

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الجيلالي بونعامة - خميس مليانة  
Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences et Technologies  
Département de la Technologie

Spécialité : Génie des Procédés de l'environnement

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

***UTILISATION DES CLADODES  
DU FIGUIER DE BARBARIE  
DANS LE TRAITEMENT DES EAUX USEES***

***Présenté par :***

***-MELEK Mahmoud  
-ABDOULMOUMOUNI Boubacar***

***Soutenu devant le jury :***

***Président : Mr Djelloul ADDAD  
Examineur: Mr Nour Eddine. BOUDECHICHE  
Promotrice : Mme Chahrazad MESLI***

**Année universitaire 2019/2020**

## **DEDICACES**

Je dédie ce travail à

A mes parents, ceux qui m'ont toujours tout donné sans rien demander en retour, qui m'ont soutenu et encouragé tout le temps ;

J'espère pouvoir un jour vous rendre un peu de tout ce que vous m'avez apporté.

Ames adorables sœurs  
Manel et Nihal

A mes amis et toute ma famille.  
(Nabil, Fateh, Abdelatif, Youcef, Saleh, Sifedine)

A tous ceux qui sont proche de mon cœur et dont je n'ai pas cité lenom.

**Mahmoud.**

## **DEDICACE**

Avec l'aide d'ALLAH, le tout puissant, ce travail est achevé ;

Je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères

À Ma très chère mère qui a consacré sa vie pour bâtir la mienne,

je lui serai éternellement reconnaissant

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands

Hommes : mon père ;

À mes chères sœurs et frères : Ibrahim, Mohamed, Zeinab et Rakkia.

Et à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la

réalisation de notre travail.

**Boubacar.**

# ***REMERCIEMENTS***

*Nous commençons par remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail;*

*C'est pour nous autant de plaisir qu'un devoir d'exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à Mme MESLI qui nous a orientée et guidée à fin de mener à bien ce travail;*

*Ainsi que*

*Nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury le président M. Djelloul ADDAD et l'examineur M. N. BOUDECHICHE d'avoir accepté d'évaluer notre travail ;*

*Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance et exprimer toute notre gratitude à nos enseignants qui ont participé pour une grande part dans notre formation ;*

*Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont apporté leur aide.*

## **Liste des abréviations**

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DBO** : Demande biochimique en oxygène

**ERI** : Eaux résiduaires industrielles

**MVS** : Matières volatiles en suspension

**MMS**: Matières minérales en suspension

**MES** : Matières en suspension

**OFI** : Opuntia Ficus Indica

**pH** : potentiel Hydrogène

**T** : Température

## Liste des figures

Figure 1: Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre Opuntia, (a) : Opuntia ficus indica (inermis), Opuntia megacantha (épineuse).....	1
Figure 2: Fiquier de Barbarie .....	5
Figure 3:Cladodes .....	6
Figure 4: Fleurs .....	6
Figure 5: Fruits .....	7
Figure 6: Etapes de l'extraction du jus à partir des cladodes des deux espèces, (a) : découpage, (b) : broyage, (c) : centrifugation et (d) : jus de cactus. ....	26
Figure 7: (a) Elimination des épines d'une cladode de cactus, (b) Découpage de la cladode .	27
Figure 8: Les dés de cactus après séchage .....	27
Figure 9: (a) Photographie d'un broyeur de laboratoire, (b) La poudre de cactus après broyage et tamisage.....	27
Figure 10: spectre IR des deux phases aqueuses et organiques du jus de cactus.....	30
Figure 11: spectre IR de la poudre de cactus.....	31
Figure 12: Le pourcentage d'élimination en fonction de la combinaison utilisée dans les trois articles .....	36
Figure 13: Le pourcentage d'élimination des métaux lourds.....	38

## Liste des tableaux

Tableau 1: Principaux composants des cladodes d'OFI [23] .....	5
Tableau 2: Normes de rejet des eaux usées (OMS).....	20
Tableau 3: Normes européenne de rejet des eaux usées .....	21
Tableau 4: Normes algériennes de rejet des eaux usées (Journal officiel algérien N°41,2012). 22	
Tableau 5: Traitement des eaux usées avec bio floculation (JC) .....	33
Tableau 6: Traitement des eaux usées avec coagulation et bio floculation (chaux / JC).....	33
Tableau 7: Traitement des eaux usées avec coagulation bio floculation : chaux / JC .....	34
Tableau 8: Traitement des eaux usées en présence de JC/SA .....	35
Tableau 9: Eaux usées de la tannerie traitées avec du Cactus séché et broyé .....	40
Tableau 10: Effluent de la tannerie traitée avec l'Opuntia sèche.....	41
Tableau 11: Effluent de l'industrie de la teinture avec cactus Opuntia (poudre) .....	41
Tableau 12: Eau de rivière polluée en métaux lourds traitée par la poudre.....	42
Tableau 13: Efficacité d'élimination de la poudre du cactus .....	42

# Sommaire

## Chapitre I : Généralités sur le cactus

Introduction.....	1
I.1. Répartition du figuier de Barbarie dans le monde et en Algérie .....	1
I.1.1. Répartition mondiale .....	2
I.1.2. Répartition en Algérie .....	3
I.2. Systématique .....	4
I.3. Description morphologique .....	4
I.3.1. Biologie du figuier de barbarie .....	4
I.3.2. Système racinaire .....	5
I.3.3. Raquettes .....	5
I.3.4. Fleurs .....	6
I.3.5. Fruits .....	6
I.4. Utilisation du figuier de Barbarie .....	7
I.4.1. Alimentation humaine .....	7
I.4.2. Alimentation animale .....	7
I.4.3. Utilisation agricole .....	8
I.4.4. Environnement .....	8
I.4.5. Usage industriel.....	8
I.4.6. Usage thérapeutique et cosmétique .....	8
Conclusion .....	9



## Chapitre II : Généralités sur les eaux usées

Introduction .....	11
II.1.Définition des eaux usées .....	11
II.2.Origine des eaux usées .....	11
II.2.1.Les eaux usées domestiques .....	11
II.2.2.Les eaux pluviales .....	11
II.2.3.Les eaux industrielles .....	12
II .3.Systèmes de collecte des eaux usées .....	12
II .3.1.Le système unitaire .....	12
II .3 .2.Le système séparatif .....	12
II .3 .3.Le système pseudo-séparatif (mixte) .....	13
II .4.Pollution de l'eau .....	13
II .4.1.Définition de la pollution des eaux .....	13
II .4.2.Origine de la pollution .....	13
II.5.Risques de la pollution par eaux usées .....	13
II.5 .1.Risque sur la santé humaine .....	13
II.5 .2.Risque sur l'environnement .....	14
II .6.Caractéristiques des eaux usées .....	15
II .6.1.Caractéristiques physiques .....	15
II .6.2.Caractéristiques chimiques .....	17
II .6.3.Les Caractéristiques biologiques .....	18
II .7.Objectif d'un centre de traitement des eaux usées.....	20
II .8.Réglementation.....	20

II .8 .1.Les normes de L’OMS.....	20
II .8 .2.Normes Européennes.....	21
II .8 .3.Normes Algériennes .....	22
Conclusion.....	23

### **Chapitre III: Bio floculation par le cactus**

Introduction .....	25
III.1.Matériel et méthodes .....	25
III.1.1.Préparation de jus et la poudre de Cactus ficus-indica (bio floculant) .....	25
III.1.2.Description du procédé de traitement par coagulation-floculation .....	27
III.1.3.Le jar-test .....	28
III.2.Méthode d’analyse .....	28
III.2.1. La spectroscopie infrarouge .....	28
III.2.2. Spectroscopie d'absorption atomique .....	29
III.2.3. Spectrophotomètre UV-Visible .....	29
III.3.Résultats et discussion .....	30
III.3.1.Analyse du bio-floculant .....	30
III.3.2.Application du bio-floculant dans les traitements d’effluent industriels .....	32
Conclusion .....	43

Conclusion générale

Références bibliographiques

## الملخص:

يركز هذا العمل على استخدام نبات التين الشوكي، وهو نبات له عدة مزايا ، لمعالجة مياه الصرف الصحي. نبدأ بعموميات حول الصبار مع تقديم أصله واستخدامه وفائدته في مختلف المجالات. ثم ننتقل إلى عرض العوامل الرئيسية. للتحكم في مياه الصرف الصحي وكذلك مصدرها وأصل تلوثها ، من أجل إيجاد بديل لمواد الندف الكيميائية لسبب وجيه أن الجزء التجريبي يتكون من دراسة بيليوغرافية عن بعض الأعمال التي تم إجراؤها على معالجة مياه الصرف الصحي بواسطة الصبار ، والتي توصلت إلى استنتاج ، تثبت التأثير السيئ السمعة لهذا الندف الحيوي في معالجة هذه الأخيرة. أظهر تحليل النتائج التي تم العثور عليها على استخدام مادة الندف الحيوي ، أي مسحوق الصبار مع الجير ، من 70 إلى 80 ، 6% والمعادن الثقيلة بما في COD القضاء جيداً جداً على معدلات التعكر بحوالي 80.5 % ، ويتراوح ذلك الكاديوم والزنك والنحاس والحديد والرصاص 84.6% على التوالي ، 85.75% ، 93.02% ، 98% و 100% ، لعصير فإن نسبة الاختزال هي 94.5 % ، والتخلص من المواد COD الصبار يحتوي على حوالي 93 % من التعكر ، وبالنسبة لـ الصلبة العالقة حوالي 71.5 % ، عندما تكون المعادن الثقيلة المختلفة ، وهي النحاس والزنك ، على التوالي من أجل 96.3% و 95.2%

باختصار ، يوفر عصير الصبار قدرة أفضل على التخلص من بعض عوامل التلوث ، خاصةً عند دمجها مع الجير.

الكلمات الرئيسية: الكمثرى الشائك، مياه الصرف الصحي، مادة الندف الحيوي، التخثر/ التلبد

## Résumé :

Ce travail porte sur l'utilisation du figuier de Barbarie, une plante à plusieurs vertus, pour le traitement des eaux usées. Nous commençons par des généralités sur le cactus tout en présentant son origine, son utilisation et son utilité dans divers domaines. Ensuite nous passons à la présentation des principaux paramètres de contrôle des eaux usées ainsi que leurs provenance et l'origine de leurs pollution, afin de trouver une alternative aux flocculant chimiques.

C'est à juste titre que la partie expérimentale consiste en l'étude bibliographique sur quelques travaux effectués sur le traitement des eaux usées par le cactus, qui sont arrivés à la conclusion, prouvant l'effet notoire de ce bio flocculant dans le traitement de ces dernières. L'analyse des résultats trouvés sur l'utilisation du bio flocculant à savoir la poudre de cactus combiné avec de la chaux montre une très bonne élimination des taux de turbidité de l'ordre de 80,5% la DCO varie de 70 à 80,6 % et les métaux lourds notamment le Cadmium, le Zinc, le Cuivre, le Fer et le Plomb sont respectivement de 84,6%, 85,75%, 93,02%, 98% et 100%, Pour le jus de cactus elle a voisine 93 % pour la turbidité, pour la DCO le pourcentage de

réduction est de 94,5%, l'élimination des MES avoisine les 71,5%, Quand aux différents métaux lourds présents à savoir le cuivre, le zinc, sont respectivement de l'ordre 96,3% et 95,2%.

En somme le jus de cactus offre une meilleure capacité d'élimination de certains paramètres de pollution, surtout combiné avec de la chaux.

Mots clés : figuier de Barbarie, eaux usées, bio flocculant, coagulation-flocculation.

### **Abstract:**

This work focuses on the use of the prickly pear, a plant with several virtues, for the treatment of wastewater. We begin with generalities about the cactus while presenting its origin, use and utility in various fields. Then we move on to the presentation of the main parameters of wastewater control as well as their origin and the origin of their pollution, in order to find an alternative to chemical flocculants.

It is with good reason that the experimental part consists of the bibliographical study on some work carried out on the treatment of wastewater by the cactus, which came to the conclusion, proving the notorious effect of this bio flocculant in the treatment of these last. Analysis of the results found on the use of bio flocculant, namely cactus powder combined with lime, shows very good elimination of turbidity rates of around 80.5% the COD varies from 70 to 80, 6% and heavy metals including Cadmium, Zinc, Copper, Iron and Lead are respectively 84.6%, 85.75%, 93.02%, 98% and 100%, For cactus juice it is close to 93% for the turbidity, for the COD the reduction percentage is 94.5%, the elimination of suspended solids is around 71.5%, When the various heavy metals present, namely copper, zinc, are respectively of the order of 96.3% and 95.2%.

In short, cactus juice has a better ability to eliminate certain pollution parameters, especially when combined with lime.

Key words: prickly pear, wastewater, bio flocculant, coagulation-flocculation.

# Introduction générale

## Introduction générale

### *Introduction générale :*

L'eau est une source de vie précieuse. Après l'oxygène, elle est notre second besoin vital. Si l'on peut résister 5 semaines à la faim, on ne peut pas rester plus de 3-4 jours sans boire. Partout sur la planète, le développement des activités humaines, domestiques ou industrielles, est tributaire de la ressource en eau. Cette diversité des usages induit une série d'impacts variés sur la qualité de l'eau.

Il existe pourtant un point commun, intrinsèquement lié à la nature de l'eau : qu'elle soit intégrée à la filière agroalimentaire ou qu'elle soit solvant universel, l'eau poursuit son cycle en rejoignant, tôt ou tard, la nappe, la rivière, le fleuve en y emportant ce dont on l'a chargée. Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs (pêche, loisir, alimentation, utilisation agricole ou industrielle, etc.).

Dans les zones arides et semi-arides où l'eau constitue un facteur limitant de la production végétale et où les besoins liés à l'accroissement de la population et à l'accroissement du niveau de vie, le volume des eaux résiduaires produites augmente, de façon importante et continuera à augmenter régulièrement. On peut alors, considérer que les eaux résiduaires constituent, dans ces conditions, une source inépuisable. C'est d'ailleurs la seule ressource en eau qui va croître dans l'avenir. Sa prise en compte est donc primordiale et sa valorisation doit en conséquence être intégrée dans les objectifs de développement durable à condition qu'elles soient épurées.

Cependant, l'assainissement des eaux usées est quasi absent dans les pays en voie de développement du fait du coût élevé d'investissement et de maintenance. Il convient donc de trouver des techniques fiables à faible coût, capables de traiter efficacement les eaux usées. A cet effet, les marais filtrants artificiels (phytoépuration ou filtre planté de macrophytes) sont une alternative adéquate. Ce sont des systèmes de traitement des eaux par plantes aquatiques, fonctionnant comme assimilateurs biologiques en éliminant des composés tant biodégradables ainsi que les nutriments, les métaux et les microorganismes pathogènes. Bien que de coût modéré, ces systèmes sont peu implantés dans les pays du sud et leur développement a été constaté principalement dans les pays riches à cause de leurs bonnes performances épuratoires.

## **Introduction générale**

Pour illustrer notre travail, nous avons choisi de valoriser un bio-floculant, Il s'agit d'extrait des raquettes de la plante de Cactus Ficus-Indica qui pousse en Algérie. Le but de notre recherche consiste à étudier la possibilité de l'utilisation du cactus comme agent floculant dans la coagulation-floculation des eaux usées. La dépollution est évaluée par jar-test à partir des mesures de la turbidité.

Notre travail est subdivisé en trois chapitres:

- Le premier chapitre traite des généralités sur les eaux usées ; les caractéristiques physiques et biologiques sont largement abordées.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons effectué la présentation du figuier de Barbarie.
- L'étude bibliographique de la coagulation-floculation par les cladodes de cactus est traitée au troisième chapitre.

# **CHAPITRE I**

## **Generalités sur le figuier de Barbarie**



**Introduction :**

Le figuier de Barbarie est une plante grasse appartenant à la famille des cactées et plus précisément au genre *Opuntia*. Il est cultivé dans les climats arides, comme dans les régions méditerranéennes et d'Amérique centrale [1]. Les régions semi-arides du Mexique renferment la plus grande diversité de cactus dans le monde [2]. Le genre *Opuntia* contient environ 300 espèces et beaucoup d'entre elles produisent des tiges et des fruits bien tendres et comestibles [3]. Parmi ces espèces on cite *Opuntia ficus-indica* (inermes ou sans épines) et *Opuntia megacantha* (épineuse) largement connues sous le nom de figuier de Barbarie et qui ont fait l'objet de notre étude (fig.1).



**Figure 1:** Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre *Opuntia*,  
(a) : *Opuntia ficus indica* (inermes), (b) *Opuntia megacantha* (épineuse).

La jeune partie de la tige du cactus, ou cladode, est souvent consommée comme un légume dans les salades, tandis que le fruit est consommé en frais [4]. La composition chimique des cladodes dépend de la variété, du stade de croissance et des conditions environnementales. Elles ont une valeur nutritive élevée, principalement en raison de leurs ressources minérales, en protéines, en fibres alimentaires et en contenu photochimiques [5]. On les utilise à des fins médicinales et cosmétiques, comme fourrage ou matériaux de construction et en tant que source de couleurs naturelles. Cependant, leurs utilisations sont encore essentiellement limitées aux pays d'origine [6].

## **I.1.Répartition du figuier de Barbarie dans le monde et en Algérie :**

### **I.1.1.Répartition mondiale :**

- **Au Brésil :**

Les plus grands secteurs du monde de l'*Opuntia* cultivé, sont situés dans le nord-est Semi-aride du Brésil, avec une prédominance de l'*Opuntia ficus indica*. Dans Le cadre des projets de la FAO/CIRGP/PNUE sur les ressources génétiques pour L'amélioration de la vie rurale dans les zones arides et semi-arides, ce projet a débuté en 1979, des plantations de cactus inermes destinées au broutement couvrent plus de 300 000ha au nordest du Brésil. Les densités de plantation sont de l'ordre de 5000 à 150 000 pieds /ha [7].

- **En Asie :**

En Palestine occupée, la culture de l'*Opuntia* est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et de développement pour la production fruitière, fourragère et industriel [8].

- **En Europe :**

L'introduction de l'*Opuntia ficus-indica* en Europe date de la première moitié duXVIe siècle et fut l'œuvre, comme pour beaucoup d'autres espèces végétales et animales, des colons espagnols[9].

- **En Espagne :**

PEDROA DE RIVERA, dans son voyage vers la nouvelle Espagne nordique au début du 18<sup>ème</sup> siècle, a rapporté, que dans la direction de San Juan Del Rio, Querétaro, il a trouvé la végétation épaisse de l'*Opuntia*[10].

- **En Italie :**

Il est cultivé sur une superficie de 1000 ha avec des programmes de fertilisation et d'irrigation annuelle[11].

- **En Ethiopie :**

*Opuntia* a été probablement introduit en Ethiopie il y a 150 ans par des missionnaires venus des régions méditerranéennes. Sa diffusion a été ensuite accélérée par les pèlerinages des musulmans [12].

## Chapitre I : Généralité sur le figuier de barbarie

- **Au Maroc :**

Sa répartition géographique est assez vaste puisqu'on la trouve aussi bien dans les régions côtières allant de Sidi Ifni jusqu'à Tanger, que dans plusieurs régions continentales. Les meilleures plantations se trouvent dans les zones côtières et plus précisément dans la bande côtière de plus de 10 km de largeur subissant l'influence maritime, la plante y bénéficie en fait du brouillard nocturne et matinal, très fréquent dans cette zone, tout au long de l'année [13].

- **En Tunisie :**

En Tunisie, la culture de figuier de barbarie a connu un essor très important depuis l'année 2002. Elle a passé d'une superficie de 623 ha exploités par 736 agriculteurs seulement en 2002 jusqu'à 864,75 ha exploités par 818 agriculteurs à la fin de 2006. Les principaux gouvernorats producteurs de figuier de Barbarie sont en premier lieu Nabeul et en second lieu le gouvernorat de Sidi Bouzid. Les autres grandes plantations sont réparties dans la région du Cap Bon et dans le centre du pays [14].

### **I.1.2. Répartition en Algérie :**

En Algérie, les plantations du figuier de Barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-Bou-Argeridj, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres Ain-Sefra. Du centre à l'ouest l'*Opuntia* occupent une superficie dépassent les 25.000 hectares par exemple, on le trouve sur les hauteurs de Chréa, Bouarfa (wilaya de Blida), dans les wilayas de, Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chlef, Relizane, Mostaganem, Ain Temouchent, Oran, Mascara, Sidi-bel Abbès, Tlemcen, dont la meilleure cueillette des figues de Barbarie, est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailloux, 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. [15]. L'Algérie déploie ces dernières années un effort important pour encourager la culture de la figue de Barbarie, pour son importance socioéconomique et écologique [16].

## **I.2. Systématique :**

La famille des Cactacées renferme environ 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces. [17]. La tribu des Opuntieae comprend le genre *Opuntia*, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia*. Le sous genre *Platyopuntia* comprend 150 à 300 espèces, parmi lesquelles figure *Opuntia ficus-indica*. [18].

**Règne :** Plantae

**Sous règne :** Tracheobionta

**Embranchement :** Phanérogames

**Sous Embranchement :** Magnoliophyta

**Classe :** Magnoliopsida

**Sous classe :** Caryophyllidae

**Ordre :** Opuntiales, Caryophyllales.

**Famille :** Cactaceae

**Sous-famille :** Opuntioideae

**Tribu :** Opuntieae

**Genre :** *Opuntia*

**Sous-genre :** *Platyopuntia*

**Espèce :** *Opuntia ficus indica*(L.) [19].

## **I.3.Description morphologique :**

### **I.3.1.Biologie du figuier de Barbarie :**

C'est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 mètres de hauteur, avec un tronc épais et ligneux. Ses articles aplatis en forme de raquettes (cladodes) de couleur vert mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm, sont couverts de petites aréoles, d'épines et de glochides blancs. Ses fleurs, marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. Ses fruits sont de baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines.

Ils sont généralement verdâtres ou jaunes à maturité. La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines [14].



**Figure 2:** Fiquier de Barbarie

**I.3.2.Système racinaire :**

L'appareil racinaire est superficiel, se concentre dans les 30 premiers centimètres du sol [20].

**I.3.3.Raquettes :**

Les cladodes sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 30 à 40 cm de long, qui remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles [21]. Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs.[22]. La composition chimique des cladodes (tableau ci-dessous) 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 [23].

**Tableau 1:** Principaux composants des cladodes d'OFI [23]

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

De plus, les cladodes d'OFI sont particulièrement riches en polymères des hydrates de carbone, appelé le mucilage. [24].



**Figure 3:Cladodes**

**I.3.4.Fleurs :**

Les fleurs sessiles émergeant de leur réceptacle aux sépales verts possèdent denombreux pétales épais, revêtus d'un léger duvet. Elles sont hermaphrodites. Leursétamines brèves sont généralement dominées par les filaments des stigmates. [25].Les bourgeons floraux peuvent se développer sur la surface la plus éclairée de lacladode [26], ils sont situés sur les raquettes de 6 à 7cm de diamètre. [27]. Les fleurs des cactus sont tout à fait variables, mais il y a quelques dispositifsgénéraux qui sont partagés par la famille entière. L'ovaire de la fleur (la pièce d'ovuleroulement du pistil) est complètement inclus dans la tige. [28].



**Figure 4: Fleurs**

**I.3.5.Fruits :**

Le fruit est une baie de forme variable, sphérique, ovoïde, pyriforme, juteusejusqu'à maturité, la couleur de la pulpe peut être verdâtre, jaune orange et même rouge,[29]. La taille des fruits est très variable, leur poids varie de 30 à 60 g (gramme)et peut atteindre 250 g [30].La forme du fruit varie selon la variété et l'époque de formation: les premiers sont arrondiset les tardifs sont allongés. [25].



**Figure 5: Fruits**

#### **I.4. Utilisation du figuier de Barbarie :**

Le figuier de Barbarie est une plante très utile pour les régions arides. Ses utilisations sont multiples :

##### **I.4.1. Alimentation humaine :**

- Production de fruits (figues de Barbarie). Il existe plusieurs méthodes pour débarrasser le fruit des glochides 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. [31].

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

- Les fruits sont gorgés de vitamine C (0,04 % du jus). Les fleurs aussi en contiennent une grande quantité.[32].

- Effet notoire de réduction des taux de glucose sanguin, de cholestérol et de triglycérides sanguins [33].

- Colorants alimentaires naturels : en effet 2 pigments ont été identifiés dans le figuier de Barbarie : un pigment jaune l'indicaxanthine[34] et un autre rougevioiolet la bétanine (5-O-glucose bétanidine) [35] Le jus obtenu à partir du fruit contient de 0,22 à 0,25 % d'indicaxanthine et de bétanine 0,027 % (fruit jaune orangé) à 0,3 % (fruit violacé)[32].

##### **I.4.2 Alimentation animale :**

- Fruits

- Raquettes (à usage de fourrage)

## Chapitre I : Généralité sur le figuier de barbarie

### **I.4.3. Utilisation agricole :**

- Formation de haies défensives.
- Sert de barrière coupe feux.

### **I.4.4. Environnement :**

- Lutte contre l'érosion
- Conquête des sols

### **I.4.5. 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)

### **I.4.6. Usage thérapeutique et cosmétique :**

- La figue de Barbarie est un puissant antidiarrhéique, 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, anti-rides, 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 poly-insaturés (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 [36].

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[37].



**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, le fruit, son jus, et sa pulpe sont à l'origine d'une activité antioxydante, l'huile des graines possède une action diététique, 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 figue de barbarie, ou encore la Tunisie ou l'Italie, ce choix n'est pas fortuit. Toutefois, réfléchir puis investir ne sont plus suffisants pour révolutionner le secteur agricole et aussi pour le traitement des eaux.

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les eaux usées**

### **Introduction:**

Les eaux usées sont des eaux dont les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques sont dégradées à partir des sources domestiques, industrielles et pluviales qui contiennent des matières en suspension (MES), les matières à l'origine de la demande biochimique en oxygène (DBO) ou de la demande chimique en oxygène (DCO).

### **II.1. Définition des eaux usées:**

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. Les eaux usées, qui sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées [38].

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Elles englobent également les eaux de pluies et leurs charges polluantes, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance [39].

### **II.2. Origine des eaux usées :**

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue trois catégories d'eaux usées :

#### **II.2.1. Les eaux usées domestiques :**

Elles parviennent des différents usages domestiques de l'eau, elles sont constituées essentiellement d'excréments humains. Des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires [40].

#### **II.2.2. Les eaux pluviales :**

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues ou sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, détritiques, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluie collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration,

## **Chapitre II : Généralité sur les eaux usées**

sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique [40].

### **II.2.3. Les eaux industrielles :**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matière organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution [40, 41,42].

## **II .3. Systèmes de collecte des eaux usées :**

Les principaux systèmes de collecte utilisés en assainissement sont :

- \*Le système unitaire.
- \*Le système séparatif.
- \*Le système pseudo-séparatif.

### **II .3.1. Le système unitaire :**

Ce réseau collecte l'ensemble des eaux noires, claires et grises d'une ville ou d'une région. Les avantages de ce système sont la conception simple dont il est constitué d'un seul collecteur avec un seul branchement, ainsi que pas de risque d'inversion de ce dernier. Les inconvénients sont lors d'un orage, les eaux usées sont diluées par les eaux pluviales avec l'apport de sable important à la station d'épuration [43].

### **II .3.2. Le système séparatif :**

Ce système consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents, le réseau d'évacuation des eaux domestique et parfois industrielles (selon le plus caractéristique) est séparé du réseau d'évacuation des eaux de pluie qui sont rejetées le plus souvent directement dans le milieu récepteur (mer, fleuve ou lac). Ce système a l'avantage de permettre l'assurance d'un régime permanent dans les STEP et la diminution du diamètre moyen du réseau de collecte des eaux usées, l'inconvénient réside dans le coût élevé d'investissement [43].

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

### **II .3.3. Le système pseudo-séparatif (mixte) :**

Un système dit pseudo-séparatif pour lequel une partie des eaux pluviales est évacuée avec les eaux usées, il s'agit notamment des eaux des terrasses et des cours. Les eaux de ruissellement sont évacuées directement dans la nature par des caniveaux et des fosses.

## **II .4. Pollution de l'eau:**

### **II .4.1. Définition de la pollution des eaux:**

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation douteuse et ou perturbe l'écosystème ; elle peut concerner les eaux superficielles et ou les eaux souterraines [44].

### **II .4.2. Origine de la pollution:**

La pollution de l'eau connaît différentes origines: naturelle, domestique, industrielle et agricole .L'origine naturelle implique un phénomène tel que la pluie, lorsque par exemple l'eau de ruissellement passe à travers des terrains riches en métaux lourds ou encore lorsque les précipitations entraînent les polluants de l'atmosphère vers le sol.

L'origine domestique concerne les eaux usées ménagères (salle de bains, cuisine, ...etc.), les eaux de vannes (WC...etc.), ainsi que les eaux rejetées par les hôpitaux, commercesetc. Quant à l'origine agricole et industrielle, elle concerne par exemple les eaux surchargées par des produits issus de l'épandage (engrais, pesticides) ou encore les eaux contaminées par des résidus de traitement métallurgique, et de manière plus générale, par des produits chimiques tels que les métaux lourds, les hydrocarbures etc.[45].

## **II.5. Risques de la pollution par eaux usées:**

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique et l'environnement. Elle peut concerner les eaux superficielles ou souterraines, aussi il est risqué sur la santé publique.

### **II.5.1. Risque sur la santé humaine:**

Les eaux usées peuvent contenir des pesticides, des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), et des éléments toxiques. Ils sont dangereux pour la santé humaine. L'organisation mondiale de la santé (OMS) considère que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement véhiculées par l'eau: des dizaines, voire des centaines de millions de personnes sont atteintes en permanence de gastro-entérites, 160

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

millions de paludisme et 30 millions d'onchocercose. Malgré les apparences, la transmission des maladies par une eau polluée n'est pas l'apanage des pays en voie de développement, et l'élaboration des normes sur les eaux de consommation vise à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue par un risque pour la santé [46].

### **II.5 .2 Risque sur l'environnement:**

- **Impacts sur le sol:**

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes présents au niveau du sol sont:

- La salinisation.
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol.
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.
- L'accumulation de nutriments [47].

- **Impacts sur les eaux superficielles:**

Il arrive que ces déchets soient déversés directement dans le milieu naturel. La présence excessive de phosphates, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui diminue la qualité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer à terme la mort des poissons et des autres organismes aquatiques qui y vivent. Les métaux lourds comme le mercure, le chrome et l'arsenic peuvent avoir des effets sur les espèces aquatiques les plus fragiles. Sous certaines conditions physico-chimiques, certains métaux lourds tel que mercure peuvent s'accumuler le long de la chaîne trophique et avoir un impact sur l'homme. Actuellement, il n'existe pas de filière de valorisation pour les boues issues de l'assainissement, ainsi que les matières de vidanges de fosses septiques [48].

- **Impacts sur les eaux souterraines:**

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constitutions de l'eau usée est possible par l'infiltration des ces dernières [47].

## II .6. Caractéristiques des eaux usées:

Les caractéristiques ou les propriétés des eaux usées peuvent être classifiées suivant :

### II .6.1. Caractéristiques physiques :

- **Couleur :**

La couleur des eaux résiduaires industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdale du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes [49,50].

- **Température (T):**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur: ce sont par exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermique induisant ainsi une forte perturbation du milieu [51].

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [52].

- **Odeur:**

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde [53].

Les eaux résiduaires industrielles (ERI) se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matière organique en décomposition [5].

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

- **Turbidité:**

Elle caractérise le degré de non transparence de l'eau, elle traduit la présence des MES [54].

- **Matières en suspension (MES)**

Elles sont en majeure partie de nature biodégradable, la plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES, elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur, cependant elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures. Les MES s'expriment par la relation suivante :

$MES = MMS + MVS$  [55].

Avec:

MES: Matières en suspension.

MMS: Matières minérales en suspension.

MVS: Matières volatiles en suspension.

- **-Les matières minérales sèches (MMS) :**

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice [56].

- **-Les matières volatiles en suspension (MVS) :**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70 à 80% des MES [56].



### II .6.2. Caractéristiques chimiques :

- **Le potentiel Hydrogène (pH):**

Le pH mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Le pH exprime le potentiel en hydrogène, indique la concentration en ion  $H^+$  , il joue un rôle important dans :

- Les propriétés physique-chimiques (l'acidité et l'alcalinité).
- L'efficacité de certains procédés (coagulation-floculation).
- Le processus biologiques.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie [57, 58,52].

- **Demande biochimique en oxygène (DBO):**

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau usée pendant une certaine durée. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, et avec l'intervention des bactéries, les matières organiques de l'eau usée. La DBO est un phénomène évolutif dans la mesure où elle permet d'étudier le comportement d'une charge organique (et plus généralement celui d'un échantillon), il est évident qu'il ne peut y avoir de détermination de DBO, que lorsque les micro-organismes présents sont capables d'assimiler les matières organiques de l'échantillon [56].

Pour être complète, l'oxydation biologique nécessite un temps de 20 à 28 jours, on mesure dans ce cas la DBO Ultime ou DBO21 ou DBO28 ; cette période étant longue, on a choisi par convention une mesure après 5 jours d'incubation appelée DBO5.

Les résultats d'essais de DBO sont utilisés pour les buts suivants :

(a) Détermination de la quantité approximative de l'oxygène requise pour la stabilisation biologique de la matière organique actuelle dans l'eau usagée.

(b) Détermination de la taille des équipements de traitement des eaux résiduaires.

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

- (c) Mesure de l'efficacité des procédés de traitement.
- (d) Détermination de la concentration des eaux d'égout.
- (e) Détermination de la quantité d'eau requise pour la dilution des eaux usées.

- **Demande chimique en oxygène (DCO):**

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales). Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure à chaud pendant 2h [59, 62, 63,52].La (DCO) peut être déterminée en seulement 3 heures contrairement au 5 jours d'essai de (DBO).

- **Métaux lourds:**

Cuivre, manganèse, argent, chrome, arsenic et bore sont des cations toxiques aux micro-organismes ayant pour résultat le dysfonctionnement des installations de traitement biologiques. Elles proviennent des eaux usées industrielles.

Quelques anions toxiques, incluant les cyanures et les chromates, présent dans certaines eaux industrielles peuvent, également, altérer les centrales de traitement des eaux résiduaires. Par conséquent leur présence devrait être prise en compte dans la conception des installations de traitement biologiques.

### **II .6.3. Les Caractéristiques biologiques :**

Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau usée sont à l'origine du traitement biologique. Ils comprennent, par ordre croissant de taille: les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite:

- **Les bactéries:**

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10<sup>6</sup> à 10<sup>7</sup> bactéries /100 ml, dont 10<sup>3</sup> sont pathogènes. Les plus connus sont les salmonelles responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux, sans oublier les colibacilles qui ont une durée de vie de 2 à 3 mois et qui se multiplient dans l'environnement [19].

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

- **Les virus:**

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup> particules par litre [56].

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus importants, on peut citer les entéro virus, les rota virus, les adéno virus et le virus de l'Hépatite a qui ont une durée de vie d'environ 3 mois [62].

- **Les protozoaires :**

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qui se développent aux dépens de leur hôte.

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de kyste, cette forme peut résister généralement aux procédés de traitement des eaux usées [63].

- **Les helminthes :**

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10<sup>3</sup> œufs / l [56].

### **II .7.Objectif d'un centre de traitement des eaux usées :**

La station d'épuration est réalisée dans le but de :

- Eliminer les rejets d'eau usée à l'état brute dans le milieu naturel.
- Protéger de la santé publique.
- Sauvegarder les ressources en eau conventionnelles.
- Protéger les ressources contre la pollution.
- Protéger le système aquatique et les systèmes adjacents.
- Economiser de l'eau par l'usage d'une ressource alternative.
- Mobiliser le débit d'eau épurée pour l'irrigation des espaces verts.

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

- Eliminer les nuisances olfactives.

### **II .8. Réglementation:**

La réglementation exige des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés par les taux de concentration des divers composants de ces eaux.

#### **II .8 .1. Les normes de L’OMS:**

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est considérée comme la plus haute autorité dans Le domaine de la santé et donne des recommandations au niveau mondial. Elle propose des normes sanitaires depuis des décennies et elle est en passe de les modifier pour les rendre plus sévères et diminuer les risques sanitaires. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale et sont adaptées aux pays en voie de développement [65].

Tableau 2:Normes de rejet des eaux usées (OMS)

<b>Caractéristiques</b>	<b>Normes</b>	<b>Unités</b>
<b>pH</b>	6,5-8,5	-
<b>Température</b>	<30	°C
<b>DBO5</b>	<30	mg/l
<b>DCO</b>	<90	mg/l
<b>MES</b>	<20	mg/l
<b>NH<sup>4+</sup></b>	<0,5	mg/l
<b>NO<sub>2</sub></b>	1	mg/l
<b>NO<sub>3</sub></b>	<1	mg/l
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<2	mg/l
<b>Couleur</b>	Incolore	-
<b>Odeur</b>	Inodore	-

#### **II .8 .2. Normes européennes:**

Une directive européenne relative aux eaux urbaines résiduaires a été adoptée par le Conseil des Ministres de la Commission Economique Européenne le 21 mai 1991. Cette directive réglemente les niveaux des rejets des stations d'épuration des eaux usées urbaines.

**Tableau 3:** Normes Européenne de rejet des eaux usées

<b>Paramètre</b>	<b>Normes</b>	<b>Unités</b>
<b>pH</b>	5,5 <pH<9,5	-
<b>Température</b>	< 30 °C, un écart de 5°C est toléré	°C
<b>DBO5</b>	25	mg/l
<b>DCO</b>	125	mg/l
<b>MES</b>	35	mg/l
<b>Azote</b>	15 mg/l pour une charge brute de pollution entre 600 et 6 000 kg/jour. 10 mg/l pour une charge brute de pollution > 6 000 kg/jour.	mg/l
<b>Phosphore</b>	2 mg/l pour une charge brute de pollution entre 600 et 6 000 kg/jour. 1 mg/l pour une charge brute de pollution > 6000 kg/jour.	mg/l
<b>Plomb</b>	0,1	g/l
<b>Hydrocarbures totaux</b>	5	g/jour
<b>Composées phénoliques</b>	5	g/jour

### **II .8 .3. Normes Algériennes :**

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire. Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides, les valeurs limites de ce rejet. Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau ci- dessous.

## Chapitre II : Généralité sur les eaux usées

**Tableau 4:** Normes Algériennes de rejet des eaux usées (Journal officiel algérien N°41,2012). [74].

<b>PARAMETRES</b>	<b>VALEURS LIMITEES</b>	<b>UNITES</b>
Température	30	C°
pH	6,5 à 8,5	-
MES	30	mg/l
DBO5	30	mg/l
DCO	90	mg/l
Azote	30	mg/l
Phosphates	02	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
Cyanures	0.5	mg/l
Aluminium	20	mg/l
Cadmium	0.05	mg/l
Fer	20	mg/l
Manganèse	10	mg/l
Mercure total	0.01	mg/l
Nickel total	02	mg/l
Plomb total	10	mg/l
Cuivre total	05	mg/l
Zinc total	10	mg/l
Huiles et Grasses	20	mg/l
Hydrocarbures totaux	20	mg/l
Indice phénols	0,3	mg/l
Fluor et composés	15	mg/l
Etain total	02	mg/l
Composés organiques chlorés	05	mg/l
Chrome total	01	mg/l
(*)Chrome III+	03	mg/l
(*)Chrome VI+	0.1	mg/l
(*)Solvants organiques	20	mg/l
(*)Chlore actif	1,0	mg/l
(*)PCB	0,001	mg/l
(*)Détergents	2	mg/l
(*)Tensioactifs anioniques	10	mg/l

### **Conclusion :**

Les eaux usées sont généralement formées du sous-produit d'une utilisation humaine, soit domestique, industrielle ou agricole d'où l'usage de l'expression eaux usées. Ces dernières, se caractérisent par des matières polluantes telle la pollution particulaire qui limite la vie des organismes photosynthétiques et entraîne des dépôts et l'envasement du cours d'eau.

Par conséquent, il faut traiter cette eau pour limiter, voir même éliminer les risques qui posent problèmes sur la santé des habitants.

# **Chapitre III :**

## **Bio floculation par le cactus**



### **Introduction :**

L'étude expérimentale a pour but de déterminer le choix des réactifs et les concentrations optimales nécessaires à une réduction maximale de la turbidité, DCO, DBO, et les métaux lourds de l'eau de rejet après une simple décantation.

Pour réduire ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. Dans ce chapitre nous allons étudier les résultats obtenus par les travaux antérieurs sur l'étude comparative entre coagulant industriel et bio coagulant (cactus).

### **III.1. Matériel et méthodes :**

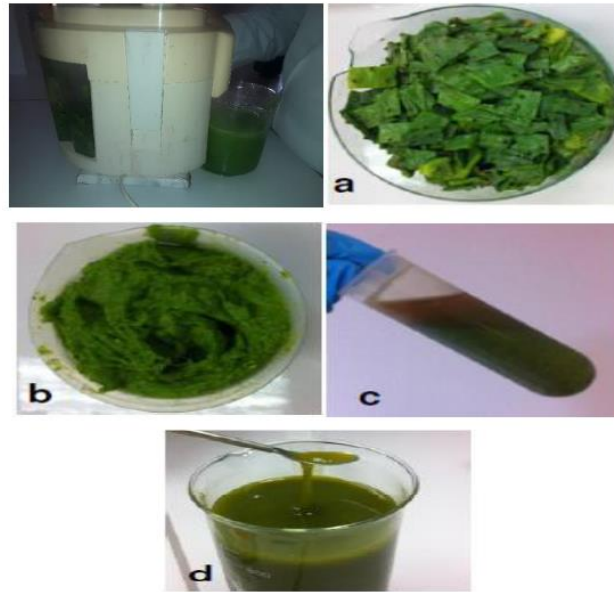
#### **III.1.1. Préparation de jus et la poudre de Cactus ficus-indica (bio floculant) :**

##### **Jus de cactus :**

L'extraction du jus à partir des cladodes peut être préparée comme suite [65] :

- Les cladodes ont été bien lavés et les épines ont été enlevées par des ciseaux à partir des cladodes épineuses.
- ensuite le tout a été découpé en cubes de 2 cm et soumis à broyé
- L'extrait aqueux de plante est recueilli par tamisage sur un filtre
- Puis il va être dilué à 10 % avec de l'eau distillée
- puis homogénéisé par agitation

Le jus de cactus obtenu est relativement stable. Il peut conserver sa capacité floculant en dehors de tout système de conservation pendant plusieurs jours. Ce produit est un liquide visqueux de coloration verte [65] .



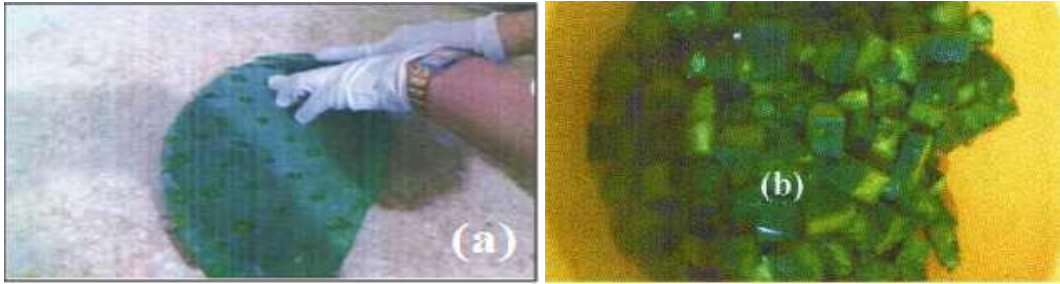
**Figure 6:** Etapes de l'extraction du jus à partir des cladodes des deux espèces, (a) : découpage, (b) : broyage, (c) : centrifugation et (d) : jus de cactus [65].

• **Poudre de cactus :**

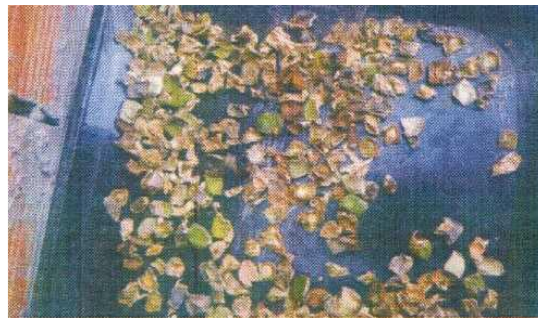
La préparation de bio-floculant la poudre de cactus a été réalisée comme suit [66]:

- Les cladodes de cactus ont été lavés avec l'eau du robinet, nettoyés et débarrassés de leurs épines.
- Puis Coupés en petits morceaux (1cm×1cm) avec un simple couteau de cuisine.
- Ces derniers ont été rincés avec de l'eau distillée.
- Les morceaux de cactus (1cm×1cm) ont été pesés puis déposés les uns devant les autres sur des plateaux bien nettoyés et couverts avec du papier cellophane.
- Après on passe à l'étape de séchage soit au four soit on l'expose directement au soleil (ça prend plus de temps)
- Après le séchage, les morceaux de cactus ont été pesés, puis broyés avec un broyeur de laboratoire et tamisés.
- A la fin, on obtient une poudre très fine, d'une couleur verdâtre.

### Chapitre III : Bio floculation par le cactus



**Figure 7:** (a) Elimination des épines d'une cladode de cactus, (b) Découpage de la cladode [66].



**Figure 8:** Les dés de cactus après séchage [66].



**Figure 9:** (a) Photographie d'un broyeur de laboratoire, (b) La poudre de cactus après broyage et tamisage [66].

#### **III.1.2. Description du procédé de traitement par coagulation-floculation :**

Le traitement des eaux polluées par le procédé physico-chimique 'coagulation - floculation' a été réalisé à l'aide d'un système Jar-test selon deux principales étapes :

### Chapitre III : Bio floculation pat le cactus

- **Ajustement de pH et coagulation :**

Afin d'ajuster le pH de la solution, la soude ou la chaux a été utilisée. Ces dernières contribuent généralement à la coagulation [8]. En parallèle, le chlorure de fer a été utilisé en tant que coagulant dans certains essais.

Cette étape se produit sous une agitation rapide de 100 tr/mn pendant une minute.

- **Floculation**

Après l'ajustement de pH de coagulation - floculation et pour accélérer la décantation de la matière en suspension, l'un des deux flocculants a été ajouté : soit le jus de cactus ou le flocculant industriel pour favoriser la formation des macro flocs. L'ajout de flocculant se fait sous une agitation.

#### **III.1.3.Le jar-test :**

Le jar test, a été utilisé dans tous les articles étudiés. C'est est un appareil électrique qui fonctionne sous le principe de détermination de la dose optimale de coagulant ,lors d'une opération de coagulation-floculation, dans les mêmes conditions opératoires. Il comporte :

- 4 à 6 béchers de 1 l chacun,
- 4 à 6 agitateurs mécaniques en métal,
- contient un régulateur de vitesse minimale 60 tr /mn et une maximale de 240tr/mn
- un minuteur pour régler le temps d'agitaion.

. Toutes les doses sont exprimées en poids de produits commerciaux (solution ou poudre).

Le mode de travail de cet appareil se fait selon le protocole général bien connu du jar-test.

### **III.2.Méthodes d'analyse :**

#### **III.2.1. La spectroscopie infrarouge :**

Les analyses chimiques de la poudre de Cactus ont été exécutées à l'aide d'une spectroscopie infrarouge [67]. L'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été réalisée dans l'intervalle 400- 4000cm<sup>-1</sup>, grâce à un spectromètre « modèle FTLA2000-102 ». Il est équipé d'un dispositif de mesure en ATR (Attenuated Total Reflexion) modèle Golden Gate, avec un cristal de diamant modèle Specac.

### **III.2.2.Spectroscopie d'absorption atomique :**

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une Température ambiante, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et à l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés. Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées. Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond). En plus de la simple dilution ou de la minéralisation par voie humide souvent décrite, on préconise l'utilisation d'une solution de modificateur de matrice qui permet de transformer l'élément à doser en ses formes les plus stable thermiquement : composés oxydes, formes réduites ou phosphates, ... .

La formation des atomes neutres est réalisée par la vaporisation et l'atomisation dans une flamme air-acétylène [67].

### **III.2.3.Spectrophotomètre UV-Visible :**

A chaque type de mesure, il appartient une longueur d'onde d'absorbance différente mais bien particulière. Aussi, à une longueur d'onde fixée, l'absorbance a une relation directe avec la concentration de la substance. La relation peut être définie par la formule suivante qui est appelée Loi de Lambert-Beer [68].

$$T = I/I_0$$

$$A = KCL = -\log I/I_0$$

Avec :

A : Absorbance

C : Concentration de la Solution

K : Coefficient d'Absorbance de la Solution

L : La longueur du trajet lumineux dans la cuve

I : Intensité de la lumière sortante.

## Chapitre III : Bio floculation par le cactus

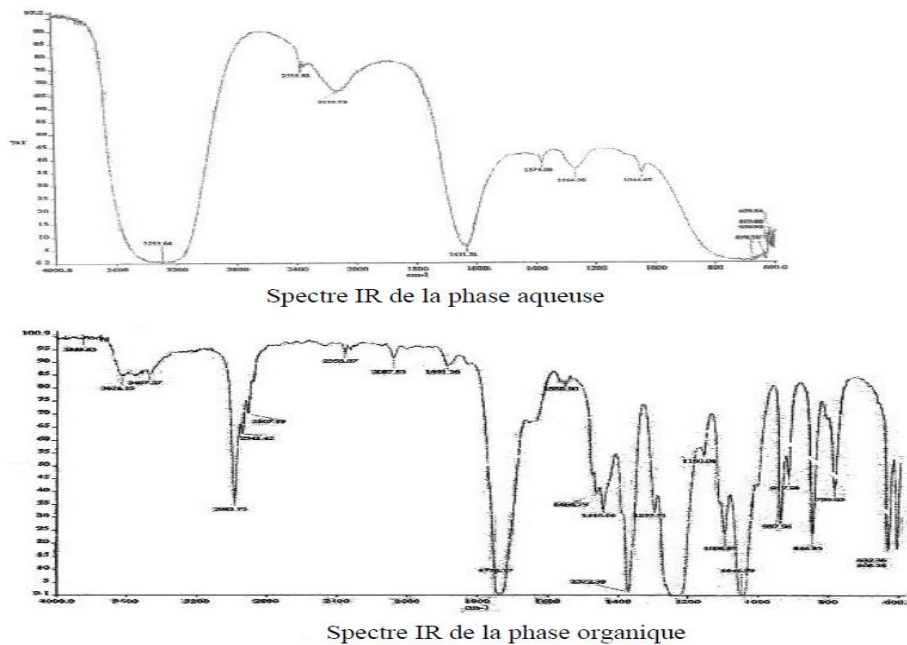
$I_0$  : Intensité de la lumière incidente

Remarque : Lors du test, le solvant est habituellement pris comme la solution de référence et sa transmission est considérée comme 100 % T. Alors que le coefficient de transmission de l'échantillon à tester est une valeur relative qui est obtenue en la comparant à celle de la référence.

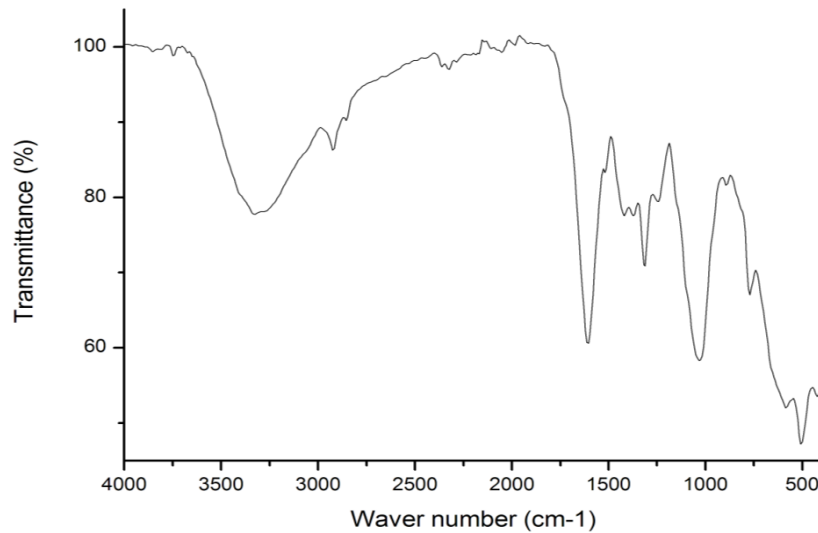
### III.3.Résultats et discussion :

#### III.3.1.Analyse du bio-floculant :

Les figures ci-dessous représentent les spectres infrarouges du jus de et la poudre de cactus extrait des cladodes de barbarie.



**Figure 10:** spectre IR des deux phases aqueuses et organiques du jus de cactus [69].



**Figure11:** spectre IR de la poudre de cactus [67].

- **Interprétation des spectres IR :**

En se basant sur les résultats obtenus par l'analyse spectrale, on peut conclure :

- **Pour les jus de cactus :**

Le spectre infrarouge de la phase aqueuse (**figure 10**) montre la présence des bandes importantes aux fréquences [69]:

- 3293 cm-1, cette bande caractérise les amines secondaires (N-H);
- 2358 cm-1 et 2120 cm-1, ces bandes caractérisant les groupements OH (eau);
- 1378 cm-1, cette bande caractérise une amine liée au radical -CH<sub>3</sub> (N- CH<sub>3</sub>);
- 1220 et 1020 cm-1, ces bandes caractérisant les amines aliphatiques (N-R).

Pour la phase organique :

On remarque l'absence des bandes caractérisant les groupements amines dans le spectre de la **figure 10**, confirmant le test négatif de la floculation par la phase organique de l'extraction liquide-liquide, et par la suite l'absence de notre bio floculant dans cette phase [69].

- **Pour la poudre de cactus :**

Les spectres infrarouges (400-4000cm-1) de la poudre sont représentés sur la **figure 11** montre la présence des bandes importantes aux fréquences [67]:

- Le spectre présente des bandes larges et superposées dans la région 3600-3200 cm-1, qui sont due à l'élongation des liaisons O-H.

### Chapitre III : Bio floculation pat le cactus

- La bande à 2923,8 cm<sup>-1</sup> et la bande à 2846,7 cm<sup>-1</sup> sont dues respectivement aux vibrations d'élongation asymétrique de CH<sub>2</sub> et l'élongation symétrique de -CH<sub>3</sub> des acides aliphatiques
- La bande à 1596,9 cm<sup>-1</sup> est due à la vibration d'élongation des groupements carboxyliques.
- La bande à 1319,2 cm<sup>-1</sup> provient de la vibration d'élongation des groupements -OH des composés phénoliques.
- Les pics observés à 1370,45 cm<sup>-1</sup> reflètent des vibrations de valence symétrique ou asymétrique des groupements carboxyliques des pectines
- La bande à 1026 cm<sup>-1</sup> pourrait être due à la vibration des groupements C-O-C ou -OH et des polysaccharides.
- Les pics d'absorption dans la région de nombres d'ondes inférieures à 800 cm<sup>-1</sup> peuvent être attribués aux bioligands azotés.

On remarque que les composant du jus de cactus ou sa poudre sont les mêmes.

On conclu que les composés du bio floculant que ça soit pour la poudre ou le jus, ne changent pas.

#### **III.3.2.Application du bio-floculant dans les traitements d'effluent industriels :**

- **Bio-floculant (jus de cactus) :**

##### **Article 1 :**

« Jus de cactus comme bio-floculant dans le procédée coagulation - floculation pour le traitement des eaux usées industrielles : une étude comparative avec le polyacrylamide.» [70].

Water Science & Technology 2014

Présenté par : Mohamed Sellami, Zied Zarai, Moncef Khadhraoui, Nidal Jdidi,

Roland Leduc, Faouzi Ben Rebah

La plupart des industries dans le monde traitent leurs eaux usées avec une coagulation-floculation conventionnelle procédé utilisant de l'alun comme coagulant, du polyacrylamide (PAM) comme floculant et de la chaux comme adjuvant de coagulation. À réduire l'utilisation de produits chimiques dans le processus. Pour l'expérience dirigée par ces chercheurs ils ont procéder au remplacement du polyacrylamide (PAM) avec du jus de cactus (JC) comme floculant.

En se basant sur les résultats obtenus, ils ont conclu que la substitution de PAM par JC dans le processus de coagulation-floculation était très efficace, comparé avec PAM. En fonction de l'origine des eaux usées, le biofloculant a montré une efficacité d'élimination de



### Chapitre III : Bio floculation pat le cactus

83,3–88,7% pour les matières en suspension (MES) et 59,1–69,1% pour la demande chimique en oxygène (DCO).

Lors de l'ajout du Citron vert l'addition a montré une amélioration sur le processus de coagulation-floculation en présence de JC de la même manière que le PAM, avec des rendements supérieurs à 90% pour les solides solubles et la DCO.

Ces chercheurs ont conclu que JC en tant que flocculant convient bien avec la définition de la durabilité et il est approprié pour les pays qui ont des régions où les cactus poussent naturellement.

**Tableau 5:** Traitement des eaux usées avec bio floculation (JC)

<b>pH</b>	<b>DCO initiale (mg/l)</b>	<b>%d'élimination de DCO</b>	<b>MES initiales (mg/l)</b>	<b>%d'élimination desMES</b>
3.92	2.376	69.1	230	88.7

**Tableau 6:** Traitement des eaux usée avec coagulation et bio floculation (chaux / JC)

<b>pH</b>	<b>DCO initiale (mg/l)</b>	<b>%d'élimination de DCO</b>	<b>MES initiales (mg/l)</b>	<b>%d'élimination desMES</b>
11.60	2.376	95.9	230	92.2

#### Article2 :

« Valorisation d'un nouveau bio flocculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension » [71].

Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 321 – 330 321

Présenté par :A. Abid\*, A. Zouhri, A. Ider et S. Kholtei

A. Abid\*, A. Zouhri, A. Ider et S. Kholteiont présenté une étude qui consiste à utiliser un nouveau flocculant naturel biodégradable à base de jus de cactus marocain dans un procédé physico-chimique (coagulation-floculation), pour traiter des rejets liquides chargées en cuivre, en zinc et en matière en suspension, et aussi pour tester l'efficacité de ce jus vis-à-vis des autres produits couramment utilisés dans le traitement des eaux usées.

### Chapitre III : Bio floculation pat le cactus

Nos chercheurs ont fait une étude comparative avec un flocculant industriel (flocculant à base d'acrylamide et acrylate de sodium), a montré une très bonne compétitivité avec un fort pouvoir de floculation pour le jus de cactus.

Par contre L'association des deux étapes de neutralisation et de coagulation avec la chaux suivie d'une étape de floculation en utilisant comme agent flocculant le nouveau produit extrait des cactus marocains puis d'une décantation, a montré un effet très significatif sur l'élimination du zinc, du cuivre et de la matière en suspension. Le pourcentage d'abattement des métaux dépasse 95 % pour le cuivre et le zinc. Pour la solution riche en argile, la turbidité passe de 900 - 1000 NTU à des valeurs avoisinantes de 1 NTU.

En se basant sur les résultats obtenu, les chercheurs ont conclu que :

- Le jus de cactus présente une très bonne capacité de floculation en présence de la chaux seule ou mélangée avec du chlorure de fer.
- L'efficacité de ce liquide, relatif à l'abattement du cuivre, du zinc et des MES, est comparable à celle du flocculant industriel.
- La combinaison 2 formée de la chaux et de jus de cactus apparaît plus intéressante, car elle offre une alternative plus économique en termes de dépollution d'eaux usées et elle est moins toxique.

Par ailleurs, la caractérisation du polymère responsable de la floculation s'avère nécessaire dans la mesure où ces premiers résultats sont encourageants. Aussi pour mieux exploiter les avantages offerts par le jus de cactus, ils envisagent qu'il soit appliqué à une eau de consommation prélevée à partir d'eau de surface utilisée sans traitement dans certains milieux ruraux.

**Tableau 7:** Traitement des eaux usée avec coagulation bio floculation : chaux / JC

<b>pH</b>	9
<b>Turbidité initiale (NTU)</b>	1000
<b>% d'élimination de la turbidité</b>	76
<b>Zn initiale ( ppm )</b>	52
<b>% d'élimination Zn</b>	95.2
<b>Cu initial ( ppm)</b>	27
<b>% d'élimination Cu</b>	96.3

**Article 3 :**

« Étude de l'utilisation des végétaux pour l'épuration des eaux usées. » [72].

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER  
EN HYDRAULIQUE

Présenté par : HIMOUR ASMAA ET GUENDOOUZ AMIRA.

Ces chercheurs ont fait une expérience sur un nouveau floculant naturel biodégradable extrait de jus de cactus (figuiers de barbarie), dans un procédé physico-chimique (coagulation-floculation) afin de traiter des rejets liquides.

L'étude comparative entre le floculant organique (jus de cactus) et le floculant chimique (polyacrylamide) a montré que notre bio-floculant aboutit à des résultats satisfaisants.

Ce bio-floculant a permis à nos chercheurs de réduire la turbidité du rejet, en passant de 189 NTU à des valeurs au-dessous de 13.4 NTU.

En se basant sur leurs résultats, ils ont conclu en ce qui concerne les essais de floculation en présence de bio-floculant.

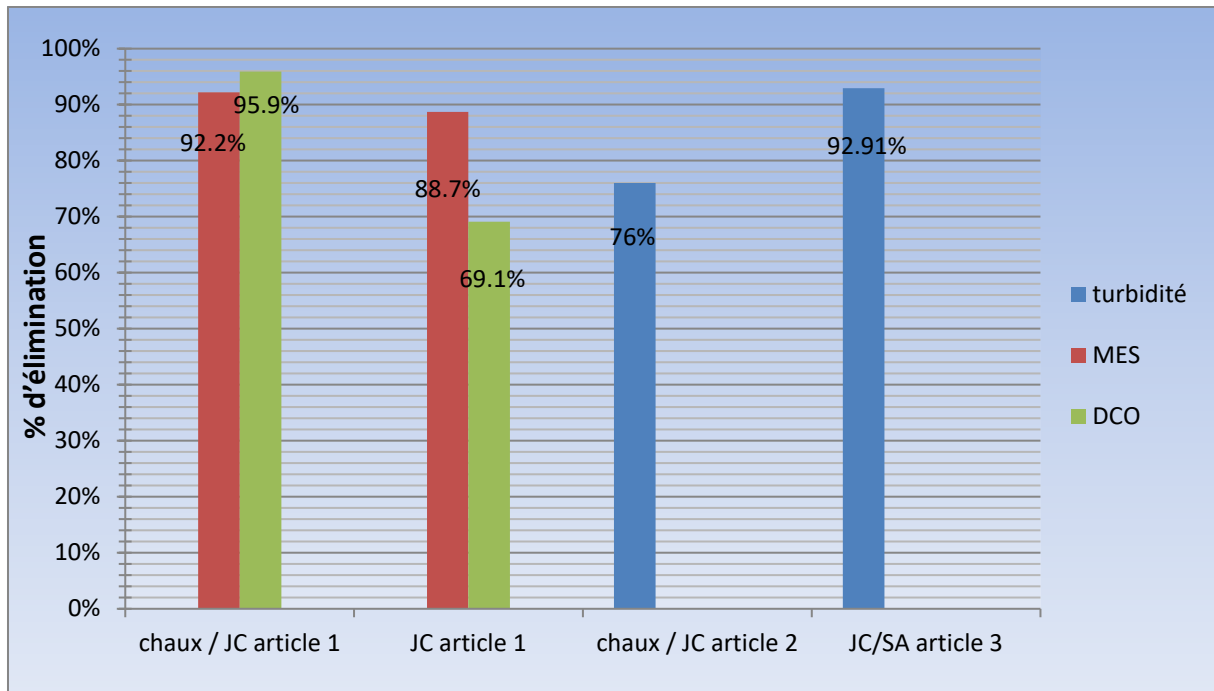
**Tableau 8:** traitement des eaux usées en présence de JC/SA

<b>Température (C°)</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidité (NTU)</b>	<b>Taux de réduction de la turbidité %</b>
29	5,2	189	92.91

- **Interprétation des résultats :**

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Un traitement de coagulation mal ajusté peut donc conduire à une dégradation rapide de la qualité de l'eau et à des dépenses d'exploitation non justifiées.

Sur la figure ci-dessus on trouve les résultats obtenus des articles :



**Figure12:** Le pourcentage d'élimination en fonction de la combinaison utilisée dans les trois articles

- **L'effet du jus de cactus sur la turbidité :**

L'examen des résultats expérimentaux relatif à l'utilisation des bio-floculant en présence sulfate d'aluminium et la chaux pour la réduction de la turbidité nous permet d'établir les remarques suivantes :

- D'après les résultats obtenus des (**tableaux 7 et 8**), il y'a une différence entre les deux pourcentages de réduction de la turbidité on aura un meilleur pourcentage de réduction pour le jus de cactus en présence de sulfate d'aluminium à savoir 92.91% par rapport au jus de cactus en présence de la chaux 76%.
- une capacité d'élimination aussi importante avec un taux avoisinant le 93% se fait avec une dose de 1ml de jus de cactus, qui contient un important volume d'eau, ce qui est très intéressant économiquement. Il semblerait que ce pouvoir de floculation est

### Chapitre III : Bio floculation par le cactus

dû au mucilage des raquettes, qui sert à la plante à stocker l'eau. Cette substance qui gonfle au contact de l'eau, et forme un gel s'est révélée efficace comme agent de floculant pour les sédiments testés.

On conclut que La combinaison formée de la chaux et de jus de cactus apparaît moins intéressante avec un pourcentage de réduction de turbidité de 76% , malgré qu'elle offre une alternative économique en termes de dépollution d'eaux usées , mais en ce qui concerne La combinaison de sulfate d'aluminium en présence de bio-floculant, les résultats montrent que le pourcentage de réduction de la turbidité est très bonne, pour une masse donnée de sulfate d'aluminium (0.6g), correspondant à un taux de réduction de la turbidité de 92.91%.

- **L'effet du jus de cactus sur les DCO et les MES :**

La demande chimique en oxygène (ou DCO) est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau.

Matière en suspension (ou MES) (ou particules en suspension) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide.

- Dans le cas où ils ont utilisé le jus de cactus seul le pourcentage d'élimination de DCO a atteint 69.1% (**tableau 5**) et (**figure 12**). par contre La combinaison formée de la chaux et de jus de cactus apparaît beaucoup plus intéressante avec un pourcentage d'élimination de DCO de 95.9% (**tableau 5**) et (**figure 12**).
- dans le cas des MES ils ont atteint un pourcentage d'élimination de 88.7% (**tableau 5**) et (**figure 12**) pour le jus de cactus seul, et pour la combinaison formée de la chaux et de jus de cactus ils ont eu un pourcentage d'élimination de 92.2% légèrement supérieure à celle obtenue avec le jus de cactus seul avec un taux de 88.7% d'élimination.
- L'utilisation combinée de la chaux et le jus de cactus conduit à une plus grande efficacité des suppressions DCO pour une dose optimale pour la chaux de 7,12 g / L, avec JC comme floculant.

L'utilisation de bio floculation seul a donné des bons résultats pour le taux d'élimination du DCO et MES. Par contre, l'utilisation combinée de chaux et CJ conduit à une plus grande efficacité des suppressions des MES et DCO à celui obtenu en présence de bio floculation seul.

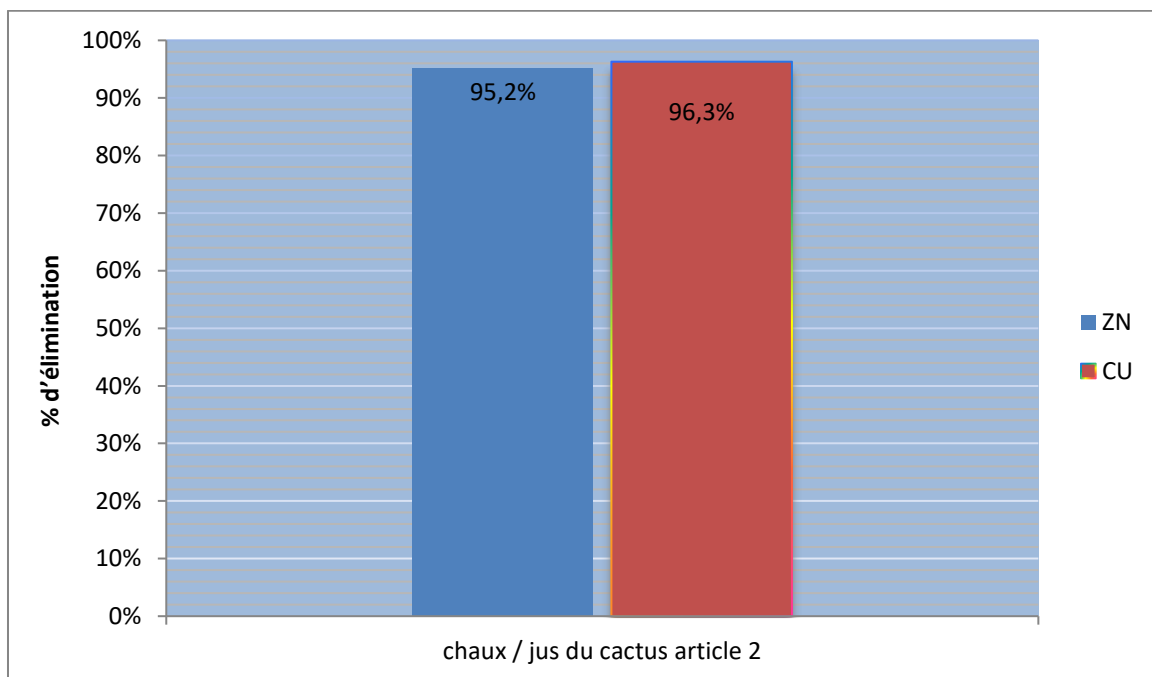
### Chapitre III : Bio floculation par le cactus

L'utilisation de la chaux comme aide coagulant dans le processus de floculation-coagulation pour les eaux usées industrielles peuvent conduire à des réductions significatives des MES, DCO. Cependant, une dose optimale de chaux et les taux d'élimination variaient en fonction du coagulant / floculant matières premières et l'effluent [70].

Les résultats montrent que le jus de cactus combinée à la chaux donne de très bons résultats dans la réduction du MES et les DCO.

- **L'effet du jus de cactus sur les métaux lourds :**

La figure représente le pourcentage d'élimination des métaux lourds :



**Figure13:** Le pourcentage d'élimination des métaux lourds

D'après les résultats expérimentaux de la combinaison formée de la chaux et de jus de cactus sur l'élimination du zinc et du cuivre Le pourcentage d'élimination des métaux dépasse 95 % pour le cuivre et le zinc.

On se base sur les résultats la combinaison formée de la chaux et de jus de cactus (JC/la chaux) on a un pourcentage d'élimination de 95.2% pour le Zn et de 96.3% pour le CU.

### Chapitre III : Bio floculation par le cactus

Le jus de cactus présente une très bonne capacité de floculation en présence de la chaux seuls. Les résultats montrent une bonne efficacité de ce jus pour l'élimination du cuivre et le zinc. Les taux d'abattement sont supérieurs à 95 % pour le cuivre et le zinc.

Parmi les autres avantages, le jus de cactus constitue une alternative possible aux coagulant et floculant chimiques. En conséquence, les propriétés physico-chimiques de l'échantillon traité ne sont pas modifiées et la boue produite est exempte de fer, d'aluminium et des polymères chimiques [71].

On peut conclure de ce travail que le jus de cactus présente une très bonne capacité de floculation en présence de la chaux seule est sa grande efficacité pour la réduction du cuivre et le zinc.

- **bio-floculant (poudre de cactus) :**

#### Article 4 :

« Cactus un matériau écologique pour le traitement des eaux usées » [73].

JMES, 2017 Volume 8, Issue 5, Page 1770-1782

Présenté par : Ben Rebah, S.M. Siddeeg

Approches renouvelables impliquant l'utilisation de matériaux naturels pour l'élimination des polluants des eaux usées peuvent offrir une solution favorable correspondant bien à la définition de la durabilité. Des matériaux d'origine biologique (Haricot, Moringa, Maïs, etc.) ont été étudiés pour leur utilisation potentielle pour le traitement des eaux usées. Fait intéressant, le cactus, une plante abondante, offre diverses options de traitement des eaux usées. Le présent article passe en revue le traitement des eaux usées technologies qui peuvent impliquer des cactus. Ce biomatériau peut être impliqué comme coagulant / floculant, comme bio-sorbant et comme matériau emballé pour le bio filtre. En général, le cactus a réduit considérablement de nombreux paramètres des eaux usées (turbidité, DCO, métaux lourds, conductivité, salinité, etc.). Par conséquent, pour de nombreuses critères d'accessibilité (composition, propriétés, abondance, non toxique, etc.) le cactus peut être un matériau utile pour le traitement des eaux usées le rendant approprié pour les régions du monde, où le cactus est disponible.

### Chapitre III : Bio floculation par le cactus

- **Eaux usées de la tannerie traitées avec du Cactus séché et broyé :**
- Le travail effectué par : **Swathi M., Singh A.S., Aravind S., Sudhakar P., Gobinath R., Devi D.S.**, consiste à traiter l'effluent d'une industrie de la tannerie avec du cactus séché.

Pour effectuer cette opération de coagulation floculation la poudre a été mise avec une concentration de 6 mg/L et un pH de 7,9 et malgré les concentrations initiales de DCO, DBO et du sulfate sont assez élevés la poudre a fait ses preuves. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant ;

**Tableau 9:** Eaux usées de la tannerie traitées avec du Cactus séché et broyé

<b>Poudre 6 mg/L à pH=7,9</b>	
<b>Paramètres initiaux</b>	<b>% d'élimination</b>
<b>DBO : 933,33 mg / L</b>	<b>DBO : 70</b>
<b>DCO : 1400 mg / L</b>	<b>DCO : 70</b>
<b>Sulfate: 135,19 mg / L</b>	<b>Sulfate : 90</b>
<b>Fe :72.92 mg/L</b>	<b>Fe : 98</b>

- **Effluent de la tannerie traité avec Opuntia sèche :**

**Kazi T., Virupakshi A** ont effectué le traitement du rejet de la tannerie avec le cactus sec (60 ° C pendant 24 h) poudre broyée et tamisée pour obtenir la taille des particules de 600 µm. Cette est caractérisé d'un taux très élevé du DCO allant de 8000 à 180000 mg/L. Cette expérience a été effectuée avec 0.2 mg cactus/500 mL et pH 5.5 et le résultat obtenu de l'abattement du DCO a été très important.

Le résumé est le suivant :



**Tableau 10:** Effluent de la tannerie traiter avec Opuntia sèche

<b>DCO initiale :</b>	<b>% d'élimination</b>
8000-180000 mg / L	<b>DCO : 80.65</b>

➤ **Effluent de l'industrie de la teinture avec Coagulant : cactus (Opuntia) poudre :**

**Kannadasan D.R.T., Thirumarimurugan M., Sowmya K.S.,** ont travaillé sur l'élimination de la turbidité d'un effluent industrielle de la teinture en utilisant commeCoagulant la poudre du cactus. Cet travail effectué avec 2 mg/L à pH=8, a donné un très bon résultat car on assiste a un abattement de la turbidité assez importante

**Tableau 11:** Effluent de l'industrie de la teinture avec cactus Opuntia (poudre)

<b>cactus (Opuntia) poudre, séché au soleil puis à 800 ° C pendant 6 heures</b>	
<b>Paramètres initiaux</b>	<b>Paramètres finaux</b>
<b>Turbidité : 2250 ppm</b>	<b>Turbidité : 80-85 %</b>
<b>pH= 9,23</b>	<b>pH= 8</b>

➤ **Eau de rivière polluée en métaux lourds traitre par la poudre :**

**Effectué par : Nharingo T., Zivurawa M., Guyo U.,** ce travail a consisté à l'élimination des métaux lourds par le bio-coagulant, extrait d'O. ficus indiqué, séché au soleil (4 semaines), séchage au four à 60 °C (24 h) puis broyé en une poudre fine. La poudre utilisée à 8 mg / L à pH = 5 et les résultats été excellent on remarqué non seulement une diminution importantes des ions mais aussi une élimination total du plomb.

### Chapitre III : Bio floculation par le cactus

**Tableau 12:** Eau de rivière polluée en métaux lourds traitée par la poudre

<b>% d'élimination des métaux lourds</b>	
<b>Eau de rivière polluée</b>	<b>Pb</b> :100 <b>Zn</b> : 85.74 <b>Cd</b> : 84.16 <b>Cu</b> : 93.02

- **Interprétation des résultats :**

L'efficacité de traitement de différents effluents par la poudre cactus sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 13:** Efficacité d'élimination de la poudre du cactus

	<b>C (mg/L)</b>	<b>T(°C)</b>	<b>pH</b>	<b>%d'élim DCO</b>	<b>%d'élim DBO</b>	<b>%d'élim Turb</b>	<b>%d'élim Métaux lourds</b>
<b>Opuntia ficus indica en poudre</b>	6		7,9	70	70		Fe :98
	0.2 mg/mL	60	5,5	80,65	-	-	-
	2	800	8	-	-	80-85	-
	8	60	5	-	-	-	Pb:100 Zn:85.74 Cd:84.16 Cu:93.02

➤ **L'influence de poudre de cactus sur la DCO :**

La poudre du cactus a bien un effet sur l'élimination de la DCO avec un pourcentage de 70 donc une efficacité notable.

### Chapitre III : Bio floculation par le cactus

#### ➤ **L'influence de poudre de cactus sur la DBO :**

Comme pour la DCO à la même condition la poudre agit en diminuant le pourcentage de la DBO de 70 cependant dans une autre condition et autre effluent la diminution de la DBO a atteint le 80,65 %

#### ➤ **L'influence de poudre de cactus sur la turbidité :**

La poudre du cactus séché au soleil puis à 800°C pendant 6 heures donné un résultat assez bien sur l'abattement de la turbidité car on remarque une valeur comprise entre 80-85 %.

#### ➤ **L'influence de poudre de cactus sur les métaux lourds :**

Les résultats de l'abattement des métaux lourds sont très importants bien cette efficacité est parfaite chez le plomb mais aussi chez les autres sont aussi excellents car on observe

Les pourcentages d'élimination de 98 du Fer, 93,02 du cuivre, 85,75 du zinc et 84,16 du cadmium.

Sur la base des résultats présentés liés à l'utilisation de la poudre cactus dans le processus de coagulation / floculation des eaux usées l'efficacité est assez important car dans tous les paramètres étudiés on remarque des pourcentages d'élimination dépassant largement le 50 % donc on peut conclure que la poudre a un réel effet sur le traitement des eaux usées industrielles.

### **Conclusion :**

En somme, l'utilisation des cactus pour la bio floculation fait preuve d'un très bon rendement sur l'élimination des DBO, DCO, MES, la turbidité et les métaux lourds. L'utilisation du bio floculant que sa soit pour poudre ou liquide ne change pas vu que ses composants sont les mêmes pour l'état liquide ou solide, cependant l'ajout des coagulant améliore le rendement d'élimination de polluants.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

### **Conclusion générale :**

Les produits chimiques synthétiques utilisés dans la coagulation-floculation conventionnelle sont souvent coûteux, peuvent ne pas être disponibles localement et peuvent avoir des effets néfastes sur la santé et l'environnement. Pour surmonter ces problèmes, un objectif important est de trouver des technologies alternatives, durables utilisant des produits naturels. Dans ce travail, le figuier de Barbarie est un matériau naturel prometteur pour remplacer les produits chimiques. Il est important de noter que le cactus est beaucoup moins cher que les flocculant synthétiques.

De plus, les cactus ont une utilisation connue en tant que matériau naturel, ils correspondent bien à la définition de la durabilité, ce qui les rend appropriés pour les régions du monde propices à la croissance des cactus.

Nous avons étudié l'utilisation du jus du cactus et de la poudre du cactus comme flocculant naturels pour le traitement des eaux usées industriels et d'après les résultats obtenus par les articles, nous pouvons tirer les conclusions suivantes : Le jus de cactus présente une très bonne capacité de floculation en présence de la chaux seule, L'efficacité de ce liquide, relatif à l'abattement des taux de turbidité, DBO, DCO et de quelques métaux lourds. Est assez remarquables. Cependant la combinaison formée de la chaux et de jus de cactus apparait plus intéressante. La poudre quant à elle, offre un rendement tout aussi excellent.

Les plantes de cactus sont renouvelables, abondantes, respectueuses de l'environnement, adaptables et biodégradables. La capacité de diverse préparation de cactus à éliminer les polluants a également été observée. Le cactus peut être utilisé comme coagulant / flocculant, comme bio absorbant et comme matériau emballé pour le bio filtre. Fait intéressant, la présence d'un système enzymatique de cactus utile pour la transformation de colorants textiles toxiques en fait un matériau potentiel pour le traitement des eaux usées textiles.

Le Cactus s'est avéré efficace pour éliminer la turbidité, la demande chimique en oxygène, la coloration, ainsi que certains métaux lourds et les solides en suspension, qu'il soit sous forme de poudre ou du jus.

## **Conclusion générale**

Pour la poudre de cactus les taux d'éliminations, de la turbidité est de 80,5, la DCO varie de 70 à 80,6 % et les métaux lourds notamment le Cadmium, le Zinc, le Cuivre, le Fer et le Plomb sont respectivement de 84,6%, 85,75%, 93,02%, 98% et 100%

Pour le jus de cactus elle a voisine 93 % pour la turbidité, 96 % pour la DCO, et les MES à 92.2%.

Pour le jus de cactus, les taux d'élimination du cuivre et du zinc sont respectivement de l'ordre 96,3% et 95,2%.

Cependant, selon. Pour ces articles, la limite d'utilisation du cactus dans le traitement des eaux usées est liée à la variabilité des rendements des préparations de cactus, qui dépend des caractéristiques des eaux usées. Par conséquent, des efforts devraient être faits pour optimiser les procédures pour chaque eau de source indépendamment. Pour une étude future, il est recommandé de faire plus d'expérimentation en ce qui concerne certaines modifications dans diverses procédures de traitement. La technologie réalisable résultante, devrait être introduite pour les régions du monde, où le cactus est disponible et un impact environnemental devrait être réalisé pour déterminer l'applicabilité de la technologie. Aussi, la performance de la technologie doit être évaluée à grande échelle en conditions réelles pour divers systèmes d'eaux usées.

## *Références bibliographiques*

- [1] : GINESTRA G., PARKER M.L., BENNETT R.N., ROBERTSON J., MANDALARI G., NARBARD A., LO CURTO R.B., BISIGNANO G., FAULDS C.B., WALDRON K.W. Anatomical, chemical, and biochemical Characterization of cladodes from Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *J. Agric. Food. Chem.* 2009, 57, 10323-10330.
- [2] : PIMIANTA-BARRIOS E. Prickly pear (*Opuntia* spp.): a valuable fruit crop for the semiarid land of Mexico. *J. Arid Environ.*, 1994, 28, 1–11.
- [3] : HEGWOOD D. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (prickly pear). *Hort. Sc.*, 1994, 25, 1515–1516.
- [4] : ÁVILA-CURIEL A., SHAMAH-LEVY T., CHAVEZ-VILLASANA A., GALINDO GOMEZ C. Encuesta urbana de alimentación y nutrición en la zona metropolitana de la ciudad de México 2002. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán e Instituto de Salud Pública, México, 2003.
- [5] : BENSADÓN S., HERVERT-HERNÁNDEZ D., SÁYAGO-AYERDI S.G., GOÑI I. By Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods Hum Nutr.*, 2010, 65, 210–216.
- [6] : STINTZING F.C., CARLE R. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2005, 49, 175-194.
- [7] : Dos Santos. D.C et de Albuquerque.S.G. «Fodder use in the semi-arid northeast of Brazil» In: Mondragon. J.C et Perez-Gonzalez. S, (Ed.). «Cactus (*Opuntia* spp) as forage», F.A.O. plant production and protection paper 169, FAO, Rome Italie, 2001, pp 37–49.
- [8] : Arba M, El aich 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.*, 2000, 68 : 1-4.
- [9] : Prescott W.H. *La conquista del Messico*. Einaudi, Torino., 1843.
- [10] : Anaya-Pérez. M.A. «History of the use of *Opuntia* as forage in Mexico», In: Mondragon. J.C et Perez-Gonzalez. S, (Eds.), *Cactus (*Opuntia* spp.) as storage*. Rome, Italy,

FAO, 2001, pp 5-10.

[11] : Walali. L.«Quelques espèces fruitières d'interet secondaire cultivées au Maroc», In :Llàer. G, Aksoy. U et Mars. M, (eds), «Culture sous utilisées dans la régionb méditerranéenne», Zaragosa, CIHEAM-IAMZ (Cahier option mediterraneene, 4. 13), Zarrogoza (Spain), 1995, pp 47-62.

[12] : Clavel. D, A. Barro, T. Belay, R. Lahmar, F. Maraux. Changements techniques et dynamique d'innovation agricole en afriquesahelienne: le cas du Zaï mécanisé au Burkina Faso et de l'introduction d'une cactée en Ethiopie. La revue en sciences de l'environnement, Vol8 no3, décembre 2008.10p.

[13] : Boujghagh M, et Chajia L. Le cactus: outil de gestion de la sécheresse dans le Sud Marocain. Terre et Vie 52: 1-7, 2001.

[14] : BhiraOumaya. Potentialités Thérapeutique d'opuntia ficus indica en Maroc et en Tunisie, thèse pour l'obtention du doctorat en pharmacie, 1956, pp171.

[15] : Piédallu A. Le figuier de Barbarie sans épines (Opuntia ficus-indica Miller var. InermisWeber) en Algérie, 1990, 128-145 pp.

[16] : Temagoult A, Caractérisation et Transformation de la Figue de Barbarie (Opuntia FicusIndica L.), Elaboration d'une Confiture et d'une Gelée Extra. MEMOIRE de magister. Génie des Procédés Alimentaires.2017.117p.

[17] : Guzman U, Arias S, Dávila P. In: Reyes-Aguero JA, Aguirre JR, Valiente-Banuet A.Reproductive biology of Opuntia: A review. Journal of AridEnvironments. 2006, p.549-589.

[18] : 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.

[19] : Wallace RS, Giles AC. Evolution and systematic. *Biology and Uses*, P.S.Nobel Ed,1997, 1-21 pp.

[20] : Mulas et Mulas. potentialités d'utilisation stratégique des plants des genres Artiplexet Opuntia dans la lutte contre la désertification, Short and medium – term priority environmental action programme (SMAP), Université des études de Sassari, groupe de la recherche sur la désertification (Italie),112p, 2004.



- [21] : Boudjellaba S, Yassa A. 'Activité antioxydante des graines de quelques variétés de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* L) de la région de Bédjaia, Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état de contrôle de qualité et analyse, 2012, p58 .
- [22] : Neffar. S. 'l'étude de l'effet de l'âge de plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est cas de souk – ahras et Tébessa'. , thèse de doctorat en biologie végétale, université de Badji Mokhtar . Annaba. PP236, 2012.
- [23] : 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.
- [24] : 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.
- [25] : Schweizer M. *Dr nopal, le médecin de bon dieu*, Clamecy ; PARIS (France), Imprimerie Laballery, 1997, p15.
- [26] : Sudzuki. H.F. «Anatomy and morphology», In: Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E. de J, (eds.), *Agro-ecology, cultivation and use of cactus pear*, FAO. Plant production and production paper 132, Rome Italy, 1995, pp 28-35.
- [27] : A.M.E Agence Méditerranéenne de l'Environnement. « Plantes envahissantes de la région méditerranéenne », Fichier N°12 "Opuntia spp. Oponces ou figuier de Barbarie" Agence Régionale Pour l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2003, p.51
- [28] : Rebmenm. J.P et Pinkava. D.J. «Opuntiacacti of North America – an overview Cactus d'Opuntia de l'Amérique du Nord», *Floride Entomologiste* 84 (4). Décembre 2001, pp474-483.
- [29] : Khouri. M.S. «Opuntias, bilan écologique en Algérie», INRA et CAREF, Janv. 1970, p.59
- [30] : Inglese. P, Barbera. G et Carimi. F. «The effect of different amount of cladodes removal on reowering of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller) », *Journal of Horticulture Science* 69, 1994, pp 61 - 65.
- [31] : [http://olharfeliz.typepad.com/cuisine/2006/10/peler\\_une\\_figue.html](http://olharfeliz.typepad.com/cuisine/2006/10/peler_une_figue.html)

[32] : 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

[33] : Lefrançois P, Ruby F et Dionne JY, « Nopal ».

([http://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=nopal\\_ps](http://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=nopal_ps))  
», PasseportSanté, Mars 2007. Consulté le 17/01/2008

[34] : Piattelli M, Minale L. Pigments of centrospermae I.

betacyanins from *Phyllocactus hybridus* hort. and *Opuntia ficus-indica* Mill.

*Phytochemistry* 1964;3:307-11.

[35] : 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.

[36] : Expertise mademoiselle bio

(<http://expertise.mademoisellebio.com/index/2009/06/11/1141>)

[37] : Figuier de Barbarie (<http://www.commentmaigrirvite.org/proactol-figuier-Barbarie>)

[38] : Bachi O.EK: Diagnostique sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux Ksar Témacin. Ouargla. Mémoire de Magister. Université d'Ouargla, 2010.

[39] : Mr METAHRI Mohammed Saïd: Elimination simultanée de la pollution Azotée et Phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou. Mémoire de Doctorat, option: Génie des procédés. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.

[40] : METAHRI Mohammed Saïd, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, cas de STEP EST de ville de TIZI\_OUZOU, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de TIZI\_OUZOU, 2012, pp 172.

[41] : Baumont S., Camard J.P., Lefranc A. & Franco A. Réutilisation des eaux épurées : risques sanitaire et faisabilité en Ile - de France, Paris : 12-13, 27-29, 2002.

- [42] : LARTIGES B, Déstabilisation d'une suspension de colloïdale par un sel d'aluminium.
- [43] : AOULMI Sofiane, conception de la station d'épuration dans la ville d'Eddine (W\_Ain Defla), Thèse de l'école nationale supérieure de l'hydraulique, 2007.
- [44] : Mekkaoui, Y. et Hamdi, D. Etude de réutilisation des eaux usées traitées de la STEP de Touggourt dans l'irrigation. Mém. Ing. Génie des procédés. Génie de l'environnement. Univ. d'Ouargla.2006. 60p.
- [45] : Afir D et Mezaoua, « Application et dimensionnement d'un procédé de coagulationfloculation pour le traitement des eaux résiduaires de la papeterie de Baba Ali », mémoire d'ingénieur, école nationale de polytechnique, 1984.
- [46] : OMS, Etude parasitologie médicale: technique de base pour le laboratoire, 2005.
- [47] : FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): Etude de l'irrigation avec des eaux usées traitées: Manuel d'utilisation FAO irrigation and drainage papier, 2003.
- [48] : Sahnoun Mohamed ElAmine: Epuration des eaux usées du centre culturel islamique – Sidi Okba- par un filtre de macrophyte. Mémoire de Master en Hydraulique, option, Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider. Biskra, 2015.
- [49] : A. MIZI. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJALA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat .Université de BADJI MOKHTAR. 2006.
- [50] : Alain BOTTA. Laurence BELLON. Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnemental. Université Euro Méditerranée TEHYS. Avril 2001.
- [51] : Gaujous Didier: La pollution des milieux aquatique, aide mémoire, Edition technique et documentation Lavoisier, 1995.
- [52] : Rodier Jean et al: L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8eme Edition. DUNOD. Paris, 1996.
- [53] : Mr Ladjel Farid: Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de Formation au Métier de l'Assainissement (CFMA). Boumerdes, 2006.

- [54] : SLIMANI R. Contribution à l'étude hygiénique les caractères physico-chimiques des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et leur impact sur la nappe phréatique.Mem.Ing.Eco et Evo. Ecosystème steppique et saharien d'Ouargla , 2003, 85p.
- [55] : FABY JA, BRISSAUD F, L'utilisation des eaux usées épurée en irrigation, Office International de L'Eau, 1997, pp 76.
- [56] : GAID Abdelkader, Epuration biologique de l'eau urbaine, tome-1 OPU, Alger, 1984, pp261.
- [57] : GUERMOUDI Samir et KADDOUR Zakaria, caractérisations des eaux usées traités par la station d'épuration d'AIN EL HOUTZ. Identification préliminaire de quelque bactérie responsable de dysfonctionnement, mémoire d'ingénieur d'état en biologie, UNIVERCITE A BOUBEKR BELKAID\_TLEMCEN ,03/09/2010.
- [58] : LAKHDARIBouazza, effet de la coagulation \_ floculation sur la qualité des eaux épurées de la step d'Ain EL Houtz, Mémoire de Magister en chimie, Université de Tlemcen 2011, pp106.
- [59] : Brigitte DONNIER. La pollution chimique en méditerrané. Laboratoire. C. E. R. B. O. M. Nice. France.
- [60] : CHELLE F français et DELLALE Moustafa. Festival des sciences de ville. Séminaire. France. 2005.
- [61] : F. BERNIE et J. CORDONNIER. Traitement des eaux. TCHNIP. France. Novembre 1991.
- [62] : DALLI H., ZOUAOUIK., Réutilisation des eaux épurée en irrigation .Mem.Ing .Génie de procédés .Génie de L'environnement.Univ d'Ouargla,2007, 68p.
- [63] : BOUTELLI M., MENASRIA S. Conception d'une station pour la ville de Ghardaïa, possibilités de réutilisation des eaux épurée .Mém. Ing. Hydraulique urbaine.Univ .d'Ouargla 2008,132p.
- [64] : Rotbardt Alain, Rapport final: Réutilisation des eaux usées traitées. Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action, Février 2011.

[65] : DELMI Mohammed Souleyman, Effet antimicrobien d'extrait d'*Opuntia ficus-indica* sur certain bactérie pathogène, Master en agronomie, Univ. Mostaganem, Algrie, 2018.

[66] : SAYAH Hind, Conditionnement électrochimique des boues d'épuration des eaux usées urbaines avec ajout d'un biofloculant (poudre de cactus) : Cas de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Beni-Messous (Wilaya d'Alger), Mémoire de Master en Sciences de l'Eau, Université de Blida 1, Algrie, 2016.

[67] : F. Sakr, A. Sennaoui, M. Elouardi, M. Tamimi, A. Assabbane, " Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus)". J. Mater. Environ. Sci. 6 (2) (2015) 397-406.

[68] : BENDADA Khiereddine, BOULAKRADECHE Mohamed Walid, Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds, Mémoire de Master en Analyse et Contrôle, univ houari Boumediene, Algérie, 2011.

[68] : SORDALAB, Spectrophotomètre UV-visible, Réf. SPECUVIS1.

[69] : A. Abid, A. Zouhri, Substitution des flocculants chimiques par le cactus dans le procédé de traitement par coagulation-floculation des rejets industriels de textile, Revue des Energies renouvelables Vol. 20 N°1 (2017) 61 – 67.

[70] : Mohamed Sellami, Zied Zarai, Moncef Khadhraoui, Nidal Jdidi, Roland Leduc, Faouzi Ben Rebah, Cactus juice as biofloculant in the coagulation–floculation process for industrial wastewater treatment: a comparative study with polyacrylamide, Water Science & Technology, 2014.

[71] : A. Abid, A. Zouhri, A. Ider, S. Kholtei, Valorisation d'un nouveau bio flocculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 321 – 330.

[72] : A.HIMOUR, A.GUENDOZ, « Étude de l'utilisation des végétaux pour l'épuration des eaux usées. », Mémoire de master En hydraulique, UNIVERSITE DE SAÏDA, Algérie, 2017.

[73] : F. Ben Rebah, S.M. Siddeeg, Cactus an eco-friendly material for wastewater treatment: A review, JMES, 2017 Volume 8, Issue 5, Page 1770-1782.

[74] : Djamel OULD ABBES, PARAMETRES PHYSICO – CHIMIQUES, JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41, page 20, 15 juillet 2012.

