avons constaté l'absence des spores (0 spore/20ml d'eau) donc la conformité de notre échantillon

Eau de source traitée (poudre)



Nous avons constaté l'absence des spores (0 spore/20ml d'eau) donc la conformité de notre échantillon

II.5.2. Résultats du dénombrement des Coliformes totaux et fécaux :

Pour coliformes totaux :

Eau usée :

- Dans l'eau usée non traitée Le résultat obtenu indique la présence des CT (>300 colonies Indénombrable) dans la solution mère et les deux dilutions, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes
- Dans l'eau usée traité avec Jus on compte deux CT dans la solution mère et zéro dans la dilution. L'échantillon est conforme aux normes
- Dans l'eau usée traité avec poudre on compte 176 nombres des CT dans la solution mère et 27 dans la dilution, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes.

Eau de source :

- Dans l'eau de source non traité on observe 17 colonies de CT. L'échantillon n'est pas conforme aux normes.
- Dans l'eau de source traité avec jus et poudre on remarque les nombres des CT sont inexistantes. Les échantillons sont conformes aux normes

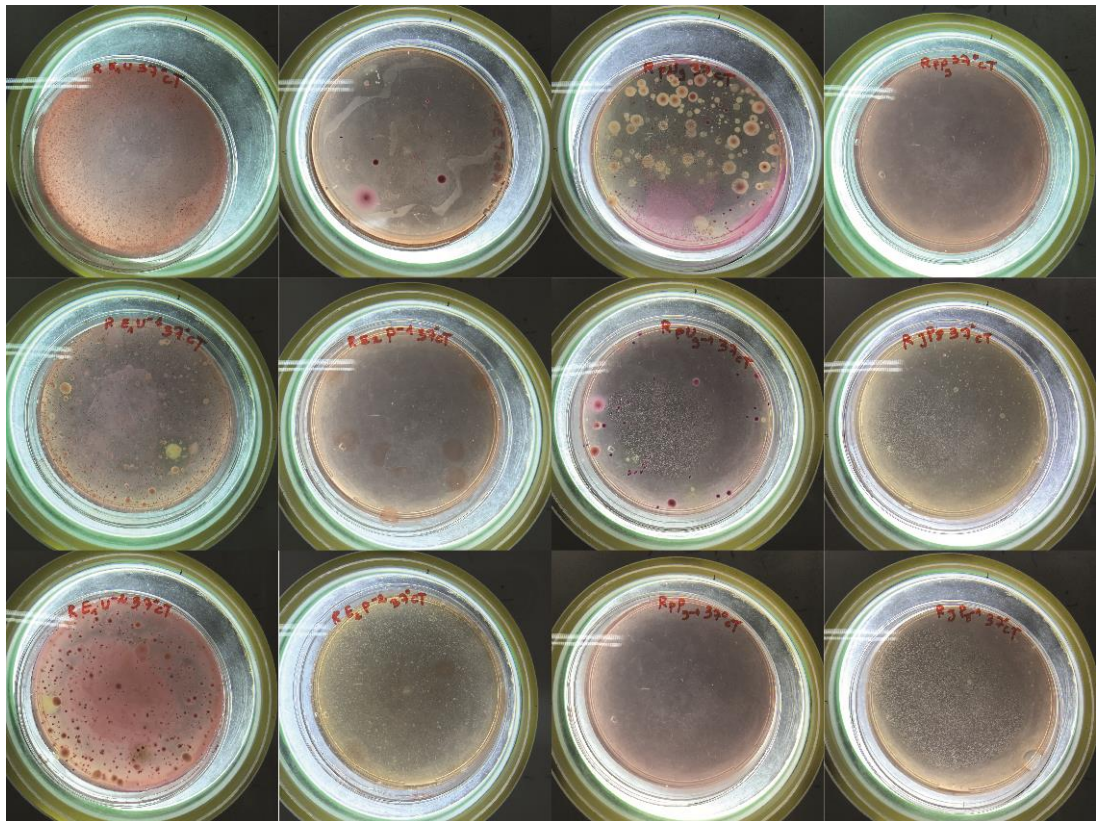


Figure 22. Boites pétri des coliformes totaux dans le milieu solide VRBG

Pour coliformes fécaux :

Eau usée :

- Dans l'eau usée non traitée on compte 77 colonies de CF dans la solution mère et inexistante dans les solutions diluées. L'échantillon n'est pas conforme aux normes.
- Dans l'eau usée traité avec Jus et poudre on observe que les CF sont inexistants. Les échantillons sont conformes aux normes

Eau de source :

- Dans l'eau de source non traité on observe 9 colonies de CF dans la solution mère et 3 dans la dilution 10^{-1} et 0 dans la dilution 10^{-2} .
- Dans l'eau de source traitée avec jus et poudre on constate l'absence des CF

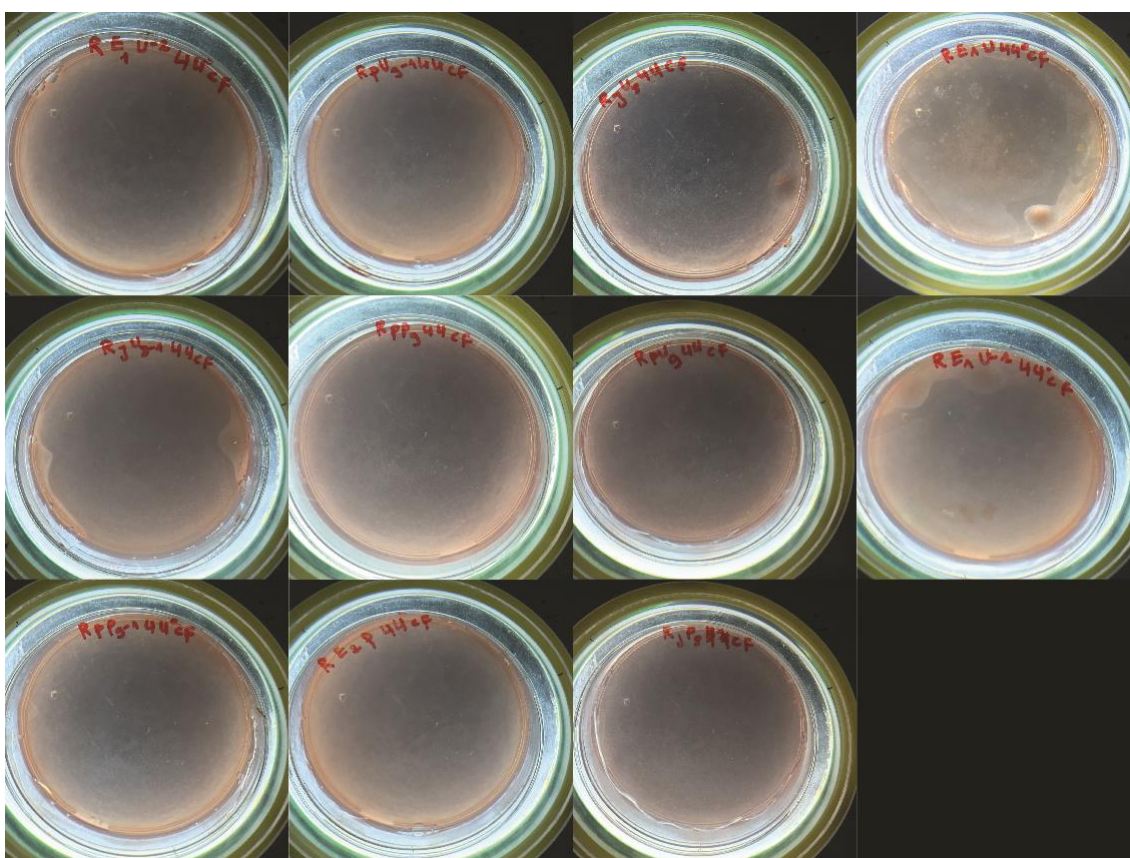


Figure 23. Boîtes pétri des coliformes fécaux dans le milieu solide VRBG

II.5.3. Résultats du dénombrement des FTAM et les champignons et les levures :

Pour les FTAM :

Eau usée :

- Dans l'eau usée non traitée Le résultat obtenu indique la présence des FTAM (>300 colonies Indénombrable) dans la solution mère et les deux dilutions, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes

Chapitre II

Résultats et discussions

- Dans l'eau usée traité avec Jus on compte 83 colonies dans la solution mère et 10 dans la dilution. L'échantillon n'est pas conforme aux normes.
- Dans l'eau usée traité avec poudre on compte 131 colonies des FTAM dans la solution mère et 76 dans la dilution, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes.

Eau de source :

- Dans l'eau usée non traitée Le résultat obtenu indique la présence des FTAM (>300 colonies Indénombrable) dans la solution mère et les deux dilutions, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes
- Dans l'eau usée traité avec Jus on compte 22 colonies dans la solution mère et 6 dans la dilution. L'échantillon n'est pas conforme aux normes.
- Dans l'eau usée traité avec poudre on compte 29 colonies des FTAM dans la solution mère et 16 dans la dilution, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes.

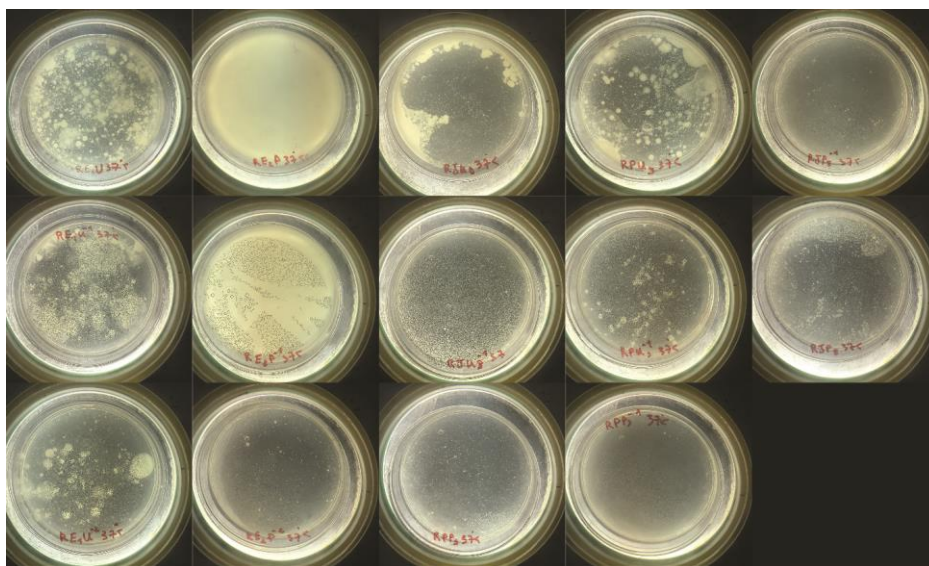


Figure 24. Boîtes pétri des FTAM dans le milieu solide PCA

Pour les champignons et les levures :

Eau usée :

- Dans l'eau usée non traitée Le résultat obtenu indique la présence des Champignons et les levures (>300 colonies Indénombrable) dans la solution mère et les deux dilutions, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes
- Dans l'eau usée traité avec Jus on compte 44 colonies des Champignons et les levures dans la solution mère et 23 dans la dilution. L'échantillon n'est pas conforme aux normes.

Chapitre II

Résultats et discussions

- Dans l'eau usée traité avec poudre on compte 76 colonies des Champignons et les levures dans la solution mère et 176 dans la dilution, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes.

Eau de source :

- Dans l'eau de source non traité on observe 136 colonies de CF dans la solution mère et 85 dans la dilution 10^{-1} et 60 dans la dilution 10^{-2} .
- Dans l'eau de source traitée avec jus on constate l'absence des Champignons et les levures
- Dans l'eau de source traitée avec poudre on compte 51 colonies des Champignons et les levures dans la solution mère et 20- dans la dilution, donc l'échantillon n'est pas conforme aux normes.

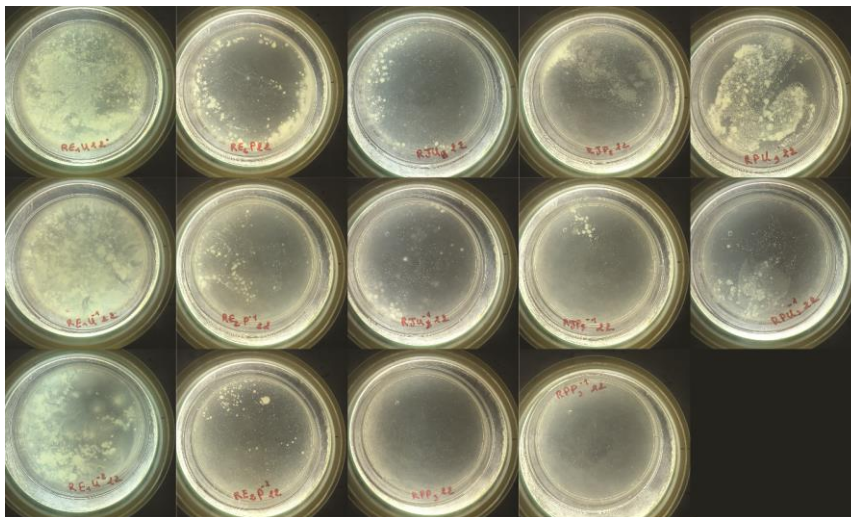


Figure 25. Boîtes pétri des champignons et levures dans le milieu solide PCA.

Chapitre II

Résultats et discussions

Tableau 14. Résultats de dénombrement de coliformes totaux, fécaux, FTAM, champignons et levures

		Eau usée non traité	Eau usée traité par le Jus	Eau usée traité par la poudre	Eau de source non traité	Eau de source traitée (Jus)	Eau de source traitée (poudre)
VRBG 37°C totaux	Solution mère	Indénombrable	2	156	17	0	0
	10 ⁻¹	Indénombrable	0	27	0	0	0
	10 ⁻²	Indénombrable	-	-	0	-	-
VRBG 44°C fécaux	Solution mère	77	0	0	9	0	0
	10 ⁻¹	0	0	0	3	0	0
	10 ⁻²	0	-	-	0	-	-
PCA 37°C FTAM	Solution mère	Indénombrable	83	131	Indénombrable	22	29
	10 ⁻¹	Indénombrable	10	76	Indénombrable	6	16
	10 ⁻²	Indénombrable	-	-	Indénombrable	-	-
PCA 22°C champignons et les levures	Solution mère	Indénombrable	44	176	136	0	51
	10 ⁻¹	Indénombrable	23	50	85	0	20
	10 ⁻²	Indénombrable	-	-	60	-	-

Conclusion :

Les résultats présentés dans cette étude permettent de mieux appréhender l'efficacité, le potentiel technique et environnementale, d'un procédé de coagulation-floculation avec un bio floculant biodégradable, à base de cladodes de cactus naturels (*Opuntia Ficus Indica*), qui visent à réduire la turbidité.

- L'application de notre bio floculant sur les eaux usées a donné des résultats appréciable à ph 7.1, ou la turbidité a diminué de 220 UTN à 0.79 UTN en utilisant le jus, et la turbidité a diminué jusqu'à 1.67 à ph 8.2 en utilisant le poudre.
- De même la turbidité de l'eau de source, a diminué de 3.09 UTN à 0.25 UTN en utilisant le jus et 0.85 UTN pour le poudre, à ph 8.2.
- Après traitement la valeur de la demande biologique en oxygène (DBO_5) diminue <35 mg/l
- Le jus d'*Opuntia Ficus Indica* est l'agent de floculation le plus efficace par rapport aux poudre. Selon les résultats obtenus,
- De plus, ce bio floclent a permis de réduire le nombre des colonies bactériennes (coliformes totaux et fécaux) et aussi la diminution de la quantité des spores, FTAM, les levures, et les champignons.

L'efficacité du processus de coagulation-floculation avec ce bio floculant de figue de barbarie est mentionnée dans plusieurs livres scientifique et confirmée par la présente étude.

Perspectives :

- Faire une étude en utilisant le bio floculant a des différentes températures.
- une étude de l'effet d'autre coagulant come le Chlorure Ferrique $FeCl_3$.

Référence :

- [1] Mahmood T, Salman AM, Syed TH, Biosorption and recovery of heavy metals from aqueous solutions by water hyacinth ash. *BioResources*, pp. 1244–1256, 2010.
- [2] Asnam Amira, Aouabed Ali, Bouras Omar, Synthesis and application of a new biomaterial based on *Opuntia Ficus Indica* (cactus) in water treatment. *Algerian Journal of Engineering Research* N° 1, June 2017.
- [3] Rejsek F, Analyse des eaux ; aspect réglementaire et techniques, Tome 1 Edition scrérén CRDP aquitaine, Bordeaux. Grosclaude G, L'eau : Usage et polluant, Tome 2, 4eme Edition INRA. Paris, 2002.
- [4] Grosclaude G, l'eau usage et polluant, Tom II, 4ème édition INRA. Paris, 1999.
- [5] Rodier J, L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9eme Edition, Ed. DUNOD. Paris, 2005.
- [6] Des jardins R, Traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition revue et améliorée, 1997.
- [7] Richard C, Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Ed scientifiques et médicale Elsevier. Paris, 1996.
- [8] Cardot G, Génie de l'environnement ; Les traitements de l'eau Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, février 2010.
- [9] Mizi A, Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles, Thèse de doctorat, Université de Badji Mokhtar – Annaba, 2006.
- [10] Mekhalif F, Réutilisation Des Eaux Résiduaires Industrielles Épurées Comme Eau D'appoint Dans Un Circuit De Refroidissement, Mémoire de Magister en Chimie Option, Pollution Chimique et Environnement, Université du 20 Août 1955 Skikda Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, 2009.
- [11] Boukredimi A, Berrahal M, Suivi des analyses des eaux sanitaires de complexe gp2/z, mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2014.
- [12] Bouafia S, Dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de fenton, Thèse de doctorat, Université Saad Dahleb de Blida, 2010.
- [13] Boeglin J.C, Analyse des eaux résiduaires, Pollution industrielle de l'eau caractérisation, classification, mesure, technique de l'ingénieur, traite du génie industriel, pp. 1210-1, 1997.
- [14] Hernández De León H.R, 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 de Toulouse, 2006.

- [15] Ezziane S, Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Université Hassiba Ben Bouali, 2007.
- [16] Brahmi Z. et Benaissa N, Influence de la coagulation floculation et décantation sur la qualité des eaux épurées de la station de Ain El Houtz, Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2010.
- [17] Boursali I, Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension, Mémoire d'ingénieur d'états en géologie, Département des sciences de la terre et de l'univers, Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Juin 2011.
- [18] Des jardins C, Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire pour l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées, Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 1999.
- [19] Degrement, Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris, 1972.
- [20] Colin L et Al., évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles, Université du Québec, école de technologie supérieurs, 2008.
- [21] Ginestra G et Al., Anatomical, chemical, and biochemical Characterization of cladodes from Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *J. Agric. Food. Chem.*, 57, pp. 10323-10330, 2009.
- [22] Pimienta-Barrios E, Prickly pear (*Opuntia* spp.), a valuable fruit crop for the semiarid land of Mexico. *J. Arid Environ*, 28, pp. 1–11., 1994.
- [23] Hegwood D. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (prickly pear). *Hort. Sc*, 25, pp. 1515–1516, 1994.
- [24] Ávila-Curiel A, Shamah Levy T, Chavez Villasana, Galindo Gomez C, Encuesta urbana de alimentación y nutrición en la zona metropolitana de la ciudad de México, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán e Instituto de Salud Pública, México, 2003.
- [25] Bensadon S., Hervert Hernandez D, Sayago Ayedi S.G, Goni, By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods Hum Nutr*, 65, pp. 210–216, 2010.

Référence

- [26] Stintzing F.C., Carle R. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res*, 49, pp. 175-194, 2005.
- [27] Schweizer.M, *Nopal le médecin du bon dieu*, 1997.
- [28] Nature et santé, Le figuier de barbarie et son huile, *Phytothérapie*, 2011, pp. 40-42. sur <https://studylibfr.com/doc/8936191/le-figuier-de-barbarie-et-son-huile-phytoth%C3%A9rapie-sant%C3%A9>
- [29] Rapport du Ministère De L'agriculture Et De La Pêche Maritime. Etude du marché national et international des produits issus du cactus (fruits frais, raquettes pour aliments de bétail, huiles) et l'exploration des opportunités offertes pour l'exportation. Midfac, pp. 6-53, 2010.
- [30] Arba M. Le cactus *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. *Sym. Inter. Agriculture durable en région Méditerranéenne (Adumed)*, pp. 215-222, 2009.
- [31] Fernandez M.L, Rejo, Mcnamara D.J, Pectin isolated From Prickly pear (*Opuntia* sp) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J. Nutr*, 120, pp. 1283-1290, 1990.
- [32] Miller.S.M, Fugate.E.J, Craver.V.O, Smith.J.A, Zimmerman.J.B Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology* 42, pp. 4274–4279, 2008.
- [33] Majdoub H., Roudesli S, Deratini A, Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of *Opuntia ficus-indica*, extraction, characterization and polyelectrolyte behaviour. *Polymer Int*, 50, pp. 552–560, 2011.
- [34] Ndabigengesere.A, Narasiah.K.S, Talbot.B.G: Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringaoleifera*. *Water Research* 29, pp. 703–710, 1995.
- [35] Jeon.J.R, Kim.E.J, Kim.Y.M, Murugesan.K, Kim.J.H, Chang.Y.S Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere* 77, pp. 1090–1098, 2009.
- [36] Amale Boutakiout, Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*), Thèse de doctorat, Université Sultan Moulay Slimane, 2015.