

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques  
Département de biologie animale et végétale

En vue d'obtention du diplôme de Master académique en Biologie  
Spécialité : Protection de l'environnement

**THEME :**

**Usage de l'extrait de cladodes de cactus (*Opuntia ficus indica*) comme  
floculant biologique dans le traitement des eaux industrielles issues de  
l'ENIEM.**

Présenté par : HADJ LARBI Fairouz

RAHEM Idris

**Soutenu devant le jury :**

Président : M<sup>me</sup> SAHMOUNE F.

Maitre assistante classe « A » à l'UMMTO.

Promotrice: M<sup>me</sup> SADOUDI Dj.

Professeure à l'UMMTO. .

Examinatrices: M<sup>me</sup> TALEB K

Maitre assistante classe A à l'UMMTO

Examinatrice: M<sup>elle</sup> ALI AHMED S.

Maitre assistante classe A à l'UMMTO

**Année Universitaire : 2014/2015**

## *Remerciement*

*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 M<sup>me</sup> SADOUDI 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<sup>me</sup> SAHMOUN et les examinatrices M<sup>elle</sup> ALI AHMED et M<sup>me</sup> TALEB d'avoir accepté d'évaluer notre travail ;*

*Nous remercions aussi tout le personnel de L'ENIEM pour leurs aides et leur bonne accueil et spécialement M<sup>r</sup> BOUMRAH, l'Ingénieur de l'ENIEM pour ses conseils et sa patience dans le suivi de 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.*

Remerciement  
Liste des figures  
Résumé

Introduction .....1

Chapitre I : Revue Bibliographique

1. La pollution des eaux .....4  
1. 1. Les eaux résiduaires industrielles (ERI) .....4  
1.2. Les différents polluants évacués par les eaux industrielles ..... 6  
1.2. 1. Matières colloïdales ..... 4  
1.2.2. Polluants dissouts ..... 4  
1.2.3. Polluants non-miscible ..... 5  
1.3. Effluents de traitement de surface..... 5  
1.4. Les paramètres de pollution .....5  
1.4.3 Les paramètres complémentaires .....5  
1.4.3.1 La matière en suspension .....5  
1.4.3.2. La matière décantable ..... 6  
1.4.3.3. La matière colloïdale ..... 6  
1.4.3.4. La turbidité ..... 6  
1.5. Impact environnemental des effluents industriels..... 6  
2. Traitement des eaux industrielles ..... 6  
2.1. Traitement physique ..... 7  
2.2. Traitement chimique et physico-chimique ..... 7  
2.3. Traitement biologique..... 7  
3. Coagulation-floculation ..... 7  
3. 1. Coagulation .....8  
3.2. Floculation ..... 11  
3.2.1 Les flocculants synthétiques ..... 11  
3.2.2. Les flocculants naturels ..... 12  
4. Cactus (*Opuntia ficus indica*) ..... 12  
4.1. Description morphologique ..... 12

|   |    |
|---|----|
| 4.2.Habitat et culture .....                  | 12 |
| 4.3. Taxonomie et écologie de l'Opuntia ..... | 13 |

### Chapitre II : Matériel et Méthodes

|   |    |
|---|----|
| 1. Matériels .....  | 14 |
| 1. 1.Effluent industriel .....                                      | 14 |
| 1.2.Matériel végétal : Cactus ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) ..... | 15 |
| 1.3. Réactifs .....   | 16 |
| 1.4. Appareils .....  | 16 |
| 2. Méthodes .....   | 16 |
| 2.1. Préparation du floculant biologique .....                      | 17 |
| 2. 3.Préparation des échantillons .....                             | 17 |
| 2.4. Traitement des échantillons .....                              | 17 |
| 2 .5. Analyse physico-chimique.....                                 | 18 |
| 2.5. 1. Mesure de la concentration de Nickel et du Chrome .....     | 18 |
| 2.5.2. Calcul du taux de Flocculation.....                          | 18 |
| 2.5.3. La turbidité .....   | 18 |
| 2.6. Analyse statistique .....                                      | 18 |

### Chapitre III : Résultats et Discussion

|  |    |
|--|----|
| 1. Evaluation du taux de flocculation et de la turbidité ..... | 19 |
| 1.1. Nickel, Ni <sup>2+</sup> .....                            | 19 |
| 1.2. Chrome VI dilué .....                                     | 21 |
| 1.3. Chrome VI concentré, Cr <sup>6+</sup> .....               | 22 |
| 1.4. Chrome III, Cr <sup>3+</sup> .....                        | 24 |
| Conclusion .....   | 25 |

Index I : Appareils

Index II : Les modes de dosage des effluents métalliques

Index II I: Résultats de Flocculation et de turbidité

**Utiliser l'eau, c'est accepter de la polluer** (Crini et Badot, 2007). La pollution des eaux est provoquée par les usages de l'Homme, notamment celle de processus industriels et artisanaux. L'industrie, surtout dans son étape de traitement de surface, utilise beaucoup de produits chimiques (Zn, Cr, Ni, Al, Fr...) produisant ainsi des effluents très chargés en ces éléments, qui sont connus pour être très toxiques pour la santé humaine et l'intégrité de l'environnement (Koller 2009).

**Qui pollue dépollue** (Crini et Badot, 2007). Auparavant, les eaux résiduaires industrielles sont souvent rejetées dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable, celle-ci provoque une dégradation de la qualité physico-chimique et biologique du milieu récepteur et provoque de nombreuses maladies. Actuellement, la réglementation environnementale et les normes internationales de protection de l'environnement (Ex ;ISO 14001, EMAS) exigent et encouragent les entreprises à minimiser leur impact sur les composantes du milieu naturel (l'eau, sol et l'air) et de se munir des stations de traitement des eaux (STEP).

Il existe de nombreuses méthodes physico-chimiques de traitements d'effluents industriels, avant leur rejet dans le milieu naturel.

Parmi ces méthodes, la technique d'insolubilisation, appelée aussi la précipitation chimique. C'est la technique la plus utilisée pour la décontamination des effluents de leurs métaux lourds, colloïdes et matière organique. Elle se fait en deux étapes :

La première étape est un prétraitement spécifique (déchromatation, décyanuration, oxydation, réduction) suivi d'une neutralisation. La deuxième étape consiste à insolubiliser les métaux par coagulation ; cette étape est suivie d'une floculation par des polymères synthétiques, en général cationique. Une décantation permet ensuite de séparer l'eau épurée et la boue chimique qui est envoyée dans un centre d'enfouissement contrôlé.

L'installation des stations d'épuration dans les entreprises génératrices des effluents industriels est une évolution très importante dans la protection de l'environnement, mais leur gain écologique n'est pas toujours très satisfaisant :

En effet les procédés physiques et chimiques utilisés pour le traitement des eaux résiduelles industrielles surtout dans la phase de floculation coagulation sont basés sur l'utilisation de quantités importantes de produits chimiques qui sont très toxiques pour la

santé humaine et la biocénose en général. En plus de cela, ces procédés génèrent des quantités importantes de boues chargées en éléments chimiques non biodégradables et qui sont très toxiques.

Du point de vue financier, l'utilisation des produits chimiques et la prise en charge des boues actives (la mise en quarantaine, taxe) reviennent très chers aux entreprises et d'ailleurs ce ne sont pas toutes les entreprises qui peuvent supporter ces charges. Ceci les pousse à ne pas ou à mal traiter leurs effluents industriels et à enfreindre ainsi la réglementation environnementale.

Pour résoudre ces problèmes, les scientifiques pensent déjà à améliorer et remplacer les anciens procédés par des autres plus efficaces et plus écologiques appelés les bioprocédés.

Plusieurs études ont été réalisées dans ce sens comme

- Efficacité de la graine de la *Moringa Oleifera*, pour le traitement des eaux potables, a été montrée par Jacques et *al.*, (2007).
- Rome (2010) a fait des essais dans le but de faire apparaître l'efficacité de la gomme de xanthane sans l'ajout d'un coagulant, le chlorure d'aluminium. Il a prouvé que les résultats sont meilleurs sans coagulant et à de faibles concentrations de xanthane. En rajoutant le sodium la floculation est rapide.
- Zohri (2009) a montré que l'extrait de cactus a une bonne efficacité dans le traitement des eaux industrielles, même sans l'ajout de flocculant.

L'objectif sera d'aboutir au traitement le plus efficace tout en limitant les coûts et en utilisant des produits naturels sans effets toxiques et moins d'impact sur l'environnement.

Dans ce cadre et pour une application de la stratégie de développement durable, nous avons mené en présente étude la substitution des produits chimiques appliqués dans les procédés physico-chimique comme coagulant ( $FeCl_2$ ) et flocculant (le poly acrylamide) par un produit naturel qui est l'extrait de cactus pour le traitement des rejets liquides chargés en métaux lourds (Cr VI, Cr III et le nickel) issus de différentes unités de traitement de surface de l'Entreprise Nationale Industrielle d'Electroménager ENIEM.

Afin de mettre le point sur l'efficacité du jus de cactus en tant que flocculant, Nous envisageons à le comparer a un flocculant industriel (le poly acrylamide) très utilisé dans le traitement des rejets industriel.

Ces substances naturelles sont également valorisées afin de minimiser l'effet toxique des produits chimiques (chlorure de fer), respecter les normes et réduire le coût de traitement des effluents industriels.

Pour bien mener ce travail, nous avons élaboré trois chapitres ; le premier est consacré à une revue bibliographique, le deuxième chapitre c'est pour le matériel et méthodes, le troisième chapitre est dédié aux résultats et discussion et nous avons terminé par une conclusion.

## 1. La pollution des eaux :

L'homme a choisi l'eau comme moyen de se débarrasser de la grande partie de ses déchets, ce qui a donné lieu à la formation des eaux usées à différentes concentrations et compositions (Koller, 2009). Les eaux usées sont celles dont les propriétés naturelles sont transformées par l'utilisation industrielle, domestique, agricole et autres (Biliefer, 2009).

Les eaux usées sont de deux catégories; les eaux résiduaires urbaines (ERU) et les eaux résiduaires industrielles (ERI).

### 1.1. Les eaux résiduaires industrielles (ERI) :

Selon Koller (2009), cette dernière contient une très grande variété de produits utilisés dans les industries comme les métaux lourds et les hydrocarbures, procurant à ces eaux des propriétés toxiques liées directement aux produits chimiques transportés et générés par le type d'industrie considéré.

### 1.2. Les différents polluants évacués par les eaux industrielles :

Dans la littérature, nous trouvons plusieurs classifications de polluants, basées sur des critères de classification différents.

Les polluants peuvent être classés en deux types selon la dégradation ou non des polluants ; polluants biodégradables et polluants non biodégradables.

Nous pouvons aussi trouver une classification basée sur la nature chimique des polluants ; polluant organique et polluant non organique.

Concernant la solubilité ou non des polluants, nous avons des polluants particuliers non solubles dans l'eau, composés de matières en suspension et de matières colloïdale, et des polluants dissouts dans l'eau (Sancey, 2014) :

**1.2.1. Matières en suspension ou MES :** Elles ont une taille supérieure à 100  $\mu\text{m}$  et peuvent être d'origine minérale, organique et/ou biologique. En général, les MES représentent l'ensemble des matières solides visibles à l'œil nu : on parle de composés « grossiers ».

**1.2.2. Matières colloïdales :** Elles sont constituées de **particules supra-colloïdales**, leur taille est comprise entre 1 et 100 $\mu\text{m}$ , ce sont des matières fines en suspension et visibles à l'œil nu. Si la taille est inférieure ou proche de 1  $\mu\text{m}$ , on parle de **particules colloïdales**. La matière colloïdale est caractérisée par une décantation très lente par rapport à la matière en suspension.

**1.2.3 Polluants dissouts :** ils sont des substances organiques et/ou minérales solubles de moins de quelques nanomètres de diamètre. Ces matières peuvent être des molécules (composés organiques, substances biologiques...), des ions, des polymères ou encore des gaz.

**1.2.4 Polluants non-miscibles :** ils sont dus à la présence d'huiles et de solvants utilisés dans les procédés industriels. Les huiles (huiles de coupe, dégraissants, hydrocarbures...) se dissolvent très peu.

La nature des polluants est déterminée par le type de l'activité industrielle d'où proviennent les effluents. Par exemple, les effluents provenant de l'industrie agroalimentaire sont très chargés en polluants organiques. Par contre, les polluants non miscibles sont dominants dans l'industrie oléicole.

### **1.3. Effluents de traitement de surface :**

Les opérations de **traitement de surfaces (TS)** sont des procédés industriels appliqués sur un matériau pour lui donner des propriétés spécifiques (résistance à l'usure, aspect esthétique, etc.).

Les ateliers TS sont de grands consommateurs d'eau et de réactifs chimiques, en général toxiques pour l'homme et le milieu naturel. L'ensemble des rejets aqueux d'une chaîne de TS correspond essentiellement aux eaux de rinçages et à la vidange des cuves (Sancey, 2014).

Les effluents du secteur de TS sont caractérisés par une DCO importante, provenant des huiles, solvants, mouillants et brillanters utilisés, les MES comme les hydroxydes métalliques et les carbonates, les ETM (Cr, Cu, Ni, Zn, Al, Fe, Pb, Ag, Sn...), les matières phosphorées et azotées provenant des opérations de dégraissage, de phosphatation ou de gravure, et une pollution organique et/ou minérale due à la présence de substances comme les organo halogénés (huiles chlorés, solvants), les cyanures, les sels ou encore les fluorures

### **1.4 Les paramètres de pollution :**

Pour évaluer la pollution de l'eau et déterminer sa gravité, le calcul des paramètres de pollution est nécessaire. Ces paramètres sont de trois types ;

**1.4.1 Les paramètres physiques :** matière en suspension (M.E.S), matière colloïdale, le pH, la température et la couleur

**1.4.2 Les paramètres chimiques :** la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène (DBO), la matière organique (MO) et le carbone organique total (COT)

**1.4.3 Les paramètres complémentaires :** la turbidité, l'alcalinité, les micropolluants (mercure, cadmium, arsenic, plomb, chrome, sélénium, cuivre, thallium, ...)

Parmi lesquelles :

**1.4.3.1 La matière en suspension:** Les matières en suspension (M.E.S.), exprimées en milligrammes par litre, sont mesurées par pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Les matières en suspension comprennent :

**1.4.3.2 La matière décantable :** elle correspond aux M.E.S. qui se déposent au repos pendant une durée fixée conventionnellement à 2 heures. Les matières décantables, exprimées en  $\text{cm}^3/\text{l}$ , sont mesurées par lecture directe du volume occupé au fond d'un cône de décantation par le décantas;

**1.4.3.3 La matière colloïdale :** elle représente la différence entre les M.E.S. et les matières décantables. La taille des particules correspondantes est approximativement comprise entre 10-8 et 10-2 mm.

**1.4.3.4 La turbidité:** C'est la manifestation de la propriété optique, au lieu d'être transmise en ligne droite à travers un échantillon ,elle sera dispersée ou absorbée par les matières en suspension qui peuvent être minérales ou organique qui ne se solubilisent pas dans l'eau (Bliefert et *al.*2009).

## **1.5 Impacts environnemental des effluents industriels :**

Alors que la crise de l'eau existait déjà depuis longtemps et avec une gravité sans cesse, affectant aussi bien les pays industrialisés que ceux du tiers monde, le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement (Ramade, 1998).

La pollution des eaux en métaux lourds demeure la plus dangereuse, du fait de son accumulation dans l'environnement. Ces effets toxiques dépendent de leurs doses (à l'exception du plomb, cadmium et mercure toujours toxiques) et de leur forme chimique. Ces effets sont multiples chez les végétaux et les animaux et se traduisent, par exemple, par une diminution de la fonction de reproduction (chrome), des baisses de croissance, de productivité ou de biodiversité (cadmium), une apparition de chloroses (nickel) ou encore des troubles neurologiques, digestifs, cardiovasculaires, ou rénaux (mercure) (Bliefert et *al.*, 2004).

Selon Koller (2004), une présence significative en matières en suspensions conduit à une forte valeur de turbidité qui, en revanche, apporte des modifications au milieu aquatique ; elle réduit la luminosité et ,par conséquent, elle réduit l'activité photosynthétique, une chute de l'oxygène dissout, une asphyxie chez les poissons par colmatage des branchies et les possibilités de développement des végétaux et des invertébrés du fond seront réduits par effets des matières agglomérées.

## **2. Traitement des eaux industrielles :**

Auparavant les eaux usées étaient déversées à l'extérieur sans aucun traitement préalable. De plus, les métaux lourds ne sont jamais éliminés par l'autoépuration, ils s'accumulent dans les sédiments et les animaux aquatiques (Koller, 2009).

Selon la nature et l'importance de la pollution, l'épuration suit des procédés différents afin que les eaux de rejets répondent aux normes internationales édictées par le décret exécutif N° 83-03 relatif à la protection de l'environnement et le décret exécutif N°3-160 législation.

Selon Koller (2009), dans l'assainissement des eaux résiduaires, on distingue trois phases de traitement :

### **2.1 Traitement physique :**

Cette phase permet d'extraire tout ce qui est en suspension et les corps flottants. Les polluants sont éliminés par un gréage, le dessablage et le déshuilage.

### **2.2 Traitement chimique et physico-chimique :**

Le traitement physico-chimique consiste à insolubiliser les substances polluantes par coagulation-floculation en ajoutant des réactifs chimiques (chaux, soude, aide-précipitant, insolubilisants...) et à séparer les deux phases eau /boue par un procédé physique de décantation ou de filtration.

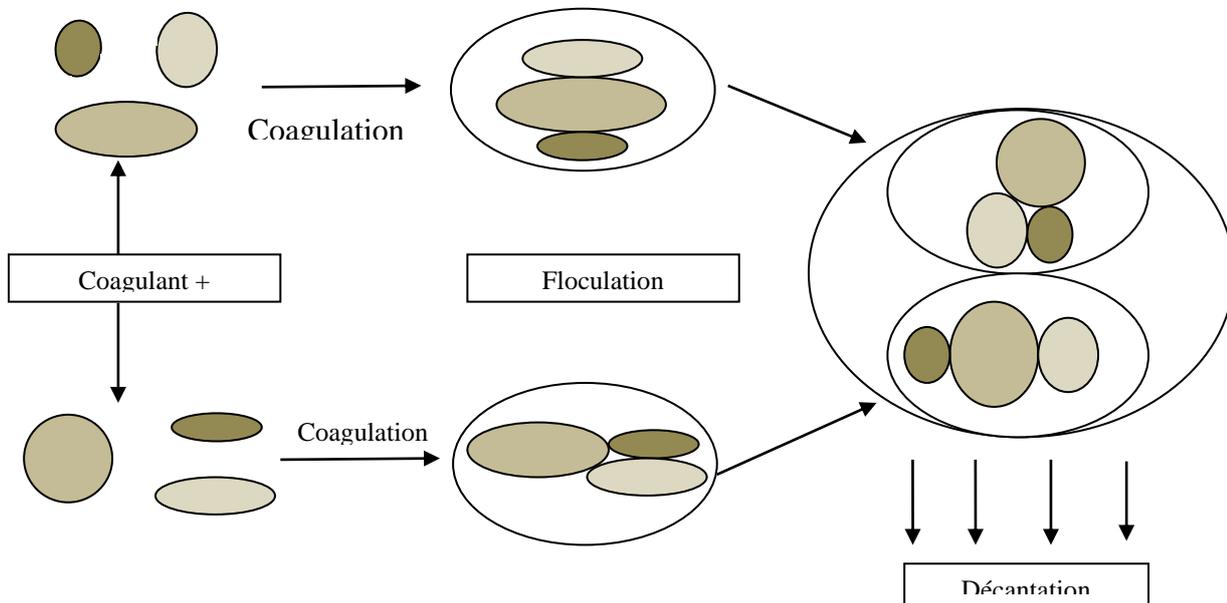
### **2.3 Traitement biologique :**

C'est la technique la plus importante, contrairement aux premières où la pollution est uniquement accumulée. Le traitement biologique permet la transformation et la décomposition des polluants organiques par des micro-organismes.

## **3. Coagulation-floculation**

La coagulation-floculation est une opération physico-chimique visant à déstabiliser et agglomérer les particules colloïdales existantes dans l'eau (figure N°1) par accélération de la vitesse de la décantation (Herlandes , 2006).

D'après Laker (1998), les MES sont en dispersion dans l'eau conséquence de leurs charges électrostatiques de répulsion, de leurs tailles et de leurs densités par rapport à l'eau. Selon Aouabed (1991), ces particules sont entourées par un nuage qui s'oppose au rapprochement et l'attraction inter-particulaire donc la floculation-coagulation est appliquée afin de déstabiliser ces particules.



**Figure 1 :** Procédé de Coagulation-floculation (Hernandez De León, 2006)

Les colloïdes portent sur leurs surfaces des charges négatives, qui forment la couche liée par leur attraction des ions positifs présents dans la solution (théorie de Helmholtz). Cette couche appelée STERN, attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité de cation donc il forme ce qu'on appelle couche diffuse ou couches GOUY qui se déplace séparément de la particule (théorie de Gouy-Chapman). Entre ces deux couches, il existe un potentiel électrostatique qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde, (Amirtharajah et O'Melia, 1990). Ce potentiel est appelé le potentiel Zeta. Selon Monoret (2001), ce potentiel décroît linéairement dans la couche liée car les cations sont empilés uniformément dans la couche diffuse, il varie d'une manière non linéaire.

La coagulation-floculation permet une annulation de ce potentiel, donc le rapprochement et l'agglomération entre particules devient possible.

### 3. 1.La coagulation

La coagulation est la première étape du processus de traitement physico-chimique des eaux, qui consiste en une addition des réactifs chimiques de charge cationique a fin de neutraliser ou de diminuer la charge électrique et favoriser ainsi une agglomération des fine particule dispersées en formant des agrégats plus gros . Les réactifs de coagulations les plus utilisés sont les sels d'aluminium, les sels de fer, le sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4$ ) et la chaux  $\text{Na}(\text{OH})_2$ . (Laker, 1998).

La coagulation a pour but d'agglomérer les particules fines (figure N°3) par les méthodes suivantes :

- **Compression de la couche diffuse** : d'après Aouabed (1991) c'est l'effet de l'électrolyte sur la force de répulsion générée par le rapprochement des particules colloïdales de même charge. Par conséquent, l'épaisseur de la double couche sera diminuée par la force ionique engendrée par l'électrolyte ajouté.
- **Adsorption et neutralisation de charges**: en 1990 Amirtharajah et *al.*, constatent que l'adsorption par l'ajout des cations déstabilise les colloïdes par neutralisation de leurs charges négatives.
- **Emprisonnement des particules dans un précipité** : à un pH conforme à la précipitation minimale des sels de coagulation, comme les sels de métaux, un précipité de charge positive se forme, qu'on appelle floc, qui emprisonne les colloïdes de charge négative (Amirtharajah et *al.*,1990)
- **Adsorption et pontage** : Selon Trichet(1985), les polymères de très grande taille fixent les particules colloïdales qui adsorbent les groupements chimiques polaires par formation des ponts entre les différents colloïdes.

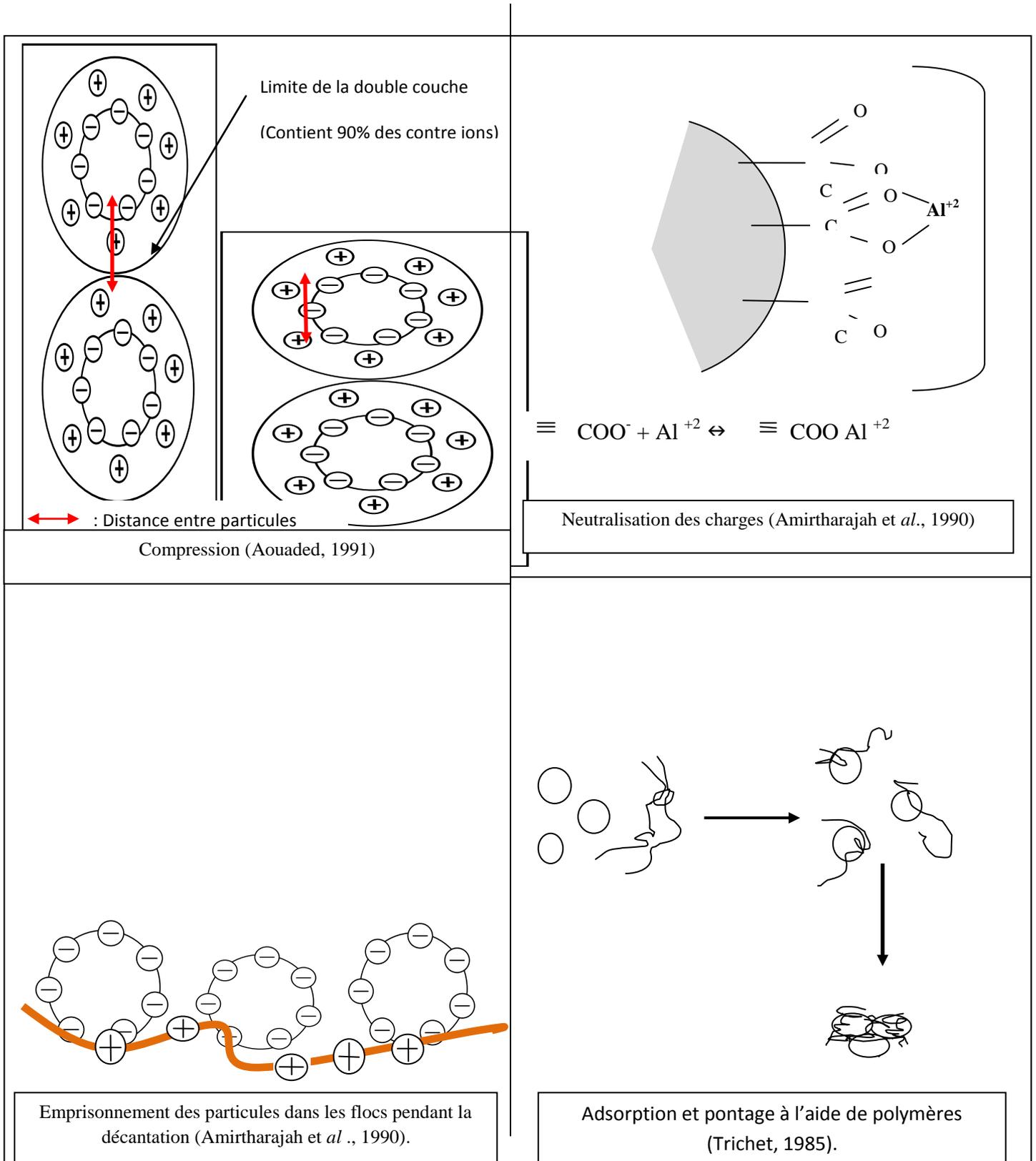


Figure N° 3 : représentation graphique des quatre possibilités de floculations.

D'après Ezziane (2006), la bonne coagulation dépend du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont les métaux à base d'aluminium ou de fer, de sa dose et de la valence de ses cations. Les trivalent et bivalent sont plus efficaces que le monovalent. Elle dépend aussi de la qualité de l'eau à traiter ; sa température, son pH, sa turbidité, sa couleur, son alcalinité et la présence des matières organiques (Hammer, 1986).

### 3.2. Flocculation :

La flocculation est l'action simultanée ou consécutive à la coagulation, accompagnée d'une agitation longue pour agglomérer les floccs formés par cette dernière en floccs volumineux facilement décantables. Cette flocculation peut être améliorée par une agitation longue et par l'ajout d'un autre réactif, l'adjuvant de flocculation ou le flocculant (Moletta, 2006)

Les substances flocculantes peuvent réagir avec les colloïdes par deux voies :

➤ la formation de ponts chimiques se fait par l'absorbance des particules par les substances macromoléculaires, qui peuvent se fixer sur un ou plusieurs sites libres, et lorsque les flocculants fixés aux particules possèdent encore des centres actifs libres. Ces dernières peuvent fixer d'autres particules libres, d'une façon à ce qu'il y aura formation des ponts entre les différentes particules donnant naissance à un flocc (Kim, 1983).

➤ la neutralisation des charge électriques, par ajout d'un flocculant cationique à concentration optimale qui annule la charge des particules puis un excès de ce flocculant conduit à une inversion des signes de charges (Triquet et *al.*, 1985).

Les flocculants ou adjuvants de flocculation sont des substances sous forme de billes ou en solution utilisées pour former de vastes agglomérats (Edeline, 1998). Ils sont utilisés en quantités plus faible que les réactifs coagulants et qui modifient nettement le comportement de ces derniers du point de vue rapidité de la formation des floccs, de leurs densité, de leurs dimensions et leurs vitesse de sédimentation (Baes et *al.*, 1976).

#### 3.2.1 Les flocculants synthétiques:

Se sont des polymères obtenus entièrement par synthèse chimique comme les poly électrolyte à haut poids moléculaire ayant une structure linéaire qui leur donne la propriété d'être soluble dans l'eau. ils présentent des groupes réactionnels de charge inverse à celle de la suspension à traiter.

Les polyélectrolytes réagissent avec la matière colloïdale dans l'eau par pontage ou par neutralisation des charges ou le potentiel Zêta devient positif (Tricket, 1985).

**Inconvénient de l'utilisation des flocculants d'origine industrielle :**

les réactions chimiques nécessitent l'utilisation de produits chimiques pouvant présenter une certaine toxicité ; on utilise des polymères anioniques de synthèse (polyacrylamides, polyacryliques) pour faire flocculer les hydroxydes métalliques ; or, le monomère acrylamide est fortement toxique (Renault et *al.*, 2009).

Formation d'importantes quantités de boues fortement concentrées en pollution métallique et difficilement dégradable (gestion, traitement et devenir).

**3.2.2. Les flocculants naturels:** ce sont des polymères naturels d'origines animale ou végétale parmi lesquels nous citons :

- Les flocculants d'exsudats végétaux, telles que, la gomme arabique et la gomme adragante.
- Les flocculants des graines végétales, exemple les graines de *Moringa Oleifera* qui donnent un bon résultat pour traitement des eaux brutes (Jacques et *al.* 2007)
- Les flocculants d'extraits végétaux : la sève extraite de l'*Opuntia*, utilisée pour le traitement des eaux dont les marges de turbidité sont limitées (Jahn, 1989b). Cette sève est le meilleur coagulant naturel d'Amérique latine (Jahn, nd). D'après Zohri, (2009) il est très efficace pour le traitement des eaux industrielles chargées en métaux lourds comme le Nickel, le Chrome et le Zinc.

**4. *Opuntia ficus indica*****4.1. Description morphologique :**

L'*Opuntia* est une plante arborescente robuste, possède un tronc épais et ligneux (Nefer, 2012). Les tiges ont une forme de segments plats qu'on appelle les raquettes (Anonyme, 2007) ou cladode de couleur vert-mat de longueur de 30 à 50 cm, de largeur de 15 à 30 cm et d'épaisseur de 1,5 à 3 cm. les cladodes assure la fonction chlorophyllienne et il sont recouverte de la cutine pour la protection ( Nefer 2009 )

Les raquettes sont constellées par des touffes d'aiguilles, les fleurs sont jaunes. Ces fruits sont arrondis et poussent à une hauteur de 3 à 5m de hauteur (Anonyme, 2007).

**4.2. Habitat et culture :**

L'espèce *Opuntia ficus indica* est originaire du Mexique. Elle est installée en Italie pour la première fois. Aujourd'hui, elle occupe une large aire de répartition. Elle se trouve dans toutes les régions tropicales et semi-tropicales telles que la Turquie, la Corée, l'Israël, le Chili, le Brésil, l'Argentine et l'Afrique du Nord (Snyman, 2006).

Dans certains pays comme l'Italie la culture de cactus est devenue une pratique intensive et moderne pour ces vertus économiques, écologiques et industrielles. (Mulas et *al.*, 2004)

**4.3. Taxonomie et écologie de l'*Opuntia* :****La position systématique :** (Miller, 1768 in Nefer, 2012)

:Règne : Plantae

S/Règne : Trachebiota

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous/classe : Caryophyllidae

Ordre : Caryophyllales

Famille : cactaceae

Espèce : *Opuntia ficus indica***4.4.L'écologie :**

D'après Gibsen et Nobel (2006) l'*Opuntia* est xérophyte. Grâce à sa variation génétique, elle peut vivre sous différentes conditions. Elle craint les fortes gelées et les températures minimales et maximales (Saenz et al., 2004 )

Cette plante s'adapte aux différents sols. Elle a une préférence pour les sols très perméable, sableux ou caillouteux (Skhiredj et al., 1998 in Nefer, 2012).

Nous allons utiliser deux types de flocculants ; un bioflocculant à base de jus de cactus et un flocculant industriel, dans le traitement physico-chimique de l'eau résiduaire industrielle récupérée au niveau de la station de traitement de l'ENIEM. Pour cela , nous allons utiliser le matériel et suivre les méthodes suivants ;

## 1. Matériels

### 1.1. Effluent industriel :

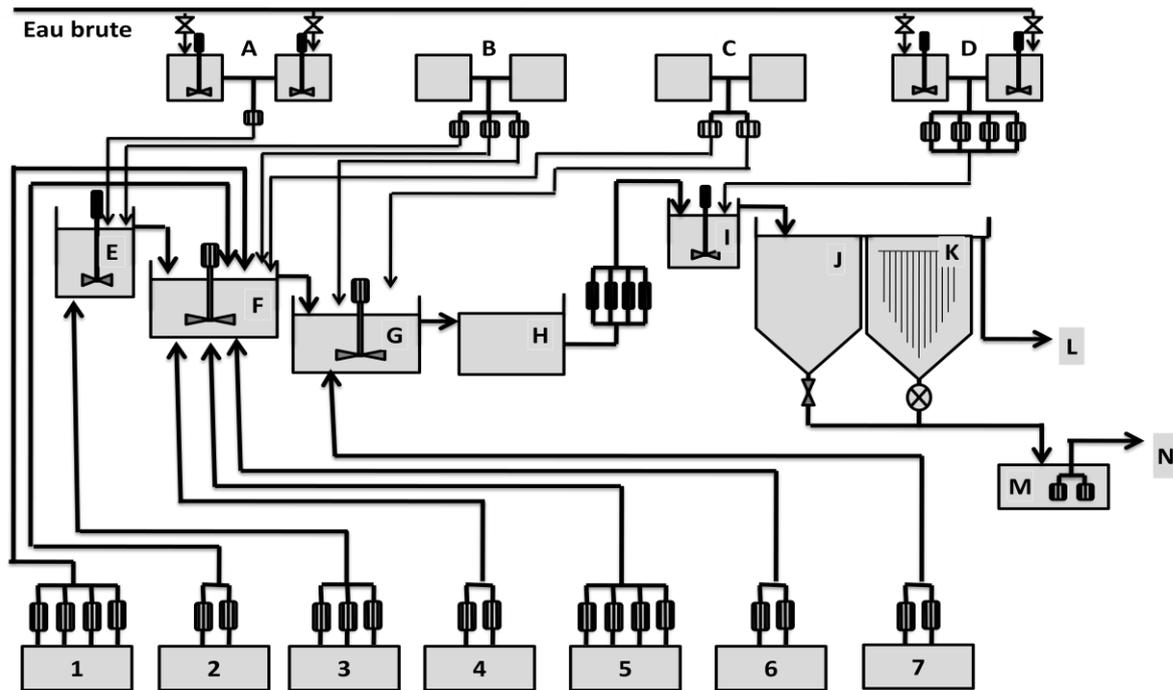
L'effluent industriel utilisé dans notre travail provient de l'Entreprise Nationale Industrielle de l'Electroménager (ENIEM), sise à TIZI OUZOU dans la zone industrielle de OUED AISSI.

Les effluents liquides sont issus des différentes étapes du traitement de surface ; le dégraissage, le décapage, le chromage, le zingage, le nickelage, la phosphatation, le rinçage et la neutralisation.

Les ateliers de traitement de surface sont composés de suites de cuves correspondant soit à des bains de traitement soit à des bains de rinçage. Les pièces subissent donc une succession de trempages dans des bains afin de subir le traitement désiré.

Le prélèvement est effectué au niveau des points suivants :

- canal de l'entrée de la station chargé de tous les effluents, à concentration initiale égale à 1,88g/l en  $\text{Ni}^{2+}$
- bassin du chrome dilué chargé en Cr VI avec une concentration de 12,3 mg/l.
- bassin de Cr III, issu du bassin du chrome dilué chargé en Cr VI qui a subi une réduction en Cr III
- bassin du Chrome concentré (concentration en Cr VI égale a 4g /l).



**Figure 3 :** station d'épuration des effluents industriels

**Bacs tampon** 1. alcalins dilués 2. acides concentrés 3. chromes dilués 4. chrome concentrés 5. acides dilués 6. alcalins concentrés 7. Eluats /**Procédés de traitement** E. Déchromatation F. Neutralisation stade 1 G. Neutralisation stade 2 H. Bassin de pompage I. Floculation J. Décantation simple K. Décantation lamellaire L. Rejet d'eau traitée M. Bassin de pompage des boues N. Vers lits de séchage./**Bacs des réactifs** A. métabisulfite B. acide H<sub>2</sub>SO C. alcalin NaOH D. flocculant Polyelectrol .

Notre choix est porté sur l'effluent de cette entreprise pour deux raisons

De grandes quantités de produits chimiques utilisées dans les chaînes de traitement de surface ont un caractère toxique pour l'homme et pour l'environnement.

L'entreprise est équipée d'une station de traitement des effluents industriels. Les effluents passent par une station d'épuration avant leur évacuation dans le milieu récepteur. Cela permet un prélèvement d'échantillons facile et à différents points de la station de traitement, selon l'élément chimique étudié (Chrome, Nickel ...)

## 1.2. Matériel végétal : Cactus

Nous avons utilisé les cladodes de *Opuntia ficus indica* pour notre étude expérimentale.

L'*Opuntia* est une plante arborescente, robuste, possède un tronc épais et ligneux. Les tiges ont une forme de segments plats qu'on appelle les raquettes ou cladode de couleur vert-mat, d'une longueur de 30 à 50 cm, d'une largeur 15 à 30 cm et d'une épaisseur de 1,5 à 3 cm. Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et ils sont recouverts de la cutine pour la protection (Nefer, 2009).

Nous avons choisi *Opuntia ficus indica* dans notre présent travail pour les critères suivants :

- Disponibilité, facilité de culture et il ne demande pas de pratique culturales spécialisées, ni apport de fertilisant, et encore moins de traitement anti parasitaire (Habib, 2004 in Nefer, 2012).
- C'est une espèce rentable économiquement.
- La production élevée des raquettes, qui est de l'ordre de 10 tonnes /Hectare/an en une basse pluviosité (Majauzée et *al.*, 1965 in Nefer ,2012).
- L'extrait des cladodes de cactus a une très bonne efficacité vis-à-vis de traitement des eaux usées industrielles ( Zouhri, 2009 ; Bey ,2012).

### 1.3. Les réactifs

- la soude NaOH
- le poly électrolyte bisulfite
- le chlorure de fer
- Les réactifs du Nickel ; R1, R2, R3.
- Le diphénylcarbazine

### 1.4. Les appareils

- Le jar test
- Le spectrophotomètre
- Le turbidimètre
- La balance analytique
- Le mixeur ou broyeur

Le principe de fonctionnement de chaque appareil est indiqué dans l'annexe N°2

## 2. Méthodes :

### 2.1. Préparation du flocculant biologique :

Les raquettes du cactus ont été broyées après nettoyage et extraction des épines, L'extrait aqueux de la plante recueilli est filtré à travers un tissu fin. Le jus pur récupéré a été dilué à 10 % dans de l'eau distillée, puis homogénéisé par agitation pendant 15 à 20 minutes. (Zouhri, 2009)

Le mélange obtenu est un liquide visqueux de coloration verte, de pH = 6,5, miscible à l'eau, de masse volumique égale à 1.008 kg/l et il contient environ 96 % d'eau.

Le jus de cactus est assez stable, en dehors de tous systèmes de conservation, sa capacité flocculante peut être préservée durant plusieurs jours (Bey et *al.*, 2012).

## 2.2. Préparation du floculant industriel :

Le floculant industriel utilisé est le poly acrylamide de concentration de 5g/l obtenu par une dissolution de 5g du poly acrylamide en poudre dans un litre d'eau distillée accompagné d'une agitation durant 60 à 90 mn

## 2. 3. Préparation des échantillons :

Pour évaluer l'efficacité du biofloculant sur le Nickel et le Chrome ainsi que sur leur état réduit et à des concentrations différentes, nous avons prélevé seize échantillons au total ; l'échantillonnage est réalisé au niveau de quatre bassins différents de la station. Dans chaque bassin, nous avons prélevé quatre échantillons

Nous avons prélevé les échantillons par immersion d'un contenant en plastique dans l'effluent à échantillonner. L'ouverture du contenant doit être face au courant de l'effluent et sous la surface du liquide, à 50 cm environ. Nous avons maintenu le contenant par l'autre extrémité de façon à garder les mains aussi loin que possible de l'ouverture (pour éviter contamination des échantillons).

Nous avons prélevé 1,5l d'eau afin d'avoir un volume d'échantillon représentatif du rejet. Une fois le contenant rempli, nous l'avons retiré et fermé hermétiquement en lui collant une étiquette qui indique le nom de l'échantillon, la date et le lieu de prélèvement.

**Enchantions 1 :** issu du canal de l'entrée de la station chargé de tous les effluents, à concentration initiale égale à 1,88g/l Ni<sup>2+</sup>

**Echantillon 2 :** issu du bassin du chrome dilué chargé en Cr VI avec une concentration de 12,3 g/l.

**Echantillon 3 :** cet échantillon est issu du bassin du chrome dilué chargé en Cr VI, qui a subi une réduction en Cr III ,au laboratoire ,par présence de l'acide sulfurique dans un milieu acide cet échantillon a une concentration initiale de 3,8 mg/l.

**Echantillon 4 :** prélevé au niveau du bassin du chrome avec une concentration en Cr VI égale a 4g /l.

## 2.4. Le traitement de différents échantillons

Chacun des quatre échantillons prélevé d' un bassin a subi quatre traitements

- Le premier traitement consiste en une utilisation d'un floculant industriel suivant les étapes ci-dessous :
  - utiliser un litre de chaque échantillon.
  - rajouter 2 ml de la soude NaOH, pour un ajustement du pH de la solution entre 8 et 11 correspondant à la précipitation du chrome et du Nickel.  
La soude participe aussi à la coagulation
  - laisser agiter deux minutes au jar test (240tr/mn)
  - rajouter 1ml de chlorure de fer afin d'effectuer la coagulation

- agiter rapidement au jar-test (240 tr/min) pendant 2mn
- ajouter 5ml de floculant industriel, le bisulfite, avec une agitation lente de 60tr/mn pendant 15mn

## 2.5. Analyse physico-chimique :

### 2.5.1. Mesure de la concentration de Nickel et du Chrome :

Pour évaluer le pouvoir épurateur du jus de cactus et l'effet du coagulant (le chlorure de fer), nous avons suivi l'évolution des concentrations des ions de Nickel et du chrome sur le spectrophotomètre selon les méthodes décrites dans le mémento d'eau.

### 2.5.2. Calcul du taux de floculation :

Pour calculer le taux de floculation, nous avons utilisé la formule établie par Zohri (2009)

$$L (\%) \text{ d'abattement}(X) = \frac{(C_i(X) - C_f(X)) * 100}{C_i(x)}$$

C<sub>i</sub>: Concentration initiale de X dans l'eau usée

C<sub>f</sub>: Concentration finale de X dans l'eau usée traitée

les modes opératoires du dosage nickel, du chrome VI et III sont indiqués dans l'annexe N 2.

### 2.5.3. La turbidité

Nous avons suivi l'évolution de la turbidité à des intervalles de temps fixes pour l'un des échantillons après traitement par le floculant biologique « jus de cactus » et le floculant industriel, la mesure de la turbidité a été effectuée avec le turbidimètre

## 2.6. Analyse statistique :

Le traitement statistique a été réalisé avec le logiciel **R.0.2**. Nous avons fait appel à deux tests

Le test d'ANOVA complété par le test de NEWMAN et KEULS permettent de comparer les moyennes puis le classement des moyennes en groupes homogènes.

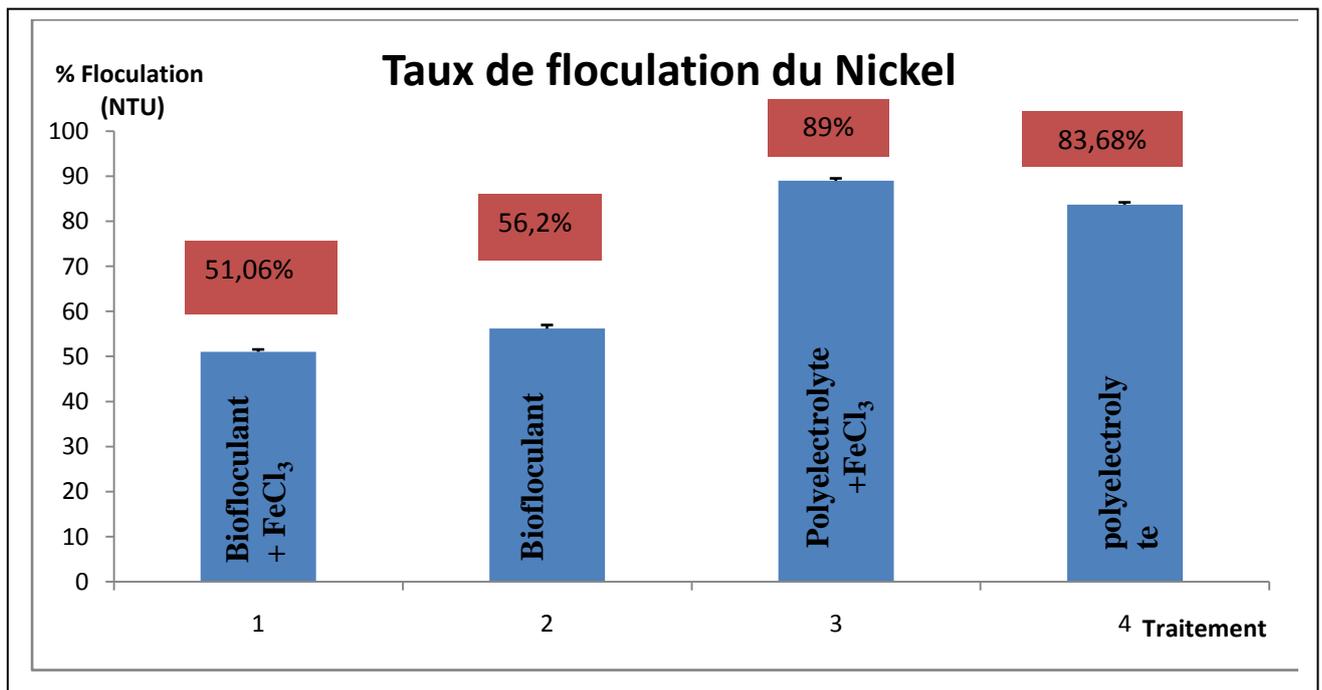
- Le test de Student à deux échantillons indépendants est appliqué pour les données de la turbidité. Il permet une comparaison de moyenne.
- Le seuil d'erreur appliqué dans ces tests est e 5%.

### 1. Evaluation du taux de floculation et de la turbidité:

Les résultats de floculation et de turbidité des solutions chargées en métaux lourds et MES traitées par le floculant industriel, le poly acrylamide, ou par le biofloculant (l'extrait de cactus) en présence et en absence du coagulant (le chlorure de fer) sont représentés par les graphes ci-dessous.

#### 1.1.le Nickel, $Ni^{2+}$ :

Les pourcentages d'abattement des ions de  $Ni^{2+}$  sont présentés dans la figure 4 :



**Figure 4** : Le taux de floculation de  $Ni^{2+}$  selon le type de floculant utilisé (industriel ou biologique) associé ou non au coagulant (Chlorure de Fer).

D'après la figure N° 4, nous constatons que le taux de floculation diffère selon le type de traitement appliqué, industriel ou biologique, associé ou non avec le coagulant, chlorure de fer. L'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative entre les quatre traitements (0.0056).

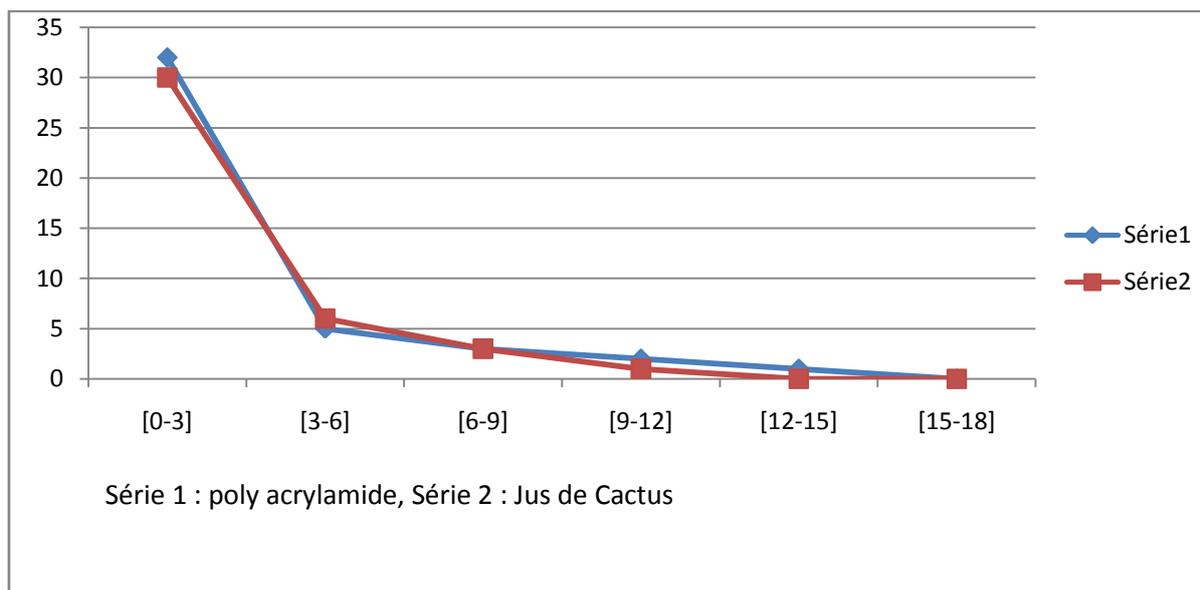
Le meilleur taux de floculation du nickel est obtenu par l'association poly acrylamide et chlorure de fer (89%). Ce taux élevé est probablement dû à l'action du coagulant suivi de celle du floculant; le coagulant (Chlorure de Fer) a formé de petits floccs en diminuant la charge négative des particules et la force répulsive entre elles. Cela a permis une meilleure

floculation ; agglomération des micro-floculants en macro-floculants, suite à l'ajout du floculant (poly acrylamide). Cette explication est confirmée par le traitement 4 où la floculation est moins importante (83,68%) suite à l'absence du prétraitement par le chlorure de Fer (coagulation).

Le taux de floculation le plus faible est enregistré par l'association chlorure de Fer et le biofloculant (51,06%) et il est moins important que par le traitement par le biofloculant seul (56,2%). Contrairement au floculant industriel, l'activité floculante de jus de cactus diminue en présence du coagulant, chlorure de Fer. Selon Abid , la présence de chlorure de Fer a le même effet antagoniste sur le pouvoir de floculation du jus de Cactus, et il a noté que l'ajout de la chaux à cette association permet d'établir le pouvoir de floculation de jus de Cactus et même de l'améliorer.

L'analyse statistique par le test de NEWMAN KEULS a confirmé ces résultats en plaçant chaque traitement dans un groupe homogène ( a=89, b=83.68, c=56.2 et d=51.06)

Les résultats de la turbidité sont illustrés par la figure 5.

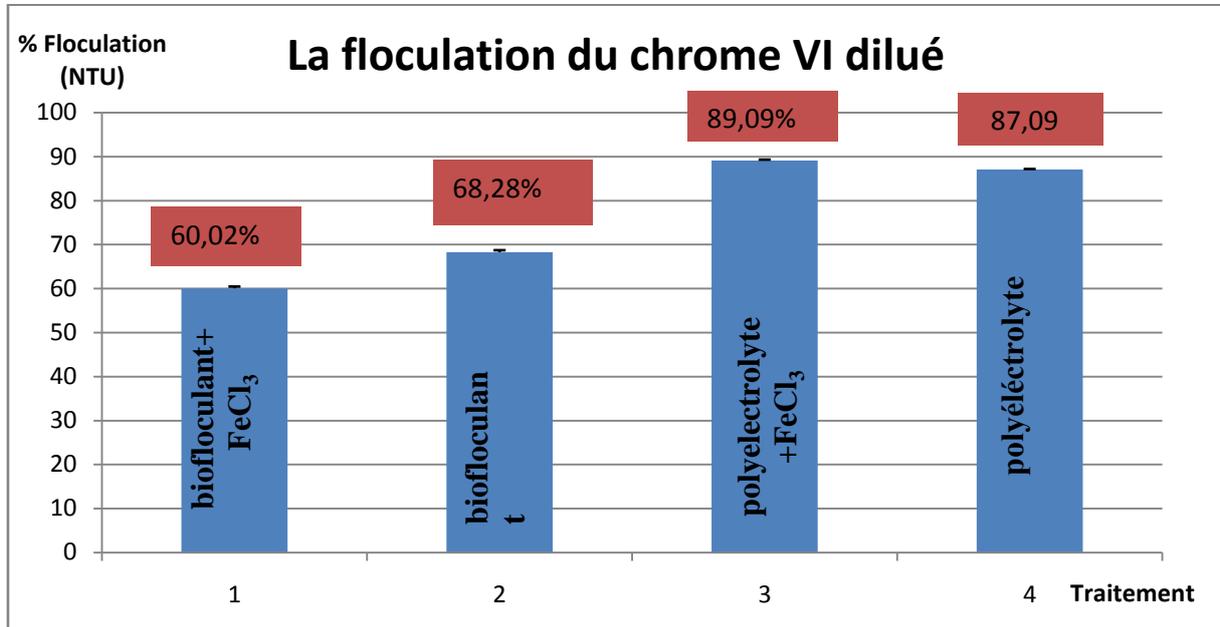


**Figure 5 :** L'évolution de la turbidité des échantillons chargés en  $Ni^{2+}$ , suivant le temps de la floculation.

La diminution de la valeur de la turbidité est remarquable, cette dernière s'annule rapidement après un intervalle de temps égal à 18mn, qui est presque identique pour les deux types de floculants et l'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative entre les deux floculants (0.9438).

### 1.2. Le Chrome VI dilué :

Le pourcentage de floculation des échantillons chargés en  $\text{Cr}^{6+}$  est représenté dans la figure 06 :



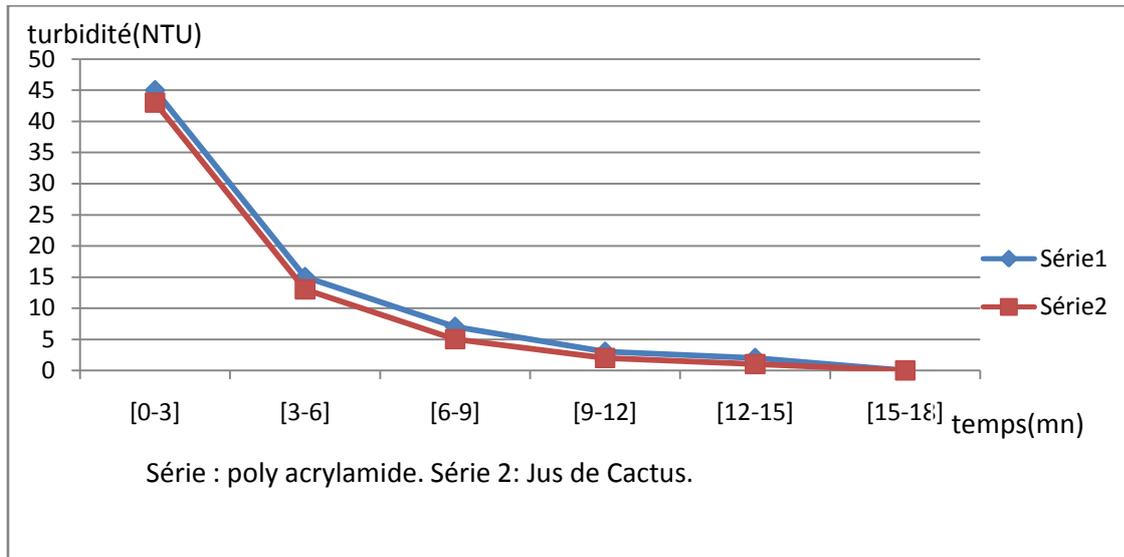
**Figure N°6** : le taux de floculation de l'échantillon chargé en  $\text{Cr}^{6+}$ .

La figure 6 montre un taux de floculation par le jus de cactus supérieur à 60%. Pour le poly acrylamide, nous avons obtenu un meilleur taux de floculation qu'avec le jus de cactus ; il est de 89,09%

En revanche, la combinaison chlorure de fer /jus de cactus n'a aucun effet positif. La combinaison chlorure de fer et poly acrylamide donne un meilleur résultat de floculation qui atteint 87,09 %. Selon Rhone et *al.*(1987) la formation des floccs au cours de la coagulation-floculation est visible et importante, par conséquent, l'ajout des tensio-actifs de type anionique a augmenté les résultats de floculation.

L'analyse de la variance du taux de floculation a révélé une différence très hautement significative entre les quatre traitements ( $1.771 \times 10^{-11}$ ) et le test de NEWMAN et KEULS a placé chaque traitement dans un groupe homogène (a=89.1, b=87.1, c=68.29 et d=60.16).

La figure 7 montre la différence entre les effets du poly acrylamide et celui d'extrait de l'opuntia sur la turbidité des échantillons chargés en  $Cr^{6+}$ .

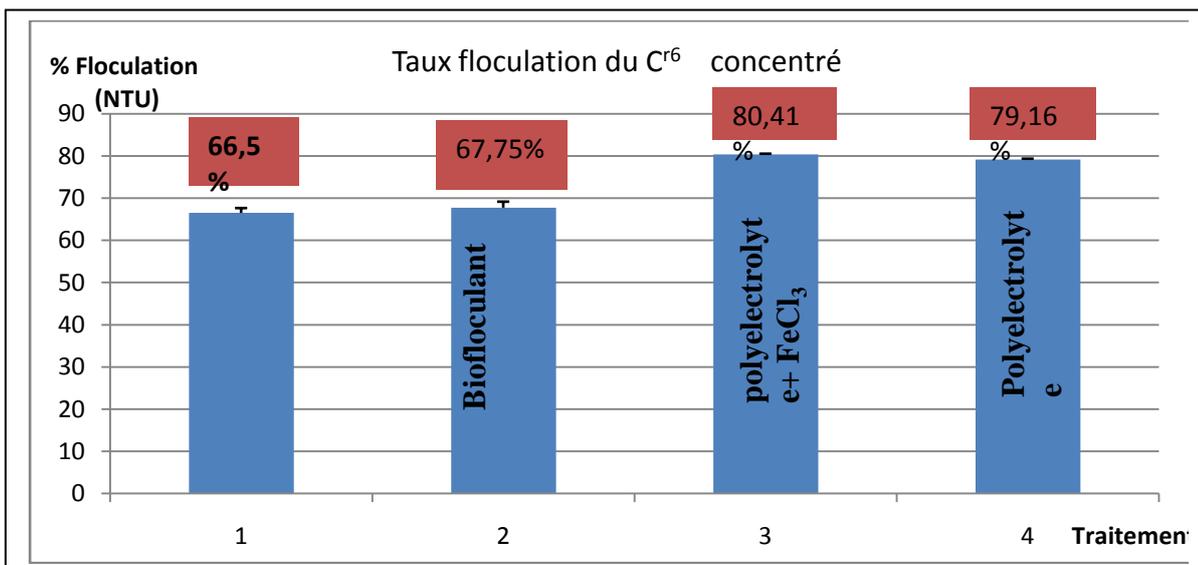


**Figure 7 :** la turbidité des échantillons chargés en  $Cr^{6+}$  dilué, suivant le temps de floculation.

Les échantillons chargés en  $Cr^{6+}$  montrent une diminution marquante de la turbidité, après traitement par les deux types de floculant, cette turbidité atteint 7 NTU après un temps cours équivalent a 9 mn, qui s'annule rapidement aux environs de 18mn.

L'analyse de ces données par le test de Student pour deux échantillons indépendants n'a pas révélé une différence significative entre les deux traitements effectués. Avec une p-value=0,8932 supérieur 0,05. Ce qui signifie que le traitement par les deux floculants a le même effet sur la turbidité des eaux usées.

**1-4-Chrome VI concentré,  $Cr^{6+}$  :**

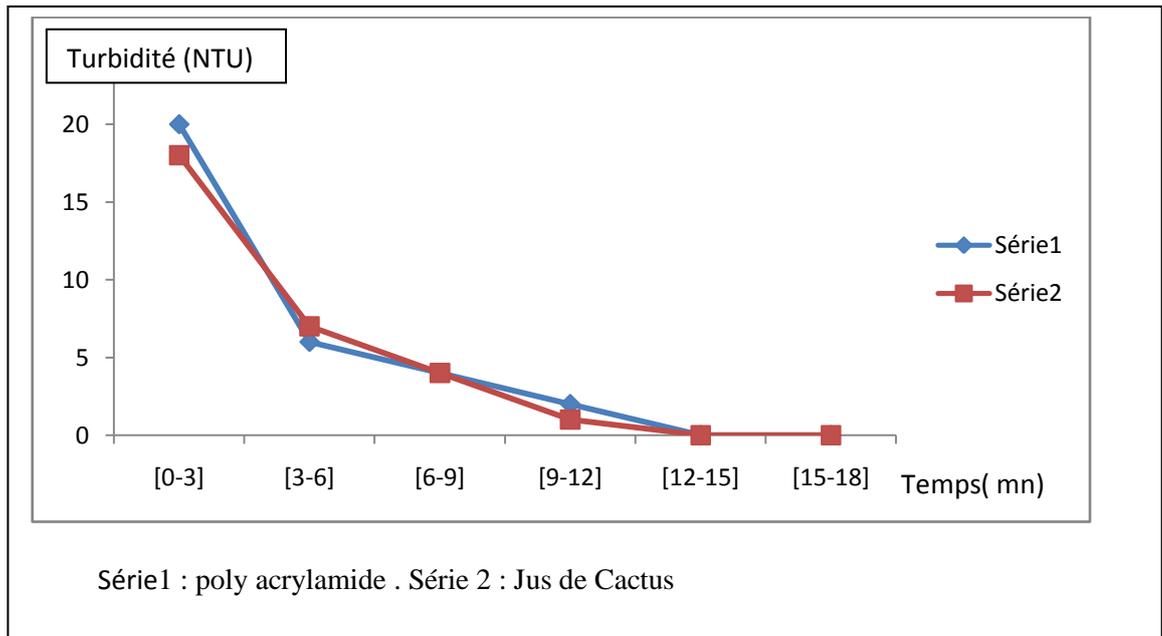


**Figure 8 :** Pourcentage de floculation de l'échantillon chargé en  $Cr^{6+}$  concentré.

Pour les échantillons chargés en  $\text{Cr}^{6+}$ , le pouvoir floculation des deux floculants, industriel et biologique est bon avec des taux de 80,41% et 67,75% respectivement.

La combinaison de chlorure de fer avec ces deux floculants, a un effet presque nul.

La figure9 présente les données comparatives de l'évolution de la floculation des échantillons chargés en chrome VI.



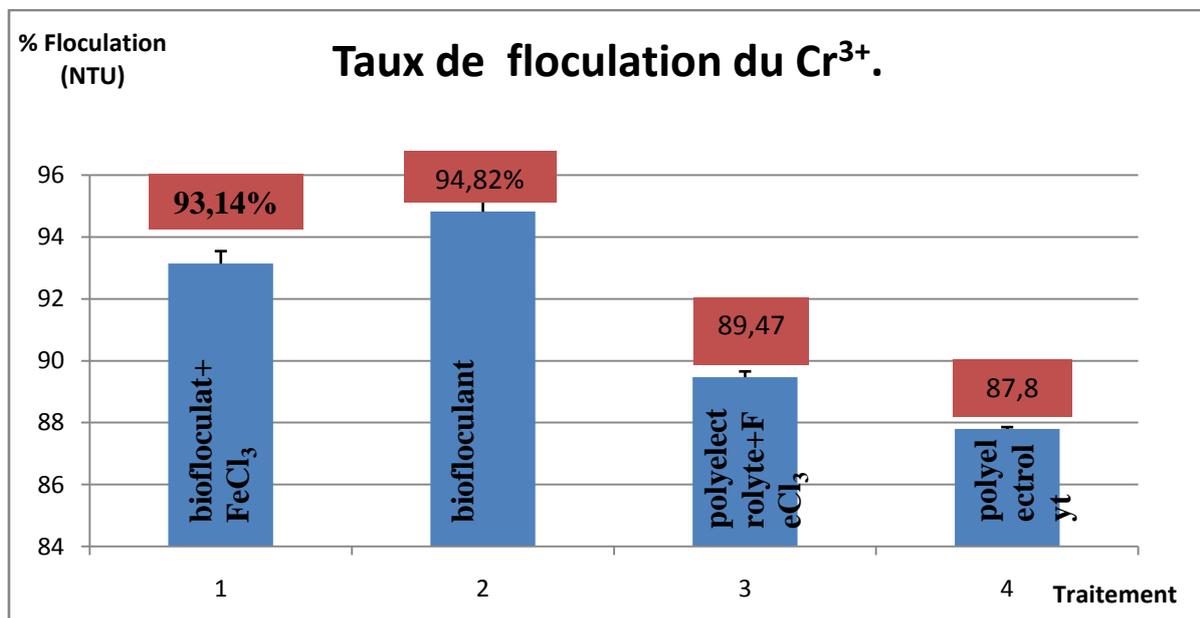
**Figure 9** : Evolution de la turbidité des échantillons chargés en  $\text{Cr}^{6+}$  concentré, suivant le temps de la floculation.

D'après les deux courbes, nous avons constaté que l'effet des deux floculants sur la turbidité des échantillons chargés en  $\text{Cr}^{6+}$  concentré est presque le même, cela est bien illustré par la rapidité de leur suppression effectuée au bout de 12mn. Belbahloul et *al.* (2014) ont démontré une suppression presque totale des MES (99%) après traitement des échantillons chargés en Cr VI.

L'analyse de ces données par le test de Student pour les deux échantillons indépendants n'a révélée aucune différence significative entre les deux traitements effectués (0.9381).

1.4. Chrome III, Cr<sup>3+</sup>

Les résultats de floculation du Cr<sup>3+</sup> sont présentés dans la figure 10 :



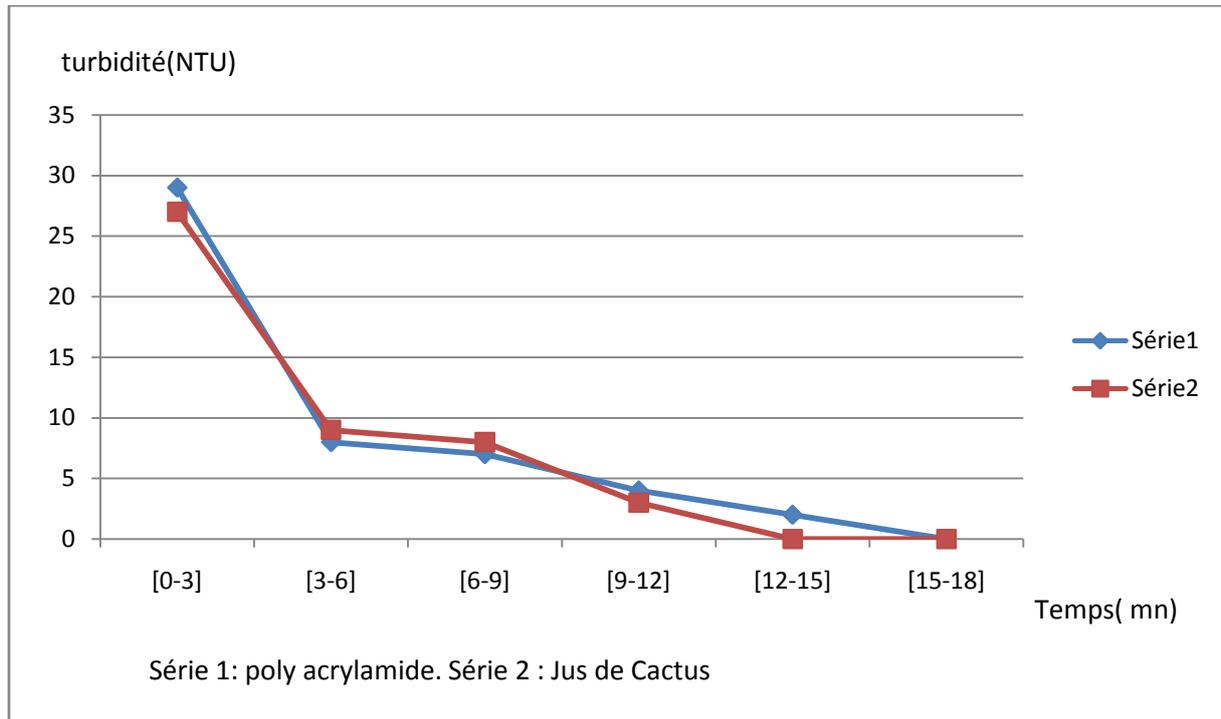
**Figure 10** : Taux de floculation de l'échantillon chargé en Cr<sup>3+</sup> en présence ou non de Chlorure de Fer.

Contrairement au nickel et au Chrome VI (concentrés ou dilués), le meilleur taux de floculation pour CrIII est obtenu grâce au traitement par le biofloculant(95%), par contre l'apport du coagulant (Chlorure de Fer) reste toujours négatif au pouvoir de floculation de jus de Cactus. Les résultats des études expérimentales ont révélé que l'élimination des éléments du Cr<sup>3+</sup> est meilleure et importante par rapport au chrome VI. Les recherches d'Abid et *al.*(2008) ont montré que le Cr VI réduit en Cr III a subi une rétention égale à 99,5% . Ils ont constaté que la réduction du chrome VI en Chrome III avant de procéder à son traitement par les techniques physico-chimiques, appliquées lors de la coagulation-floculation, est primordiale pour une meilleure floculation.

Par contre le floculant industriel a donné un taux de floculation moins important par rapport au floculant biologique qu'est de 87,8% même après un prétraitement de coagulation par le chlorure de Fer, (89,47%).

L'analyse de variance du taux de floculation a révélé une différence très hautement significative entre les quatre traitements. Le test de NEWMAN et KEULS a placé chaque traitement dans un groupe homogène (a=94.82, b=93.15, c=89.47 et d=87.8).

L'évolution de la turbidité après traitement des échantillons chargés en  $\text{Cr}^{3+}$  est montrée dans la figure 11 :



**Figure 11:** Evolution de la turbidité des échantillons chargés en  $\text{Cr}^{3+}$  suivant le temps de la floculation.

Les résultats de la turbidité après traitement des échantillons chargés en  $\text{Cr}^{3+}$ , par les deux flocculants biologique et industriel, montre une efficacité presque identique .

La suppression de la turbidité de l'échantillon traité par le poly acrylamide a eu lieu après 12mn suivi rapidement par la clarification totale de l'échantillon traité par l'extrait de l'opuntia, près de 15 mn.

L'analyse de ces données par le test de Student pour deux échantillons indépendants n'a pas révélé une différence significative entre les deux traitements effectués (0.935).

D'après les résultats obtenus au cours de notre travail, nous pouvons conclure que :

-Le pouvoir de floculation de l'extrait d'*Opuntia Ficus Indica* est plus ou moins acceptable. La combinaison chlorure de fer/poly acrylamide présente les meilleurs résultats de floculation de Cr VI dilué et concentré et le Nickel.

L'usage du jus de cactus sans coagulant apparaît plus intéressant dans le traitement du Chrome III

-Notre biofloculant a une très bonne efficacité vis-à-vis de l'évolution de la turbidité, et elle est comparable à celle du poly acrylamide.

-L'utilisation des produits chimiques, l'addition des sels des métaux dans le processus de traitement physico-chimique, en particulier, la coagulation floculation, entraîne souvent dans l'eau la présence des concentrations très élevées en métaux lourds. Ces derniers ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivant ainsi que dans les chaînes trophiques.

Par ailleurs, l'extrait de cactus, évite les modifications relative aux propriétés physique ou chimique de l'échantillon à traiter ainsi les boues récupérées seront biodégradables et ne présentant aucun danger vis-à-vis la santé humaine. De plus , ce procédé est rentable et pourra s'introduire dans le développement durable.

En final, le jus de cactus aura une forte possibilité de remplacer les coagulants et les floculants industriels ayant des inconvénients sur l'environnement et en particulier la santé humaine.

Les résultats incitent à faire plus de recherches afin de mettre en place des procédés alternatives et d'améliorer le pouvoir floculation de jus de Cactus par :

- Recherche des coagulants plus efficaces en association avec le jus de Cactus ;
- Détermination des conditions optimales ( pH, concentration de biofloculant...) afin d'améliorer le taux de floculation du jus de Cactus.

## La liste des Références bibliographiques

---

- Abid A., Zouhri A., Idir A., 2008**: Utilisation d'un nouveau biofloculant extrait de cactus dans le traitement des rejets chargés en chrome VI par le procédé de coagulation floculation. *Energies renouvelables*.11, 251-257.
- Amirtharajah A. ,O'melia C. R. in Ezziane S., 2007**: Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT TENES, Magister. Département de génie des procédés, Université de Chlef.
- Anonyme 7, 1986** : Catalogue ENIEM, traitement des eaux résiduaires Industrielles.
- Anonyme 2007** : La rousse des plantes médicinales.
- Aouabed A., 1991**: Réduction de la turbidité d'une eau de surface, U.S.T.H.B, Alger.
- Belbahloul M. , Zouhri A., Anouar A., 2014** : *Opuntia ficus indica* une solution contre la pollution métallique et les matières en suspensions. *GMES*, vol 52 N°5, 23816-2384.
- Biliefer ,2009** : Chimie de l'environnement, 2ème édition, Boeck. Paris, 477 p.
- Bey N.,azzizi N., 2012** : Valorisation d'un nouveau biofloculant extrait de cactus dans le traitement des eaux usées industrielles, Mémoire d' Ingénieur, UMMTO ,P 93.
- Degrement, 2005** : Mémento technique de l'eau, Tome 2, 2ème édition, Lavoisier, Lexique technique de l'eau, Paris.
- Desjardins R., 1990** : Le traitement des eaux. 2ème édition, école polytechnique de Montréal.
- Desjardins C. , 1999** : Simulation et étude en laboratoire lestée (actiflo) a l'aide d'une procédure modifiée de jart test, Mémoire d'Ingénieur, génie civil, université de Montréal.
- Grigorio C., Pierre M. B., 2007** : Traitement et épuration des eaux industrielles. Ser labo technologie. Paris.353P.
- Jaque K, Gérard J, Valenti W, Bruno C, 2007** : Paramètres physico-chimique de l'eau, traitement des gommages de *Moringua Oliféra*. Université de Marseille.
- Koller E., 2004** : Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchet, sol, boues). Edition Dunod. Paris. 347P.
- Molletta R. , 2009** : Traitement des déchets. Lavoisier. 677P.
- Niffar S.,2012** : Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de barbarie sur la variation des ressources naturelles des steppes Algériennes de l'Est cas de Souk Ahrass et Tebessa. Doctorat en Biologie végétale. Algérie.154P.
- Quinternet D., 1985** : Contribution des floccs application a la floculation de suspensions argileuses. Doctorat. Institut national Polytechnique de Toulouse.
- Ramade F., 1998** : Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Edition science international, Paris.760P.
- **Ramade F., 2007** : Introduction a l'écotoxicologie. Lavoisier. Paris.648P.

## La liste des Références bibliographiques

---

-**Ramade F., 2011** : Introduction a l'écochimie. Lavoisier. Paris.791P.

-**Rodier R., 1978** : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers. 6ème édition. Dunod.779P.

-**Meyer S., Reed C., Bosdiverix R., 2013** : Botanique, biologie et physiologie végétales, 3ème édition. 300P.

- **Trickhet F., 1985** : Cinétique de floculation, mesure et application au traitement des eaux. Doctorat en sciences pharmaceutiques, université de Montpellier. France. 624P.

-**Zohri A., 2009** : Valorisation d'un nouveau biofloculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, zinc et en matières en suspensions. Énergies renouvelables, vol 12 N°2, 321-330.

# Annexes

---

## Annexe N° 1

### Les appareils utilisés

#### 1)-Le jar-test

Est un appareil électrique qui fonctionne sous le principe de réduction en béccher les mêmes conditions d'exécution de la coagulation-floculation, sur terrain.

il comporte

- 4 bicher de 1 l chacun,
- quatre 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

L'importance de cet appareil s'inscrit dans la facilité de manipulation des paramètres influençant la coagulation floculation (**Desjardins., 1999**)

#### 2)-le turbidimètre

bien avant le turbidimètre utilisé était celui a bougie de Jakson, de nos jours le turbidimètre Néphélométrique est le plus utilisé sous le principe de mesure de la l'intensité de la lumière déviée par les particules a analysées.

Selon Chevalier et al. (2003) le turbidimètre mesure l'intensité de la lumière déviée a un angle de 90°par rapport a la lumière incidente qui traverse en ligne droite l'échantillon a analysé la turbidité est évaluée en unité nephélométrique de turbidité (UNT), par l'influence de l'indice de réfraction de la lumière et de la taille et de la forme des particules sur la diffusion de la lumière .c'est pour ce la que la turbidité n'est pas référée a la concentration massique du solide.

#### 3)-le spectrophotomètre UV visible

Est un appareil fonctionnant sous une règle basée sur l'absorbance des photons d'une certaine longueur d'ondes caractéristiques de espèce chimique a analysé.

Le nombre de photons absorbés étant relié au nombre d'atomes présents ainsi que la concentration de l'espèce chimique est facilement détectable.

Et dans notre travail le spectrophotomètre qu'on a utilisé est le NANOCOLOR<sup>R</sup> UV / VIS qui nous a permet d'analyse de différent échantillons grâce aux logiciel intégrés doté de méthodes d'analyse spéciale et performantes pour l'analyse de la densité optique , de transmission ,pour des mesure de cinétique et encore des mesure a plusieurs longueurs d'ondes.

## Annexe N° 2

### Les modes de dosage des effluents métalliques :

#### 1)-le Nickel :

Le dosage du Nickel a comme principe, l'apparition d'une couleur par utilisation d'une série de réactifs

Mesurable à l'aide d'un spectrophotomètre,

Selon l'anonyme 6,2009, Le mode opératoire du dosage du Nickel consiste a :

- maitre 20ml de l'échantillon a analysé dans une fiole jaugée de 25ml,
- ajouter 1ml du réactif R1 qui contient le bromate de calcium à 2%
- ajouter 1ml du R2 composant de l'acide nitrique a 19%, une couleur jaune apparaisse
- mélanger la combinaison avec 1ml du R 3 qui contient 14% de l'ammoniaque la couleur jaune doit disparaître.
- au moment de l'ajout du R4 renfermant éthanol à 95%, le mélange doit être agité pour une dernière fois puis laisser reposer 10mn
- la lecture est effectuer au spectrophotomètre a 436 nm, après passage d'un échantillon blanc dans l'appareil, préparé avec du l'eau distillée dans les même conditions(T est entre 20 et 25°C).

#### 2)-le chrome VI

le dosage du chrome VI se base sur l'apparition d'une couleur, due aux rections du Chrome VI avec l'acide du diphénylcarbaside,

le mode opératoire proposé par Rodier et al(1978) est le suivant :

- introduction, dans une fiole jaugée 120ml, de 100ml de l'échantillon a analysé
- ajout du 6ml de la solution acide du diphénylcarbazine, avec agitation, puis le laisser au repos pendant 10mn
- préparation d'un blanc avec 100ml d'eau distillée dans les mêmes conditions
- lire a l'aide d'un spectrophotomètre, la valeur du Chrome VI, a une longueur d'onde de 540nm

#### 3)-le chrome III

Le dosage du chrome III a le même principe comme les deux métaux précédemment cités.

D'après le mode opératoire cité dans l'anonyme 6(2009) le dosage du chrome dure deux heures et 35mn, et qui passe par plusieurs étapes :

- à l'aide d'une pipete, maitre 2ml du chrome total R1 dans une éprouvette.
- ajouter 2ml de l'échantillon a analysé
- Ajouter des perles en verre qui jouent le rôle de régulateurs d'ébullition
- Appliquer une bandelette en papiers contre la paroi de l'éprouvette
- Laisser le mélange agit pendant 2h a une température de 148°C
- Ajouter 4ml de chrome Total, R2 avec mélange
- Malgré a la combinaison une cuillère remplit a ras bord du chrome total R3
- Fermer l'éprouvette et mélanger, cette opération d'oxydation dure 30mn à 100°C
- pipeter 4ml de l'échantillon peroxyde et le diverse dans la cuve ronde chromate
- Fermer et mélanger, laisser agir 5 mn puis analyser au spectrophotomètre.

# Annexes

---

## Annexe N° 3

### Les tableaux des résultats bruts

#### 1)- la Flocculation :

##### 1)-1-Ni<sup>2+</sup> :

| Ni                                  | biofloculant+ FeCl <sub>3</sub> | biofloculant | floculant industriel+ FeCl <sub>3</sub> | floculant industriel |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|---|----------------------|
| la concentration initiale en Cr III | 1,88 g/l                        | 1,88 g/l     | 1,88 g/l                                | 1,88 g/l             |
| la concentration de l'échantillon 1 | 0,92 g/l                        | 0,83 g/l     | 0,19 g/l                                | 0,33 g/l             |
| la concentration de l'échantillon 2 | 0,94 g/l                        | 0,79 g/l     | 0,2 g/l                                 | 0,3 g/l              |
| la concentration de l'échantillon 3 | 0,9 g/l                         | 0,85 g/l     | 0,23 g/l                                | 0,29 g/l             |
| la flocculation de l'échantillon 1  | 51,06%                          | 55,85%       | 89,89%                                  | 82,44%               |
| la flocculation de l'échantillon 2  | 50%                             | 57,97%       | 89,36%                                  | 84,04%               |
| la flocculation de l'échantillon 3  | 52,12%                          | 54,78%       | 87,76%                                  | 84,57%               |
| la flocculation moyenne             | 51,06%                          | 56,20%       | 89%                                     | 83,68%               |

## Annexes

---

### 1)-2-Chrome VI dilué :

|                                     | biofloculant+ FeCl <sub>3</sub> | biofloculant | floculant industriel+ FeCl <sub>3</sub> | floculant industriel |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|---|----------------------|
| la concentration initiale en Cr III | 12,3 mg/l                       | 12,3 mg/l    | 12,3 mg/l                               | 12,3 mg/l            |
| la concentration de l'échantillon 1 | 4,8 mg/l                        | 4 mg/l       | 1,4 mg/l                                | 1,59 mg/l            |
| la concentration de l'échantillon 2 | 5 mg/l                          | 3,9 mg/l     | 1,33 mg/l                               | 1,6 mg/l             |
| la concentration de l'échantillon 3 | 4,9 mg/l                        | 3,8 mg/l     | 1,3 mg/l                                | 1,57 mg/l            |
| la floculation de l'échantillon 1   | 60,97%                          | 67,47%       | 88,68%                                  | 87,07%               |
| la floculation de l'échantillon 2   | 59,34%                          | 68,29%       | 89,18%                                  | 86,99%               |
| la floculation de l'échantillon 3   | 60,16%                          | 69,10%       | 89,43%                                  | 87,23%               |
| la floculation moyenne              | 60,02%                          | 68,28%       | 89,09%                                  | 87,09%               |

### 1)-3-Chrome III :

| Cr III                              | biofloculant+ FeCl <sub>3</sub> | biofloculant | floculant industriel+ FeCl <sub>3</sub> | floculant industriel |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|---|----------------------|
| la concentration initiale en Cr III | 3,8 mg/l                        | 3,8 mg/l     | 3,8 mg/l                                | 3,8 mg/l             |
| la concentration de l'échantillon 1 | 0,18 mg/l                       | 0,12mg/l     | 0,4 mg/l                                | 0,45 mg/l            |
| la concentration de l'échantillon 2 | 0,2 mg/l                        | 0,13 mg/l    | 0,41 mg/l                               | 0,46 mg/l            |
| la concentration de l'échantillon 3 | 0,22 mg/l                       | 0,15 mg/l    | 0,39 mg/l                               | 0,48 mg/l            |
| la floculation de l'échantillon 1   | 90,50%                          | 96,84%       | 89,47%                                  | 88,15%               |
| la floculation de l'échantillon 2   | 94,73%                          | 91,57%       | 89,21%                                  | 87,89%               |
| la floculation de l'échantillon 3   | 94,21%                          | 96,05%       | 89,73%                                  | 87,36%               |
| la floculation moyenne              | 93,14%                          | 94,82%       | 89,47%                                  | 87,80%               |

## Annexes

1)-4- Chrome VI concentré :

| CrVI concentré                      | biofloculant+ FeCl <sub>3</sub> | biofloculant | floculant industriel+ FeCl <sub>3</sub> | floculant industriel |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|---|----------------------|
| la concentration initiale en Cr III | 4 g/l                           | 4 g/l        | 4 g/l                                   | 4 g/l                |
| la concentration de l'échantillon 1 | 1,34 g/l                        | 1,29 g/l     | 0,76 g/l                                | 0,82 g/l             |
| la concentration de l'échantillon 2 | 1,35 g/l                        | 1,3 g/l      | 0,79 g/l                                | 0,85 g/l             |
| la concentration de l'échantillon 3 | 1,33 g/l                        | 1,28 g/l     | 0,8 g/l                                 | 0,83 g/l             |
| la floculation de l'échantillon 1   | 66,50%                          | 67,75%       | 81,00%                                  | 79,50%               |
| la floculation de l'échantillon 2   | 66,25%                          | 67,50%       | 80,25%                                  | 78,75%               |
| la floculation de l'échantillon 3   | 66,75%                          | 68%          | 80,00%                                  | 79,25%               |
| la floculation moyenne              | 66,50%                          | 67,75%       | 80,41%                                  | 79,16%               |

2)- turbidité :

2)-1- Ni<sup>2+</sup>

| temps (mn) | biofloculation (NTU) | floculation (NTU) |
|------------|----------------------|-------------------|
| [0-3]      | 32                   | 30                |
| [3-6]      | 5                    | 6                 |
| [6-9]      | 3                    | 3                 |
| [9-12]     | 2                    | 1                 |
| [12-15]    | 1                    | 0                 |
| [15-18]    | 0                    | 0                 |

2)- 2-chrome VI dilué :

| temps (mn) | biofloculation (NTU) | floculation (NTU) |
|------------|----------------------|-------------------|
| [0-3]      | 45                   | 43                |
| [3-6]      | 15                   | 13                |
| [6-9]      | 7                    | 5                 |
| [9-12]     | 3                    | 2                 |
| [12-15]    | 2                    | 1                 |
| [15-18]    | 0                    | 0                 |

## Annexes

---

### 2)-3- chrome III :

| temps (mn) | biofloculation (NTU) | floculation (NTU) |
|------------|----------------------|-------------------|
| [0-3]      | 29                   | 27                |
| [3-6]      | 8                    | 9                 |
| [6-9]      | 7                    | 8                 |
| [9-12]     | 4                    | 3                 |
| [12-15]    | 2                    | 0                 |
| [15-18]    | 0                    | 0                 |

### 2)- 4- chrome VI concentré :

| temps (mn) | biofloculation (NTU) | floculation (NTU) |
|------------|----------------------|-------------------|
| [0-3]      | 20                   | 18                |
| [3-6]      | 6                    | 7                 |
| [6-9]      | 4                    | 4                 |
| [9-12]     | 2                    | 1                 |
| [12-15]    | 0                    | 0                 |
| [15-18]    | 0                    | 0                 |

## Annexes

---

### Annexe N°4

Analyse de la Variance du taux de floculation de l'échantillon 1 Nickel

|             | DDL | S.C.E   | C.M     | F. Observé | P-value    |
|-------------|-----|---------|---------|------------|------------|
| factorielle | 3   | 3 292.6 | 1097.52 | 705.94     | 4.928 e-10 |
| résiduelle  | 16  | 281.3   | 17.58   |            |            |

Le test de Newman et Keuls pour les valeurs de la floculation de l'échantillon 1 Nickel

| Traitements | Libelles                            | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|-------------------------------------|----------|-------------------|
| 1           | poly acrylamide<br>+Chlorure de Fer | 89       | A                 |
| 2           | poly acrylamide                     | 83.68    | B                 |
| 3           | Jus de Cactus                       | 56.2     | C                 |
| 4           | jus de Cactus<br>+Chlorure de Fer   | 51.06    | D                 |

Analyse de la variance du taux de floculation de l'échantillon 2 chrome VI dilué

|             | DDL | S.C.E   | C.M    | F. Observé | P-value    |
|-------------|-----|---------|--------|------------|------------|
| factorielle | 3   | 1815.19 | 605.06 | 1625 .2    | 1.771 e-11 |
| résiduelle  | 8   | 2.98    | 0.37   |            |            |

Test de Newman et Keuls pour les valeurs de la floculation de l'échantillon 2 chrome VI dilué

| Traitements | Libelles                            | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|-------------------------------------|----------|-------------------|
| 1           | poly acrylamide<br>+Chlorure de Fer | 89.1     | A                 |
| 2           | poly acrylamide                     | 87 .1    | B                 |
| 3           | Jus de Cactus                       | 68.29    | C                 |
| 4           | jus de Cactus<br>+Chlorure de Fer   | 60.16    | D                 |

## Annexes

---

Analyse de la Variance du taux de floculation de l'échantillon 3 Chrome III

|             | DDL | S.C.E  | C.M     | P-value |
|-------------|-----|--------|---------|---------|
| factorielle | 3   | 94.197 | 31.3991 | 0.0056  |
| résiduelle  | 8   | 27.258 | 3.4072  |         |

Test de Newman et Keuls pour les valeurs de la floculation de l'échantillon 3 chrome III

| Traitements | Libelles                            | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|-------------------------------------|----------|-------------------|
| 1           | Jus de Cactus                       | 94.82    | A                 |
| 2           | jus de Cactus<br>+Chlorure de Fer   | 93.15    | A                 |
| 3           | poly acrylamide<br>+Chlorure de Fer | 89.47    | B                 |
| 4           | poly acrylamide                     | 87.8     | B                 |

Analyse de la Variance du taux de floculation de l'échantillon 4 Chrome VI concentré

|             | DDL | S.C.E  | C.M     | P-value   |
|-------------|-----|--------|---------|-----------|
| factorielle | 3   | 486.02 | 162.007 | 6.016e-11 |
| résiduelle  | 8   | 1.08   | 0.135   |           |

Test de Newman et Keuls pour les valeurs de la floculation de l'échantillon 4 chrome VI concentré

| Traitements | Libelles                            | Moyennes | Groupes homogènes |
|-------------|-------------------------------------|----------|-------------------|
| 1           | poly acrylamide<br>+Chlorure de Fer | 80.42    | A                 |
| 2           | poly acrylamide                     | 79.17    | B                 |
| 3           | Jus de Cactus                       | 67.75    | C                 |
| 4           | jus de Cactus<br>+Chlorure de Fer   | 66.5     | D                 |

## Annexes

---

Résultats d'analyse par test de student à deux échantillons indépendants :

1)-échantillon 1 Ni<sup>2+</sup>

Résultat de test de student réalisé par le logiciel R.3.02 pour La turbidité des eaux usées traitées par deux types de flocculants ,industriel et biologique .

|           | Moyenne turbidité en utilisant le flocculant biologique | Moyenne flocculant industriel | t      | p-value |
|-----------|---|-------------------------------|--------|---------|
| turbidité | 7.166   | 6.666                         | 0.0723 | 0.9438  |

2)-échantillon 2 chrome VI dilué

|           | Moyenne turbidité flocculant biologique | Moyenne flocculant industriel | t     | p-value |
|-----------|---|-------------------------------|-------|---------|
| turbidité | 12                                      | 10.66                         | 0.137 | 0.8932  |

3)- échantillon 3 chrome III :

Résultat de test de student réalisé par le logiciel R.3.02 pour La turbidité des eaux usées traitées par deux types de flocculants ,industriel et biologique .

|           | Moyenne turbidité flocculant biologique | Moyenne flocculant industriel | t      | p-value |
|-----------|---|-------------------------------|--------|---------|
| turbidité | 8 .333                                  | 7.833                         | 0.0836 | 0.935   |

4)-échantillon 4 chrome VI concentré

Résultat de test de student réalisé par le logiciel R.3.02 pour La turbidité des eaux usées traitées par deux types de flocculants , industriel et biologique .

|           | Moyenne flocculant biologique | Moyenne flocculant industriel | t      | p-value |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|--------|---------|
| turbidité | 5 .333                        | 5.000                         | 0.6797 | 0.9381  |

## Résumé

---

### ❖ Résumé :

Ce travail a été mené dans le but de traiter les effluents industriels chargés en métaux lourds (nickel, Chrome VI et Chrome III) et les matières en suspensions en utilisant un biofloculant organique et biodégradable à base de l'extrait des cladodes de cactus, *l'Opuntia ficus indica*, comme alternatif à des floculants chimiques efficaces; mais moins intéressants du point de vue écologique. Ce travail s'intéresse aussi à l'effet de l'association coagulant et floculant sur le rendement de floculation et réduction de la turbidité. L'expérience a été réalisée sur des échantillons issus de différentes unités de traitement de surface de l'ENIEM.

L'étude comparative entre le biofloculant et le floculant industriel (le poly électrolyte) a révélé des rendements satisfaisants concernant la floculation et la réduction de la turbidité. La solution du chrome VI réduit en chrome III présente une floculation qui dépasse 95% qui est meilleure en la comparant aux résultats de la floculation de la solution de chrome VI. La mise en évidence de la présence de coagulant, le chlorure de fer, a montré des résultats insignifiants. La combinaison formée de la « soude jus de cactus » sans la présence du coagulant apparaît très intéressante.

Mots clés : chrome VI, chrome III, nickel, matières en suspension, *Opuntia ficus indica*, poly acrylamide, chlorure de fer floculation, turbidité.

❖ abstract: : This work was conducted in order to treat industrial effluents containing heavy metals (nickel, chromium VI and chromium III) and suspended solids using a biofloculant, organic and biodegradable based on the extract of cactus cladodes, *Opuntia ficus indica*, as an alternative to effective chemical flocculant; but less interesting from the ecological point of view. This work is also interested in the effect of the coagulant and flocculant combination on the performance of flocculation and turbidity reduction. The experiment was performed on samples from different surface treatment units ENIEM. The comparative study between biofloculant and industrial flocculant (poly electrolyte) revealed satisfactory returns on flocculation and turbidity reduction. The solution of chromium VI reduced to chromium III has a flocculation which exceeds 95% which is better by comparing the results of the flocculation of the chromium VI solution. The demonstration of the presence of iron chloride coagulant showed insignificant sometimes best results in the absence of said coagulant. The combination consists of the cactus juice soda without the presence of coagulant appears very interesting .

Keywords: chromium VI, chromium III, nickel, suspended solids, *Opuntia ficus indica*, poly acrylamide, iron chloride flocculation, turbidity,