

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Scientifique Recherche la de et Supérieur l'Enseignement de Ministère

Université Bounaama Djilali - Khémis Miliana



Faculté des Sciences et Technologies

Département de Technologie

Spécialité : Génie des Procédés de l'environnement

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de
Master

**Traitement des Colorants des rejets textiles, par
l'Opuntia Ficus-Indica**

Présenté par :

- ❖ **Aouabed Nadjia**
- ❖ **Mellaoui Hayet**

Soutenu devant le jury :

Président : Mr Djelloul ADDAD

Examinatrice: Mme Taous HAMAD

Promotrice : Mme Chahrazad MESLI

2020/2021

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH qui nous a donné la force d'achever ce travail.

Au terme de ce travail, Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos vifs remerciements à notre Promotrice Mme Chahrazad MESLI, pour avoir assuré la direction de ce mémoire, pour nous avoir apporté la rigueur scientifique nécessaire à son bon déroulement, sa disponibilité, ses critiques judicieuses, son attention inlassable, et pour le temps qu'il a consacré à nous apporter les outils indispensables à la conduite de cette recherche.

Nous tenons à remercier Monsieur Addad Djelloul et Madame hamad taous pour avoir accepté de faire partie du jury d'examination de notre travail.

Nous remercions de même, tous nos enseignants du département de génie des procédés, pour tout le savoir que nous avons acquis grâce à eux durant notre formation.

Nous tenons à remercier nos parents qui ont été plus que des pères

Ils étaient des amis et des frères et toute notre famille

Nombreuses sont les personnes qui nous ont apporté de l'aide et du soutien, nous tenons à leurs présenter nos remerciements les plus sincères.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents

À ma très chère mère Malika et à mon très cher père M'hamed qui n'ont cessé de me combler par leur amour et leur tendresse, même si je sais qu'aucune expression ne saura exprimer ma reconnaissance envers eux.

Merci beaucoup Papa et Maman, je vous aime beaucoup.

A mes très chères sœurs

Merci à mes sœurs Fatiha, Salima

À Mon Cher « Mohamed » Je te dédie ce travail avec mes vœux de réussite, de prospérité et de bonheur. Je prie Dieu le tout puissant de préserver notre attachement mutuel, et d'exaucer tous nos rêves.

Mes Nièces Nour, Razane, Amani, Iman, maram et illine qui m'ont toujours donné une aide précieuse tout au long de mes études ainsi que dans ma vie personnelle.

A tous les membres de la famille

Aouabed

A mes chères amies

Merci à mes amies, que ma réussite leur tient à cœur : Zahira, Selma, Meriem, Hanaa , Sara et Hayet

sans vous ma vie ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui. Je vous aime tous infiniment.

A tous ceux qui me sont chers

Je dédie mon modeste travail qui, j'espère, trouvera bonne réception, fera honneur et donnera plaisir à tous ceux qui le lisent, l'écoutent ou le discutent.

Aouabed Nadja

Je tiens à dédier ce modeste travail

A mes parents qui n'ont jamais cessé de croire en moi,

Qui m'ont soutenu moralement et matériellement.

Pour tous les sacrifices qu'ils ont fait

Pour mon éducation et mon bien-être.

❖ A ma chérie hakima

❖ A ma chère halima

❖ A toute ma famille

❖ A toutes mes amies

Mellaoui Hayet

المخلص :

يركز هذا العمل على استخدام نبات التين الشوكي ، وهو نبات ذو فوائد متعددة ، لمعالجة مياه الصرف الصحي. نبدأ بالعموميات حول مع تقديم منشأ نبات التين الشوكي واستخدامه وفوائده في مختلف المجالات. ثم سنعرض العوامل الرئيسية للتلوث مثل ملونات كيميائية. تمت معالجة مياه الصرف من بالعصير المستخرج من الصفائح التين الشوكي ، من أجل إيجاد بديل لمواد الكيمائية الاصطناعية. لوحظت معدلات إزالة المواد العالقة ومعرفة كمية تلوث الاوكسجين ، تساوي على التوالي 93.8% ، 66.50% و 66.66%. تم الحصول على أفضل معدل اختزال لحجم 25 مل من عصير نبات التين الشوكي ، عند درجة الحموضة الطبيعية لمياه الصرف الصحي لدينا ، والتي تساوي 7.5 ، كما تم إجراء تحليل بكتيريولوجي أظهر التخلص الجيد من القولونيات الكلية والبرازية .

الكلمات المفتاحية: التين الشوكي ، مياه الصرف الصحي ، التخثر – التلبد

Résumé :

Ce travail porte sur l'utilisation du figuier de Barbarie, une plante aux multiples avantages, pour le traitement des eaux usées. Nous commençons par des généralités sur l'Opuntia Ficus indica tout en introduisant son origine, son utilisation et ses bienfaits dans divers domaines. Un traitement d'une eau usée de rejet textiles a été traitée par du jus extrait de cladodes du figuier de Barbarie, afin de trouver une flocculants chimiques synthétiques. Des taux d'élimination de la turbidité, de MES et DBO5 ont été observés, respectivement égaux à 93,8 %, 66,50% et 66,66%. Le meilleur taux de réduction a été obtenu pour un volume de 25 ml de jus de cactus, au pH naturel de nos eaux usées, qui est égal à 7,5. Une analyse bactériologique a été aussi effectuée, montrant une très bonne élimination des coliformes totaux et fécaux.

Mots clés : figuier de Barbarie, eaux usées, coagulation – flocculation.

Abstrat :

This work focuses on the use of the prickly pear, a plant with multiple benefits, for the treatment of wastewater. We start with generalities on the Opuntia Ficus indica while introducing its origin, its use and its benefits in various fields. Then we will present the main factors of pollution such as dyes. A treatment of a textile wastewater was treated with juice extracted from cladodes of the prickly pear tree, in order to find an alternative to synthetic chemical flocculant. Turbidity, MES and BOD5 removal rates were observed, equal to 93.8%, 66.50% and 66.66% respectively. The best reduction rate was obtained for a volume of 25 ml of cactus juice, at the natural pH of our wastewater, which is equal to 7.5. A bacteriological analysis was also performed, showing a very good removal of total and fecal coliforms.

Key words: prickly pear, wastewater, coagulant – flocculant

Liste des abréviations

Liste des abréviations

BCPL : Langage de programmation combiné de basé.

CE : Conductivité Electrique

DBO₅ : Demande biochimique en Oxygène

DC : Double Concentration

I.R.T.F : infra rouge à transformée de Fourier

MES : Matières En Suspension

MO : Méthyle Orange

NPP : Nombre le plus probable

OFI : Opuntia Ficus Indica

PH : potentiel Hydrogène

SC : Simple Concentration

T : Température

Liste des figures

Liste des figures

Figure .I .1. Répartition mondiale d'Opuntia ficus indica.....	4
Figure .I.2.Cycle photosynthétique des plantes de type CAM.....	7
Figure .I.3 .Morphologie des cladodes d'opuntia ficus indica	8
Figure .II.4. Mécanisme de la Coagulation floculation.....	16
Figure .II.5 . La compression du double couche	17
Figure .III .6.azobenzène.....	23
Figure .III.7.Anthraquinone.....	24
Figure .III.8.Indigo.....	24
Figure .III.9.Xanthène.....	24
Figure .III.10.Pigment synthétique.....	25
Figure .III.11.Ortho intro phénol.....	25
Figure .III.12.Squelette triphénylméthane.....	25
Figure .III.13.Squelette du Rouge Congo.....	26
Figure .III.14.Structure du Méthyl orange.....	26
Figure .V.15. Spectre I.R du jus de cactus.....	28

Liste des photos

Liste des photos

Photo .IV.1.Méthyle Orange.....	35
Photo. IV.2. Appareil de pH mètre.....	37
Photo .IV.3 Appareil de turbidité.....	38
Photo. IV.4. Appareil de mesures de MES Ces derniers sont placés dans un dessiccateur pour éliminer toute l'humidité.....	39
Photo .IV.5. Conductimètre.....	39
Photo. IV.6. Appareil de mesure de la DBO ₅	42
Photo .V.7. Bouillon lactose à concentration simple	52
Photo .V.8. Bouillon lactose à concentration double	52
Photo. V.9. eau usée.....	52
Photo.V.10. Bouillon lactosé à concentration simple	52
Photo.V.11. Bouillon lactosé à concentration double.....	52
Photo .V.12. résultats après 24h de l'incubation.....	52
Photo .V.13. Echantillon de l'eau usée après traitement.....	53
Photo .V.14.Photo de résultat test de présomption par bouillon lactosé.....	54
Photo .V.15. Stérilisation de la zone du travail.....	55
Photo .V.16. La manière de saisir l'anse de platine et le tube de suspension bactérienne.....	55
Photo .V.17. Etapes de l'ensemencement.....	55
Photo. V.18. des cultures bactériennes sur le milieu hektoen de l'échantillon de bouillon lacto	
Photo se à S/C du couleur jaune.....	56
Photo .V.19. des cultures bactériennes sur le milieu hektoen de L'échantillon de bouillon lactose à D/C du.....	56
Photo .V.20. résultats après 24h de l'incubation.....	57
Photo .V.21. des résultats de L'échantillon de bouillon lactose à S/C	57
Photo. V.22. des résultats de l'échantillon de bouillon lactose à D/C	57

Liste des photos

Photo. a.1. l'Opuntia Ficus-Indira.....	60
Photo. a.2. découpe des cladodes.....	60
Photo .a.3.filtration du jus pur.....	60

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau .I.1 : Principaux composants des cladodes d'OFI.....	6
Tableau.I.2 : Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie.....	9
Tableau.I.3: Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte.....	10
Tableau.I.4 : Composition en polyphénols des cladodes du l'Opuntia ficus-indica.....	11
Tableau. III .5 : principaux groupes chromophores et autochromes.....	22
Tableau.III.6 : classification des colorants.....	23
Tableau .V.7 : Valeurs des différents paramètres mesurés.....	44
Tableau .V. 8 : Longueurs d'ondes des bandes IR des structures constituant le jus de cactus.....	45
Tableau .V.9 : détermination du volume optimal du jus.....	47
Tableau.V.10: Détermination du pH optimal.....	49.
Tableau.V.11: MES avant et après traitement.....	49
Tableau.V.12 : DBO ₅ après traitement.....	50

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités sur le figuier de Barbarie

Introduction	3
I.1. Distribution géographique.....	3
I.2. L'opuntia Ficus Indica en Algérie.....	4
I.3. Systématique.....	4
I.4. Les cladodes.....	6
I.5.1. Les principaux composants des cladodes d'OFI.....	6
I.6. Métabolisme et physiologie de la plante.....	7
I.7. Cladodes.....	8
I.7.1. Morphologie.....	8
I.7.2. Compositions chimiques.....	9
I.7.3. Domaines d'applications du mucilage.....	11
I.8. Utilisation du figuier de Barbarie	12
Conclusion	13

Chapitre II : Procédé de coagulation /floculation

Introduction.....	15
II.1. Le mécanisme de la coagulation floculation.....	15
II.2.La théorie de la double couche ionique.....	16
II.3. La coagulation floculation.....	17
II.4. Les facteurs influençant la coagulation.....	17
II.5.Les avantages et les inconvénients de la coagulation floculation.....	18
Conclusion.....	19

Chapitre III: Généralités sur les colorants

Introduction.....	21
-------------------	----

Sommaire

III .1.Couleur et structure chimique des colorants.....	21
III .2.Classification des colorants textiles.....	21
III.3. Définition Méthyle orange.....	28
III. 4.Propriétés physico-chimiques du méthyle orange (MO)	28
III. 5.Toxicité des colorant.....	29
III. 5.1.Impact environnemental.....	29
III. 5.2.Sur la santé humaine.....	29
Conclusion	30

Chapitre IV : Matériels et méthodes

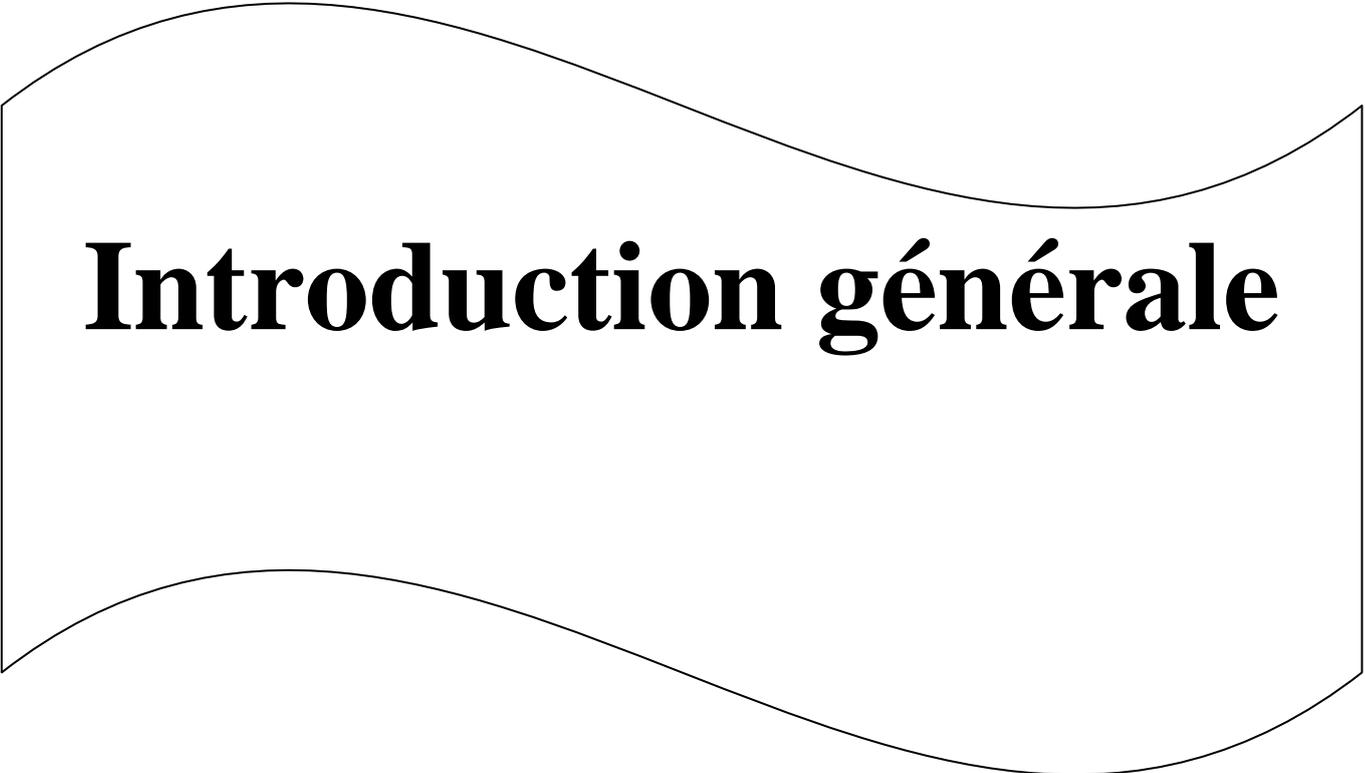
Introduction.....	33
IV.1. Prélèvement de l'échantillon.....	34
IV.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau brute.....	34
IV.3. Méthode d'extraction.....	34
IV.3.1. Structures constituantes du jus de cactus.....	34
IV.3.2. Analyse par spectrophotométrie UV-visible	34
IV.3.3. Caractéristiques physico-chimiques du bio-floculant	36
IV.4.Les caractéristiques microbiologiques.....	40
Conclusion.....	42

Chapitre V : résultats et discussions

Introduction.....	44
V.1. Caractéristiques l'échantillon.....	44
V.2. Caractéristiques du jus de cactus.....	44
V.2.1. Spectroscopie Infrarouge à transformer de Fourier (I.R.T.F).....	44
V.2.2.La densité	46
V.2.3.Taux d'humidité	46
V.2.4.Le pH du jus	46

Sommaire

V.2.5.La turbidité du jus	46
V.2.6.La conductivité du jus	47
V.3.Optimisation du volume optimal du (jus de cactus)	47
V.3.1 .Optimisation du pH de (jus de cactus).....	49
V.4.Interprétation des résultats de MES.....	49
V.5.Interprétation des résultats de la DBO5	50
V.6. Analyse bactériologique.....	50
Conclusion	57
Conclusion générale.....	59
Annexe.....	60
Références bibliographiques.....	64



Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La croissance démographique ainsi que le développement de l'urbanisme et de l'industrie, ont participé à l'évolution de la qualité et de la quantité des rejets des eaux usées.

Une eau est considérée comme usée lorsqu'elle perd sa pureté ; c'est-à-dire ses propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

Celle-ci contient divers polluants et par conséquent son rejet dans la nature sans traitement Les eaux résiduaires industrielles présentent une large variation de compositions.

Les colorants azoniques sont parmi les colorants synthétiques les plus utilisés, mais restent difficiles à éliminer efficacement en raison de la stabilité chimique élevée, considérés comme des polluants majeurs dans les eaux usées de textiles. Il est important de mentionner que, le méthylorange (MO) est l'un des colorants les plus utilisés dans la fabrication de textile en Algérie et cette substance reste dans l'environnement pendant de très longues périodes, sa structure cyclique aromatique présente un grand danger sur la vie aquatique et humaine.

Pour éviter l'accumulation de MO dans l'environnement, divers procédés de traitement sont actuellement utilisés pour traiter les eaux usées industrielles. Le choix du processus dépend de leurs caractéristiques et de l'objectif du traitement.

Parmi ces procédés on cite la coagulation-floculation.

C'est un traitement qui consiste à réduire la turbidité de l'eau, par ajout d'un produit naturel ou synthétique, qu'on appelle coagulant ou floculant. Les particules colloïdales seront ainsi déstabilisées. Elles vont s'agglomérer par la suite sous forme de floes, plus facilement décanables.

Notre travail est basé sur ce procédé. On distingue divers coagulants et floculants employés dans ce procédé, dont les coagulants minéraux, largement utilisés et permettant une bonne décantation des particules, et les polymères organiques ou polymères de synthèse, produisant de gros floes, moins solides que ceux produits par les coagulants précédents, mais tout autant efficaces. Néanmoins, l'utilisation de ces deux types de produits présente beaucoup d'inconvénients sur la santé humaine et sur l'environnement, coûts élevés, une grande consommation de produits chimiques...

Introduction générale

Ce dernier est extrait à partir des raquettes de cactus précisément du genre, d'Opuntia ficus indica, appelé figuier de barbarie.

Les cactus sont presque tous originaires du Nouveau Monde.

A cet effet, le présent manuscrit est présenté en quatre chapitres :

- Le premier chapitre généralités sur l'Opuntia Ficus Indica.
- Le chapitre deux présente quelques techniques de traitement des composés organiques présents dans les eaux ainsi que les procédés de floculation coagulation.
- Le chapitre trois généralités sur les colorants.
- Le chapitre quatre matériel et méthodes d'analyse utilisés.
- Le dernier chapitre est réservé à la discussion des résultats expérimentaux obtenus,
- Enfin nous terminerons par une conclusion générale qui reprend les principaux résultats obtenus.



Chapitre I

I-1 Introduction

Le mot cactus vient du grec ancien κάκτος/kakatoès signifiant le chardon. Les Cactacées (également rencontrées sous l'appellation Cactées) sont des plantes grasses, vivaces, terrestres ou arboricoles. Ce sont des plantes xérophytes, cela signifie qu'elles stockent dans leurs tissus des réserves de « suc » pour faire face aux longues périodes de sécheresse. [1]

La famille de Cactacées, comprenant environ 2500 espèces divisées en près de 90 genres, est subdivisée en trois sous familles : les Péreskioideae, les Cactoïdeae et les Opuntioïdeae. [2]

I.2. Distribution géographique.

Le genre *Opuntia* est originaire du Mexique. Sa distribution géographique est localisée principalement dans : le Mexique, la Sicile, le Chili, le Brésil, la Turquie, la Corée, l'Argentine et l'Afrique du Nord.

Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard, au 16^{ème} siècle au nord et au sud de l'Afrique. Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen. Il s'est développé sur la partie ouest de la Méditerranée : sud de l'Espagne, le Portugal et l'Afrique du Nord (la Tunisie, l'Algérie et le Maroc) [3]. Dans certains pays tels que l'Italie, l'Espagne, le Mexique, la culture du cactus est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et développement pour la production du fruit ou de fourrage et même pour des usages industriels. En revanche, en Australie et en Afrique du Sud, ce végétal, en particulier la variété asperme est considérée comme une mauvaise herbe [4].

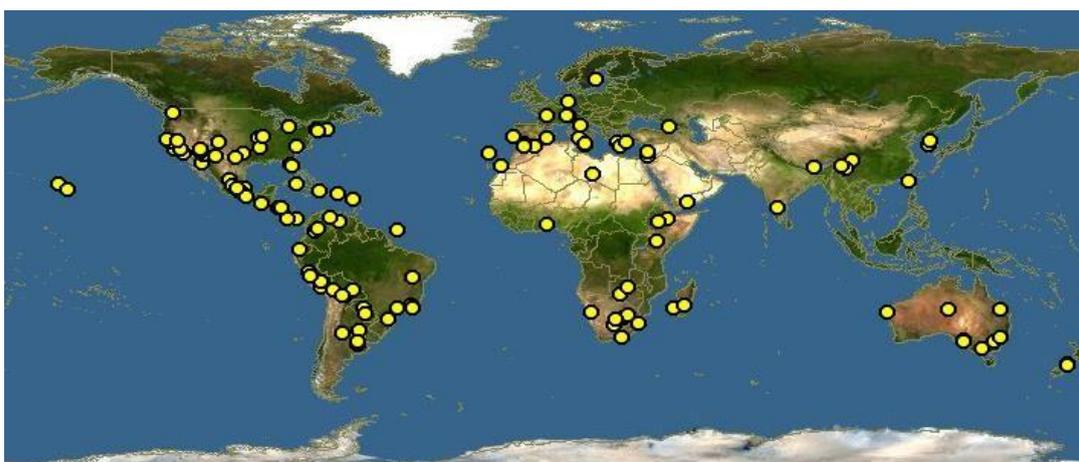


Figure I .1 : Répartition mondiale de l'Opuntia ficus indica [5].

I.3. L'opuntia Ficus Indica en Algérie.

Historiquement, l'introduction du cactus en Algérie est semblable à celle du Maroc et de la Tunisie. Aujourd'hui, la superficie consacrée à la culture d'Opuntia s'étend sur 30 000 ha, dont 60% dans la région de Souk Ahras (Est algérien). [5]

Au nord, l'OFI sert de clôture autour de maisons et petites villes; les plantes de clôture sont également utilisées pour la production de fruits et, pendant la saison sèche, comme source de fourrage. [5]

Les fruits sont récoltés dans des plantations sauvages et sont utilisés pour la consommation humaine ou vendus sur les marchés locaux et les cladodes dans le sud servent d'aliment émergent aux petits ruminants et aux chameaux.

Le Haut-commissariat au développement des steppes, la Direction des services agricoles et de la conservation des forêts, avait initialement étendu cette zone afin de contrôler les progrès du désert. [5]

Comme dans d'autres pays africains, les terrains de culture présentent un intérêt pour l'Algérie. [5]

Du centre à l'ouest l'OFI occupent une superficie dépassent les 25.000 hectares, par exemple, on le trouve sur les hauteurs de Chréaa, Bouarfa (wilaya de Blida), dans les wilayas

de, Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chleff, Relizane, Mostaganem, Ain-Temouchent , Oran, Mascara, Sidi-bel Abbés, Tlemcen, dont la meilleure cueillette des figes de barbarie, est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailleux. [5]

A l'exception des montagnes et des zones sahariennes, la culture algérienne du cactus est largement représentée dans le paysage rural en plantation plus au moins régulières, autour des villages, en haies limitant les parcelles de culture ou de vergers. La culture de cactus se trouve parfaitement intégrée dans le système d'exploitation traditionnel. [6]

L'infrastructure basée à Sidi-Fredj couvrant 5 000 m² peut transformer environ 2 tonnes par heure. Ses principales fonctions sont l'emballage de la poire de cactus et la production d'huiles essentielles, de produits pharmaceutiques, de jus de fruits, de confitures et d'aliments pour le bétail. L'usine de traitement représente un moyen important d'amélioration des revenus pour les habitants de la wilaya de Souk Ahras. [5]

I.4. Systématique.

. La famille des Cactacées renferme environ 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces [7].

La tribu des (Opuntia) comprend le genre Opuntia, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : (Platy opuntia), (Cylindropuntia), (Tephrocactus) et (Brasiliopuntia). Le sous genre (Platy opuntia) comprend 150 à 300 espèces, parmi lesquelles figures (Opuntia ficus-indica) [8].

Règne : (Planta) Sous règne : (Tracheobionta) Embranchement : (Phanérogames) Sous Embranchement : (Magnoliophyta) Classe : (Magnoliopsida) Sous classe : (Caryophyllée) Ordre : (Opuntia les, Caryophyllacées) Famille : (Cactacée) Sous-famille : (Opuntioideae) Tribu : (Opuntia) Genre : (Opuntia) Sous-genre : (Platy opuntia) Espèce : (Opuntia ficus indica) (L.) [9]

. Systématique

I.5. Les cladodes.

Les raquettes du figuier de barbarie sont caractérisées par un déséquilibre nutritionnel bien qu'il soit une source d'énergie et d'eau. Les raquettes sont réputées être riches en minéraux essentiellement le calcium et les oxalates et en mucilage, polysaccharides de structure chimique parfois très complexe retrouvés dans plusieurs plantes supérieures. [10]

Les jeunes cladodes sont consommées comme légumes pour leurs texture tendre et fibreuse, en outre leur valeur nutritive est similaire à celle d'un grand nombre de légumes et feuilles. [11]

V.1. Les principaux composants des cladodes d'OFL.

La composition chimique des cladodes (tableau ci-dessous) varie en fonction des facteurs édaphique, 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 [12]

Tableau. I. 1 : Principaux composants des cladodes d'OFI [12]

Constituant	Matière fraîche (g /100g)	Matière sèche (g/100g)
Eau	88-95	/
Protéines	0,5- 1,00	4-10
Matière grasse	0,2	1-4
Cendre	1-2	19-23
Fibre	1-2	18
Carbohydrates	37	64-71

De plus, les cladodes d'OFI sont particulièrement riche en polymères des hydrates de carbone, appelé le mucilage.

I.6. Métabolisme et physiologie de la plante.

L'adaptation du figuier de barbarie à la sécheresse est due à une photosynthèse de type Crassulacée Acide Métabolisme (CAM) (Figure I.2). Le figuier de barbarie à la particularité de fixer le CO₂ et de libérer l'O₂ pendant la nuit et de fermer ses stomates pendant le jour. Ce dispositif permet une moindre perte d'eau par évapotranspiration pendant les heures les plus chaudes.

Pendant la nuit le CO₂ est fixé dans les tissus de chloroplaste par réaction avec le phosphoénolpyruvate, résultant du métabolisme des sucres via la glycolyse pour donner l'oxaloacétate.

Cet élément est à son tour transformé en malte pour être stocké dans la vacuole, d'où le nom de plante à métabolisme acide. Pendant le jour, le malte se décompose en pyruvate et libère le CO₂ et l'H₂O directement au niveau des tissus chlorophylliens qui s'en servent pour la suite de photosynthèse [13].

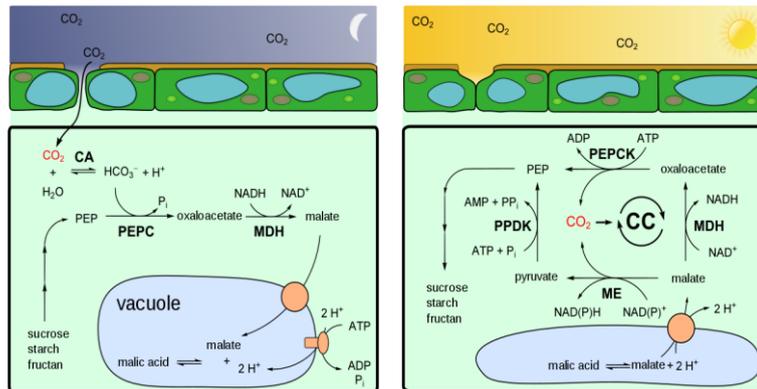


Figure. I.2: Cycle photosynthétique des plantes de type CAM .

I.7. Cladodes.

I.7.1. Morphologie.

Le terme feuilles d'OFI est fréquemment utilisé dans la littérature pour désigner les segments de tiges aplaties de la plante qui remplacent les feuilles dans leurs fonctions. Ces tiges de cactus, les raquettes de cactus ou cladodes sont les termes corrects, synonyme de « nopals ». Les tiges sont composées d'un parenchyme blanc (tissu de base) et le contenant de la chlorophylle au sein du chlore chyme (tissu de cortex) (figure I.3). Ce dernier est recouvert d'épines (feuilles modifiées) et poils ou trichomes multicellulaires, qui forment l'aréole et qui est une caractéristique des membres de la famille des cactacées [14].

Les glucides sont composés de 100% de cellulose cristalline. Les micro-fibrilles de cellulose sont de 0,4 mm de longueur et de 6 à 10 µm en diamètre, et sont parallèlement 6 ;-ancrées dans une matrice d'arabinose. Celle-ci est en présente sous forme de gel solide, tissé et serré avec la cellulose. Les épines sont constituées de 96% de polysaccharides, qui eux-mêmes sont divisés en 49,7% de cellulose et 50,3% d'arabinose, le reste est constitué de cendres, matières grasses, cires et la lignine. Elles mesurent 1 à 3 cm de longueur et forment 8,4% du poids total de la cladode. Leurs fonctions comprennent la protection mécanique face aux herbivores, la réflexion de la lumière, l'ombre pour la tige, et donc permettent la réduction de la perte en eau ainsi que la condensation du brouillard [14].

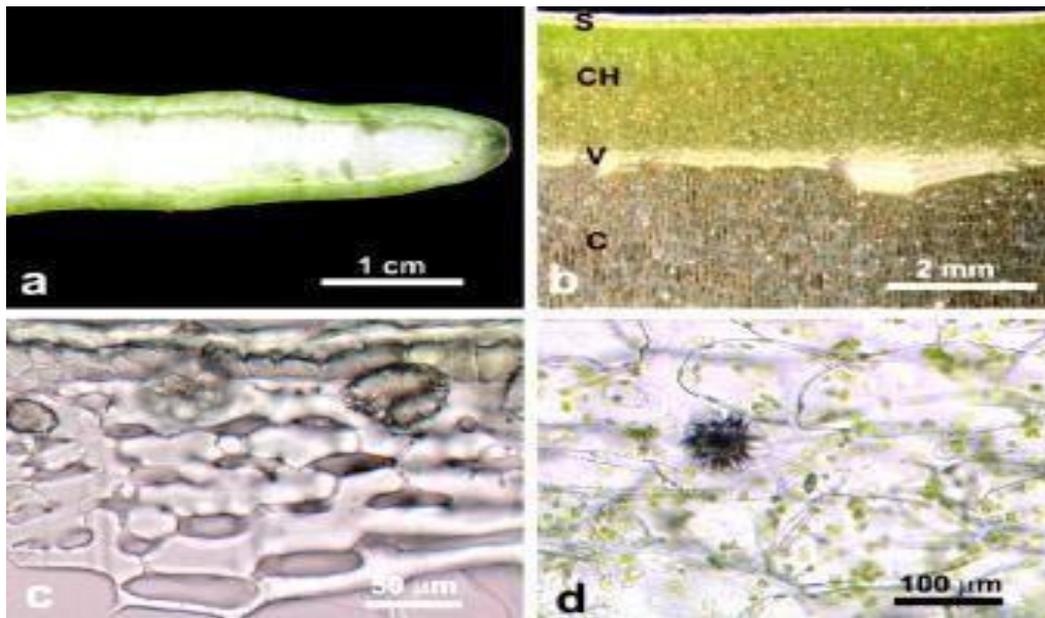


Figure. I.3 : Morphologie des cladodes d'*opuntia ficus indica* : [15].

- a) Coupe transversale (CT) de l'ensemble de la cladode
- b) CT des couches extérieures de la cladode montrant la peau (S), chlore chyme (CH), vaisseaux conducteurs (V), parenchyme (C).
- c) : CT de la peau montrant un hypoderme à parois épaisses.
- d) : CT du chlore chyme avec des plasmides et des cristaux oxalate.

I.7.2. Composition chimique.

. Les principaux constituants.

La 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 (tableau I.2) [16]

Tableau. I.2 : Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie [16].

Composants	Matière sèche (g/100g)	Poids frais (g/100g)
Eau	-	88-95
Glucides	64-71	3-7
Cendres	19-23	1-2
Fibres	18	1-2
Protéines	4-10	0.5-1
Lipides	1-4	0.2

. Les minéraux.

Dans les cladodes, les principaux minéraux sont le potassium et le calcium, avec des quantités allant de 0,24 à 5,5 g dans 100 g de matière sèche (MS). Dans la pulpe (partie molle et charnue des végétaux), le potassium est présent à 161 mg pour 100 g de MS de cladode, dépassant la concentration d'autres minéraux comme le calcium et le magnésium [17].

. Les sucres.

Les sucres sont présents sous forme polymérique (cellulose et amidon) ou monomérique. Certaines recherches ont montré que le mucilage d'OFI contient du D-glucose, du D-galactose, de l'arabinose, du D-xylose et du L-rhamnose. La teneur en sucre libre est de 0,32 % du poids sec. Dans une autre étude, la fraction de sucre réducteur a été rapportée à 0,64 - 0,88 % de poids sec [17].

. Acides organiques.

L'acide malonique et l'acide citrique représentent respectivement 36 et 178 mg /100g de poids frais (tableau I.3). En revanche, les cladodes âgées ne contiennent plus d'acide malonique. L'acide tartrique et succinique a été trouvé seulement en état de traces. L'augmentation de l'acide pacifique est due à l'augmentation avec l'âge, alors que l'acide phobique a été réduit de moitié de la valeur initiale. Les deux acides phobique et pacifique sont rarement rencontrés dans la nature et limités aux plantes présentant un métabolisme acides succulents (CAM) [18].

Tableau. I.3 : Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte [17]

Acides organiques	Poids frais (mg/100g) 6h (matin)	Poids frais (mg/100g) 18h (après-midi)
Acides oxalique	35	35
Acides malique	985	95
Acides citrique	178	31
Acides malonique	36	Traces
Acides succinique	Traces	Traces
Acides tartrique	Traces	Traces

. Les acides aminés et les protéines.

En général, les protéines varient entre 4 et 10 % de la composition chimique de cladode. L'acide aminé détecté majoritaire est la glutamine, suivie par la leucine, la lysine, la valine, l'arginine, la phénylalanine et l'isoleucine [18]

. Les glucides.

Les glucides constituent un total de 36% à 37% de l'ensemble du poids sec des cladodes. La teneur en glucides est comprise entre 64 et 71 g /100 g par rapport au poids sec. Les jeunes cladodes sont plus riches en glucides [16].

. Composants phénoliques.

Parmi les acides phénoliques qui ont été détectés on peut citer l'acide érucique, l'acide p-Comarque, l'acide 4-Hydroxybenzoïque, l'acide caféique, l'acide salicylique, et l'acide gallique. Les flavonoïdes détectés sont la rutine, l'iso-quercitrine, la nicotiflorine et la narcissine [19]

Tableau. I.4 : Composition en polyphénols des cladodes du l'Opuntia ficus-indica [20].

Polyphénols	Matière sèche (mg / 100 mg)
Acide gallique	0.64 – 2.37
Comarque	14.08 – 16.18
3,4- dihydroxybenzoïque	0.06 – 5.02
4-hydroxybenzoïque	0.5 – 4.72
Acide érucique	0.56 – 34.77
Acide salicylique	0.58 – 3.54
Isoquercetine	2.29 – 39.67
Isorhamnetin-3-O-glucoside	4.59 – 32.21
Nicotiflorine	2.89 – 146.5
Rutine	2.36 – 26.17
Narcisse	14.69 – 137.1

I.7.3. Domaines d'applications du mucilage

Le mucilage d'OFI est considéré comme une source potentielle d'hydro-colloïdes Industriels, des utilisations multiples ont été trouvées pour ce composant comme épaississant et émulsifiant alimentaire, comme adhésif pour la chaux, comme super-plastifiant naturel dans le mortier et comme produit alimentaire [21].

Le mucilage est utilisé comme agent mucoprotecteurs en raison de sa capacité à former un réseau moléculaire et à retenir une quantité importante d'eau [22].

Il a été aussi utilisé comme bio-coagulant dans le processus d'électrocoagulation électro flottation afin d'améliorer le rendement d'élimination du trouble et du cuivre en eaux polluées [23].

I.8. Utilisation du figuier de Barbarie :

Le figuier de Barbarie est une plante très utile pour les régions arides.

Ses utilisations sont multiples :

. Alimentation humaine :

-Production de fruits (figues de Barbarie). Il existe plusieurs méthodes pour débarrasser le fruit des glucides en les frottant avec un balai, ou une brosse, à sec ou dans l'eau. Le fruit peut être pelé sans contact avec les doigts [24].

- Produits dérivés: des huiles ou macéras très nourrissants à base de fleurs ou de fruits pour la peau, en Sicile en fait une liqueur, le Ficoïde.

- Les fruits sont gorgés de vitamine C (0,04 % du jus). Les fleurs aussi en contiennent une grande quantité [25].

- Effet notoire de réduction des taux de glucose sanguin, de cholestérol et de triglycérides sanguins [26].

- Colorants alimentaires naturels : en effet 2 pigments ont été identifiés dans le figuier de Barbarie : un pigment jaune l'indice xanthine [27] et un autre rouge violet la Bétadine (5-Oglucose Bétadine) [28] Le jus obtenu à partir du fruit contient de 0,22 à 0,25 % d'indic xanthine et de Bétadine 0,027 % (fruit jaune orangé) à 0,3 % (fruit violacé) [25].

. Alimentation animale

- Fruits

- Raquettes (à usage de fourrage)

. Utilisation agricole :

Formation de haies défensives.

- Sert de barrière coupe feux.

. Environnement :

-Lutte contre l'érosion

-Conquête des sols

. Usage industriel :

-Colorants naturels extraits des fruits

-Production d'un colorant rouge par l'élevage d'une cochenille

-Production de mucilages (notamment pour les adhésifs)

. Usage thérapeutique et cosmétique :

- La figue de Barbarie est un puissant anti diarrhéique, et un constipant.

-Médecine populaire du Mexique.

La plante aurait de nombreuses propriétés cicatrisantes et anti-âges. Elle est Utilisée en crème de jour, après-soleil, antirides, anti-vergetures. En effet, l'huile de figue de Barbarie est riche en vitamines et minéraux, ainsi qu'en actifs réputés pour leurs propriétés anti-oxydantes, agissant ainsi contre le vieillissement cutané. Les pouvoirs de cette huile dépasseraient ceux de l'huile d'argan. Hydratante, nourrissante et adoucissante, l'huile de figes de Barbarie possède, entre autres, 65 % d'acides gras polyinsaturés (nourrissants) - contre 33 % pour l'argan, ainsi qu'un taux de vitamine E (anti-oxydante) supérieur à 100 mg / 100 g - contre 65 mg pour l'argan [29].

La poudre de la raquette du figuier de barbarie permettrait, en entrant en contact avec les lipides contenus dans l'estomac, de ralentir l'absorption de ces derniers par l'organisme [30]

Conclusion :

Le figuier de Barbarie « l'Opuntia ficus-indica » est une plante xérophyte de la famille des Cactacées, cette plante largement connue et pourtant méconnue a fait l'objet de plusieurs études dans le monde entier qui lui ont conféré plusieurs potentialités intéressantes dans plusieurs domaines, les cladodes d'Opuntia pourraient constituer une excellente source de fibres pour le fourrage et l'alimentation humaine.

En Algérie ce nopal est pratiquement délaissé pourtant cette source de richesse a une véritable valeur ajoutée qui peut constituer un créneau d'investissement à part entière. Malgré que plusieurs pays l'ont investi, tels que le Maroc, le premier exportateur de l'huile de pépins de figes de Barbarie, ou encore la Tunisie ou l'Italie, ce choix n'est pas fortuit.

Le figuier de Barbarie pourrait être valorisé pour le traitement des eaux, un secteur bien indispensable pour un développement durable.



Chapitre II

. INTRODUCTION

La coagulation et la floculation sont largement appliquées dans le prétraitement de clarification des eaux (potable ou usées). Le dispositif global de la coagulation floculation consiste dans un premier temps, en l'ajout d'un sel appelé « coagulant » celui-ci déstabilise les colloïdes qui peuvent se regrouper sous forme de floc. Ensuite les floccs formés décantent, permettant la séparation des agrégats. Les propriétés des particules en suspension, (colloïdes), ainsi que les conditions physicochimiques du procédé influencent son efficacité [31].

Dans ce chapitre on vise à donner un aperçu général sur le procédé de la coagulation floculation en abordant les parties suivantes :

- Les particules colloïdales
- Le principe de La coagulation-floculation
- Mécanisme de la coagulation-floculation
- Les facteurs influençant la coagulation
- Les avantages et les inconvénients de la coagulation –floculation

II.1.Le mécanisme de la coagulation-floculation

On peut considérer qu'il existe quatre grands mécanismes qui agissant individuellement ou ensemble dans la coagulation floculation dans la figure :

.Réduction de l'épaisseur de la couche ionique : transportée par les particules, par augmentation de la force ionique de la solution.

.Neutralisation des charges ioniques : par ajout d'un réactif chimique contenant des contres ions du colloïde. [32]

.Pontage entre les particules : par utilisation des polymères de haut poids moléculaire.

.Piégeage des particules : par formation de polymères d'hydroxy des minéraux volumineux.

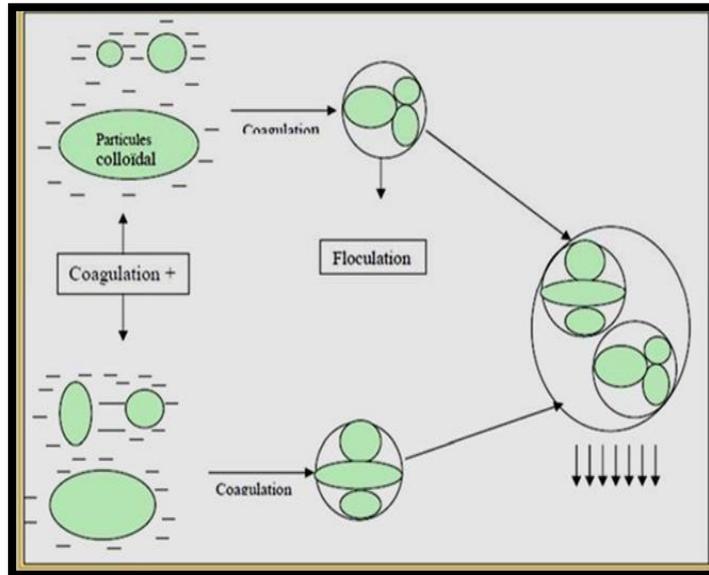


Figure II.4: Mécanisme de la Coagulation floculation [32]

II.2. La théorie de double couche ionique

En général les surfaces sont chargées et sont en contact avec des solutions contenant des ions (des électrolytes), avec pour conséquence une redistribution non uniforme des ions.

Cette redistribution des ions au voisinage de l'interface, sera déterminée à la fois par les interactions électrostatiques et par la diffusion liée à l'agitation thermique.

Les principales causes de l'apparition de cette charge dans l'interface sont :

- Différences dans les affinités électroniques des électrons de chaque phase.
- Différences dans les affinités électroniques des ions de chaque phase.
- Ionisation de groupements fonctionnels de surface.
- Rétention ou piégeage physique d'ions [33].

La compression de la double couche :

Lorsqu'on rapproche deux particules colloïdales semblables, leurs couches diffuses interagissent et génèrent une force de répulsion. Pour vaincre cette force on ajoute un électrolyte qui va créer, au sein de l'eau une force ionique plus élevée qui va contribuer à faire diminuer l'épaisseur du double couche [34].

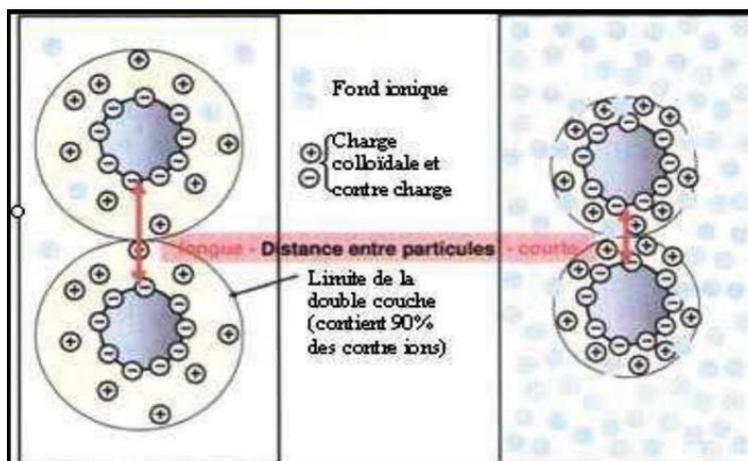


Figure. II.5 : la compression du double couche [35].

II .3.La coagulation-floculation

Le procédé de coagulation-floculation est un traitement primaire qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent grâce à la réaction d'émulsion. La coagulation a donc pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération. Généralement caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements secondaires [36].

II .4.Les facteurs influençant la coagulation

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation. 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.

.Les flocculant

Les flocculant ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Les principaux flocculant utilisés sont :

- **Les flocculant minéraux** : Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculant connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certains hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou

l'hydroxyde ferrique et la sable fin (micro sable).

- **Les flocculant de synthèse** : Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire, Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels. [36]
- **Les flocculant organique naturels** : Ils sont hydrosolubles et qui peuvent voir une charge anionique, cationique ou neutre.

On peut citer par exemple : l'amidon, les alginates, ou les polysaccharides. [36]

II .5.Les avantages et les inconvénients de la coagulation –floculation

.Avantages

- Certains de ces agents chimiques sont peu dispendieux, notamment le Cao.
- L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, il y a donc beaucoup d'équipement déjà existant et une multitude d'agents chimiques disponibles.
- La présence de composés toxiques dans l'effluent à traité n'est pas gênante et le system me est stable lorsque soumis à des températures variables.
- Les systèmes de coagulation-floculation chimique sont généralement automatisés et demandent donc peu de surveillance et d'entretien.
- Une réduction significative est obtenue en termes de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus.
- Les systèmes chimiques de coagulation-floculation peuvent être conçus afin d'obtenir un produit à valeur ajoutée [36].

.Inconvénients

- Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs, des normes de sécurité doivent être respectées afin que les travailleurs manipulent ces substances avec précaution.
- Puisqu'il y a plusieurs réactions en compétition dans ce type de système chimique et plusieurs degrés d'alcalinité en plus des autres facteurs influençant le procédé, il est particulièrement difficile d'établir les bons dosages. Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont donc nécessaires pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système.
- De grandes quantités de substances chimiques doivent être acheminées à l'usine de traitement.

Chapitre II : Procédé de coagulation /floculation

- L'utilisation de l'alun, à cause de son interaction avec les substances alcalines provoque une réduction importante du pH.
- Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux [36].

Conclusion

Les particules stables non décanales qui sont responsables de la couleur et la turbidité de l'eau, dites particules colloïdales. Pour arriver à la transparence des eaux pendant une courte durée, on a recours aux procédés de coagulation floculation.

Dans ce chapitre nous avons détaillé, plus particulièrement, ces procédés sur lesquels porte spécifiquement notre étude.



Chapitre III

Introduction

L'homme a utilisé les colorants depuis le début de l'humanité, ils ont été appliqués dans pratiquement tous les domaines de notre vie quotidienne ; pour la peinture, teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc.

De nos jours, l'industrie textile constitue à nos jours l'un des secteurs à forte consommation d'eau, utilisée principalement pour le lavage des colorants de diverses natures.

Ce chapitre est consacré à des généralités sur les colorants textiles, leur classification, leurs toxicité.....etc.

III.1.Couleur et structure chimique des colorants

Un colorant est une substance qui possède deux propriétés spécifiques, indépendantes l'une de l'autre : la couleur et l'aptitude à être fixée sur un support tel qu'une fibre. Cette dernière propriété résulte de l'interaction entre la molécule du colorant et le substrat à teindre.

Ainsi, cette interaction se forme entre la partie réactive de la molécule colorante et la molécule à teindre par formation d'une liaison sélective.

Les matières colorantes sont un assemblage de groupes chromophores, aux-chromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, térylène, etc...).

Ces groupements sont capables de transformer la lumière blanche dans le spectre visible (de 380 à 750 nm) en lumière colorée.

Le tableau suivant représente les groupes chromophores et aux-chromes. [37]

Chapitre III : Généralités sur les colorants

Tableau. III.5: principaux groupes chromophores et auxochrome

Groupes chromophores	Groupes auxochrome
Azo (-N=N-)	Amine primaire (amine -NH ₂)
Nitroso (N=P ou -N-OH)	Amine secondaire (Méthylamino-NHCH ₃)
Carbonyle (>C=O)	Amine tertiaire (Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂))
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyle (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkyl (-OR)
Thiocarbonyle (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons NH ₃ , -COOH, -SO ₃ H
Méthane (-CH=, -CR=)	Iodi (I ⁻)
Azométhine (-CH=NH)	Bromo (Br ⁻)
Azométhine N substituée (-CH=N-)	Chloro (Cl ⁻)
Azoxy (-N=N ou -N - N-) $\begin{array}{c} \downarrow \quad \backslash \quad / \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	

III.2. Classification des colorants textiles

La classification des colorants textiles est basée sur deux principes :

- Sur la structure chimique des colorants synthétiques.
- Sur les méthodes d'application (en textiles, papier, cuir, plastique....et).

Chapitre III : Généralités sur les colorants

Donc la classification peut être faite selon plusieurs manières : Chimique, tinctoriale, commerciale. Toutefois, le classement chimique et tinctorial est le plus fréquent.

Le tableau suivant résume la classification des colorants : [38]

Tableau. III.5. Classification des colorants :

Colorants contenant un groupe fonctionnel anionique	Colorants acquérant une réaction chimique avant l'application	Colorants contenant un groupe fonctionnel cationique	Classe spéciale des colorants
<ul style="list-style-type: none">- Colorants acides- Colorants directs- Colorants à mordants	<ul style="list-style-type: none">- Colorants de cuves- Colorants au soufre- Colorants azoïque	<ul style="list-style-type: none">- Colorants basiques	<ul style="list-style-type: none">- Colorants dispersés- Colorants solubles- Pigments- Colorants naturels

Classification selon la nature chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore [38]

.Les colorants azoïques

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes

Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories: les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant non-ioniques insolubles dans l'eau.

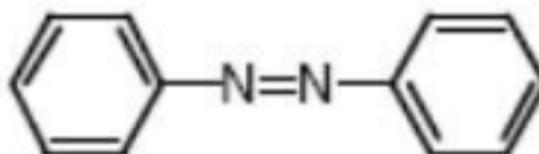


Figure. III.7: azobenzène

➤ Les colorants anthraquinoniques :

Ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Avec leurs nuances bleue et turquoise ils complètent les colorants azoïques jaunes et rouges.

La molécule de base de ce groupe de colorants est l'anthraquinone qui présente le groupe chromophore carbonyle $>C=O$ sur un noyau qu'ionique qui est le chromogène. [39]

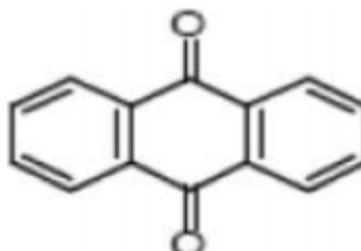


Figure III.8.: Anthraquinone

➤ Les colorants indigoïdes :

Ils tirent leur appellation de l'Indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénié, soufré et oxygéné du Bleu Indigo provoquent de changement de coloration pouvant aller de l'orange au turquoise etc...

Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicales [39]. (Le plus important des colorants indigoïdes est l'indigo servant principalement à la coloration de jeans, de formule chimique $C_{16}H_{10}N_2O_2$ [39])

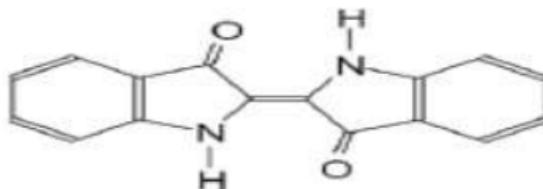


Figure. III.9: Indigo

➤ Les colorantes xanthines :

Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine. Peu utilisé en tant que teinture, leur faculté de marqueurs lors d'accidents maritimes ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraine. [40]

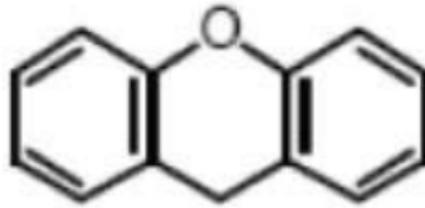


Figure III.10: xanthine

➤ **Les phtalocyanines :**

Ils ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyano benzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc. [41])

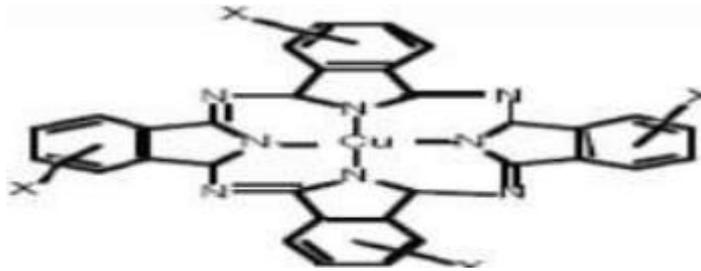


Figure. III.11: Pigment synthétique

➤ **Les colorants nitrés et nitrosés :**

Ces colorants forment une classe très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe intro (-NO₂) en position ortho d'un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupes aminés).

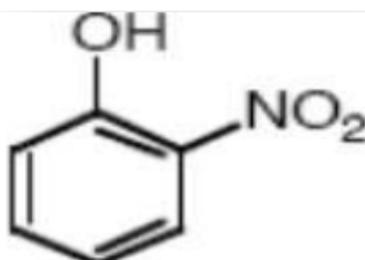


Figure .III.12. : Ortho intro phénol

➤ Colorants du diphenylméthane et du triphenylméthane :

Les colorants triphénylméthane dérivent du triphénylméthane, qui est un hydrocarbure possédant trois cycles phényle liés à un carbone central. On retrouve cette structure de base dans un grand nombre de composés organiques colorés.

Les triphénylméthane sont utilisés intensivement dans les industries papetières et textiles pour teindre le nylon, la laine, la soie et le coton.

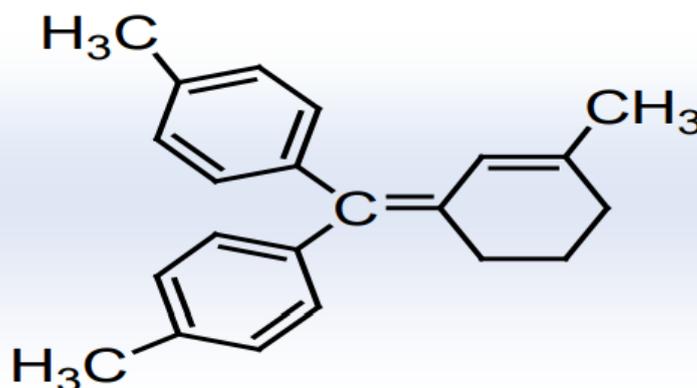


Figure. III.13.: Squelette triphénylméthane

Classification tinctoriale :

On distingue différentes catégories tinctoriales définies par les auxochrome [42]

➤ Les colorants solubles dans l'eau

a) colorants acides ou anioniques :

Chapitre III : Généralités sur les colorants

Ce sont des colorants qui comportent une ou plusieurs fonctions acides surtout. La fonction acide joue le rôle d'élément solubilisant, car elle facilite l'ionisation de la molécule du colorant au sein du solvant.

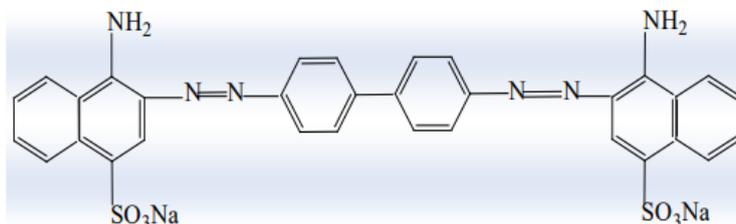


Figure. III.14 : Squelette de Rouge Congo

b) Les colorants basiques ou cationiques :

Ce sont des sels d'amines organiques, donc ayant une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En passe de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et très résistantes.

c) Les colorants à mordants :

Ils contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile [43]

.Colorants réactifs :

Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïque, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type thiazidique ou vinylsulfone, assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent de plus en plus fréquemment dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides. [44]

.Les colorants de cuve :

Les colorants de cuve sont insolubles et doivent être transformés en leuco dérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la ré oxydation in situ du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation.

.Les colorants directs :

Les colorants directs contiennent ou sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule.

➤ Colorants insolubles dans l'eau

Ils sont désignés par le terme de colorants Plast solubles. Ces colorants ont été créés après les difficultés rencontrées avec la teinture des acétates de cellulose. Il existe d'ailleurs plusieurs autres classes de colorants insolubles dans l'eau, exemple : colorants de cuve, colorants au soufre, colorants d'oxydation [45]

III.3.Le colorant Méthyle orange :

Le méthyle orange est le 4 - [(4-diméthylamino) phényle diazényl] benzène sulfonâtes de sodium. Le méthyle orange réactif est un colorant anionique. Il est également appelé (C.1. Acide orange 52). Il passe du rouge au jaune orangé à un pH de 3,1 à 4,4. Il est synthétisé par réaction de l'acide sulfonique, nitrite de sodium. Le sel de d'ionium ainsi produit est couplé à la diméthyle aniline.

III.4.Propriétés physico-chimiques de l'orange de méthyle (OM)

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'orange de méthyle (C.I Acide Orange 52). Autrement appelé Hélianthine ou encore orangé IU, l'orange de méthyle est un colorant anionique principalement acide. C'est un indicateur coloré utilisé surtout pour l'impression de la coloration des textiles, mais aussi en chimie pour marquer la présence d'un milieu acide (il vire en rose-rouge) ou d'un milieu basique (il vire en jaune-orangé), on l'utilise donc pour les dosages acido-basiques.

Ainsi, le tableau 2 résume les propriétés du méthyle orange.[46]

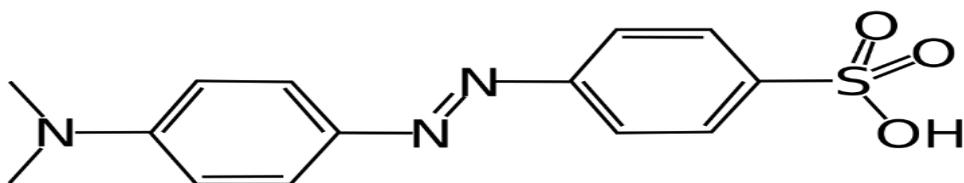


Figure. III.15 : Structure du Méthyl orange

Tableau 2 : Propriétés physico-chimiques de l'orange méthyle

Nom	Orange de Méthyle (C.I 13025) PA-ACS
Famille	Colorant acide
Formule	$C_{14}H_{14}N_4NaO_3S$
Structure	
Appellation chimique	4-((E)-[4-(diméthylamino) phényle]diazenyl benzènesulfonate (sel de sodium)
Masse molaire (g/mol)	327,336
Fonction	Sulfonate de Sodium (SO_3Na), groupement Azo ($N=N$) et Amine tertiaire
λ_{max}	465 nm
Couleur	Rouge orangé à pH < 3.2 et Jaune à pH > 4.4.
Apparence	Cristaux orange
Solubilité	5.2 g.L ⁻¹ dans l'eau à 20°C 1.0 g.L ⁻¹ dans éthanol à 20°C

III.5.Toxicité des colorants

III.5.1.Impact environnemental

Eutrophisation : Différents ions peuvent être évacués dans le milieu naturel tel que le phosphate, utilisé comme détergent lors du processus d'ennoblissement ou le nitrate libéré sous l'action des microorganismes sur les colorants. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie aquatique et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère la prolifération anarchique de celles-ci et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes. [47]

Chapitre III : Généralités sur les colorants

Sous-oxygénation : Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. Estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau. [48]

Couleur, turbidité, odeur : L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, de prolifération bactérienne, d'odeurs pestilentielles et de colorations anormales. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques. [49]

Sur la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. En effet, des chercheurs, ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane. Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chélate de rouge). Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérigènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie. [49]

Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition de Hépatomes chez l'homme. Les colorants métallifères sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Ils peuvent également causer des dégâts sur les réseaux d'assainissement et des perturbations des traitements biologiques dans les stations d'épuration à cause de leur toxicité élevée. [49]

L'utilisation des colorants à base d'arsenic tels que le vert de Scheele (arsénite de cuivre), vert de Schweinfurt (acétoarsénite de cuivre) provoquent des troubles digestifs : digestion pénible, nausées, diarrhée et peuvent être à l'origine des irritations de peau, des muqueuses oculaires et pulmonaires et surtout de cancer.

La granulomatose pulmonaire est signalée chez les femmes utilisant des laques colorées et parfumées plusieurs fois par jour pendant des années.

CONCLUSION

Les colorants de synthèse sont de plus en plus utilisés dans les industries en raison de leur facilité de synthèse, de leur rapidité de production et de leur variété de couleurs si on les compare aux colorants naturels. La diversité structurale des colorants synthétiques est due à la fois à la diversité des groupements chromosphériques qui les composent (groupements azoïque, anthraquinone, triarylmethane et phtalocyanine) et à la diversité des technologies d'application (coloration réactive, directe, dispersée ou de cuve). Le secteur des colorants constitue une véritable industrie qui est impliquée dans un grand éventail de domaines : industrie textile, imprimerie, industrie pharmaceutique, cosmétique et agro-alimentaire. [32]

L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un secteur important de la chimie : la production mondiale est estimée à plus de 800 000 tonnes par an dont 140 000 sont perdues dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection. [32]



Chapitre IV

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différents produits utilisés, l'appareillage et la méthodologie expérimentale adoptée.



Photo d'origine. IV.1: Méthyle Orange (solution colorée) labo GP

IV.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau brute :

Le **pH**, la **conductivité** et la **température** ont été mesurés par un multi-paramètre de marque (HACH, HQ 40d).

La turbidité : elle a été mesurée par un turbidimètre de marque (Hach, 2100AN IS TURBIDIMETER, ISO METHOD 7027).

Le turbidimètre utilise le principe néphélométrie de mesure de la turbidité, cet appareil répond aux critères de conception définis par l'Agence pour la Protection de l'environnement aux USA).

IV.3. Méthode d'extraction

La méthode d'extraction du jus de cactus utilisée est la suivante [50]. :

- 1) Nettoyage des cladodes avec l'eau de robinet.
- 2) Les épines et la couche rigide ont été enlevées à l'aide d'une pince, puis nettoyées avec l'eau de robinet et finalement avec de l'eau distillée.
- 3) Les cladodes ont été découpés en petits dés.

- 4) Broyage de 500g de cactus à l'aide d'un blinder domestique.
- 5) Filtration à l'aide d'une passoire domestique.
- 6) Le jus a été dilué à 10% avec l'eau distillée, suivi d'une agitation modérée pendant 15 à 20min.
- 7) Ce jus a été conservé dans une bouteille en verre marron à 4°C et à l'abri de la lumière.

IV.3.1 Structures constituantes du jus de cactus :

Pour déterminer la structure du jus de cactus utilisé, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (I.R.T.F) a été utilisée.

Le terme « spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier » vient du fait qu'il est nécessaire de passer par une transformation de Fourier pour convertir les données brutes en réel résultat spectral

IV.3.2. Caractéristique physico-chimiques du jus de cactus :

. La densité

La densité est mesurée à l'aide d'un bécher de 20 ml.

Le bécher est pesée à vide puis remplie d'eau à une température maintenue à 20°C, par la suite elle est remplie avec le jus de cactus puis pesé à la même température. La densité du jus de cactus est déduite à partir de la relation suivante :

$$d = \frac{M_{SUS} - M_0}{M_{H_2O} - M_0} \dots\dots\dots(1)$$

Avec :

M_{H_2O} : (Masse de la fiole remplie d'eau)

M_{SUS} : (Masse de la fiole remplie du jus)

M_0 : (Masse de la fiole vide)

.L'humidité

Pour estimer le taux d'humidité ou le pourcentage en eau dans un produit, 20ml de jus dilué sont prélevés et pesés dans une coupelle du poids connu, cette coupelle est placée dans une étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Il est mesuré par la loi suivante :

$$\%H = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \dots\dots\dots(2)$$

Où :

m_0 : (Masse de l'échantillon avant séchage).

m_1 : (Masse de l'échantillon après séchage).

.Le pH :

La valeur du pH est référée à la présence des groupements fonctionnels de caractère acide comme les groupements et les acides carboxyliques (COOH) présents dans l'acide galacturonique.



Photo d'origine .IV. 2 : pH mètre. Labo snv

.La turbidité :

La turbidité est l'effet optique qui traduit le caractère trouble de l'eau. Elle est due à la présence de diverses matières en suspension finement divisées telles que des particules de matières organiques ou minérales. Ces particules ont une taille variant entre 10 nm et 100 µm . La turbidité se mesure par techniques optiques : absorption ou diffusion des rayons lumineux par les particules en suspension.



Photo d'origine. IV. 3 : turbidimètre labo GP

.Les matières en suspension :

Pour déterminer les MES on prend, un échantillon de 150mL d'eau brute filtré à l'aide d'une pompe à vide, à travers un papier filtre de masse (m_0).

On récupère les filtres mouillés, que l'on sèche dans une étuve à 105°C pendant 2h.



Photo d'origine .IV.4 : MES Ces derniers sont placés dans un dessiccateur pour éliminer toute l'humidité. Labo snv

Puis on pèse le filtre sec avec les MES (m_1). [51]

Le rendement est calculé par suit :

$$\text{Rendement}\% = \frac{\text{MES}_{\text{Brute}} - \text{MES}_{\text{traité}}}{\text{MES}_{\text{Brute}}}$$

Les MES en mg/L sont calculés par la loi suivante

$$\text{MES} = (M_1 - M_0) / V * 1000 \dots \dots \dots (4)$$

- **La conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 . L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m). $1 \text{ S/m} = 104 \text{ } \mu\text{S/cm} = 103 \text{ mS/m}$. [61]



Photo d'origine .IV.5: Conductimètre labo GP

- **Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)**

La DBO5 comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅. [32]

Elle se résume à la réaction chimique suivante :

Substrat + microorganisme + $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{énergie} + \text{biomasse}$
% d'élimination = $(\text{DBO}_5 \text{ initiale} - \text{DBO}_5 \text{ finale}) / \text{DBO}_5 \text{ initiale}$



Photo d'origine IV.6: Appareil de mesure de la DBO₅ labo snv

IV .4.Les caractéristiques microbiologiques :

En définitive, la majorité des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries ou protozoaires) pouvant causer des maladies, sont, susceptibles de se trouver dans l'eau usée. L'importance de la pollution microbiologie nous oblige à à effectuer un traitement de désinfection à notre eau usée, avant qu'elle ne soit distribuer au publique.

L'analyse microbiologique de l'eau distribuée à la consommation est basée sur la recherche des germes (**microorganismes indicateurs de contamination fécale**). Ces indicateurs sont spécifiques de la flore intestinale, ils ne sont pas nécessairement pathogènes, mais leur présence en grand nombre dans un milieu aquatique indique l'existence d'une contamination fécale, et donc un risque épidémiologique potentiel

Bactéries :

Le contrôle bactériologique réalisé dans ce contexte, porte sur la quantification des germes indicateurs de contamination fécale : les coliformes et les streptocoques fécaux. D'autres indicateurs non spécifiques ont été utilisés comme complémentaires : les germes totaux et les Clostridium sulfite-réducteurs

Implique aussi la recherche de certains germes pathogènes : Escherichia coli, Salmonella, Sheila, Vibrion, Pseudomonas aeruginosa et les Staphylocoques

.Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale :

Ces bactéries ont été choisies parce qu'elles sont présentes en grand nombre dans les selles des animaux à sang chaud qui sont des sources fréquentes de contamination assez grave, qu'elles sont détectables facilement

Trois indicateurs sont à noter : les Coliformes totaux, Coliformes fécaux, et Les streptocoques fécaux

Les coliformes totaux :

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae, correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulés, aéro/anaérobies facultatifs, possèdent des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35-37C°, ils sont sensibles au chlore [32].

Ils se répartissent en deux catégories:

- Les germes thermophiles ;
- Les germes psychrophiles (aquatique ou terrigène).

Leur intérêt plus moindres pour déceler une contamination d'origine fécale

Les coliformes fécaux (coliformes thermo-tolérants) :

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de coliformes totaux, l'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles

Un autre test peut fournir les mêmes indications que celles fournies par le dénombrement des coliformes fécaux, c'est le dénombrement des E. coli présumés qui correspondent à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, à 44°C [32]

.E. coli:

L'espèce la plus fréquemment associée aux coliformes fécaux est E. coli représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermo-tolérants détectés. N'annonce que la présence d'E.coli, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente [33]

Conclusion

Pour effectuer l'analyse de notre effluent on a abordé dans ce chapitre, les différentes méthodes d'analyses de notre échantillon tels que ; la mesure de la turbidité, le pH, la conductivité, DBO₅, MES et Analyse bactériologique

De plus, on a élaboré la méthode d'extraction de notre bio-floculant ainsi que sa composition physico-chimique.



Chapitre V

.Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents réactifs utilisés, de l'appareillage et de la méthodologie expérimentale adoptée.

Nous allons commencer par une caractérisation physicochimique du jus de cactus, qui sera testé ultérieurement sur Méthyle Orange. Son effet sur l'élimination de la turbidité, la DBO₅, les MES.

V .1.Caractéristiques de l'échantillon :

Les résultats de toutes les analyses effectuées sur notre Méthyle Orange, sont classés dans le (tableau V .7) suivant :

Tableau. V .7: Valeurs des différents paramètres mesurés

Paramètres	Valeur mesurée
PH	7.5
Conductivité	1627 μ S/Cm
Turbidité	236NTU

V .2.Caractéristiques du jus de cactus :

. Caractéristiques du jus de cactus :

.V 2.1. Spectroscopie Infrarouge à transformé de Fourier (I.R.T.F)

La figure (16) ci-dessous, représente le spectre infrarouge du jus extrait à partir des cladodes de cactus. Le tableau (8) résume les différentes bandes d'absorption et les groupements fonctionnels du jus.

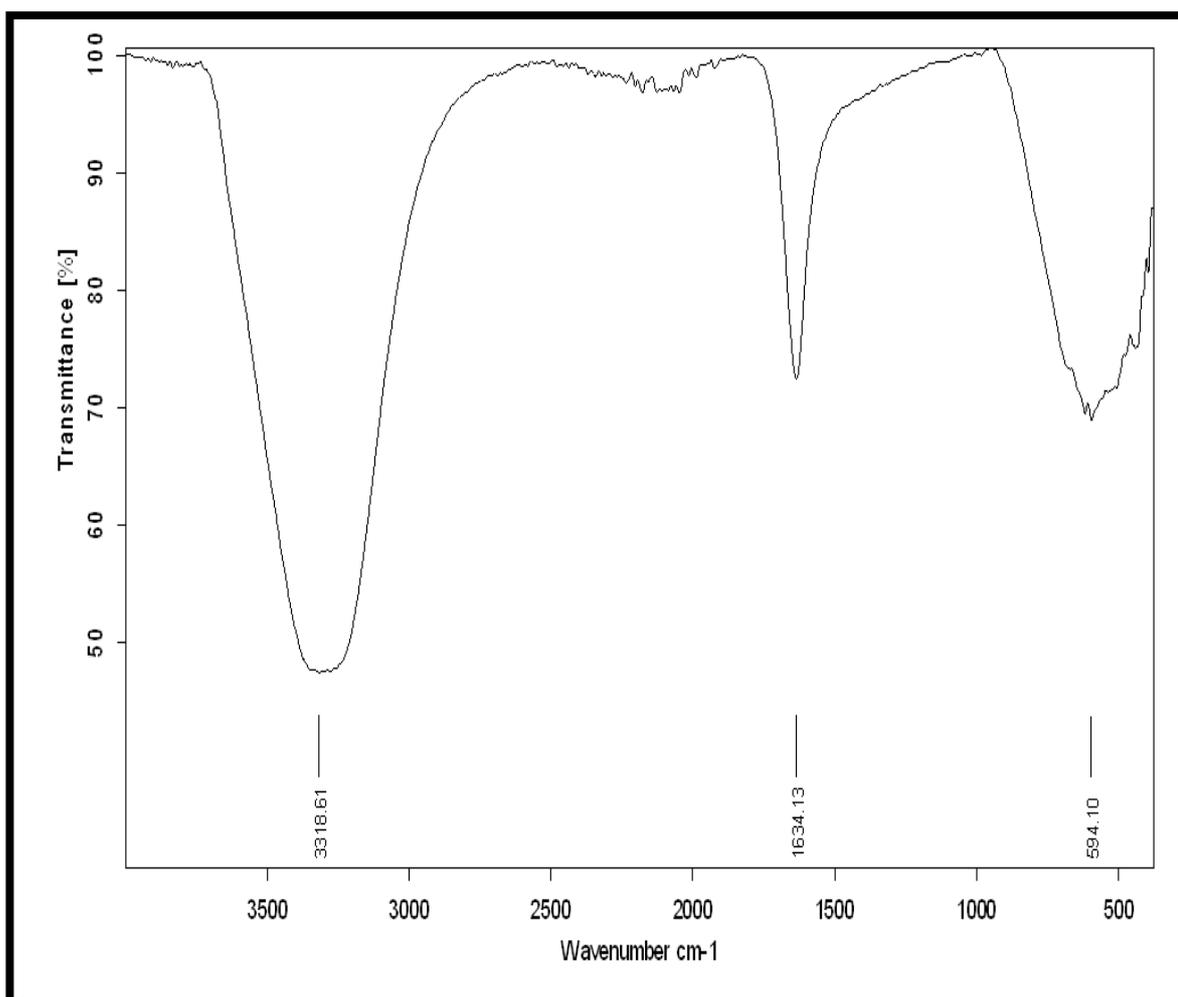


Figure. V. 16: Spectre I.R du jus de cactus

Tableau. V. 8 : La fréquence de vibration des bandes IR des structures constituant le jus de cactus

La fréquence de vibration (cm^{-1})	Type de liaison
3318,16	O-H Elongation, N-H élongation. [64]
1634,13	-C=O (vibration) acides carboxyliques/ -NH 2 (déformation) amides primaire [65]
594,10	Groupes aromatiques [66]

➤ Interprétation des résultats.

La fréquence de vibration de $3318,16 \text{ Cm}^{-1}$ est attribuée à l'élongation d'hydroxyle (OH) qui indique la présence d'un alcool associé aux polysaccharides. [67]

La bande intense observée à $1634,13 \text{ Cm}^{-1}$ est attribuée à une élongation de la fonction ($-\text{C}=\text{O}$) des acides carboxylique. [65]

La bande obtenue à ($594,10 \text{ Cm}^{-1}$) est due probablement aux groupes aromatiques ou aux vibrations de valence des liaisons d'halogénures (C-X). [66]

Ainsi, les résultats de l'analyse (I.R.T.F), ont révélé que le jus extrait est un mélange de polysaccharides complexes tels que les polysaccharides acides (pectiques), acide galacturonique [67], et d'un complexe de carbohydrate, qui a une grande capacité de rétention d'eau [68]. Ceci est confirmé par (Sellai et al, 2014) [69]

Ces polysaccharides sont solubles dans l'eau, macromoléculaire et de nature hydro colloïdale. [70]

V .2.2La densité :

La densité du jus de cactus est égale à : 0,82

V 2.3.Taux d'humidité :

H= 96%

Cette valeur est proche de celle trouvée par [71] qui étaient de 93 % et 95 %. La différence peut s'expliquer par les variations des conditions climatiques et édaphiques de la région de prélèvement des cladodes de cactus.

V .2.4.Le pH du jus :

Le pH du jus de cactus est égal à 4.1.

La valeur du pH est référée à la présence des groupements fonctionnels de caractère acide comme les groupements et les acides carboxyliques (COOH) présents dans l'acides galacturonique. (Trouvé précédemment dans l'analyse d'I.R.T.F)

V .2.5.La turbidité du jus :

La turbidité du jus est de l'ordre de 236 NTU

V.2.6. La conductivité du jus :

La conductivité est égale à 1355 $\mu\text{S}/\text{Cm}$, ce qui confirme la présence d'une quantité importante d'ions.

.Résultats du procédé

Les résultats du pourcentage de la réduction de la turbidité, sont exprimés par la relation suivante

$$\% \text{ réduction} = [(\text{turbidité initiale} - \text{turbidité finale}) / \text{turbidité initiale}] * 100 \dots\dots\dots(5)$$

V.3. Optimisation du volume optimal du (jus de cactus) :

Pour déterminer la dose optimale de notre jus, nous avons réalisé l'essai sur une eau de rejet industriel textile, Le pH initial de notre eau est de 7,5

Les résultats obtenus, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques sont regroupés dans le (tableau V.9)

Tableau V.9. Détermination du volume optimal du jus

	Turbidité initiale = 236 NTU						
Volume du jus (mL)	10	20	30	40	60	80	100
Turbidité résiduelle (NTU)	59.47	21	24.87	50.03	58.76	60.65	70.8
% d'élimination	74.8	91.1	89.5	78.8	75.1	74.3	70

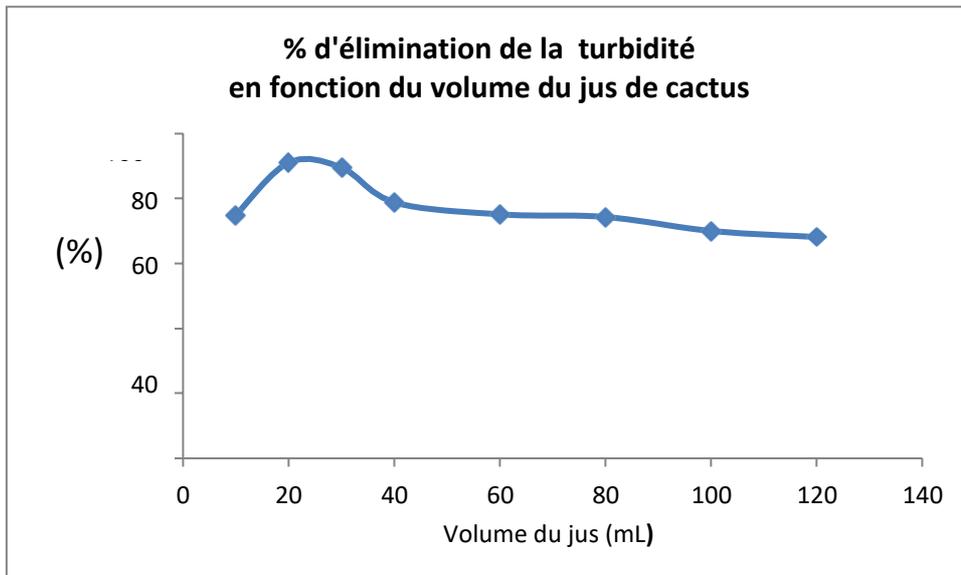


Figure. V.17 : % d'élimination de la turbidité en fonction de volume du jus de cactus

- **Interprétation des résultats**

D'après le tracé du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du volume de jus de cactus, on remarque que :

- Une diminution de la turbidité jusqu'à atteindre 21 NTU, correspondant à un rendement d'élimination de 91,1% à 20mL de jus. Ceci est justifié par la présence de polysaccharides acides (pectiques) qui existent dans notre jus. Ce est conforme aux résultats trouvés par l'analyse I.R.T.F. [72]
- Elle est suivi d'une augmentation progressive de la valeur de la turbidité résiduelle jusqu'à 75,28 NTU (un rendement de 68,1%) à (120mL/L de jus), Cette augmentation peut être expliqué par un surdosage du jus , et justifier par la déstabilisation stérique des particules colloïdes (augmentation du rapport bio-polymère/particule). [72]
- Un rendement maximal d'élimination de 93,8% est atteint au volume optimal de 25mL.

→ Donc, on constate l'efficacité de notre jus qui est de nature anionique et neutre [73, 74] vis-à-vis de l'abattement de la turbidité

V.3.1. Optimisation du pH de (jus de cactus) :

Après avoir optimisé le volume du jus de cactus utilisé dans notre procédé, le pH de notre eau a été ajusté à différentes valeurs : 4 ; 5 ; 9 ; 10 de pH

Le pH initial est de 7,5

Tableau : V .10.Détermination du pH optimal

	Turbidité initiale de l'eau = 236 NTU				
PH	4	5	7.5	9	10
Volume optimal du jus (mL)	25	25	25	25	25
Turbidité résiduelle(NTU)	39.88	30.2	14.2	59.9	62.1
% d'élimination	83.1	87.3	93.9	74.6	73.6

Interprétation des résultats

- Le meilleur résultat est obtenu à pH 7,5 avec un rendement d'élimination de 93,9%, où la déstabilisation des particules colloïdales se produit. On a remarqué que les floccs se forment rapidement dès que nous ajoutons le jus dans les différents échantillons.
- En milieu alcalin, les pourcentages de réduction de la turbidité, sont les plus faibles, comparativement à ceux obtenus à des pH acides à neutres Ceci est expliqué par le phénomène de précipitation (formation des hydroxydes).

V .4.Interprétation des résultats de MES.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Chapitre V : résultat et discussion

Tableau. V.11. : MES avant et après traitement

Type d'échantillon	Masse du filtre vide (mg) M0	Masse du filtre après filtration et séchage (mg) M1	MES (mg/L)	% d'élimination
Eau brute	330	930	4000	-
Eau traitée par jus seul	328	529	1340	66.5

Interprétation

D'après le tableau (V.11) on remarque une diminution des matières en suspension, pouvant atteindre un rendement de 66.5% à 25mL de jus de cactus ajouté à notre échantillon d'eau usée

V.5. Interprétation des résultats de la DBO₅ :

Les résultats obtenus de l'analyse de la demande chimique en oxygène sont mentionnés dans le tableau ci-dessous

La DBO₅ initiale de l'eau brute est égale à 255 mgO₂/L

Tableau. V.12 : DBO₅après traitement

Echantillon	DBO ₅ (mg/L)	% d'élimination
Eau traitée par jus seul	85	66.66

V .6.Analyse bactériologique

L'étude bactériologique basée sur l'estimation de la quantité de bactéries présentes avant et après traitement. La technique BCPL a été utilisée dans au début pour confirmer la présence des bactéries. Lorsque plusieurs tubes ont été prélevés contenant du bouillon de lactose à simple concentration et à double concentration, puis ils ont été inoculé dans chaque tube d'échantillon d'eaux usées.

Ensuit l'identification des bactéries présentes dans l'eau usée avant et après traitement, a été effectuée avec l'échantillon positive et de négative de Méthode BCPL à l'aide

L'ensemencement sur boîte pétrie (avec milieu de culture 'Hektoen").

Méthode en milieu liquide sur BCPL

La technique en milieu liquide c'est pour le test de présomption : réservé à la recherche des coliformes totaux et fécaux.

Avant traitement :

Matériel nécessaire

- Echantillon de l'eau usée
- Etagère pour tube à essai.
- Pipette graduée de 10 ml.
- Pipette graduée de 1 ml.
- Incubateur.
- Boîtes de pétrie avec un milieu de culture (La gélose Hektoen).
- Bec Bunsen.
- Milieu de bouillon lactosé à double concentration (D/C).
- Milieu de bouillon lactosé à simple concentration (S/C).
- Anse de platine.

Manipulation

- a) Stériliser la zone de travail avec bec bunsen.
- b) Inoculer avec une pipette stérilisée dans les 5 tubes qui contiennent le bouillon lactosé à concentration double 10 ml d'échantillon de l'eau usée dans chaque tube.
- b) Inoculer avec une pipette stérilisée dans les 5 tubes qui contiennent le bouillon lactosé à concentration simple 1 ml d'échantillon de l'eau usée dans chaque tube.
- c) Mélanger.
- d) incuber les tubes à 37 °C pendant 24 h.

Chapitre V : résultat et discussion



**Inoculer 1 ml
D'eau usée**

**Inoculer 10 ml
D'eau usée**

Photo d'orange. V.7 : eau usée

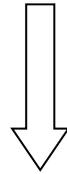
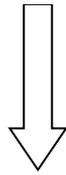


Photo d'orange. V.8: Bouillon lactosé à concentration simple
concentration double

Photo.V.9: Bouillon lactosé à



Photo d'orange.V.10: résultats après 24h de l'incubation

Chapitre V : résultat et discussion

Après la lecture macroscopique des résultats, on a remarqué :

-Un dégagement de gaz avec un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune et une odeur inacceptable.

- On a trouvé que 5 tubes pour chacun des bouillons, lactosé D/C et lactosé S/C, étaient positifs.

Selon l'interprétation de la table de "mac-grady" (annexe Tableau NPP) le NPP= 240 %."

L'échantillon de l'eau usée avant traitement, contient un nombre élevé de coliformes totaux et fécaux.

Remarque : la lecture finale des résultats de milieu du bouillon lactose sont exprimés en NPP (nombre plus probable) selon les prescriptions de la table de Mac Grady"

Après traitement :

Manipulation

- On utilise un échantillon de l'eau usée après traitement et ont refait les essais avec les mêmes étapes, de la partie avant traitement par jus de cactus.



Photo d'orange. V.11: Echantillon de l'eau usée après traitement

.Méthode en milieu liquide sur BCPL

Après 24 h de l'incubation, les tubes de bouillon lactose (D/C) et (S/C) trouvés négative,



Photo d'orange. V.12: résultat test de présomption par bouillon lactosé

Après la lecture macroscopique des résultats, on a remarqué, que 5 tubes pour chacun des bouillons, lactosé D/C et lactosé S/C, étaient négatifs.

Selon la lecture de la table "de Mac-Gray, NPP= 1%.", on peut dire que l'échantillon de l'eau usée après traitement, ne contient pas descoliformes totaux et fécaux.

2. Méthode de l'ensemencement sur boîte pétrie (milieu hektoen)

Manipulation

- a) Stériliser la zone de travail avec bec bunsen.
- b) Stérilisé l'anse avant et après chaque l'ensemencement avec bec bunsen.
- c) Prélever à l'aide de l'anse de platine un échantillon de bouillon lactosé à D/C du couleurjaune.
- d) Ensemencer sur boîte pétrie (milieu hektoen) par stries fines et très serrées le premier demi-cercle.
- e) Continu dans même boîte pétrie l'ensemencement par stries fines et légèrement. Convergentes le deuxième demi-cercle et par stries fines et divergent le troisième demi-cercle.
- f) Prélever à l'aide de l'anse de platine un échantillon de bouillon lactosé à S/C du couleurjaune.
- g) Faire la même méthode de l'ensemencer avec une autre boîte pétrie (milieu hektoen).
- h) Incuber les deux boîtes pétries à 37 °C pendant 24 h dans l'incubateur.



Photo d'orange.V.13: Stérilisation de la zone du travail.

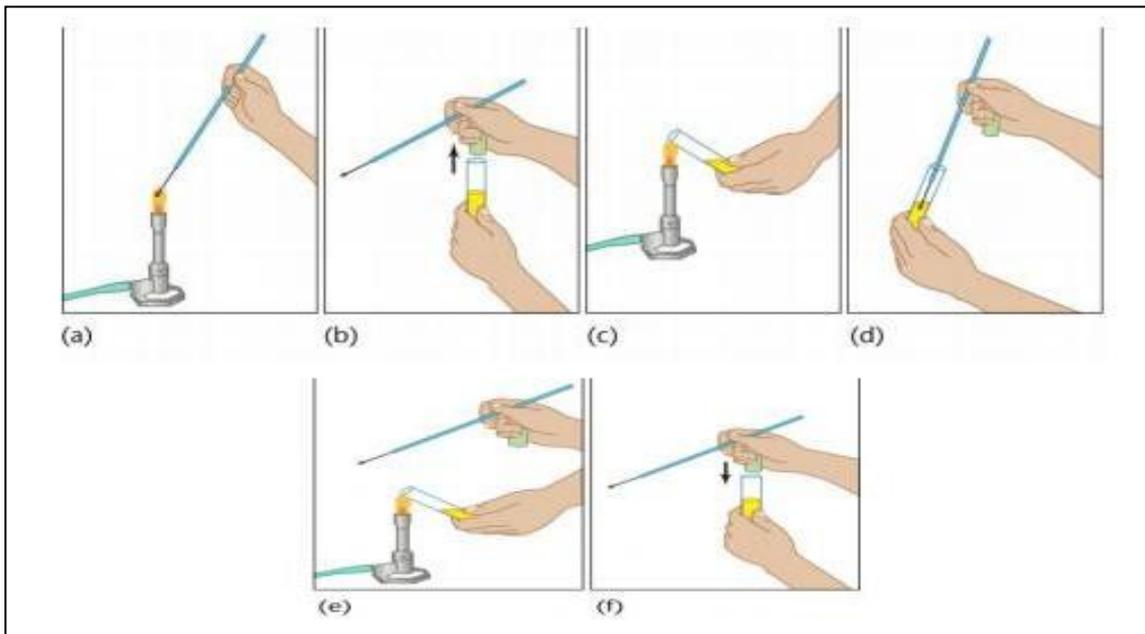


Photo d'orange.V.14:Ensemencement d'une suspension bactérienne.

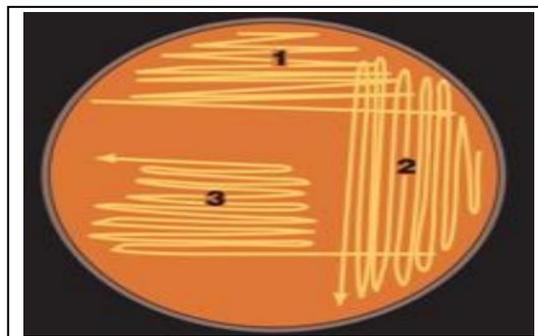


Photo d'orange.V.15 : Etapes de l'ensemencement

Méthode de l'ensemencement sur boîtepétrie

Les résultats de la culture bactérienne après 24h de l'incubation



Photo d'orange. V.16 : des cultures bactériennes sur le milieu hektoen de l'échantillon de bouillon lactose à S/C du couleur jaune



Photo d'orange.V.17: des cultures bactériennes sur le milieu hektoen de L'échantillon de bouillon lactose à D/C du couleur jaune

Après la lecture macroscopique des résultats, on a remarqué :

- Un virage de couleur du milieu de culture (Hektoen) au rouge et une odeur inacceptable, l'émergence d'un grand groupe des colonies bactériennes.
- La présence de plusieurs d'entérobactéries dans le milieu de culture (Hektoen) signifie que l'eau usée avant traitement par ajout de jus de cactus contient plusieurs types des bactéries pathogènes et non pathogènes.

Après traitement :

Méthode de l'ensemencement sur boîtepétrie (milieu Hektoen)

Les photos suivantes montrent les résultats de la culture bactérienne après 24h d'incubation.

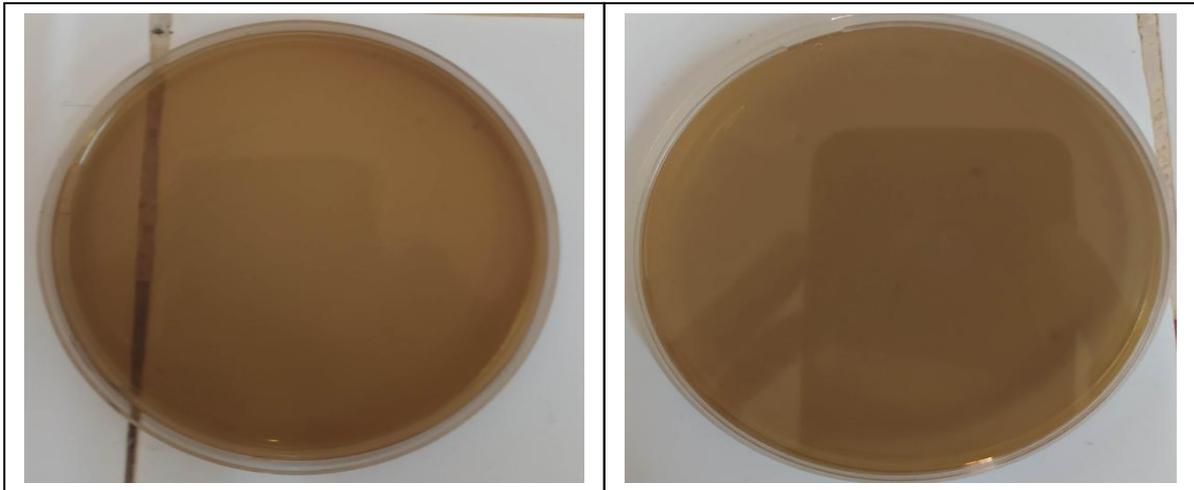


Photo d'orange. V.18 : des résultats de L'échantillon de bouillon lactose à S/C

Photo d'orange. V.19: des résultats de l'échantillon de bouillon lactose à D/C

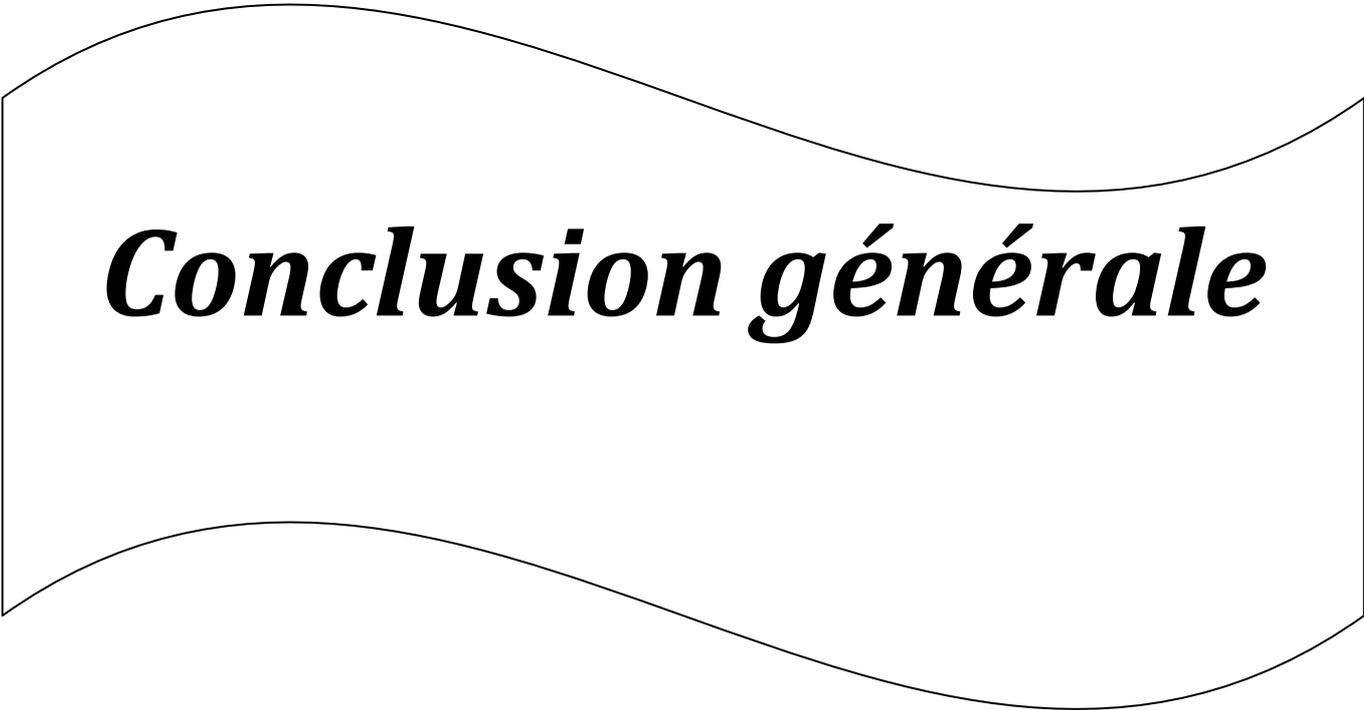
Après la lecture macroscopique des résultats, on a remarqué :

- le milieu de culture (Hektoen) n'a pas changé de couleur.
- L'absence de l'entérobactérie dans le milieu de culture (Hektoen) signifie que le traitement par jus de cactus est efficace

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'évaluer les différents résultats trouvés pour le procédé de coagulation/bio-floculation.

On conclut, que le jus de cactus dilué utilisé comme bio-floculant a un taux de réduction remarquable sur la turbidité, la demande chimique en oxygène ainsi que les MES, l'analyse bactériologique



Conclusion générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'Opuntia Ficus Indica est parmi les espèces culturales résistantes au stress hydrique et tolérantes aux sols pauvres. Elle permet la mise en valeur des terres marginales, des zones arides et semi-arides qui n'étaient pas cultivées. Grâce à sa diverse composition des cladodes et du mucilage, elle est utilisée dans différents domaines : agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique

Pour remplacer les produits chimiques synthétiques, utilisés dans la coagulation/floculation (qui sont souvent coûteux, non disponibles localement, et peuvent avoir des effets néfastes sur la santé et l'environnement), et pour utiliser des produits naturels, cette plante a été utilisée comme alternative aux flocculants synthétiques. Ceci représente une contribution intéressante dans le domaine de la valorisation des ressources naturelles de notre pays.

Les résultats présentés dans cette étude donnent une idée de l'efficacité et du potentiel technique et environnemental du processus de coagulation-floculation, avec le jus de cactus, extrait des cladodes d'Opuntia Ficus Indica.

Le jus de cactus (bio-flocculant) riche en groupements de polysaccharides acides (pectiques), a été utilisé seul et avec un coagulant, le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$. Leur addition a permis une meilleure réduction de la turbidité, de la demande chimique en oxygène e

Le meilleur pourcentage de réduction a été obtenu à un volume de 25mL de jus de cactus, au pH naturel de notre eau usée, égal à 7.5

Le taux de réduction de la turbidité est de l'ordre de 93.8%, Un abattement de 66.66% a été obtenu pour la DBO₅, et les MES ont diminués de 66.5%.

L'analyse bactériologique indique un NPP=240% de l'eau usée qui décroît à 1% pour la présence des coliformes fécaux et totaux. Et pour ce qui est des entérobactéries elles ont été entièrement éliminées.

Conclusion Générale



Photo. a.1 : l'Opuntia Ficus-Indira



Photo. a.3 : filtration du jus pur



Photo. a.2 : découpe des cladodes

Conclusion Générale

La méthode du NPP : (Nombre le Plus Probable) ou MPN (Most Probable Nombre) utilise une méthode statistique pour connaître le nombre (le plus probable) de bactéries présentes dans 1 ml de dilution.

La table de Mac Grady : qui donne le NPP sur la dilution considérée.

FLACON	Double Concentration D/C	Simple Concentration S/D	NPP
0	0	1	1 %
0	0	2	2 %
0	1	0	1 %
0	1	2	3 %
0	2	0	2 %
0	2	1	3 %
0	2	2	4 %
0	3	0	3 %
0	3	1	5 %
1	0	0	1 %
1	0	1	3 %
1	0	2	4 %
1	0	3	6 %
1	1	0	3 %
1	1	1	5 %
1	1	2	7 %
1	2	2	10 %
1	2	3	12 %
1	3	0	8 %
1	3	1	11 %
1	3	2	14 %
1	3	3	18 %
1	3	4	21 %

Conclusion Générale

1	4	0	13 %
1	4	1	17 %
1	4	2	22 %
1	4	3	28 %
1	4	4	35 %
1	4	5	43 %
1	5	0	25 %
1	5	1	35 %
1	5	2	54 %
1	5	3	92 %
1	5	4	161 %
1	5	5	240 %

Références bibliographiques

- [1] Habibi Y. Contribution à l'étude morphologique, ultra structurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. Grenoble I, et Université Cadi Ayyad. Marrakech, 2004, 264 pp.
- [2] Griffith et Porter, Griffith, M. P., & Porter, J. M. Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). 2009. International Journal of Plant Sciences, 170(1), 107–116. doi: 10.1086/593048
- [3] M.Tamine, " Production d'acide lactique par *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* sur jus de figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*)", Doctorat 3ème cycle, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2019.
- [4] S.Halmi, "Etude botanique et phytochimique approche biologique et pharmacologique d'*Opuntia ficus indica*", Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Université des Frères Menyouri, Constantine, 2015.
- [5] History and economic and agro-ecological importance María Judith Ochoaa and Giuseppe Barberab, National University of Santiago delEstero, Argentina b University of Palermo, Italy) (CROP ECOLOGY, CULTIVATION AND USES OF CACTUS PEAR. (FAO 2017)
- [6] Arba M, Elaich A, Sarti B, Belbahri LL, Boubekraoui A, Zemmouri A, Sbaa H. Valorisation du figuier de barbarie en élevage. Bull. Mens. Inf. et de liaison du PNTTA, 68 : 1-4, 2000.
- [7] Guzman U, Arias S, Dávila P. In: Reyes-Aguero JA, Aguirre JR, Valiente Banuet A. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. Journal of Arid Environments. 2006, p.549-589
- [8] Dubeux JR. Ferreira dos Santos MV, de Andrade Lira M, Cordeiro dos Santos D, Farias I, 2006 Lima LE, Ferreira RLC. Productivity of *Opuntia ficus-indica* under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. J. Arid. Envir. 2006, 67: 357- 372.
- [9] Wallace RS, Giles AC. Evolution and systematic. Biology and Uses, P.S. Nobel Ed, 1997, 1-21 pp

Références bibliographiques

- [10] Thèse de doctorat en Chimie Option: Chimie bio-organique et thérapeutique Présentée par: Melle Benattia Farah Kenza, analyse et application des extraits d pépins de figues de barbarie. UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID- TLEMCEM, 2017
- [11] Arba, M. Le cactus *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc, International Symposium on Sustainable Agriculture in the Mediterranean Region, pp. 215-223. 2009
- [12] Stintzing, F.C., Carle, R. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition & food research* 49, 175-194. 2005.
- [13] Di Lorenzo, F., Silipo, A., Molinaro, A., Parrilli, M., Schiraldi, C., D'Agostino, A., Izzo, E., Rizza, L., Bonina, A., Bonina, F. The polysaccharide and low molecular weight components of *Opuntia ficus indica* cladodes: structure and skin repairing properties. *Carbohydrate polymers* 157, 128-136. 2017
- [14] : C.C.Black et C.B.Osmond, "Crassulacean acid metabolism photosynthesis : working the night shift", *Kluwer Academic Publishers*, 76 (2003), 329 – 341.
- [15] : A.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 d'Angers, France, 2015.
- [16] : G.Ginestra et al, "Anatomical, chemical and Biochemical characterization of cladodes from prickly pear (*OF-I* (L.) Mill.)", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (2009), 10323–10330
- [17] F.C.Stintzing et R.Carle, "Cactus stems (*Opuntia* Spp.) : A review on their chemistry, technology and uses ", *Molecular nutrition and food Research*, 49 (2005), 175 – 194.
- [18] : O.Bouaouine, " Caractérisation et valorisation de bioressources végétales pour le prétraitement d'effluents par coagulation-floculation ", Thèse pour obtenir le grade de Docteur, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc, 2018.
- [19] T.Guevara-Figueroa et al, "Proximate composition, phenolic acids, and flavonoid characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.)", *Journal of Food Composition and Analysis*, 23 (2010), 525 – 532.

Références bibliographiques

- [20] K.EL-Mostafa et al, "Nopal cactus (Opuntia ficus-indica) a source of bioactive compounds for Nutrition, Health and Disease", *Journal Molecules*, 19 (2014), 14879-14901.
- [21] L.Felkai-Haddache et al, " Microwave optimization of mucilage extraction from Opuntia ficus indica Cladodes", *International Journal of Biological Macromolecules*, 84 (2016), 24 – 30.
- [22] F.Di Lorenzo et al, "The polysaccharide and lowmolecularweight components of Opuntia ficus indica cladodes : Structure and skin repairing properties", *Carbohydrate Polymers*, 157 (2017), 128 – 136.
- [23] N.Adjeroud et al, " Effect of Opuntia ficus indica mucilage on copper removal from water by electrocoagulation-electroflotation technique", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 811 (2018), 26 – 36.
- [24] Site: http://olharfeliz.typepad.com/cuisine/2006/10/peler_une_figue.html
- [25] BS Maataoui, A Hmyene et S Hilali Activités anti-radicalaires d'extraits de jus de fruit du figuier de Barbarie (Opuntia ficus indica). (<http://www.cnrs.edu.lb/info /LSJ2006 /No1 /maataoui.pdf>) *Lebanese Science Journal*, Vol. 7, No. 1
- [26] Lefrançois P, Ruby F et Dionne JY, « Nopal ». (Http://www.passeportsante.net /fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche. aspx? doc=nopal_ps) », *Passeport Santé*, Mars 2007. Consulté le 17/01/2008
- [27] Piattelli M, Minale L. Pigments of centrospermae I. betacyanins from *Phyllocactus hybridus* hort. and *Opuntia ficus-indica* Mill. *Phytochemistry* 1964;3:307-11.
- [28] Forni E, Polesello A, Montefiori D, Maestrelli A. High-performance liquid chromatographic analysis of the pigments of blood-red prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). *J Chromatogr* 1992;593:177-83.
- [29] Expertise mademoiselle bio (<http://expertise.mademoisellebio.com /index/2009/06/11/1141>)
- [30] Figuier de Barbarie (<http://www.commentmaigrirvite.org/proactol-figuier-Barbarie>)
- [31].A. Lounnas, "Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda ", *Mémoire de magister, Université de 20 Aout 1955, Skikda*, 2009.

Références bibliographiques

- [32]: M. Selka, " Influence des particules argileuses sur la coagulation – Flocculation", Mémoire de master, Université ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, 2013.
- [33]: S.Ezziane, "Traitement des eaux de rejets de l'unité Ceramit 'TENES'", Mémoire de magister, Université HASSIBA BEN BOUALI, Chlef, 2007.
- [34]: M.D. Dihang, "Mécanisme de coagulation et de flocculation de suspension d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux ", Thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, France, 2007.
- [35]: S.Y. Choy et al, " A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification ", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12 (2015), 367 – 390.
- [36]: C. Desjardins, " Simulation et étude en laboratoire de la flocculation testée à l'aide d'une procédure modifiée de Jar Test" , Thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada, 1999.
- [37]: <http://technique.eau.free.fr/>
- [38]: D. Wang et al, "Speciation stability of inorganic polymer flocculant–PACl", *Colloids and Surfaces A : Physicochemical. Eng*, 243 (2004), 1 – 10.
- [39]: G. Nacoulma, J. Piro et A. Bayane, "Etude de l'activité flocculant d'une complexe protéine-mucilage de végétal dans la clarification des eaux brutes ", *Journal de la société Quest-Africaine de chimie*, 9 (2000), 43 – 57.
- [40]: J.K. Fatombi, " Elimination du fer et du manganèse d'une eau de surface par les graines de *Moringa oleifera*", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (2013), 1379 – 1391.
- [41]: H.R. Hernandez, " Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable ", Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 2007.
- [42]: Boursalii, "Etude expérimentale de la coagulation-flocculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension", Mémoire d'ingénieur d'états en géologie, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2011.

Références bibliographiques

- [43]: O. Bouaouine et al, "Comparative study between Moroccan cactus and chemicals coagulants for textile effluent treatment ", Journal of Materials and Environmental Sciences, 8 (2016), 2687 – 2693.
- [44]Van der Zee F.P. "Anaerobicazodyereduction". These doctorat, Wageningen University, the Netherlands,(2002). ,Zille.A. "Laccase Reactions for Textile Applications ". These Doctorat, University do Minho Escola of Engenharia(2005).
- [45]YAO-TUNG L., WENG C H., CHEN F Y., (2008). Effective removal of AB24 dye by nano/micro-size zero-valent iron, Separation and Purification Technology, Vol 64, p26-30.
- [46] INRS., (2004). Dermatoses professionnelles aux colorants, document pour le médecin de travail N°100, France, 4ème trimestre
- [47] GUILLARD C. LACHHEB H .,HOUAS A.,KSIBI M.,ELALOUI M.,HERRMANN J.M., (2003).Photochem.Photobiol. A: Chem, Vol 158, p27-36.ROBERT D., PARRA S., PULGARIN C., KRZTON A., WEBER J.V., (2000). Appl. Surf. Sci, Vol 167, p51-58
- [48].BARKA N. (2008), l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur le phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté. Thèse de doctorat, université Ibn Zohr, Agadir, N°65, p 40-65
- [49]. AMALRIC L.,GUILLARD C., BLANC-BRUDE P., PICHAT P.,(1996). Water Res,Vol 30, p 1137-1142.;CHEN J P., WANG L., (2004). Chemosphere, Vol 54, p397-404.)
- [50]. ERRAIS E., (2011).Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques. ThèseUniversité de Strasbourg, France, p75-86.
- [51]. Mlle BOUAZZA Fayza, Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées, ThesMag, Chimie, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN
- [52] Mlle BOUAZZA Fayza, Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées, ThesMag, Chimie, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN
- [53] Mr LAMRI NAIDJA « Élimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption » Université Mentouri de Constantine 02 Décembre 2010.
- [54] [ERRAIS E., (2011).Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques. Thèse Université de Strasbourg, France, p75-86.]

Références bibliographiques

- [55]. [Hedi Ben Mansour et al, Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement, Revue des sciences de l'eau. Juin 2021]
- [56]. [M. R. GHEZZAR, « Traitement par plasma glidarc de composés toxiques et de rejets industriels », thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 2007.,]
- [57]. H.Zollinger, Azodyes and Pigments- colourchemistrysyntheseis, properties and application of organic dyes and pigments, WileyVCH, New York, 1987
- [58] Aboua K. N., 2013. Optimisation par le plan factoriel complet des conditions de productions de charbon actif et son utilisation pour l'élimination des colorants et métaux lourds en solution aqueuse. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 164p.
- [59]. (Yuseuf R.O. et J.A. Sonibare (2004). Characterization of textile industries effluents in Kaduna, Nigeria and pollution implications. Global Nest Int. J., 6, 212-221)
- [60] (Kaushik G., M. Gopal et I.S. Thakur (2010). Evaluation of performance and community dynamics of microorganisms during treatment of distillery spent wash in a three stage bioreactor. Bioresour. Technol., 101, 4296-4305).
- [61]. MANAHAN S.E (1994). Environmental chemistry. Lewis publishing, 6e édition, Atlanta, GA, USA
- [62] Welham A. (2000). The theory of dyeing (and the secret of life). J. Soc. Dyers Colour., 116, 140-143.
- [63] Document généré le 11 juin 2021 15:11 Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement Textiles dyes as a source of wastewater contamination: screening of the toxicity and treatment methods Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira et Ridha Mosrati
- [64] <https://www.google.dz/search>, préparation des solutions. (en ligne, consulté le 1 juillet 2019)
- [65] Adel, A. M., El-Wahab, Z. H. A., Ibrahim, A. A., & Al-Shemy, M. T. Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part I. Acid catalyzed

Références bibliographiques

hydrolysis. Bioresource Technology, 2010101(12), 4446–4455.
doi:10.1016/j.biortech.2010.01.047)

[66] Bouatay, F., Mhenni, F. Use of the Cactus cladodes mucilage(*Opuntia ficus indica*) as an eco-friendly flocculants: process development and optimization using stastical analysis. Int. J. Environ. Res. 8, 1295-1308. 2014

[67] Vishali, S., Karthikeyan, R. Cactus *Opuntia (ficus-indica)*: an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. Desalin. Water Treat.1-9. 2014
<http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.945487>.

[68] Swati, M., Govindan, V.S. Coagulation studies on natural seed extracts. J. Indian Water Work. Assoc. 37, 145–149. 2005

[69] Vijayaraghavan, T., Sivakumar, T., Kumar, A.V. Application of plant based coagulants for wastewater treatment. 2011Int. J. Adv. Eng. Res. Sci. 1, 88–92.

[70] Sellami, M., Zarai, Z., Khadhraoui, Z., Jdidi, N., Leduc, R., Rebah, F.B. Cactus juice as bioflocculant in the coagulation–flocculation process for industrial wastewater treatment: a comparative study with polyacrylamide. 2014Water Sci. Technol. 70 (7), 1175–1181.

[71] B. Matsuhiro, L.E. Lillo, C. Sáenz, C.C. Urzúa, O. Zárate, Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*, Carbohydr. Polym. 63 263–267,2006<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.08.062>.

[72] Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a biocoagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water Manisha Choudharya , Madhumita B. Rayb , Sudarsan Neogia; 2018 Separation and Purification Technology journal homepage: www.elsevier.com/locate/seppur.

[73] Hadj Sadok, T., Aid, F., Bellal, M., ABDUL HUSSAIN, M.S. Composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* et possibilités de valorisation alimentaire. Agricultura, agricultural practice and science journal 65, 2009.

[74] Valente, L.M., da Paixão, D., Do Nascimento, A.C., dos Santos, P.F., Scheinvar, L.A., Moura, M.R., Tinoco, L.W., Gomes, L.N.F., da Silva, J.F. Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). Food chemistry 123, 1127-1131. 2010

Références bibliographiques

- [75] Ho, Y.C., Norli, I., Abbas Alkarkhi, F.M., Morad, N. Characterization of biopolymeric flocculant (pectin) and organic synthetic flocculant (PAM): a comparative study on treatment and optimization in kaolin suspension. *Bioresour. Technol.* 101, 1166–1174. 2010
- [76] Synthesis and application of a new biomaterial based on *Opuntia Ficus Indica* (cactus) in water treatment., Asnam Amira et al, mai 2017.
- [77] S.M. Miller, E.J. Fugate, V.O. Craver, J.A. Smith, J.B. Zimmerman, *Environ. 2008Sci. Technol.* 42- 4274 .
- [78] L.G. Torres, L.C.U. Sandra, V. Mabel, *Nat. Resour.* 3 (2012) 35.
- [79] F. ABDELMALK, « Plasmachimie des solutions aqueuses. Application à la dégradation de composés toxiques », thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 2003.]