

N° d'ordre : .....

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

-----  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE



*Domaine :* **SCIENCE DE LA MATIERE**

*Filière :* **CHIMIE**

*Spécialité :* **CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT**

## **Mémoire de Master**

*Thème*

### **Etude de l'efficacité des bio-floculants sur la qualité des eaux de surface**

*Présenté par :* **CHABA Cilia**  
**SEGHILANI Cilia**

*Soutenues publiquement, le 13/07/2022 devant le Jury composé de :*

<i>Mme CHEIKH Assira</i>	<i>MCB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Présidente</i>
<i>Mme FERRAG Fatiha</i>	<i>MCA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>Mme ALI Oumessaad</i>	<i>MCB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Promotrice</i>
<i>Mme CHIKHI Akila</i>	<i>Responsable de laboratoire</i>	<i>SEAAL</i>	<i>Invitée</i>

*Session 2021 / 2022*

# *Remerciements*

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de la station de traitement TAKSEBT de Tizi-Ouzou (SEAAL).

Nous devons premièrement exprimer notre respect et reconnaissance à notre promotrice M<sup>me</sup> ALI Oumesaad, Maitre de conférences (B) à l'université de Tizi-Ouzou, qui a proposée cette thématique intéressante et qui a acceptée de nous encadrer, Merci pour votre suivi, votre soutien, vos conseils, votre disponibilité et votre patience. On ne vous remerciera assez jamais pour vos différentes orientations.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du personnel de la station TAKSEBT de Tizi-Ouzou et tout particulièrement M<sup>me</sup> CHIKHI Akila la responsable du laboratoire à la station SEAAL, ainsi que les cadres d'analystes du laboratoire M<sup>f</sup> Haddadi, M<sup>me</sup> Khiali, M<sup>elle</sup> Bachi, et M<sup>me</sup> Aklouat, pour leurs disponibilité et leurs attention particulière à notre travail.

Nos vifs remerciements vont à M<sup>me</sup> CHIKH Assira Maitre de conférence (B) à l'UMMTO pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider ce jury de notre soutenance.

Nos remerciements vont aussi à M<sup>me</sup> FERRAG Fatiha Maitre de conférence (A) à l'UMMTO d'avoir accepté d'examiner ce travail.

On remercie infiniment les ingénieurs du laboratoire de master chimie de l'environnement du département de chimie M<sup>me</sup> Rabiaa et M<sup>me</sup> Ounissa.

Nous remercions chaleureusement nos familles qui nous ont soutenu et contribuer à la concrétisation de ce travail.

Enfin, on exprime notre profonde reconnaissance envers tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

**CHABA & SEGhilani**

# Sommaire

Listes des figures.....	I
Liste des tableaux .....	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction générale.....	1

## Partie bibliographique

### Chapitre I: les eaux de surface et la station de traitement TAKSEBT

I.1 Les eaux de surface .....	5
I.2 Pollution des eaux de surfaces .....	6
I.2.1 Source de pollution des eaux du barrage TAKSEBT .....	6
I.3 Description du barrage TAKSEBT .....	6
I.4 Station de traitement TAKSEBT .....	7
I.5 Chaîne de traitement d'eau du barrage .....	7
I.5.1 Ouvrage d'entrée (chambre de dissipation) .....	8
I.5.2 Chambre de mélange (injection des réactifs).....	8
I.5.3 Décanteurs.....	8
I.5.4 Filtration.....	8
I.5.5 Désinfection et stockage de l'eau traitée .....	9
I.6 Qualité de l'eau de barrage .....	9
I.6.1 A l'entrée de la station (eau brute).....	9
I.6.2 A la sortie de la station (eau traitée) .....	10
I.7 Normes de potabilité.....	11

## Chapitre II: Coagulation-floculation

II.1 Particules colloïdales .....	13
II.2 Types des colloïdes.....	14
II.2.1 Colloïdes hydrophiles .....	14
II.2.2 Colloïdes hydrophobes .....	14
II.3 Coagulation-floculation .....	14
II.3.1 La coagulation .....	15
II.3.2 La floculation.....	15
II.3.2.1 Floculation péricinétique .....	16
II.3.2.2 Floculation orthocinétique .....	16
II.4 Facteurs influençant la coagulation-floculation .....	16
II.4.1 Influence de la température .....	16
II.4.2 Influence du pH .....	17
II.4.3 Influence de la turbidité.....	17
II.4.4 Influence de la dose de coagulant.....	17
II.4.5 Influence de l'agitation.....	18
II.5 Coagulants et floculants.....	18
II.5.1 Les coagulants .....	18
II.5.2 Les floculants.....	19
II.5.2.1 Floculant de type polymère (polyélectrolyte) synthétique .....	19
II.5.2.2 Les biofloculants.....	20
II.5.2.2.1 Cactus .....	20

II.5.2.2.2 Aloe Vera.....	21
II.5.2.2.3 Graines de lin.....	22
II.5.2.2.3 Graines de Cresson .....	23

## **Etude expérimentale**

### **Chapitre III: Matériels et méthodes**

III. Matériels et méthodes.....	26
III.1 Matériels.....	26
III.1.1 Matériels utilisés au niveau de la station TAKSEBT.....	26
III.1.2 Produits utilisés .....	27
III.2 Méthodes expérimentales et analytiques.....	27
III.2.1 Préparation du gel de cactus.....	27
III.2.2 Préparation de la poudre de cactus .....	28
III.2.3 Préparation du gel d’Aloe vera.....	28
III.2.4 Préparation du gel des graines de lin et graines de cresson .....	29
III.2.5 Préparation de l’eau traitée.....	29
III.2.6 Jar test.....	30
III.2.6.1 Détermination du pH optimal.....	30
III.2.6.2 Détermination de la dose optimale du coagulant .....	31
III.2.6.3 Détermination de la dose optimale du flocculant.....	31
III.2.6.4 Détermination de la dose optimale des flocculants organiques .....	31
III.2.6.5 Détermination du temps de décantation .....	31
III.2.7 Les paramètres et méthodes de caractérisation de l’eau après décantation.....	32

## Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1 Caractérisation de la matière végétale .....	35
IV.1.1 Caractérisation spectrale des bio-floculants.....	35
IV.1.1.1 Spectre IR du cactus.....	36
IV.1.1.2 Spectre IR de l'Aloe vera.....	37
IV.1.1.3 Spectre IR des graines de lin.....	38
IV.1.1.4 Spectre IR des graines de cresson .....	39
IV.2 Caractérisation physico-chimique de l'eau de barrage TAKSEBT .....	40
IV.3 Caractérisation de l'eau dopée .....	41
IV.4 Essais de traitement de l'eau de barrage par coagulation-floculation.....	42
IV.4.1 Sulfate d'Alumine (Alun) .....	42
IV.4.1.1 Détermination du pH optimal .....	42
IV.4.1.2 Détermination de la dose optimale du coagulant $Al_2(SO_4)_3$ .....	43
IV.4.1.3 Détermination de la dose optimale des floculants utilisés avec le coagulant $Al_2(SO_4)_3$ .....	44
a- Polymère SEAAL.....	44
b- Cactus .....	45
c- Aloe vera .....	46
d- Graines de lin.....	47
e- Graines de cresson.....	48
IV.4.2 Chlorure ferrique.....	50
IV.4.2.1 Détermination du pH optimale.....	50
IV.4.2.2 Détermination de la dose optimale du coagulant $FeCl_3$ .....	51
IV.4.2.3 Détermination de la dose optimale des floculants utilisés avec le coagulant Chlorure Ferrique .....	52

a- Polymère SEAAL .....	52
b- Cactus .....	53
c- Aloe vera.....	54
d- Graines de lin.....	55
e- Graines de cresson .....	56
IV.4.3 Le pouvoir coagulant et floculant des gels naturels .....	57
IV.4.4 Pouvoir floculant de la poudre de cactus .....	61
IV.4.5 Influence du temps de décantation.....	63
IV.5 La consommation d'alcalinité.....	64
IV.5.1 Cas de $Al_2(SO_4)_3$ et $FeCl_3$ .....	64
IV.5.2 Cas des gels naturels .....	65
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>67</b>

## **Références bibliographiques**

### **Annexe**

### **Résumé**

## Listes des figures

Figure I.1: Barrage de TAKSEBT.....	7
Figure II.1: Procédé de coagulation-floculation.....	15
Figure II.2: Mécanisme de formation des floes.....	15
Figure II.3: Figuier de barbarie .....	20
Figure II.4: Aloe vera .....	21
Figure II.5: Composition général du gel d'Aloe vera .....	22
Figure II.6: Graines de lin .....	22
Figure II.7: Graines de cresson .....	23
Figure III.1: Etapes de préparation du gel de cactus .....	27
Figure III.2: Etapes de préparation de la poudre de cactus .....	28
Figure III.3: Etapes de préparation du gel d'Aloe vera.....	28
Figure III.4: Etapes de préparation des gels des graines de lin et cresson .....	29
Figure III.5: Pesée de l'argile .....	29
Figure III.6: Jar test .....	30
Figure III.7: Décantation .....	31
Figure IV.1: Spectre IR de la poudre de cactus.....	36
Figure IV.2: Spectre IR de la poudre d'Aloe vera .....	37
Figure IV.3: Spectre IR de la poudre des graines de lin.....	38
Figure IV.4: Spectre IR de la poudre des graines de cresson.....	39
Figure IV.5: Effet de la variation du pH sur la turbidité et l'Aluminium résiduel.....	42
Figure IV.6: Effet de la dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3$ sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .....	43

Figure IV.7: Effet de la variation des différentes doses du polymère SEAAL sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .....	44
Figure IV.8: L'influence du gel de cactus sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .....	45
Figure IV.9: L'effet de la variation des doses d'Aloe vera sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .....	46
Figure IV.10: Effet de la variation des doses du gel des graines de lin sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .....	47
Figure IV.11: Effet de la variation des doses du gel des graines de cresson sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .....	48
Figure IV.12 : Eau avant et après traitement.....	49
Figure IV.13: Effet de la variation du pH sur la turbidité en présence de chlorure ferrique .....	50
Figure IV.14: Effet de la variation des doses de FeCl <sub>3</sub> sur la turbidité et le taux du Fer résiduel .....	51
Figure IV.15: Effet de la variation des doses du polymère SEAAL sur la turbidité et le Fer résiduel .....	52
Figure IV.16: Effet de la variation des doses du gel de cactus sur la turbidité et le Fer résiduel .....	53
Figure IV.17: Effet de la variation des doses du gel d'Aloe vera en fonction de la turbidité et le Fer résiduel .....	54
Figure IV.18 : Taux d'abattement (%) de la réduction de la turbidité .....	54
Figure IV.19: Effet de la variation des doses du gel des graines de lin sur la turbidité et le Fer résiduel .....	55
Figure IV.20: Effet de la variation des doses du gel des graines de cresson sur la turbidité et le Fer résiduel .....	56
Figure IV.21 : Eau avant et après traitement.....	57

Figure IV.22: Le pouvoir coagulant et flocculant des gels naturels .....	57
Figure IV.23: Les taux d'abattement de la réduction de la turbidité pour les différents coagulants.....	58
Figure IV.24: Variation de la turbidité en fonction des doses de chaque combinaison .....	59
Figure IV.25: Les taux d'abattement de la turbidité pour les différentes combinaisons (coagulant-flocculant) .....	60
Figure IV.26: Effet de la poudre de cactus en fonction de la turbidité .....	61
Figure IV.27 : Taux d'abattement de la turbidité des différentes combinaisons .....	62
Figure IV.28: Influence du temps de décantation sur la turbidité et l'Aluminium résiduel .	63
Figure IV.29: Influence du temps de décantation sur la turbidité et le Fer résiduel .....	63
Figure IV.30: L'effet de la variation des doses d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et $\text{FeCl}_3$ sur le TAC .....	64
Figure IV.31: Taux d'élimination de TAC ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et $\text{FeCl}_3$ ) .....	64
Figure IV.32: L'effet de la variation des doses des gels naturels sur le TAC.....	65
Figure IV.33: Taux d'élimination du TAC en fonction des doses des gels naturels.....	65

## Liste des tableaux

Tableau I.1: Qualité de l'eau à l'entrée de la station du mois 04/2022.....	9
Tableau I.2: Qualité de l'eau à la sortie de la station du mois 04/2022 .....	10
Tableau I.3: Normes OMS et Algériennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques appliquées pour les eaux du barrage TAKSEBT .....	11
Tableau II.1: Temps de chute des particules de différentes tailles.....	13
Tableau II.2: Les zones de prédominances des hydroxydes de fer et d'aluminium.....	17
Tableau II.3: Dérivés des sels d'aluminium et de fer.....	19
Tableau IV.1: Caractéristiques physico-chimiques des gels .....	35
Tableau IV.2: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre de cactus.....	36
Tableau IV.3: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre d'Aloe vera.....	37
Tableau IV.4: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre des graines de lin.....	38
Tableau IV.5: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre des graines de cresson .....	39
Tableau IV.6: Caractéristiques d'eau de barrage durant le mois de Mai 2022 .....	40
Tableau IV.7: Caractéristiques d'eau de barrage après l'ajout de l'argile .....	41
Tableau IV.8: Caractéristiques physico-chimiques du surnageant après jar test .....	49

## Liste des abréviations

MES: Matière En Suspension.

pH: Potentiel d'Hydrogène.

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

ADE: Algérienne des eaux.

SEAAL: Société des eaux de l'assainissement d'Alger (station de traitement d'eau potable d'Algérie).

BV: Bassin versant.

IR: Spectrométrie infrarouge.

TA: Titre alcalimétrique.

TAC: Titre alcalimétrique complet.

ALA: Acide alpha-linolénique.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

al: Allongement.

déf: Déformation.

mg/L: Milligramme par litre.

Km: Kilomètre.

ml: Millilitre.

m<sup>3</sup>/J: Mètre cube par joule.

μS/cm: Micro Siemens par centimètre.

g: Gramme.

min: Minute.

UV: Ultra Violet.

L'eau, source de la vie sur terre, est aussi le vecteur principal du développement de tous les éléments minéraux ou organiques [1]. Elle représente à l'heure actuelle, la source naturelle la plus indispensable mais aussi la plus menacée par les activités humaines [2].

Etant une ressource vitale pour l'homme, mais aussi le réceptacle universel de tout type de pollution, il est donc essentiel de préserver l'eau. Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel, les polluants peuvent être transportés par l'eau à toutes les étapes de son cycle [3]. Ces contaminants sont très dangereux pour la vie aquatique et terrestre et, par conséquent, pour les humains qui sont exposés à ces toxines d'une manière ou d'une autre.

De nombreux travaux ont été menés afin d'éliminer, par voie physico-chimique (coagulation-floculation) les polluants et les matières en suspension présentes dans l'eau. Ce procédé passe par plusieurs étapes de traitement où chaque étape nécessite l'utilisation des produits chimiques tels que les sels minéraux et les polymères synthétiques.

Dans le traitement de clarification d'une eau de surface, on utilise les sels d'aluminium ou de fer comme coagulant, la présence de trace de ces produits dans l'eau peut poser un problème sanitaire majeur. En effet, les sels d'aluminium apportés par le coagulant pénètrent préférentiellement dans les cellules cérébrales et bloquent leur fonctionnement. Ce processus pourrait entrer en cause dans la genèse de la maladie d'Alzheimer et d'autres maladies analogues [4].

Ces produits synthétiques ont des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement, cependant chercher des produits alternatifs devient une nécessité cruciale. Dans un contexte sanitaire, environnementale et de développement durable, nous allons concentrer notre étude sur l'intégration des produits biodégradables dans le processus de traitement des eaux. Raison pour laquelle, nous avons choisi de tester l'efficacité des produits naturels (cactus, Aloe vera, graines de lin et graines de cresson) et biodégradables dans le traitement des eaux potables.

Notre étude a pour but de substituer les produits synthétiques utilisés lors de la coagulation-floculation par d'autres produits naturels. En premier lieu, vient l'étude bibliographique dont le premier chapitre donne un aperçu sur les eaux de surface, la présentation du barrage TAKSEBT et sa station de traitement, le second chapitre présente les notions relatives au procédé de coagulation-floculation et les bio-floculants.

La deuxième partie portera sur l'étude expérimentale. Cette dernière débutera par la description du matériel ainsi que les différentes méthodes expérimentales utilisées. Le dernier chapitre (le chapitre IV) regroupe l'ensemble des résultats avec leurs interprétations et discussions.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats de cette étude.

# **Chapitre I**

## **Les eaux de surface et la Station de traitement TAKSEBT**

L'existence de l'être humain et de son environnement dépend de la présence de l'eau. Cependant, les milieux aquatiques subissent des pressions liées aux activités humaines, agricoles, industrielles, et domestiques. L'eau dont nous disposons dans la nature, notamment les eaux de surface ne sont pas directement utilisables, car lors de leurs circulations dans le sol, elles se polluent et se chargent de matières en suspension. Elles deviennent donc indispensables de les traiter pour les rendre propre et consommable, c'est ce qui se fait au niveau des stations de traitement des eaux potables.

## **I.1 Les eaux de surface**

Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit les eaux de ruissellement des bassins versant (BV). Elles peuvent se trouver en réserves naturelles (lacs, rivières) ou artificielles (retenues, barrages) [5].

La composition chimique de ces eaux dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant ses parcours dans l'ensemble du BV. Elles se chargent en gaz (azote, oxygène, dioxyde de carbone et gaz rares) [6].

Elles contiennent :

- Des éléments issus de la dissolution des roches et des terrains traversés, qui sont responsables du pH et de la conductivité ;
- Des concentrations importantes en MES très diverses et des colloïdes minéraux qui sont responsables de la turbidité. Elles sont assez riches en matière organique provenant :
  - Des déchets des végétaux et des animaux vivants à la surface du bassin versant ;
  - Des produits de la décomposition des organismes vivants, métabolites des algues et des micro-organismes ;
  - Des rejets urbains, industriels et agricoles,

Elles sont aussi le siège du développement d'une charge bactérienne importante [7].

## **I.2 Pollution des eaux de surface**

La pollution est la détérioration de l'environnement par des substances chimiques, physiques ou organiques qui ne peuvent pas être éliminées naturellement. Elle désigne l'introduction directe ou indirecte de l'activité humaine [8].

Une eau est dite polluée lorsque sa qualité est dégradée, et est une altération des qualités naturelles (physique ou chimique) qui rend son utilisation dangereuse et inadéquate aux usages souhaités. Elle concerne les eaux de surface ou souterraine [9].

### **I.2.1 Sources de pollution des eaux du barrage TAKSEBT**

Ces eaux sont susceptibles d'être exposées à diverses sources de pollution de différents types notamment; l'agriculture, l'industrie et l'urbanisme. Son bassin versant ne comprend pas de grandes activités industrielles mis à part quelques activités artisanales (bijouteries, lavage graissage, huileries).

L'activité agricole est presque absente mis à part quelques cultures maraichères et l'élevage artisanal.

La pollution urbaine n'arrive pas dans le barrage vu le faible débit des rejets domestiques, ainsi que la nature du terrain perméable et le boisement du bassin versant qui favorise l'autoépuration. La pollution peut-être aussi naturelle, tel le cas survenu au cours de l'année 2016/2017, c'était un début d'eutrophisation [10].

## **I.3 Description du barrage TAKSEBT**

Le barrage TAKSEBT est situé dans la région pluviométrique Oued Aissi dans la wilaya de Tizi-Ouzou, se trouve à 10 km de L'Est de la ville Tizi-Ouzou et à 100 km de la ville d'Alger. Il est alimenté par les eaux de pluies, des eaux usées, de la fonte du manteau neigeux de Djurdjura et par les affluents de Oued Aissi de Sebaou.

Ce barrage est doté d'une capacité de stockage de  $175\text{m}^3$  destinée à l'alimentation en eau potable répartie comme suit :

- $235\,000\text{ m}^3/\text{J}$  pour Alger ;
- $173\,000\text{ m}^3/\text{J}$  pour Tizi-Ouzou ;
- $60\,000\text{ m}^3/\text{J}$  pour Boumerdès.



**Figure I.1: Barrage de TAKSEBT**

#### **I.4 Station de traitement TAKSEBT**

La station TAKSEBT est située dans la wilaya de Tizi-Ouzou environ 8 km du barrage, elle a été dimensionnée pour traiter un débit d'eau maximal de  $616\,000\text{ m}^3/\text{J}$ . L'eau qui alimente la station arrive du barrage d'une façon gravitaire, elle subit différentes étapes de traitement quotidien depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la station. Cette dernière a pour but de traiter cette eau afin qu'elle soit potable et transférée aux réservoirs de l'ADE et distribuée aux consommateurs.

#### **I.5 Chaîne de traitement d'eau du barrage**

L'eau brute provenant du barrage subit un traitement éventuel avant son acheminement vers la station de pompage d'arrivée. La station de traitement comporte :

- Un ouvrage d'arrivée (arrivée de l'eau brute)
- Chambre de mélange (appartient à l'ouvrage d'arrivée)
- Deux filières de traitement chacune comprenant 04 décanteurs et 12 filtres

### I.5.1 Ouvrage d'entrée (chambre de dissipation)

L'eau brute acheminée arrive avec un débit de 616 000 m<sup>3</sup> /j dans cette chambre qui sert à tranquilliser le débit et assurer une bonne aération et un temps de contact nécessaire en cas d'une pré-chloration. Cette dernière est l'injection du chlore gazeux liquéfié à effet de limiter la présence de microorganismes, tels que les algues, les bactéries et les planctons, susceptibles de proliférer dans les filières de traitement.

### I.5.2 Chambre de mélange (injection des réactifs)

L'eau brute passe ensuite à travers la chambre de mélange. Cet ouvrage assure un temps de contact suffisant pour que le mélange des réactifs soit homogène et muni de chicane. Les réactifs suivants sont injectés dans le sens du flux :

- **Permanganate de potassium** : limite la présence de manganèse, et améliore la qualité organoleptique de l'eau.
- **Charbon actif en poudre** : contrôle le goût et les odeurs.
- **Sulfate d'alumine Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>** : en tant que coagulant élimine les matières en suspension colloïdale.
- **Acide sulfurique** : ajuste le pH (diminution) pour optimiser la coagulation-floculation.

### I.5.3 Décanteurs

A la sortie de la chambre de mélange, le polymère est ajouté en permettant la formation de floccs, facilement décantés. La décantation a pour but de séparer les particules flocculées de l'eau clarifiée. Les particules colloïdales ne peuvent-être décantées efficacement que si elles entrent en contact entre elles pour former des floccs de plus grande taille.

### I.5.4 Filtration

La filtration est le processus qui vient juste après la décantation. L'eau venant des décanteurs passe par gravité à travers 24 filtres à sable de granulométrie homogène. Le rôle des filtres qui fonctionnent en alternance par groupe de 12, est d'éliminer les matières en suspension.

## I.5 Désinfection et stockage de l'eau traitée

C'est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant sa distribution. Elle permet d'éliminer tout microorganisme pathogène présent dans l'eau par l'ajout des agents chimiques tel que le chlore.

Les réservoirs d'eau traitée jouent le rôle de bassin de stockage. Ils débouchent dans une chambre de sortie qui assure la distribution de l'eau vers les conduites de sortie d'eau traitée.

## I.6 Qualité de l'eau de barrage

### I.6.1 A l'entrée de la station (eau brute)

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute sont regroupées dans le tableau I.1.

Tableau I.1. Qualité de l'eau à l'entrée de la station du mois 04/2022

Paramètres	Unités	Valeurs indicatives	
		Min	Max
Température	C	12,15	16,15
pH	/	7,36	7,71
Conductivité	µS/cm	485	524
Turbidité	NTU	1,19	12,34
Oxygène dissout	mg/L	5,44	7,19
UV	abs/cm	0,064	0,0095
Couleur	Hz	13	15
Dureté	°F	26	26
Dureté calcique	°F	14,1	14,1
Calcium	mg/L	58,4	58,4
Magnésium	mg/L	29,16	29,16
Chlorures	mg/L	30,48	30,48
HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	172,02	172,02
Fer	mg/L	0,03	0,06
Manganèse	mg/L	0	0,008
Matière organique	mg O <sub>2</sub> /L	1,08	2,76
Nitrite	mg/L	0	0,036
Nitrate	mg/L	0,516	0,516
Ammonium	mg/L	0	0
Phosphate	mg/L	0,07	1,37
Bactéries coliformes	UFC/100ml	0	0
Escherichia.Coli	UFC/100ml	0	0
Entérocoque intestinaux	UFC/100ml	0	0
Chlorophylle	UFC/100ml	0	0
Spores ASR	UFC/100ml	0	0
Algues	Cellule/ml	0	0

### I.6.2 A la sortie de la station (eau traitée)

La station de traitement TAKSEBT assure la fiabilité d'alimentation en eau potable et répond aux normes, tout en effectuant des analyses physico-chimiques et bactériologiques au niveau du laboratoire [11].

**Tableau II.2: Qualité de l'eau à la sortie de la station du mois 04/2022**

Paramètres	Unités	Valeurs indicatives	
		Min	Max
Température	C	11,75	16,65
pH	/	7,40	7,74
Conductivité	µS/cm	504	541
Turbidité	NTU	0,12	0,33
Oxygène dissout	mg/L	8,91	10,23
UV	abs/cm	0,046	0,062
Couleur	Hz	0	5
Dureté	°F	28,2	28,2
Dureté calcique	°F	13,3	13,3
Calcium	mg/L	60,8	60,8
Magnésium	mg/L	31,59	31,59
Chlorures	mg/L	31,9	31,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	162,26	162,26
Fer	mg/L	0	0,02
Aluminium	mg/L	0,059	0,183
Manganèse	mg/L	0	0
Matière organique	mgO <sub>2</sub> /L	0,54	1,53
Nitrite	mg/L	0	0,016
Nitrate	mg/L	0,287	0,287
Ammonium	mg/L	0	0
Phosphate	mg/L	0,05	0,35
Bactéries coliformes	UFC/ml	0	0
Escherichia. Coli	UFC/ml	0	0
Entérocoque intestinaux	UFC/ml	0	0
Chlorophylle	UFC/ml	0	0
Spores ASR	UFC/ml	0	0
Algues	UFC/ml	0	0

## I.7 Normes de potabilité

Une eau potable est une eau qui satisfait un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine.

Cette potabilité est indiquée par des valeurs guides qui visent à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé, une mauvaise qualité de l'eau découle souvent d'une contamination chimique ou bactériologique [12].

Afin de définir la potabilité des eaux traitées du barrage TAKSEBT, les valeurs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques doivent répondre aux normes Algériennes et celles de l'OMS (**tableau I.3**).

**Tableau I.3 : Normes OMS et Algériennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques appliquées pour les eaux du barrage TAKSEBT [13].**

Paramètres	Unités	Normes OMS	Normes Algérienne
Température	°C	Aucune valeur guide	25
Concentration en ions hydrogène	pH	Aucune valeur guide, mais un optimum de 6,5-8,5	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9$
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Non mentionnée	2800
Turbidité	NTU	Aucune valeur guide	5
Oxygène dissout	mg/L	Aucune valeur guide	8
Couleur	Hazen	Aucune valeur guide, mais une valeur détectable à 15Hz	15
Chlore	mg/L	5	5
Dureté	mg/L	Aucune valeur guide	200
Calcium	mg/L	Non mentionnée	200
Chlorures	mg/L	Aucune valeur guide	500
Potassium	mg/L	Aucune valeur guide	12
Aluminium	mg/L	0,2	0,2
Fer (total)	mg/L	Aucune valeur guide	0,3
Manganèse	mg/L	0,4	0,05
Nitrite	mg/L	3	0,2
Nitrate	mg/L	50	50
Coliformes	UFC/ml	/	0
Escherichia. Coli	UFC/ml	/	0
Entérocoques	UFC/ml	/	0
Spores	UFC/ml	/	0

# **Chapitre II**

## **Coagulation-floculation**

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser, c'est à dire de faciliter leur agglomération. La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un flocc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration.

Dans ce chapitre, avant de présenter des notions relatives aux bio-floculants utilisés, nous citons priori les caractéristiques des particules en suspension (colloïdes), puis nous décrivons les différentes techniques qui permettent de les déstabiliser.

## II.1 Particules colloïdales

Les particules colloïdales dans une eau de surface proviennent de l'érosion des terres, de la dissolution de substances minérales et de la décomposition de substances organiques. Elles présentent un diamètre compris entre  $1\mu\text{m}$  et  $1\text{nm}$ . Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation [14].

**Tableau II.1: Temps de chute des particules de différentes tailles**

Diamètres des particules	Type de particules	Temps de chute pour 1m d'eau
10mm	Gravier	1 seconde
1mm	Sable	10seconde
0,1mm	Sable fin	2minute
$10\mu\text{m}$	Protozoaires, algues et argile	2heures
$1\mu\text{m}$	Bactéries	8jours
$0,1\mu\text{m}$	Virus, colloïdes	2ans
10nm	Virus, colloïdes	20ans
1nm	Virus, colloïdes	200ans

## II.2 Types des colloïdes

Les particules colloïdes sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles [15].

### II.2.1 Colloïdes hydrophiles

Les hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique. Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leurs agglomérations [15].

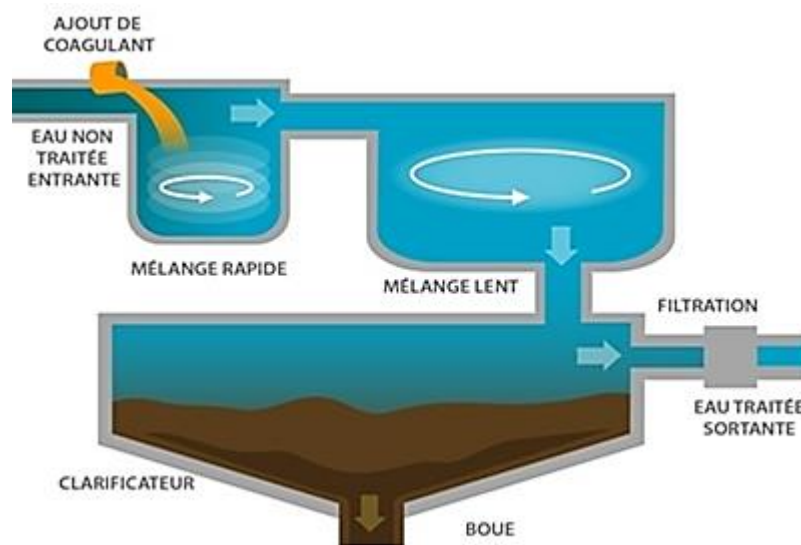
### II.2.2 Colloïdes hydrophobes

Les hydrophobes sont des micelles ou agrégats de molécules simples, dissoutes et qui comprennent la plupart des corps de la chimie minérale. Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée. On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques. Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles [15].

## II.3 Coagulation-floculation

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (matières en suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floccs dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physico-chimique qui permet d'éliminer les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales [16].

Le procédé de coagulation-floculation a pour but, la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation, puis formation de floccs par adsorption et aggrégation [17]. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite, comme le montre la figure II.1 :



**Figure II.1: procédé de coagulation-floculation**

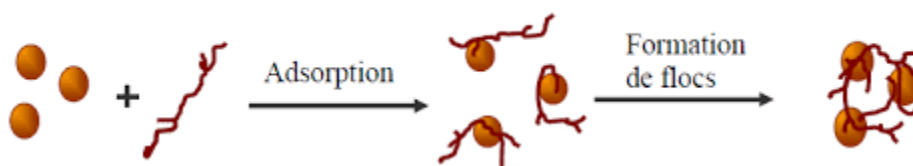
### II.3.1 La Coagulation

Le but de la coagulation est de déstabiliser les particules colloïdales. Cela permet aux particules de s'agglomérer et de décanter plus rapidement. Des réactifs chimiques nommés coagulants sont utilisés. Le procédé nécessite une agitation rapide.

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût [18].

### II.3.2 La Floculation

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres ; c'est la floculation. Le floc ainsi formé, peut décanter, flotter ou filtrer [19]. Des produits chimiques ou naturels nommés floculants sont utilisés. Le procédé nécessite une agitation lente.



**Figure II.2 Mécanisme de formation des floes**

Deux types de floculation peuvent avoir lieu:

### II.3.2.1 Floculation péricinétique

En cas de floculation péricinétique, les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire (agitation désordonnée) de celles-ci, dit mouvement brownien [14]. Ce dernier est influencé par la température du milieu. En effet, l'énergie thermique est stockée par le fluide sous la forme d'énergie cinétique des particules. À l'équilibre, toutes les particules possèdent la même énergie cinétique [20].

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2 \dots \dots (1)$$

$E_C$ : Energie cinétique (J)

$m$ : Masse (kg)

$v$ : Vitesse (m/s)

### II.3.2.2 Floculation orthocinétique

La floculation orthocinétique est provoquée par une agitation mécanique. Celle-ci facilite l'agrégation en augmentant la probabilité des collisions entre les particules. La vitesse du fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par le gradient de vitesse. Elle est responsable en grande partie du phénomène de floculation [20].

## II.4 Facteurs influençants la coagulation-Floculation

Le processus de coagulation est un procédé complexe et peut être influencé par plusieurs facteurs. Pour optimiser ce procédé, il faut tenir compte de plusieurs variables comme la température, le pH, la dose de coagulant, la turbidité et les conditions de mélange, qui ont un impact non négligeable. Toutefois, il convient de préciser que d'autres paramètres sont importants, tels que la couleur, et le potentiel zêta [21].

### II.4.1 Influence de la température

L'expérience révèle que durant l'hiver, lorsque la température avoisine 0°C le floc se décante plus difficilement. Par ailleurs, une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité, c'est ce qui explique la difficulté de décantation du floc.

## II.4.2 Influence du pH

Le pH est un des paramètres qui affectent beaucoup plus la coagulation-floculation. Son contrôle est donc conseillé. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant une meilleure coagulation. Ce pH se situe souvent dans la plage où la solubilité du coagulant utilisé est minimale, ce qui donne une meilleure précipitation. Le contrôle du pH permet aussi d'améliorer la coagulation lorsque la température de l'eau est faible. Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.2: les zones de prédominances des hydroxydes de fer et d'aluminium**

Forme prédominante	pH
Al (OH) <sub>3</sub>	5,8 à 7,2
Fe (OH) <sub>3</sub>	5,5 à 8,3

Pour que la coagulation puisse se produire hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité.

En général, le temps de coagulation est compris entre 15secondes et 03minutes [21].

## II.4.3 Influence de la turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre qui influe sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant. Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation.

## II.4.4 Influence de la dose de coagulant

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Il est très important de prendre en compte la dose de coagulant ajoutée, car un excès peut provoquer la re-stabilisation de la matière colloïdale qui est susceptible de rester à la surface. Aussi les sites d'adsorption des particules colloïdales ne seraient plus disponibles pour la formation des ponts inter-particulaires.

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.

Bien souvent, la dose de coagulant conditionne le fonctionnement des ouvrages de séparation et il se trouve tout simplement impossible de réaliser la clarification si cette dose est mal ajustée [22].

#### II.4.5 Influence de l'agitation

L'injection du coagulant doit être extrêmement énergétique pour qu'il se disperse rapidement et uniformément dans toute la masse d'eau. Ceci est dû à l'importance du contact entre les paramètres et le coagulant évitant la déperdition de ce dernier dans l'eau, et à l'instabilité de certaines espèces (en particulier les espèces poly cationiques) qui tendent à s'hydrolyser, ce qui défavorise le processus.

La coagulation nécessite une vitesse rapide (importante), afin de bien mélanger l'eau et de neutraliser les colloïdes et les cations métalliques. Alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente, afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floes déjà formés.

### II.5 Coagulants et floculants

Les réactifs de coagulation-floculation sont des produits d'origine minérale (sels d'aluminium et de fer) dans le cas de coagulation, et des polymères (naturels ou biosynthétiques) dans le cas de floculation.

- **Coagulant** : une substance chimique qui cause la déstabilisation des particules.
- **Floculant** : un polymère qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des floes.

#### II.5.1 Les coagulants

Le type de coagulant et la dose ont une influence sur : la bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée, le bon ou le mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration et le coût d'exploitation. Les coagulants les plus efficaces sont cités dans le tableau(II.3) suivant :

Tableau II.3: Dérivés des sels d'aluminium et de fer

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

Le sulfate d'aluminium ou alun ( $Al_2(SO_4)_3$ ), et le chlorure ferrique ( $FeCl_3$ ) sont les deux produits les plus utilisés pour le traitement de l'eau potable. Il était établi initialement que les ions positifs ( $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ ) avaient pour effet de neutraliser les charges et donc annuler les forces de répulsion entre les particules, mais il a été montré plus récemment que la coagulation était générée par les produits de l'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer. Lorsqu'on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes,  $Al(OH)_3$  ou  $Fe(OH)_3$ , des composés insolubles [14].

## II.5.2 Les flocculants

L'utilisation du coagulant seul (pour certains polluants) ne permet pas d'obtenir une bonne coagulation-floculation. L'ajout d'un aide-coagulant (adjuvant de floculation) permet d'améliorer les performances du procédé de coagulation-floculation.

### II.5.2.1 Flocculant de type polymère (polyélectrolyte) synthétique

Les polymères de synthèses sont des composés de petites molécules porteuses d'une charge électrique polymérisées en longue chaîne. Leur synthèse est réalisée soit par polymérisation d'un monomère ionisable, soit par ionisation d'un polymère déjà formé. Ils peuvent être fabriqués en grande quantité, à haute pureté et avec une grande régularité dans l'enchaînement des monomères. L'intérêt de ces polyélectrolytes est leurs effets sur le grossissement des flocons [23].

Les flocculants synthétiques utilisés pour la potabilisation des eaux sont : le polyamide, le chlorure diallyl d'ammonium(DADMAC), la polyamine, et le polyacrylamide.

### II.5.2.2.2 Les bio-floculants

Les coagulants à base d'aluminium, de fer et même les polymères synthétiques sont très nocifs et leur toxicité est probante pour l'environnement. L'utilisation des polymères peut présenter des risques sanitaires avec la libération de monomère, tels que le formaldéhyde, l'acrylamide et la diméthylamine, qui sont des espèces toxiques, cancérigènes et résistantes à la biodégradation [24]. Cela a donc poussé quelques chercheurs à investiguer la possibilité d'utiliser des composés d'origine naturelle pour réaliser le procédé de coagulation-floculation.

Afin d'élargir la gamme des floculants naturels, nous nous sommes intéressées au mucilage (polymère complexe de nature glucidique) de cactus, d'Aloe vera, graines de lin et celui des graines de cresson.

#### II.5.2.2.1 Cactus (*Opuntia Ficus Indica*)

Le figuier de barbarie ou chapathiballi, est une plante originaire des régions arides et semi-arides du Mexique, qui a été introduite en Afrique du Nord vers le 16<sup>ème</sup> siècle [25]. C'est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5m de hauteur ses articles de couleur vert mat sont aplatis en forme de raquette [26] (figure II.3).



Figure II.3: figuier de barbarie

#### - **Composition chimique des cladodes de cactus**

Selon (Hadj sadok et al, 2008) [27], les jeunes cladodes, sont très riches en eau, soit 91 à 93% et les minéraux y représentent plus de 13% de la matière sèche. Par ailleurs, ils sont

riches en vitamine C, calcium, magnésium, potassium et leur valeur nutritive est proche de celle des épinards.

Les sucres sont présents sous forme polymérique (cellulose et amidon) ou monomérique. A ce propos, El Samahy et al. (2006) [25] ont montré que le mucilage du cactus contient du D-glucose, du D-galactose, de l'arabinose, du D-xylose et du L-rhamnose. Par ailleurs, elles sont composées d'acides organiques, d'acides aminés, ainsi que de composés phénoliques de type tanins et flavonoïdes et des protéines qui varient entre 4 et 10% de la composition chimique de cladode [25].

#### II.5.2.2.2 Aloe Vera

L'Aloe vera est une plante vivace originaire de l'Afrique du sud et de certaines îles de l'océan Indien, et appartient à la famille des Liliacées. Elle se caractérise par des feuilles vertes charnues, pointues et épineuses sur les bords qui peuvent atteindre 1m de hauteur [28]. Depuis une cinquantaine d'années, l'Aloe vera retient l'attention d'éminents chercheurs, notamment russes et américains, donnant lieu à de nombreux travaux analytiques, pharmacologiques et cliniques.



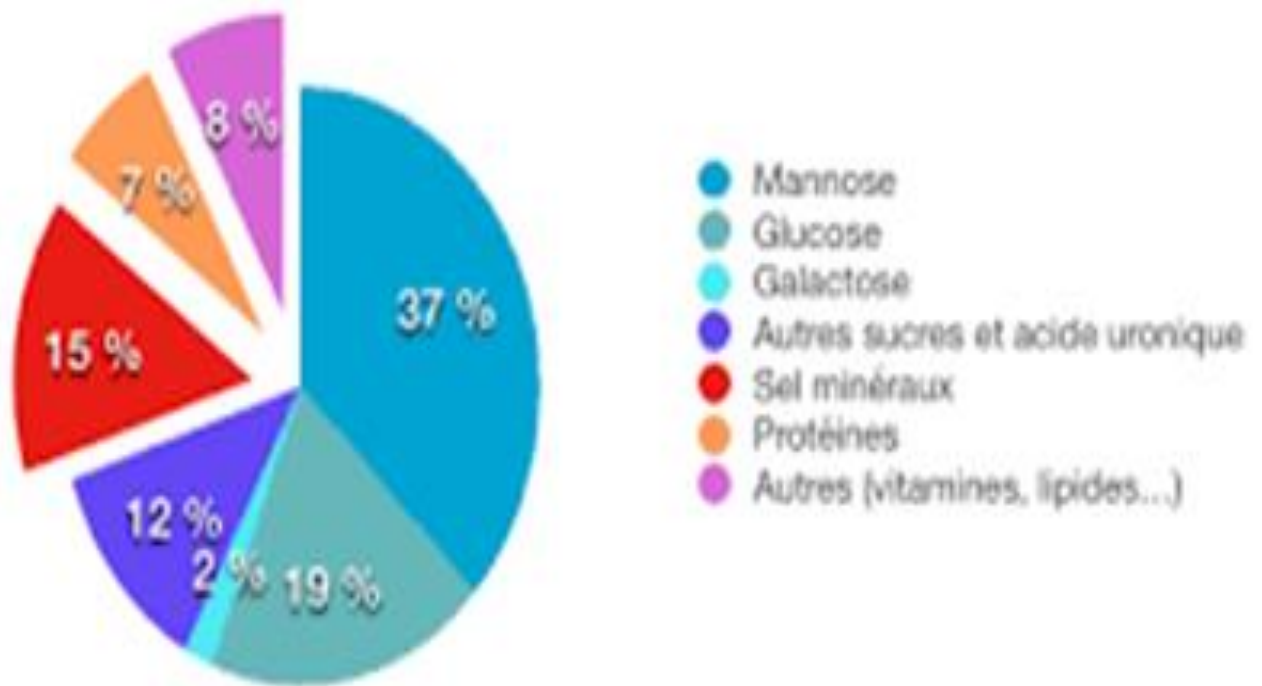
Figure II.4: Aloe Vera

#### - Composition chimique du gel d'Aloe vera

La feuille de l'Aloe vera contient plus de 200 substances actives. Toutes les principales propriétés et vertus de la plante sont concentrées dans sa partie la plus spectaculaire ; le gel ou la pulpe (mucilage) contenu à l'intérieur de la feuille. Le gel de l'Aloe vera est composé à 98% d'eau et ne contient donc que 2% de principes actifs.

Le gel est composé à plus de 70% de saccharides et polysaccharides et en particulier en chaînes linéaires de glucose et de mannose (Figure II.5).

De nombreuses autres substances seraient présentes dans le gel d'Aloe vera, il y'aurait notamment 7,3% de protéines (albumine), des vitamines (B1, B2, B6, C, E, D, A.), 15,4% de minéraux et oligoélément (390mg/L de potassium, 186mg/L de sodium, 313mg/L de calcium et 55mg/L de magnésium.), ainsi que 7% de composants organiques et lipides contenus dans le sel ( acide salicylique, lignines, acide urique,.....)[28].



**Figure II.5: Composition général du gel d'Aloevera**

### II.5.2.2.3 Graines de lin

La graine de lin est une graine oléagineuse produite par lin cultivé, une plante de la famille des linacées (linaceae) originaire d'Eurasie, consommée par les humains depuis le Néolithique.

La graine de lin est ovoïde, aplatie, arrondie à une de ses extrémités, pointue à l'autre. Son tégument est brun-rouge foncé ou jaune, lisse et brillant [29].



**Figure II.6: graines de lin**

#### - **Composition chimique des graines de lin**

Reconnues pour leur richesse en fibres et en Omega 3, les graines de lin compensent les antioxydants (Sélénium) et acides gras essentiels qui manquent cruellement dans notre alimentation moderne. La graine de lin est la ressource la plus riche en ALA (acide alpha-linolénique). ALA est un acide gras essentiel appartenant à la famille des Omega3.

Pour 100g de graines de lin, on trouve en moyenne : 42g d'acide gras, 27g de fibres, 23g d'Omega3, 5g d'Omega6 et 18g de protéines (dont quasiment tous les acides aminés essentiels). Elles contiennent des minéraux tels que le magnésium, le sodium, le cuivre, le phosphore, le calcium et le fer. Aussi, elles sont riches en lignanes et en vitamine B9 [30].

#### **II.5.2.2.4 Graines de cresson**

La graine de cresson provient de *Lepidium Sativum*; une plante annuelle à croissance rapide. Appartenant à la famille des brassicacées, son origine est inconnue mais on pense qu'elle provient principalement de la région montagneuse de l'Éthiopie [31].

Les graines de cresson sont petites, de forme ovale, pointues et triangulaires à une extrémité, lisses, et de couleur brun rougeâtre [32].



**Figure II.7: graines de cresson**

### - **Composition chimiques des graines de cresson**

Les graines de cresson contiennent une proportion élevée de vitamine C plus que celle trouvée dans les oranges. Le cresson est considéré comme une source riche en fer, en acide folique, en vitamines A et E, en fibres alimentaires, et en calcium. Il contient également une teneur élevée en acide ascorbique, en acide arachidique et en beta-carotène, ce qui contribue à améliorer le système immunitaire. Il contient aussi des protéines et des acides gras. Pour 100g de graines de cresson on trouve en moyenne : 1,1g de fibres alimentaires, 5,5g de glucides, 0,7g de lipides, 80µg d'acide folique, 346µg de vitamine A, 69mg de vitamine C, 81mg de calcium, 1,3mg de fer et 2,6mg de protéines [33].

# **Chapitre III**

## **Matériels et méthodes**

Ce travail a pour objectif le traitement d'une eau brute par procédé de coagulation-floculation, en utilisant deux coagulants ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) et des floculants naturels et synthétiques dans le but de déterminer les conditions optimales permettant un meilleur abattement de la turbidité, plus précisément trouver le meilleur floculant alternatif au polymère chimique actuellement utilisé, accessible et non dangereux sur la santé humaine.

Dans ce chapitre, seront présentés les différents matériels et méthodes suivis au cours de la réalisation de ce travail.

### **III. Matériels et méthodes**

#### **III.1 Matériels**

##### **III.1.1 Matériels utilisés au niveau de la station TAKSEBT**

- pH Mètre WTW avec terminal 730 et électrode en verre.
- Turbidimètre HACH 2100 NTU avec une cuvette de verre incolore de 25ml.
- Conductimètre, WTW avec terminal 740.
- Jar-test à six béchers (LOVIBOND).
- Etuve réglable BINDER.
- Balance analytique OHAUS adventure Pro.
- Agitateur magnétique (MR3001 k).
- Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000.
- Fourier transform infrared spectrophotometer SHIMADZU
- Verreries : béchers, pipettes, fioles, erlenmeyers, pissette....
- Barreaux magnétiques (MR3001 K).
- Burettes.
- Pycnomètre 25ml.
- Micropipettes (100-1000 $\mu\text{l}$ ).
- Seringues (1ml, 5ml, 50ml).
- Filtre en acétate de cellulose (0,45 $\mu\text{m}$  de diamètre des pores).

### III.1.3 Produits utilisés

- Polymère SEAAL.
- Acide sulfurique  $H_2SO_4$  (1N).
- Hydroxyde de sodium NaOH.
- Sulfate d'Alumine  $Al_2(SO_4)_3$ .
- Chlorure Ferrique  $FeCl_3$ .
- Acide Chloridrique HCl (0,1M).
- La phénophtaléine.
- Méthyle-orange.
- Solution EDTA.
- NET et Murixide.
- Kit LCK31.
- Argile.

## III.2 Méthodes expérimentales et analytiques

### III.2.1 Préparation du gel de cactus

Des cladodes de cactus ont été collectés au cours du mois d'Avril 2022 dans la région de MAATKAS. Après avoir enlevé les épines à l'aide d'un couteau, les cladodes ont été rincés et coupés en petits dés pour faciliter le mixage. Le gel extrait par filtration au tamisage a été conservé au réfrigérateur à 5°C dans l'obscurité.



Figure III.1: Étapes de préparation du gel de cactus

### III.2.2 Préparation de la poudre de cactus

Après avoir rincé (enlèvement des épines) et coupé les raquettes de cactus, nous les avons séchées à 60°C dans une étuve pendant 03jours. Suite au séchage, nous les avons réduites en poudre à l'aide d'un mortier puis tamisé la poudre obtenu afin d'avoir des particules de la même taille.



**Figure III.2: Etapes de préparation de la poudre de cactus**

### III.2.3 Préparation du gel d'Aloe vera

Les feuilles d'Aloe vera ont été récoltées au cours du mois d'Avril 2022 au niveau de la région de BOUMERDES. Les feuilles ont été rincées et coupées où la peau a été enlevée pour extraire le gel. Ce dernier a été mixé et conservé à 5°C dans l'obscurité comme le montre la figure suivante.



**Figure III.3: Etapes de préparation du gel d'Aloe vera**

### III.2.4 Préparation du gel des graines de lin et graines de cresson

Afin d'extraire le gel des graines de lin, nous avons mis 25g de graines de lin et 300ml d'eau dans une casserole. Puis, nous avons laissé le mélange bouillir pendant 10min en remuant régulièrement, afin de séparer les graines du gel, la solution subie ainsi une filtration. Le gel obtenu a été conservé au réfrigérateur à 5°C.

- Les mêmes étapes ont été appliquées pour extraire le gel des graines de cresson (25g des graines de cresson dans 500ml d'eau).



Figure III.4: Etapes de préparation des gels des graines de lin et cresson

### III.2.5 Préparation de l'eau traitée

L'eau du barrage TAKSEBT (eau brute), est une eau claire ayant une faible turbidité qui peut arriver jusqu'à 2 à 5 NTU. Pour voir l'efficacité des bio-floculants utilisées, l'eau a été dopée avec de l'argile pour atteindre une turbidité de 100NTU.



Figure III.5: Pesée de l'argile

### III.2.6 Jar-test

Le procédé de coagulation-floculation a été réalisée dans un “ jar test ”.

Au cours de notre étude, les solutions enrichies en coagulant et en floculant naturels sont soumises pendant 30s à une agitation rapide de 120 tr/min. La vitesse est par la suite réduite à 40 tr/min, et le mélange est laissé sous une agitation lente durant 20min.

Après une décantation de 30min, un volume du surnageant sera prélevé et filtré, sur lequel la détermination de la turbidité de l'eau brute, pH, le taux d'aluminium et le fer résiduel et la couleur seront effectués (voir annexe).



Figure III.6: Jar test

#### III.2.6.1 Détermination du pH optimal

Dans le but de déterminer le pH optimal de la coagulation-floculation de l'eau brute, une série de six béchers contenant 1L d'eau brute ont été ajustés à des valeurs du pH allant de 5 à 8,4 avec un pas de 0,2 en utilisant du  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et  $\text{NaOH}$ . Ensuite, une dose du coagulant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 18\text{H}_2\text{O}$  de 5mg/L a été ajoutée pour que le mélange subisse une agitation rapide de 120tr/min pendant 30s. La vitesse sera réduite à 40tr/min durant 20min. Enfin, l'agitation sera arrêtée et le mélange subira une décantation de 30min. Un volume du surnageant sera prélevé, pour déterminer la turbidité de l'eau brute, le pH, le taux d'aluminium résiduel et la couleur (voir annexe).

- Les mêmes étapes ont été refaites pour le coagulant  $\text{FeCl}_3$  (5mg/L).

### III.2.6.2 Détermination de la dose optimale du coagulant

Après avoir déterminé le pH optimal, les mêmes étapes ont été réalisées, mais pour cette expérience, le pH a été fixé à la dose optimale, tout en variant la dose du coagulant de 0mg/L à 30mg/L avec un pas de 5mg/L.

### III.2.6.3 Détermination de la dose optimale du flocculant

Nous avons fixé le pH et la dose du coagulant à leurs valeurs optimales, puis nous avons fait varier la dose du flocculant comme suit :

- **Flocculant chimique (synthétique SEAAL):** 0,02; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,2 mg/L.
- **Flocculants naturels organiques :**
- **Gel de Cactus:** 0,02; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,4 ml.
- **Aloe vera:** 0,02; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,4 ml.
- **Graines de lin :** 0,02; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,4 ml.
- **Graines de cresson:** 0,02; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,4 ml.

### III.2.6.4 Détermination de la dose optimale des flocculants organiques

Lancement du traitement sans l'ajout du coagulant chimique afin d'étudier le pouvoir coagulant et flocculant des gels de cactus, d'Aloe vera, et des graines de lin et de cresson.

### III.2.6.5 Détermination du temps de décantation

Après la coagulation-floculation en utilisant le gel de cactus, nous avons varié les temps de décantation entre 30min et 60min, et cela en fixant les différentes valeurs optimales trouvées auparavant.



**Figure III.7: Décantation**

**III. 2.7 Les paramètres et méthodes de caractérisation de l'eau après décantation**

<b>Paramètres</b>	<b>Méthodes</b>	<b>Normes</b>
<b>Température (°C)</b>	Mesure directe avec thermomètre	25
<b>pH</b>	Mesure directe avec pH-mètre	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9$
<b>Conductivité (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	Mesure directe avec conductimètre	2800
<b>Couleur (Hz)</b>	spectrophotométrie	15
<b>UV (Abs/cm)</b>	spectrophotométrie	/
<b>Turbidité (NTU)</b>	Mesure directe avec turbidimètre	5
<b>Aluminium (mg/L)</b>	Kit LCK 301 à code barre + spectrophotométrie	0,2
<b>Fer (mg/L)</b>	Kit + spectrophotométrie	0,3
<b>TAC (mg/L)</b>	NF EN ISO 9963-1 Février 1996	500

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

Rappelons que l'objectif de notre travail est de remplacer les produits synthétiques utilisés lors du traitement de l'eau potable par le procédé de coagulation-floculation, par des produits naturels. Nous avons utilisé les gels extraits du cactus, Aloe vera, les graines de lin et les graines de cresson comme adjuvants de floculation et deux coagulants (sulfate d'alumine et le chlorure ferrique).

Cette partie rassemble les résultats expérimentaux obtenus au cours de cette étude, ainsi que les interprétations et discussions

#### IV.1 Caractérisation de la matière végétale

Afin de caractériser ces gels, des analyses physico-chimiques ont été effectuées. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau IV.1: Caractéristiques physico-chimiques des gels**

Paramètres	Cactus	Aloe vera	Lin	Cresson
pH	4,99	5,05	6,00	6,74
Conductivité (ms/cm)	8,83	4,08	/	/
Conductivité (µs/cm)	/	/	1092	783
Température (°C)	19	19,5	20	19,5
Densité (Kg/L)	1,0201	1,0089	1,0061	1,0246
TH (F°)	17	16	13	20
Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	2,6	0,6	1,6	0,4
Mg <sup>2+</sup> (mmol/L)	0,8	2,6	1	4,6
Chlorure (mg/L)	0,85	0,85	0	0

##### IV.1.1 Caractérisation spectrale des bio-floculants

Nos bio-floculants (poudre) ont été analysés par FTIR afin d'identifier les groupes fonctionnels de surface et localiser les différentes bandes d'absorption caractéristiques. Les analyses par FTIR ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre FTIR de marque SHIMADZU sur une gamme de fréquences comprises entre 400-4000cm<sup>-1</sup>.

## IV.1.1.1 Spectre IR du cactus

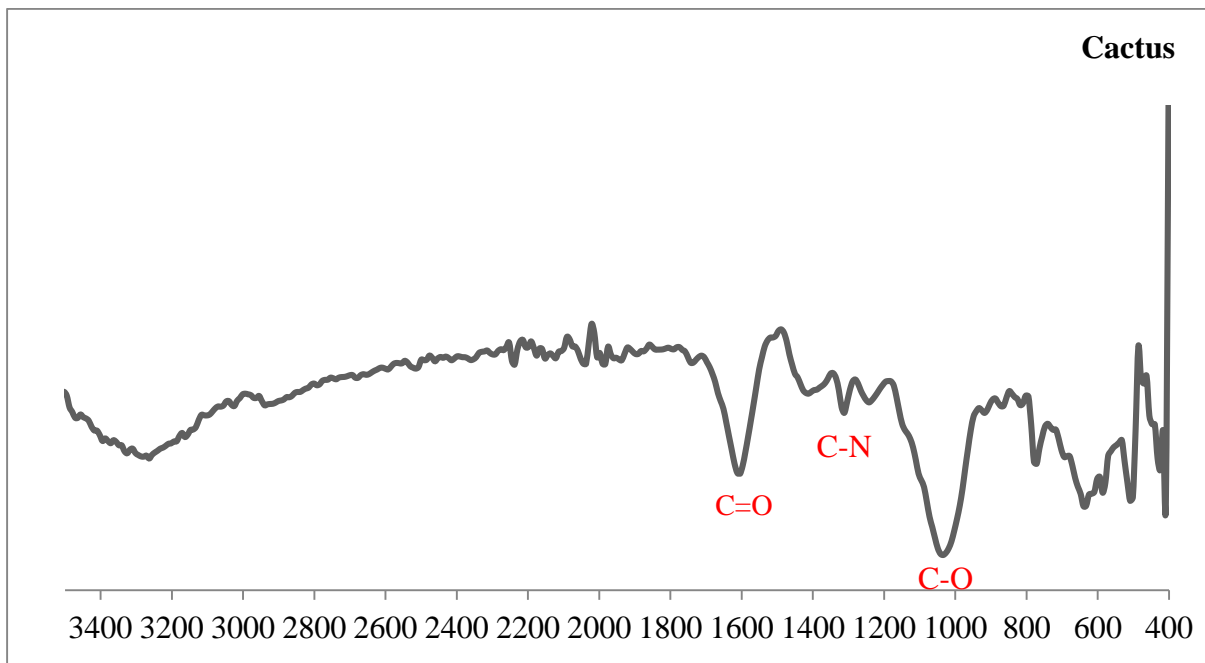


Figure IV.1: Spectre IR de la poudre de cactus

L'analyse du spectre de cactus fait apparaître les bandes d'absorption IR mentionnées dans le tableau IV.2:

Tableau IV.2: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre de cactus

Nombre d'ondes (cm <sup>-1</sup> )	Type de vibration
<b>500-700</b>	déf. hors plan C-H dans les aromatiques et alcènes et déf. Hors plan N-H (amines)
<b>1070</b>	al. C-O lié aux phénols, éthers et composés azotés (amines)
<b>1300</b>	déf. dans le plan C-N liées aux amides
<b>1650</b>	al. C=O lié aux acides carboxyliques / déf de la liaison -NH <sub>2</sub> (amides)

al: allongement (élongation) , déf: déformation

## IV.1.1.2 Spectre IR de l'Aloe vera

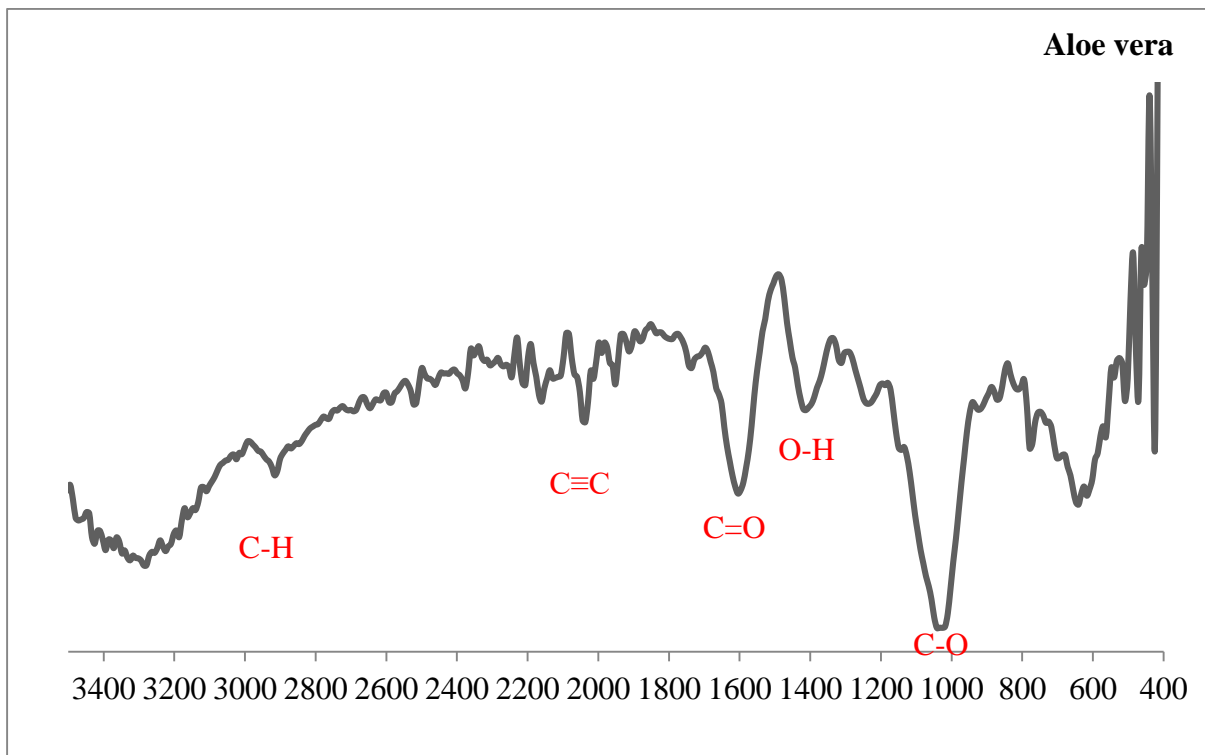


Figure IV.2: Spectre IR de la poudre d'Aloe vera

L'analyse du spectre d'Aloe vera fait apparaître les bandes d'absorption IR mentionnées dans le tableau IV.3:

Tableau IV.3: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre d'Aloe vera

Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Type de vibration
620	groupes aromatiques
1070	al. C-O lié aux phénols, éthers et composés azotés (amines)
1400	déf. O-H lié aux composés carboxyliques/ déf des groupements CH <sub>3</sub>
1610	al. C=O lié aux composés azotés (amides)/ alcènes
2050	al. C≡C lié aux alcynes
2900	al. C-H des groupements CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> et CH dans les chaînes hydrocarbonées

al : allongement , déf : déformation

## IV.1.1.3 Spectre IR des graines de lin

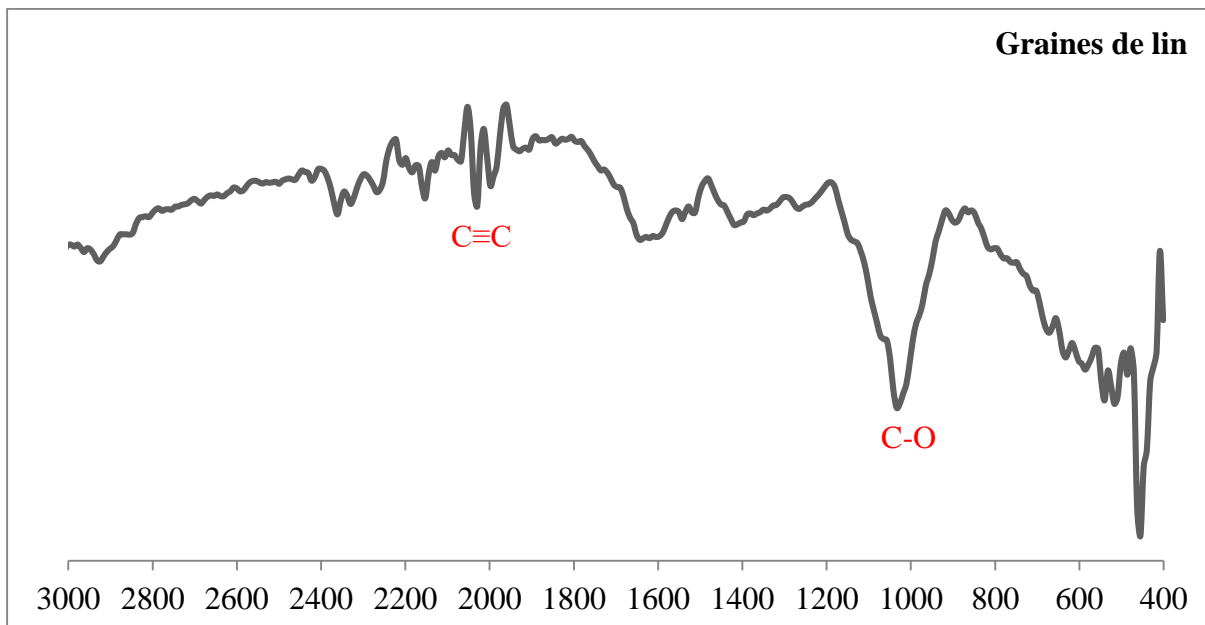


Figure IV.3 : Spectre IR de la poudre des graines de lin

L'analyse du spectre de la poudre des graines de lin fait apparaître les bandes d'absorption IR mentionnées dans le tableau IV.4:

Tableau IV.4: Bandes infrarouge caractéristiques de la poudre des graines de lin

Nombre d'ondes (cm <sup>-1</sup> )	Type de vibration
<b>490-600</b>	groupes aromatiques
<b>1070</b>	al. C-O lié aux phénols, éthers et composés azotés (amines)
<b>2100</b>	al. al. C≡C lié aux alcynes

al : allongement , déf : déformation

## IV.1.1.4 Spectre IR des graines de cresson

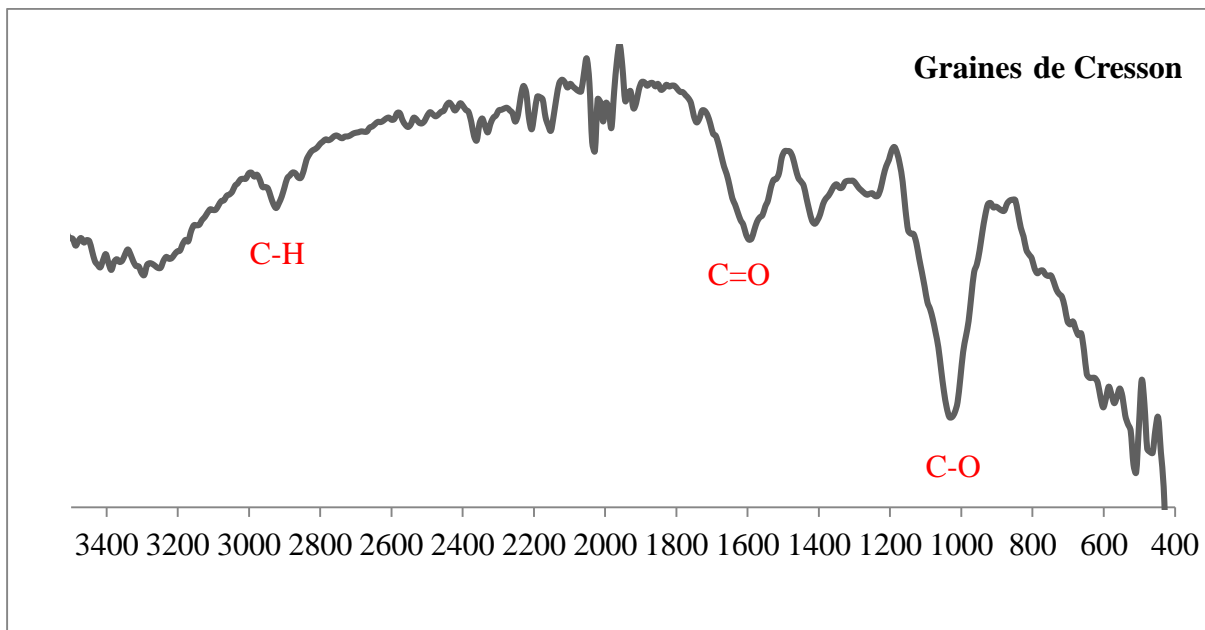


Figure IV.4: Spectre IR de la poudre des graines de cresson

L'analyse du spectre de la poudre des graines de cresson fait apparaître les bandes d'absorption IR mentionnées dans le tableau IV.5:

Tableau IV.5: Bandes infrarouges caractéristiques de la poudre des graines de cresson

Nombre d'ondes (cm <sup>-1</sup> )	Type de vibration
500	groupes aromatiques
1070	al. C-O lié aux phénols, éthers et composés azotés (amines)
1390	déf. dans le plan des chaînes hydrocarbonées CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub>
1610	al. C=O lié aux amides / déf dans le plan N-H lié aux amines
2900	al. C-H des groupements CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> et CH des chaînes hydrocarbonées

al : allongement , déf : déformation

Les résultats des analyses par spectroscopie IR révèlent la présence de liaisons, des groupements et des fonctions chimiques correspondant bien à la composition de nos bio-floculants, constituées généralement de sucre, de protéines, de composés phénoliques et d'acides organiques (acides aminés, acides gras).

## IV.2 Caractérisation physico-chimique de l'eau du barrage TAKSEBT

L'eau brute que nous avons étudiée est prélevée d'une vanne arrivant directement du barrage, le jour même de l'étude, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau IV.6: Caractéristiques d'eau de barrage durant le mois de Mai 2022**

Paramètres	Unité	Valeurs
Température	°C	14,99
pH	/	7,53
Conductivité	µs/cm	509
Turbidité	NTU	2,16
Oxygène dissous	mg/L	5,94
UV 254	Abs/cm	0,076
Couleur	Hz	25
TH	F°	34
TAC	F°	17,5
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	72
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	38,88
Cl <sup>-</sup>	mg/L	42,65
HCO <sup>2-</sup>	mg/L	21,35
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0
K <sup>+</sup>	mg/L	/
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	42
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0,04
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	0,005
Matière organique	mg/L	1,90
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,11
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,51
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,13
Al <sup>3+</sup>	mg/L	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,01

### IV.3 Caractérisation de l'eau dopée

Tableau IV.7: Caractéristiques d'eau de barrage après l'ajout de l'argile

Paramètres	Unité	Valeurs	Normes
<b>pH</b>	/	7,9	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9$
<b>Conductivité</b>	$\mu\text{s}/\text{cm}$	504	2800
<b>UV</b>	Abs/cm	0,439	/
<b>Couleur</b>	Hz	635	15
<b>Fe<sup>+3</sup></b>	mg/L	0,91	0,3
<b>Al<sup>+3</sup></b>	mg/L	0,143	0,2
<b>Turbidité</b>	NTU	100	05
<b>TA</b>	mg/L	0	500
<b>TAC</b>	mg/L	234	500
<b>TH</b>	mg/L	43,2	200
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	mg/L	64	200
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	mg/L	19,2	/

## IV.4 Essais de traitement de l'eau de barrage par coagulation-floculation

### IV.4.1 Sulfate d'alumine (Alun)

#### IV.4.1.1 Détermination du pH optimal

Dans le but de déterminer le pH optimal de coagulation, nous avons suivi la variation de la turbidité et de l'aluminium résiduel en fonction des valeurs du pH (5-5,2-8,6) où la dose du coagulant a été fixée à une dose de 5mg/L, cela nous a permis d'obtenir le graphe représenté sur la figure ci-dessous.

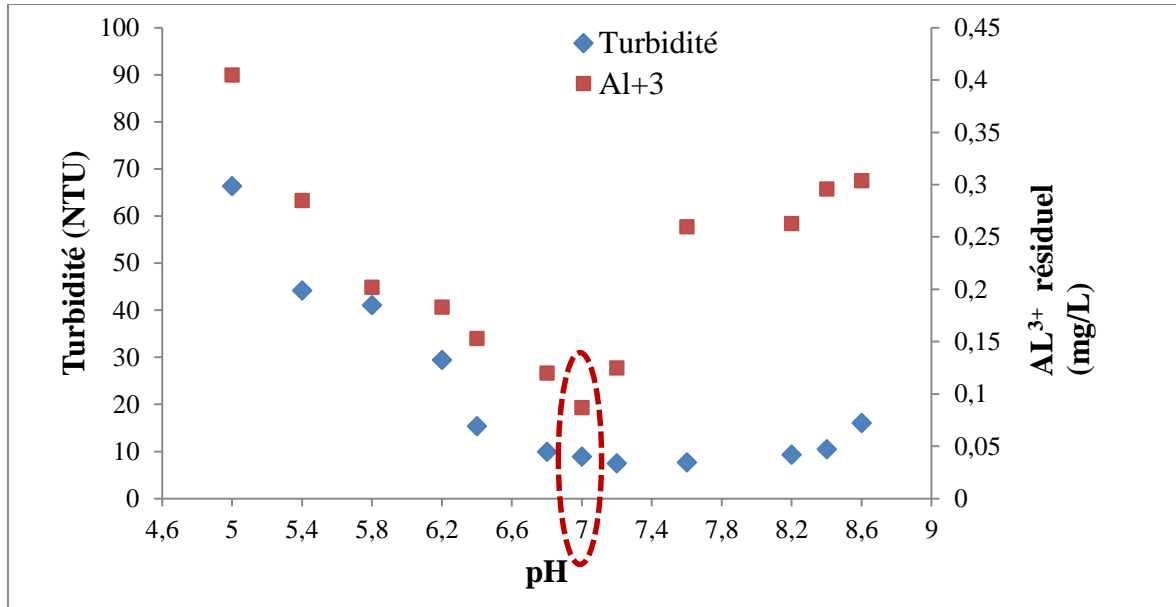


Figure IV.5: Effet de la variation du pH sur la turbidité et l'Aluminium résiduel

D'après la figure ci-dessus nous observons une diminution de la turbidité suite à l'augmentation des valeurs du pH avec un taux d'abattement qui varie de **84,6%** à **94,14%**.

L'Aluminium résiduel diminue pour des valeurs de pH allant de **5,4** à **7**, puis sera suivi d'une augmentation pour les valeurs de pH restantes.

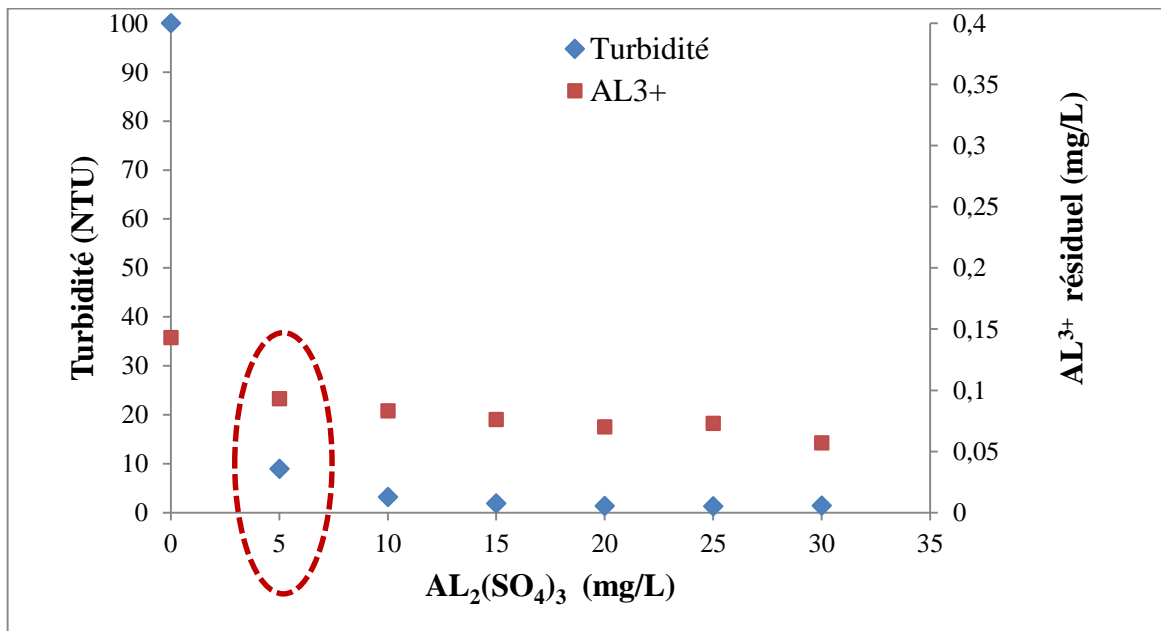
La meilleure combinaison de turbidité (**8,94 NTU**) à **94,17%** d'abattement et **0,087mg/L** d'Aluminium résiduel, est observée à pH **7**, qui sera choisi comme pH optimal permettant une meilleure coagulation. Ceci correspond à la zone de prédominance de précipité de l' $\text{Al}(\text{OH})_3$  (**5,5 à 7,5**) comme le rapporte M. JAOUADI et al (2013) dans son étude [34].

Selon la même référence, une étude spectroscopique a montré qu'à des valeurs de pH faibles ( $< 4,5$ ), la matière organique se complexe avec  $Al^{3+}$  pour former des OM-Al, tandis qu'à des valeurs de pH plus élevées ( $pH > 5$ ), la matière organique s'adsorbe sur la surface d' $Al(OH)_3$ , les cristaux de ces derniers deviennent dominants, conduisant à une élimination maximale de la matière organique. Dans ce cas (l'adsorption), le groupe carboxylique de la matière organique est d'abord coordonné aux noyaux de l'Aluminium sur la surface d' $Al(OH)_3$ , soit par un ligand, soit par échange d'anions; suivi d'une adsorption progressive du reste de la molécule sur la surface de  $Al(OH)_3$ , où les forces physiques et chimiques (forces vander de Waals et liaisons H) sont impliquées [34].

Pour conclure; à pH 6 et plus, le mécanisme dominant était l'adsorption d'espèces organiques sur le précipité  $Al(OH)_3$ ; à pH 5,0 et moins, le mécanisme impliquait la précipitation de molécules organiques par des espèces polymériques cationiques solubles; entre pH 5 et 6, les deux mécanismes peuvent se produire simultanément [34].

#### IV.4.1.2 Détermination de la dose optimale du coagulant $Al_2(SO_4)_3$

Pour déterminer la dose optimale d' $Al_2(SO_4)_3$ , nous avons suivi la variation de la turbidité et de l'Aluminium résiduel en fonction des doses croissantes du coagulant, en absence du flocculant et tout en fixant le pH à 7, cela nous a permis d'obtenir le graphe représenté dans la **figure IV.6**.



**Figure IV.6: Effet de la dose du coagulant  $Al_2(SO_4)_3$  sur la turbidité et l'Aluminium résiduel**

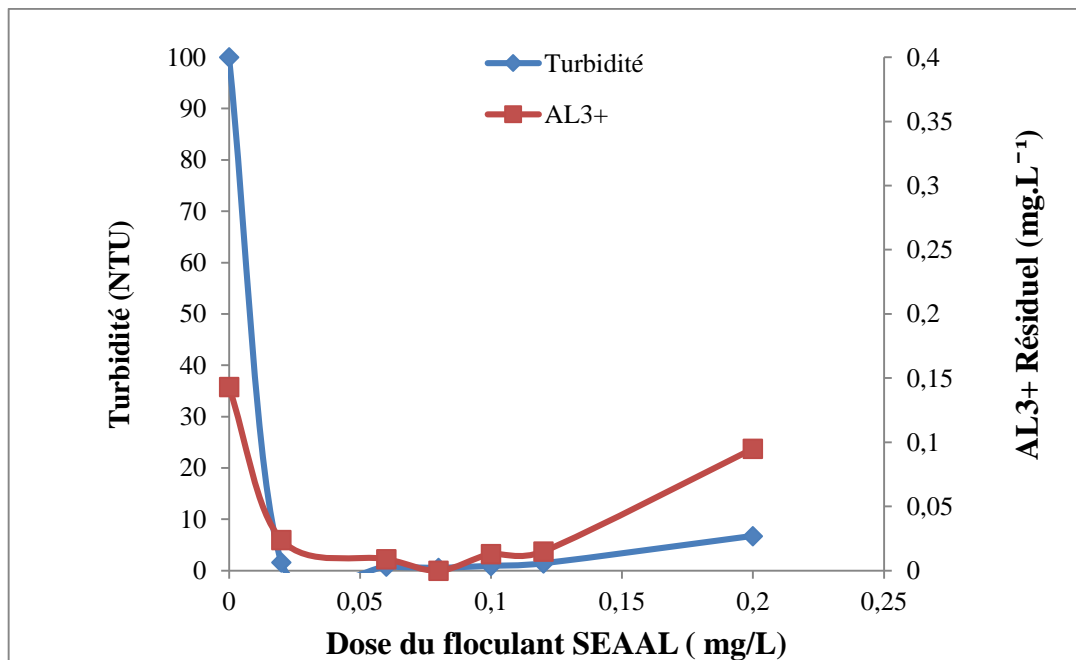
D'après la figure IV.6, nous remarquons une diminution de la turbidité à **8,94 NTU** avec un taux d'abattement de **91,06%** pour une dose d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  de **5mg/L**. La dose optimale du coagulant est fixée à **5mg/L** avec un taux d'Aluminium résiduel de **0,093mg/L**, cela nous montre le rôle d'ajout du coagulant qui favorise la déstabilisation des particules fines, en formant une couche colloïdale après la décantation.

L'Aluminium résiduel enregistre une légère diminution pour les doses de coagulant entre 0 et 5 mg/L, suivi d'une stabilité en dessous de la norme de potabilité pour le reste des doses.

#### IV.4.1.3 Détermination de la dose optimale des flocculants utilisés avec le coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

##### a. Polymère SEAAL

Après avoir fixé le pH optimal à 7, et la dose du coagulant à 5mg/L, nous avons varié les doses du polymère synthétique utilisé au niveau de la station de traitement TAKSEBT, les résultats obtenus sont présentés sur le graphe suivant.



**Figure IV.7: Effet de la variation des différentes doses du polymère SEAAL sur la turbidité et l'Aluminium résiduel**

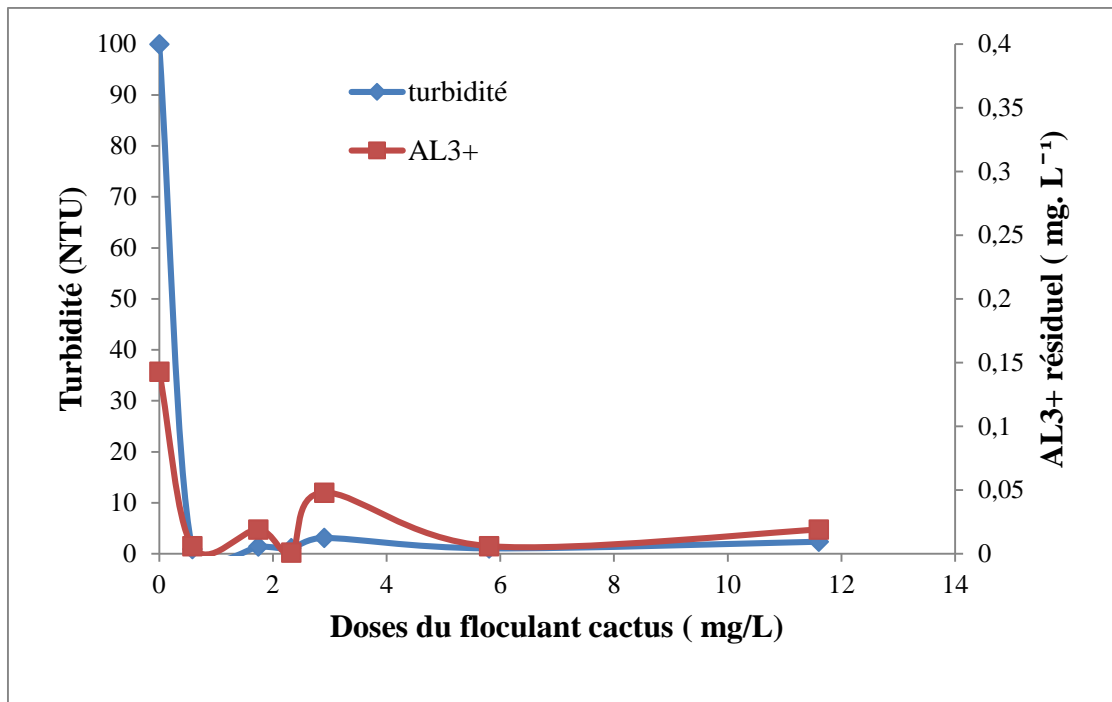
La figure IV.7 représente la variation de la turbidité et de l'Aluminium résiduel en fonction des différentes doses du polymère SEAAL. On constate que la turbidité décroît rapidement jusqu'à atteindre une valeur optimale de **0,55NTU** permettant une meilleure

formation de floccs pour **0,08mg/L** de polymère SEAAL, soit **99,45%** d'abattement de la turbidité correspondant à un taux d'Aluminium résiduel de **0,009mg/L**.

En ajoutant le polymère, nous observons une amélioration d'environ **8%** de taux d'abattement de la turbidité.

### b. Cactus

Les mêmes étapes ont été réalisées avec le bio-floculant cactus dont les résultats sont mentionnés dans le graphe ci-dessous.



**Figure IV.8: L'influence du gel de cactus sur la turbidité et l'Aluminium résiduel**

D'après la figure IV.8, nous observons une chute de la turbidité de **100 NTU** à **0,93NTU** avec une dose optimale de **0,58mg/L**, équivalent de 0,02ml de gel de cactus ; soit **99,07%** d'un taux d'abattement de la turbidité correspondant à un taux d'Aluminium résiduel de **0,006mg/L**. Ce résultat est obtenu après une décantation de 30min et une filtration sur papier (0,45µm).

L'ajout de gel de cactus nous a permis d'avoir une amélioration de **8%** des taux d'abattement de la turbidité, ce même pourcentage est obtenu avec le polymère de SEAAL.

Avec un volume de **0.02ml** de gel de cactus nous avons pu atteindre un taux d'abattement de la turbidité de **99,07%**, meilleur que celui trouvé par Asnam.A et al (2017), qui ont rapporté que le traitement d'une eau potable à une turbidité de **17 NTU** par un volume de **0,08ml** du gel de cactus donne un taux d'abattement de **82,46%** [35].

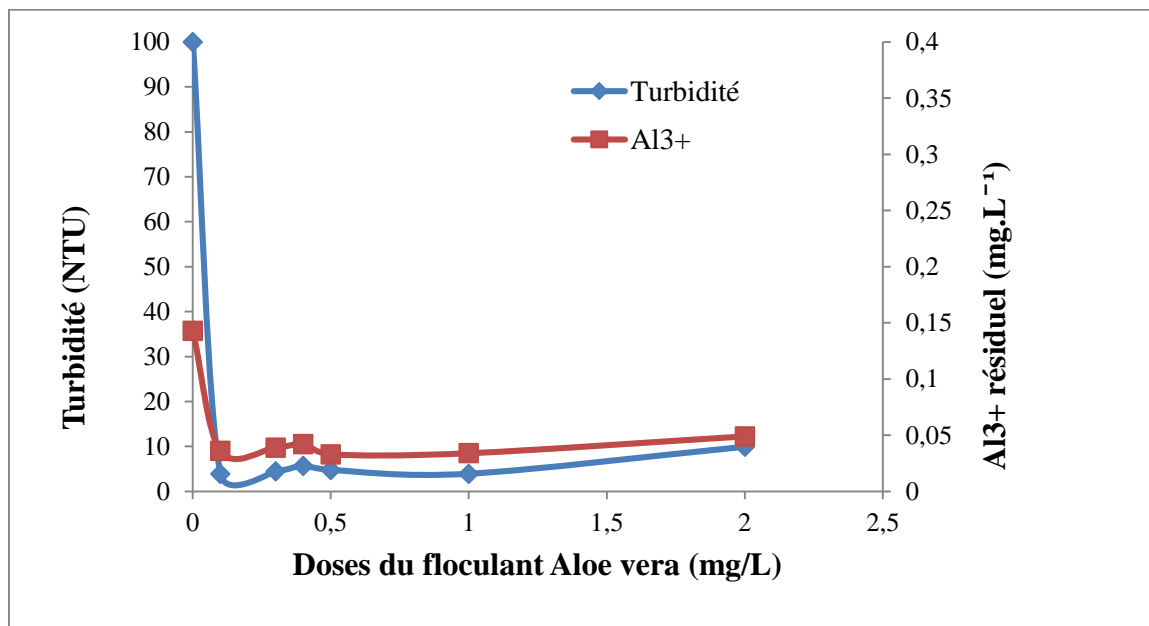
Un test est effectué pour le surnageant de la dose optimale après 30min de décantation, les résultats trouvés sont présentés dans le tableau suivant:

	Turbidité (NTU)	Al <sup>3+</sup> (mg/L)
<b>Avant filtration</b>	6,48	0,099
<b>Après filtration</b>	0,93	0,066

Nous concluons que la filtration est nécessaire dans ce type de traitement (coagulation-floculation), les valeurs de la turbidité et l'Aluminium résiduel ont nettement diminué après filtration.

### c. Aloe Vera

Nous avons fixé le pH à 7 et la dose optimale du coagulant à 5mg/L, en variant les doses du gel d'Aloe vera pour établir leurs influences sur la turbidité et l'Aluminium résiduel, les résultats obtenus figurent dans le graphe suivant :



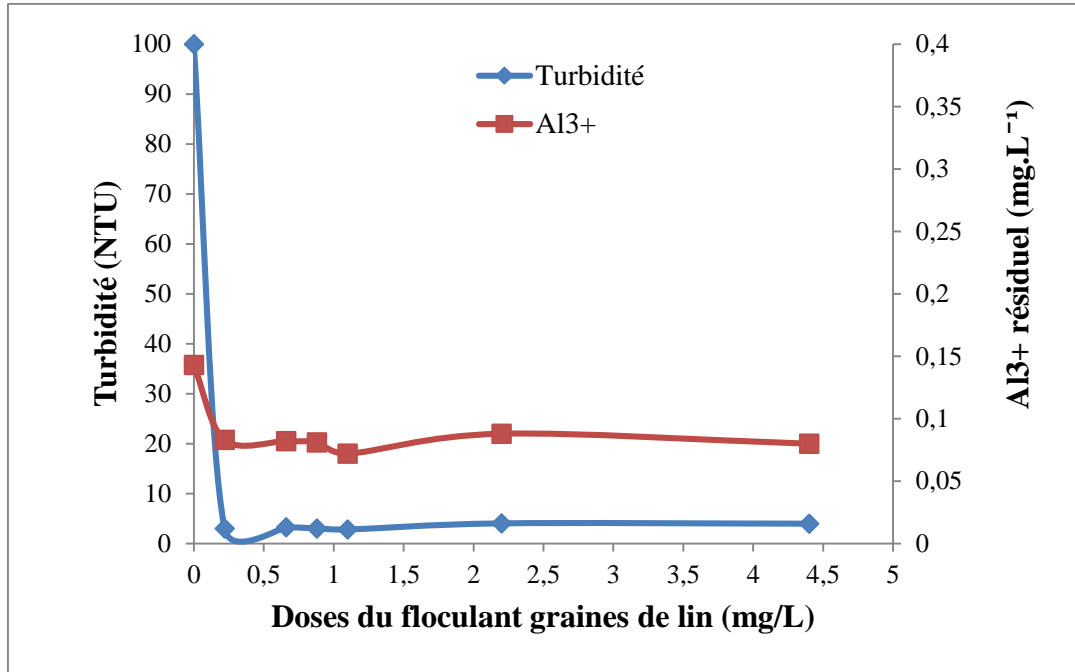
**Figure IV.9: L'effet de la variation des doses d'Aloe vera sur la turbidité et l'Aluminium résiduel**

La figure IV.9 représente l'effet de variation des doses d'Aloe vera sur la turbidité et l'Aluminium résiduel, montrant une diminution de la turbidité et de l'Aluminium résiduel pour des doses de gel entre 0 et 1mg/L, suivi d'une stabilité du taux d'Aluminium résiduel et la turbidité en dessous de la norme de potabilité pour les restes des doses de floculant. Selon la même figure, la valeur optimale de la dose du gel d'Aloe vera est enregistrée à **0,1mg/L**, soit **96,09%** d'abattement de la turbidité correspondant à

**0,036mg/L** d'Aluminium résiduel. Ce même résultat a été trouvé par K, M, Kattubi et al (2021), qui ont utilisé l'Aloe vera combiné au sulfate d'Alumine pour traiter l'eau de ruisseau Indiyani.

#### d. Graines de lin

Nous avons suivi la variation de la turbidité en fonction des doses croissantes du gel des graines de lin (bio-floculant), les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant :

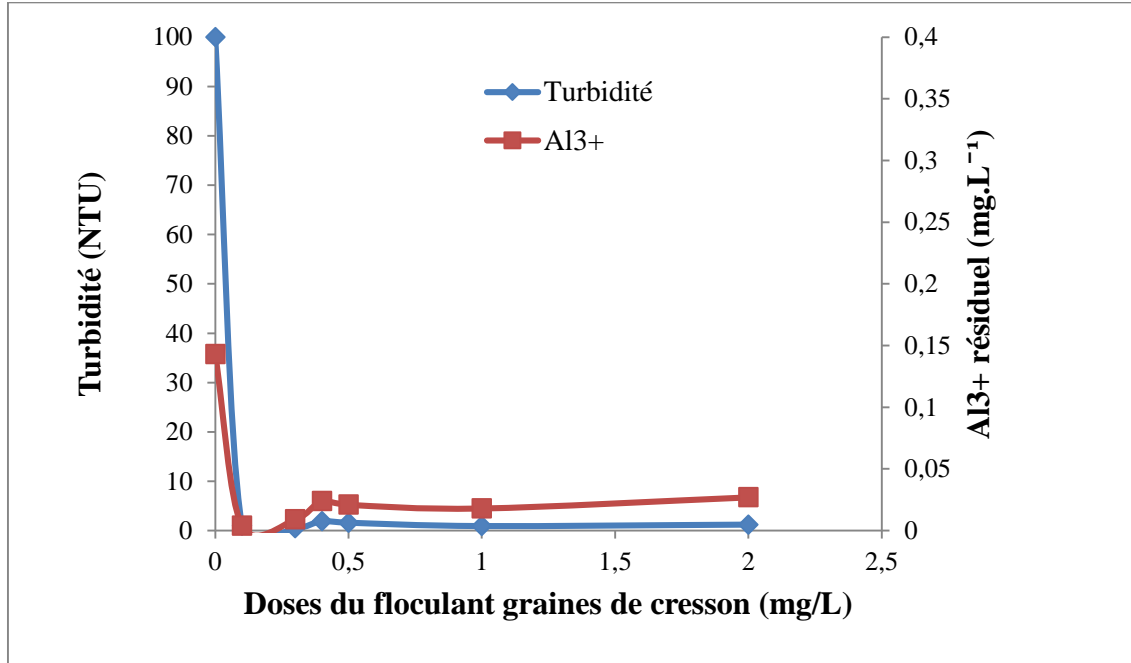


**Figure. IV.10: Effet de la variation des doses du gel des graines de lin sur la turbidité et l'Aluminium résiduel**

D'après la figure ci-dessus, nous remarquons une diminution de la turbidité jusqu'à atteindre une valeur optimale de **2,81 NTU** pour **1,1mg/L** afin d'abattre **97,19%** de la turbidité initiale et diminuer le taux d'Aluminium jusqu'à **0,072mg/L**. Ce résultat peut être expliqué par l'affinité qu'a le gel des graines de lin avec les sels d'Alumine.

### e. Graines de cresson

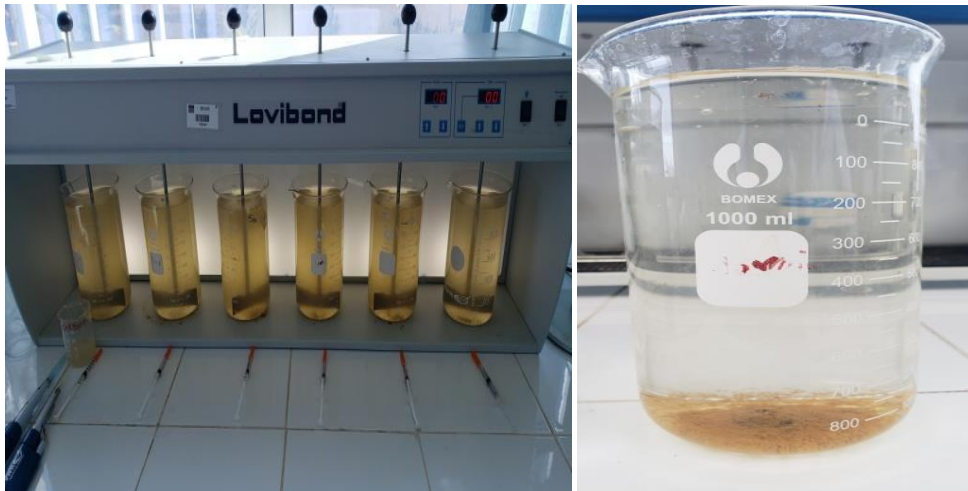
Nous avons refait les mêmes étapes expérimentales que la manipulation précédente, sauf que cette fois-ci nous avons remplacé le gel des graines de lin par le gel des graines de cresson, les résultats sont présentés dans le graphe ci-dessous.



**Figure. IV.11. Effet de la variation des doses du gel des graines de cresson sur la turbidité et l'Aluminium résiduel**

La figure IV.11, représente l'effet de la variation des doses du gel des graines de cresson sur la turbidité et l'Aluminium résiduel montrant une chute remarquable de turbidité de **100 NTU** jusqu'à **0,44 NTU** et une stabilité du taux d'Aluminium résiduel en dessous de la norme de potabilité, ce qui nous a permis de déduire que le gel de cresson forme une très bonne combinaison avec le sulfate d'Alumine, ce qui peut être expliqué par sa richesse en monomères glucidiques. Selon la même figure, la valeur optimale est enregistrée pour la dose **0,3mg/L** de gel de cresson, soit **99,56%** d'abattement correspondant à **0,009mg/L** d'Aluminium résiduel.

En comparant, ce résultat aux essais précédents nous pouvons déduire que le gel des graines de cresson est le meilleur bio-floculant (une amélioration de **8,5%** du taux d'abattement de la turbidité), ce résultat est similaire à celui obtenu avec le polymère synthétique utilisé au niveau de la station de traitement. Ces figures ci-dessous confirment nos résultats obtenus :



**Figure IV 12: Eau avant et après traitement**

Après chaque jar test, une caractérisation de surnageant est effectuée:

**Tableau IV.8: Caractéristiques physico-chimiques du surnageant après jar test**

Doses du gel de cresson (mg/l)	0	0,1	0,3	0,4	0,5	1	2
<b>pH</b>	7,9	7,74	7,78	7,74	7,80	7,78	7,71
<b>UV (abs/cm)</b>	0,439	0 ,079	0,075	0,084	0,083	0,077	0,079
<b>Couleur (Hz)</b>	639	09	03	14	13	08	07

D'après les résultats obtenus après 30min de décantation et une filtration, on constate que l'ajout du coagulant et de flocculant naturel ne modifie pas vraiment le pH de l'eau, ce qui n'est pas le cas pour la couleur et UV.

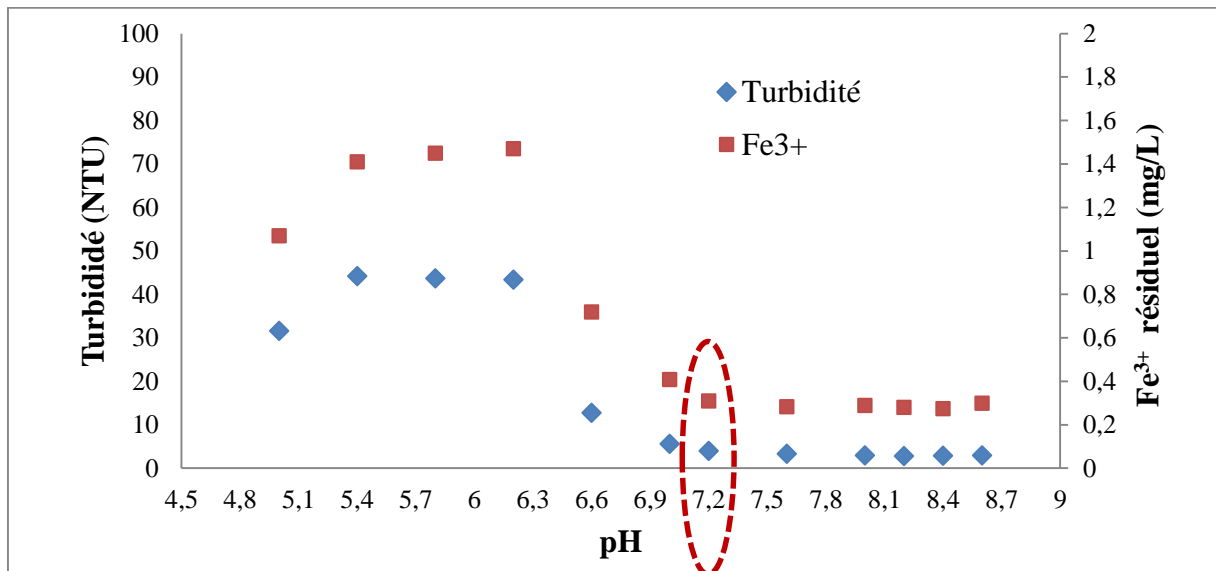
Le paramètre de la couleur enregistre des valeurs en dessous de la norme (15 Hz) sur tout l'intervalle d'étude, où la valeur minimale de 3Hz est enregistrée pour la dose optimale (0,3mg/L), ce qui confirme les résultats précédents.

Une dose de 0,1 mg/L de gel de cresson a fait diminuer la matière organique (UV) de 0,439 à 0,075 abs/cm.

## IV.4.2 Chlorure ferrique

### IV.4.2.1 Détermination du pH optimal

La notion de pH permet de définir les zones optimales de coagulation, pour cela nous avons suivi la variation de la turbidité et le taux de Fer résiduel en fonction des valeurs croissantes du pH. Le coagulant a été fixé à une dose de 5mg/L, sans ajout du flocculant, les résultats obtenus sont représentés sur le graphe ci-dessous.

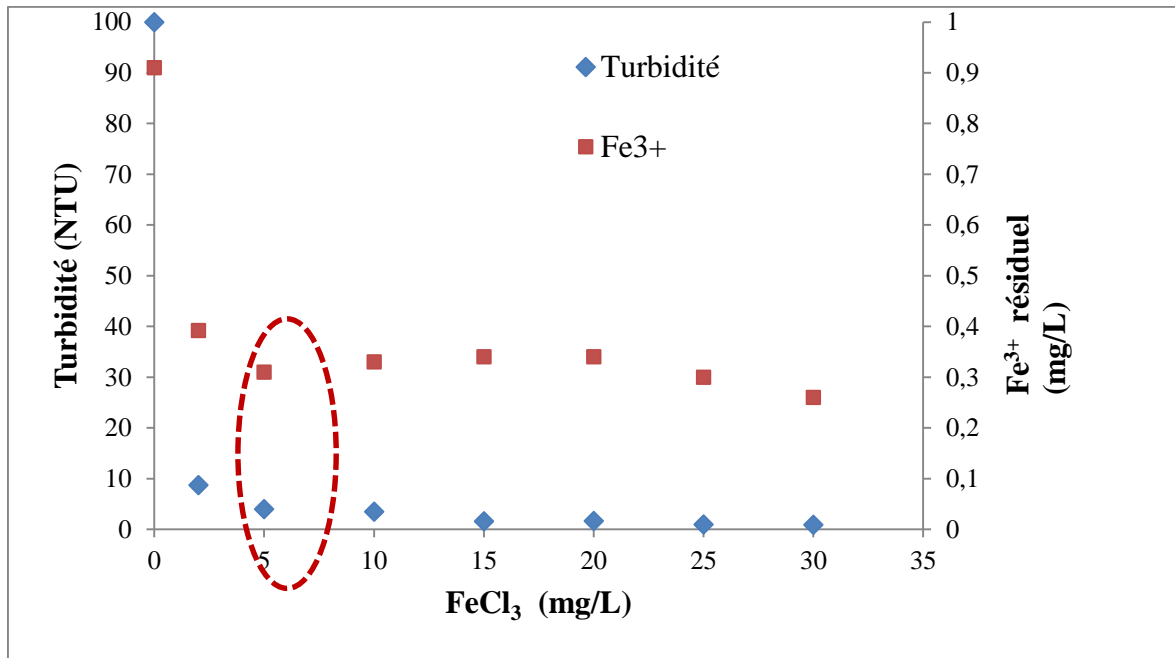


**Figure. IV.13: Effet de la variation du pH sur la turbidité en présence de Chlorure ferrique**

La figure IV.13, montre une diminution de la turbidité avec un taux d'abattement allant de **87,2%** à **97%**. Le pH optimal est obtenu à **7,2**, correspondant à une turbidité minimale de **3,98 NTU**, soit **96,02%** d'abattement de la turbidité avec un taux de Fer résiduel de **0,29mg/L (norme 0,3mg/L)**. Ce résultat peut être expliqué comme suit; pour des valeurs neutres de pH, la solubilité de l'hydroxyde est faible favorisant la formation du précipité  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , sur lequel s'adsorbent les particules de la pollution qui seront par la suite éliminées [36] [37].

#### IV.4.2.2 Détermination de la dose optimale du coagulant $\text{FeCl}_3$

Dans le but d'étudier l'effet de la dose du coagulant  $\text{FeCl}_3$  sur le processus de la coagulation-floculation, une série d'essais a été effectuée en variant les doses du coagulant de 0 à 30mg/L et en fixant le pH à 7,2. Le choix de la dose optimale sera en fonction de l'abattement de la turbidité et le taux de fer résiduel, les résultats nous ont permis de tracer le graphe ci-dessous.



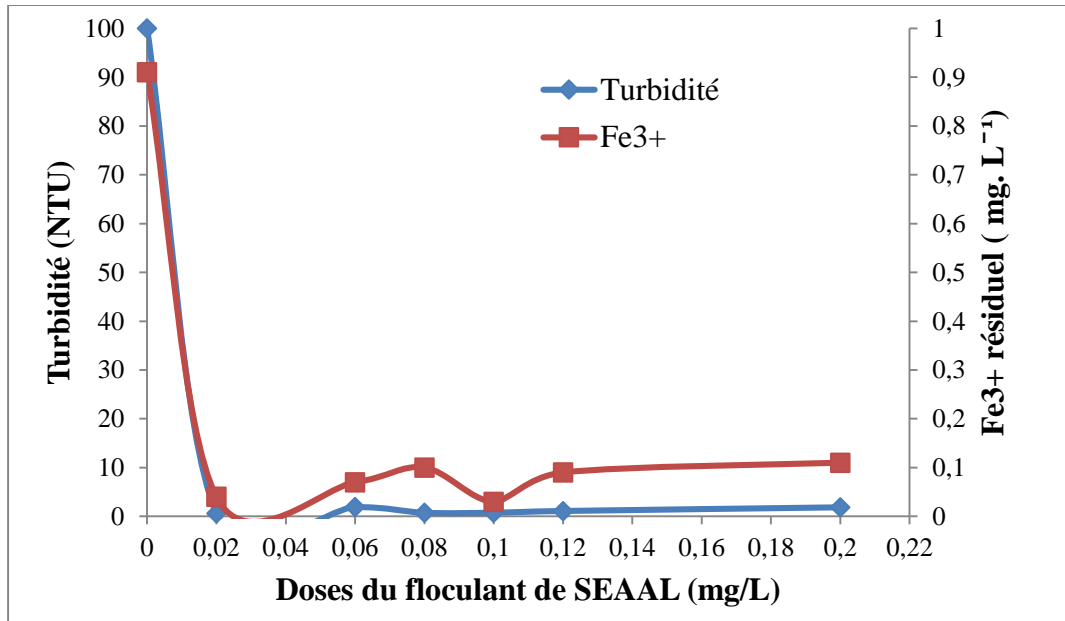
**Figure IV.14: Effet de la variation des doses de  $\text{FeCl}_3$  sur la turbidité et le taux du Fer résiduel**

D'après la figure ci-dessus nous observons une diminution de la turbidité à **3,98 NTU** avec un taux d'abattement de **96,02%**, pour une dose de  $\text{FeCl}_3$  de **5mg/L**. Cela montre le rôle du coagulant  $\text{FeCl}_3$  dans la neutralisation des charges et l'adsorption des colloïdes neutralisés sur un précipité d'hydroxyde de fer ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) [37], entraînant une élimination maximale à **5mg/L** qui représente la dose optimale, correspondant à un taux de Fer résiduel de **0,29mg/L**.

### IV.4.2.3 détermination de la dose optimale des flocculants utilisés avec le coagulant Chlorure ferrique

#### a. Polymère SEAAL

Après avoir fixé le pH à 7,2 et la dose du coagulant à 5mg/L, nous avons varié les doses croissantes du polymère synthétique, les résultats sont représentés dans le graphe suivant :

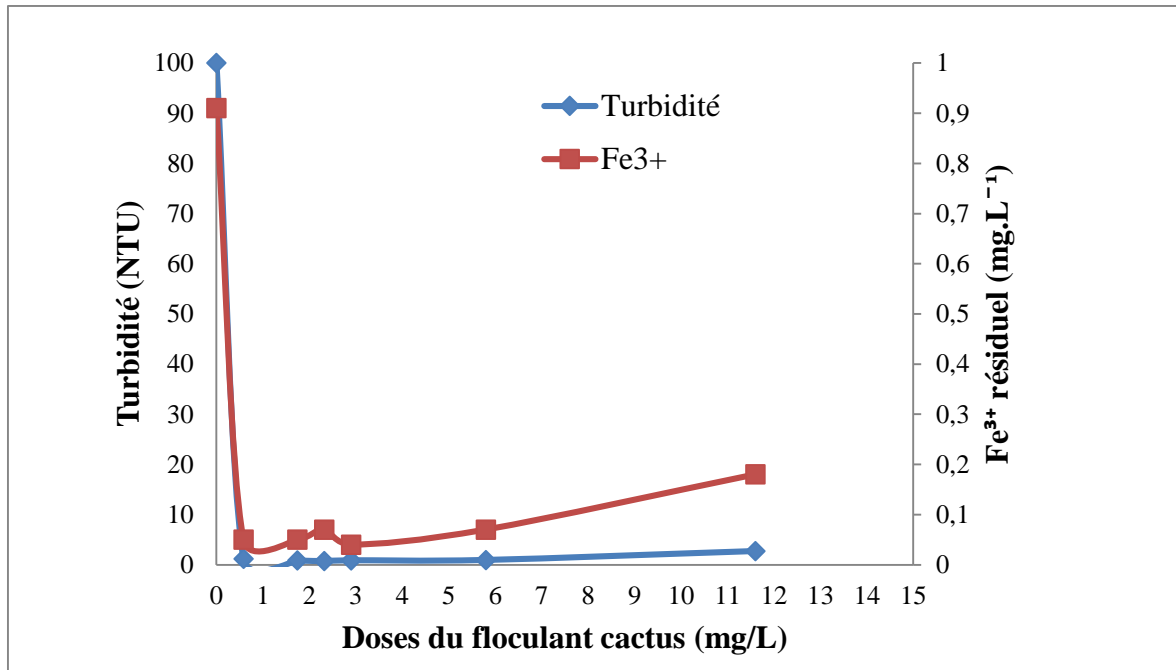


**Figure IV.15: Effet de la variation des doses du polymère SEAAL sur la turbidité et le Fer résiduel**

En ajoutant le polymère, nous observons une diminution rapide de la turbidité jusqu'à une valeur optimale de **0,62 NTU** pour **0,02mg/L** de polymère SEAAL, soit un taux d'abattement de **99,38%** correspondant à un taux de fer résiduel de **0,04mg/L**, le polymère synthétique utilisé au niveau de la station a donc amélioré la coagulation.

### b. Cactus

Après avoir fixé le pH à 7,2 et la dose du coagulant à 5mg/L, nous avons varié les doses du gel de cactus dont les résultats figurent sur le graphe suivant:

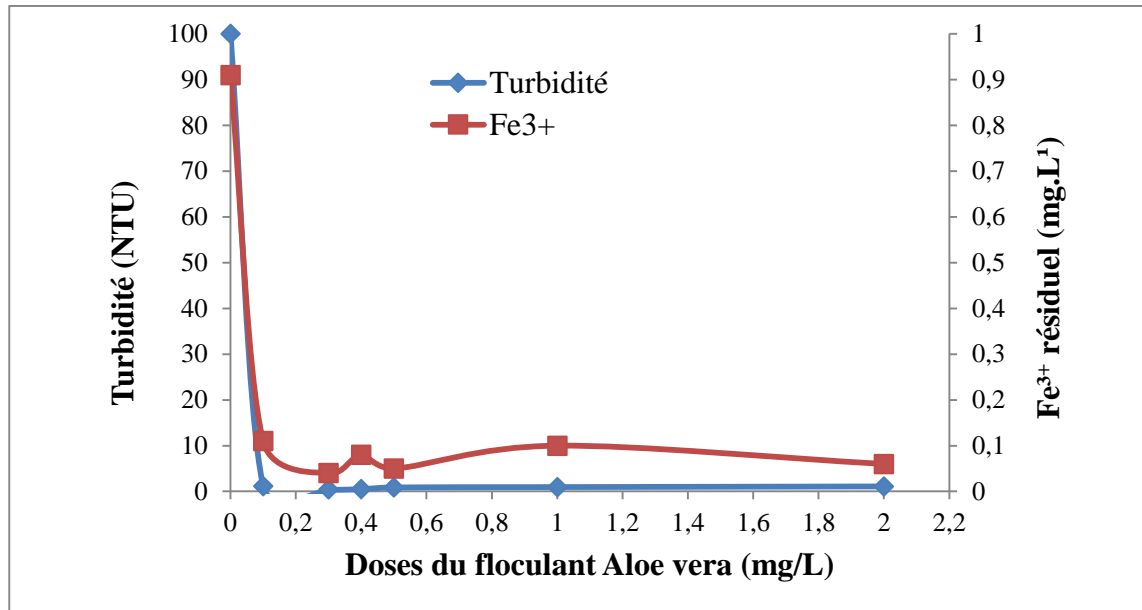


**Figure IV.16: Effet de la variation des doses du gel de cactus sur la turbidité et le fer résiduel**

L'allure de la courbe représentant l'évolution de la turbidité et le fer résiduel en fonction des différentes doses du gel de cactus, montre une diminution rapide de la turbidité jusqu'à atteindre **0,74 NTU** qui correspond à une dose de **2,32mg/L** de gel de cactus, soit un abattement de **99,26%** et **0,07mg/L** de fer résiduel. Cela est dû à la composition du gel de cactus en sucre, ce qui a été confirmé par l'étude de Miller et al, 2008. Ils ont rapporté que le mucilage de cactus est capable de réduire entre 30% et 50% la turbidité, grâce à leur richesse en sucre tels que l'arabinose, le D-galactose, le L-rhamnose, le D-xylose, et l'acide galacturonique. Il est à noter, qu'ajouter seul, l'acide galacturonique peut réduire plus de 50% de la turbidité [38].

**c. Aloe vera**

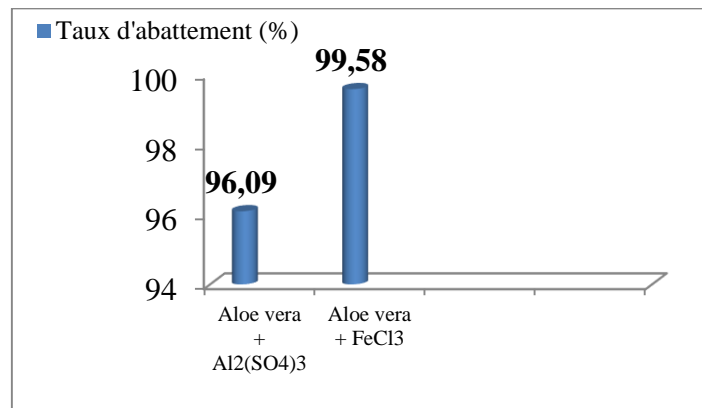
Une fois le pH et la dose du coagulant fixés, vient la variation de la dose du floculant (gel de l’Aloe vera). Les résultats sont comme suit :



**Figure IV.17: Effet de la variation des doses du gel d’Aloe vera en fonction de la turbidité et le Fer résiduel**

La figure IV.17, représente la variation de la turbidité et le fer résiduel en fonction des doses du gel d’Aloe vera. Elle montre une chute brutale de la turbidité qui atteint **0,42 NTU**, soit **99,58%** d’abattement correspondant à un taux de fer résiduel de **0,04mg/L** pour une dose optimale de 0,3mg/L. Le gel d’Aloe vera contient de longues chaînes de protéines sur lesquelles se fixent les colloïdes formant des floccs facilement décantés [39].

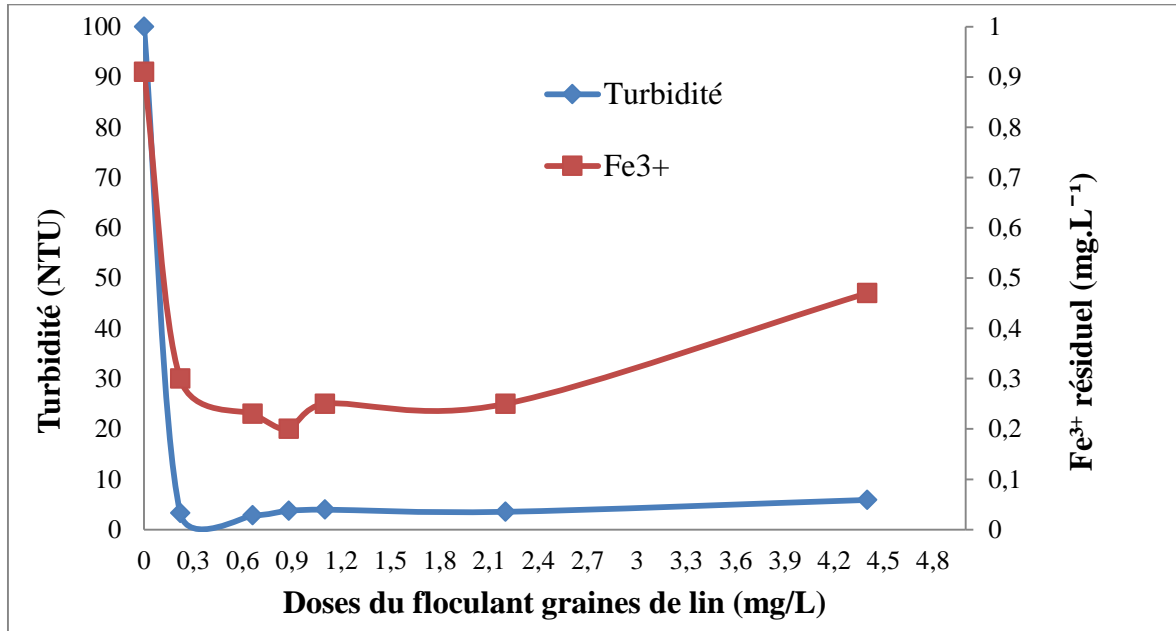
En comparant, ce résultat à celui trouvé avec le coagulant sulfate d’alumine et le gel d’Aloe vera, nous pouvons inférer que le gel d’Aloe vera forme une bonne combinaison avec le coagulant FeCl<sub>3</sub>. Leurs taux d’abattements sont regroupés dans la figure suivante :



**Figure IV.18 : taux d’abattement (%) de la réduction de la turbidité.**

#### d. Graines de lin

Nous avons suivi la variation de la turbidité en fonction des doses croissantes du gel des graines de lin, en fixant le pH à 7,2, les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant :



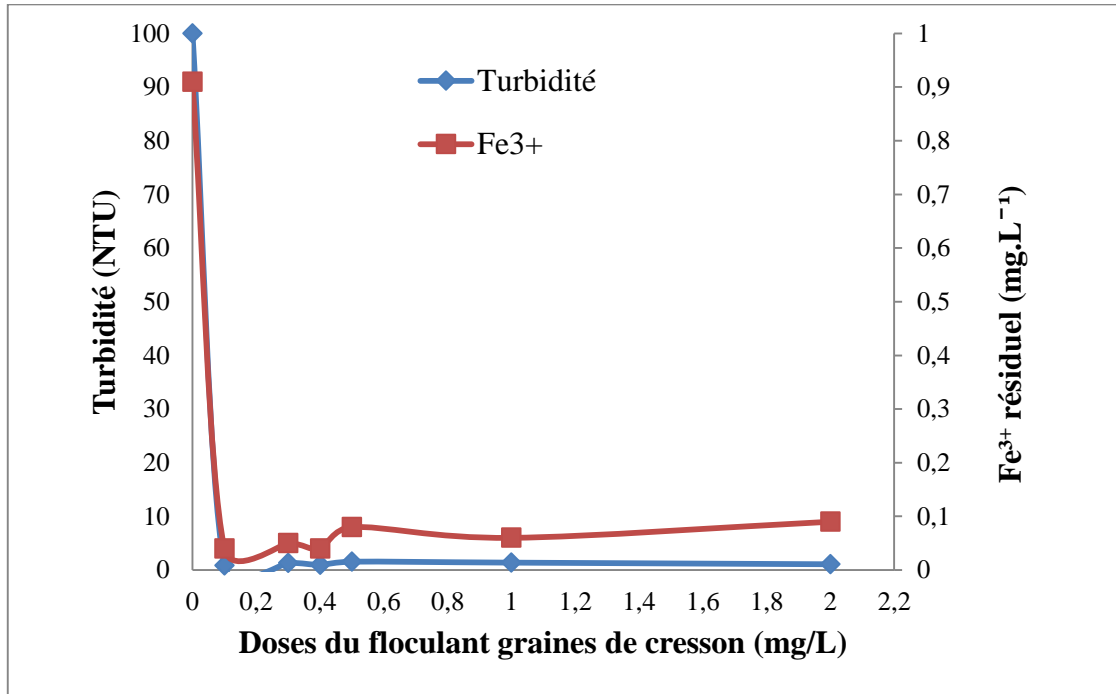
**Figure IV.19: Effet de la variation des doses du gel des graines de lin sur la turbidité et le Fer résiduel**

La figure IV.19, représente l'effet de la variation des doses du gel des graines de lin sur la turbidité et le fer résiduel, où nous observons une diminution rapide arrivant à **2,81 NTU** d'une dose **0,66mg/L**, (**97,19%**) avec un taux de fer résiduel **0,23mg/L**.

On enregistre une augmentation légère du taux du Fer résiduel, qui peut être expliquée par la contenance du gel des graines de lin en sels minéraux tel que le fer [30].

### e. Graines de cresson

Pour déterminer la dose optimale du gel des graines de cresson en présence du Chlorure ferrique, nous avons suivi les mêmes étapes que la manipulation précédente, les résultats obtenus sont mentionnés sur le graphe ci-dessous.



**Figure IV.20: Effet de la variation des doses du gel des graines de cresson sur la turbidité et le Fer résiduel**

Nous observons d'après la figure IV.20, une forte diminution de la turbidité de **100NTU** à **0,86 NTU** et une stabilité du taux du Fer résiduel en dessous de la norme de potabilité. Selon la même figure, la valeur optimale est enregistrée pour une dose de **0,1mg/L** du gel des graines de cresson, soit **99,14%** d'abattement de la turbidité correspondant à un taux de Fer résiduel de **0,04mg/L**. L'apparition des floccs est rapide, et l'augmentation du volume des floccs se fait progressivement jusqu'à la fin de l'agitation lente, ce qui nous a permis de déduire que le bio-flocculant forme une très bonne combinaison avec les Chlorures ferriques, comme le montre les figures suivantes:



Figure IV.21 : Eau avant et après traitement

#### IV.4.3 Le pouvoir coagulant et floculant des gels naturels

Après détermination des doses optimales des floculants en présence du coagulant, nous avons testé l'efficacité des floculants sans l'ajout du coagulant ainsi que leur pouvoir coagulant floculant, en fixant le pH à niveau optimum et en variant la dose des différents floculants. Sachant que, pour tester le pouvoir coagulant des gels, les volumes des gels seront injectés dans l'étape de coagulation où la vitesse est très rapide contrairement au test de pouvoir floculant des gels, ces derniers seront injectés dans une étape de floculation où la vitesse est lente.

Les résultats sont représentés sur les figures ci-dessous:

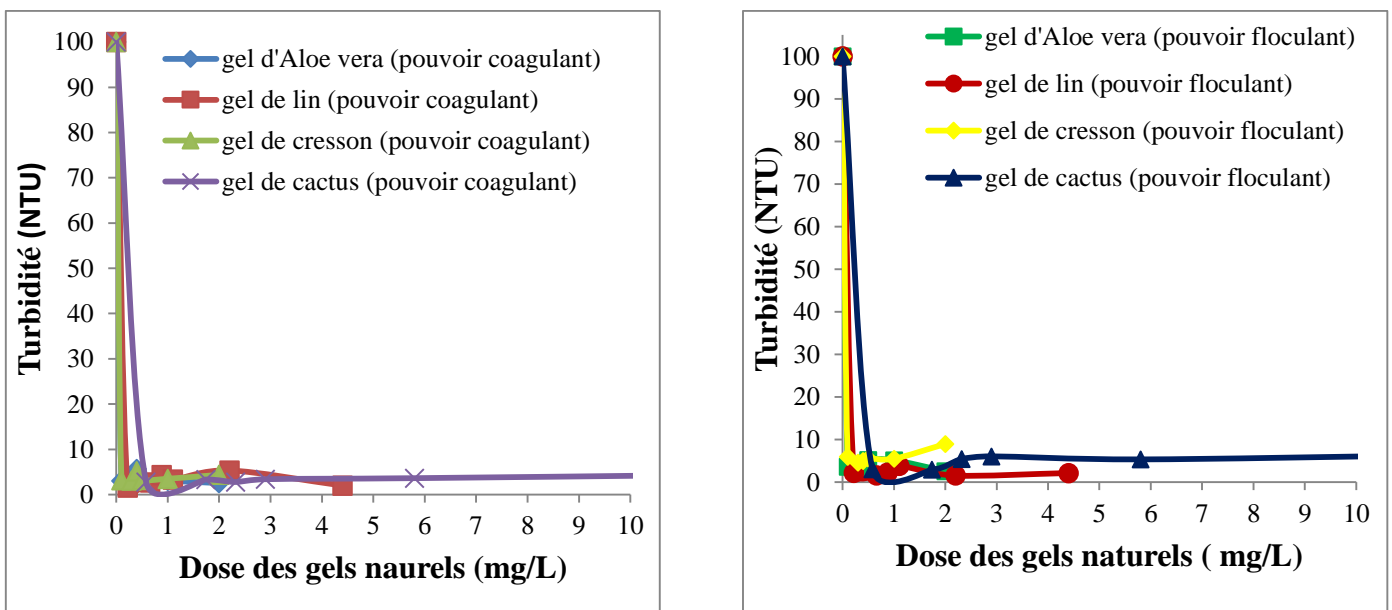
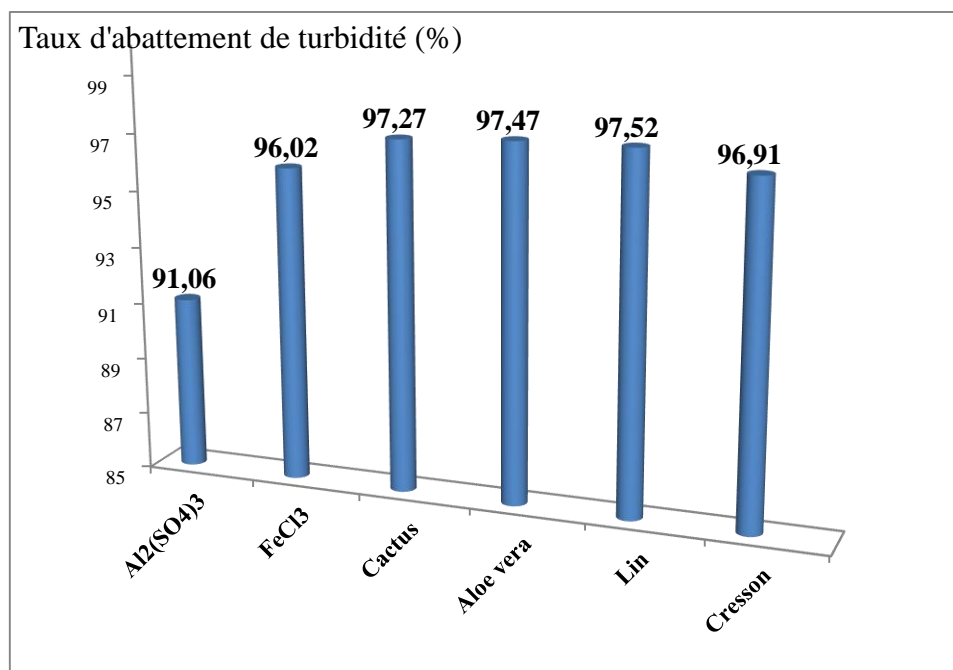


Figure IV.22: Le pouvoir coagulant et floculant des gels naturels

Les résultats obtenus montrent le pouvoir coagulant des gels et leurs capacités à déstabiliser les particules colloïdales. C'est-à-dire que ces gels contiennent des substances qui abaissent la barrière énergétique, donc ils optimisent la distance entre les colloïdes pour favoriser la formation de floccs.

La richesse des gels en minéraux (cations bivalent et trivalent: le calcium, le magnésium, et le fer) leurs accordent un caractère coagulant.

Selon la même figure, nous observons que ces gels ont aussi un pouvoir floculant qui peut être expliqué par leurs richesses en sucre (monomères, et polymères glucidiques) et des protéines, favorisant la floculation.



**Figure IV 23: Les taux d'abattement de la réduction de la turbidité pour les différents coagulants**

Le graphe ci-dessus représente les taux d'abattement de la turbidité de chaque coagulant qui nous a permis de déduire que :

- Les bio-coagulants prennent les premières positions en élimination de la turbidité comparés aux coagulants chimiques. Ces derniers permettent en effet d'atteindre des objectifs de traitement, mais ils présentent des inconvénients qui ont un impact sur la santé humaine et sur l'environnement. Selon Wang, Z.J., et al, (2016) qui ont rapporté que les

ions  $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$  résiduels, présents dans l'eau après traitement peuvent causer des problèmes de santé tel que l'Alzheimer ( $Al^{3+}$ ) [40].

- Selon la même figure, nous observons la capacité des gels des graines de lin et de cresson pour déstabiliser les particules en suspension, dont le meilleur taux d'abattement (97,52%) est enregistré pour le gel des graines de lin.
- Les travaux de Gandiwa, Moyo et al (2020) qui ont utilisé le gel de cactus comme coagulant naturel, ont montré l'efficacité de ce bio-coagulant, par une diminution de la turbidité de 29 NTU à 3 NTU, soit un taux d'abattement de 97% [41].
- D'autres auteurs, (Young et al., 2006 ; Kevin et al., 2005 ; Young et al., 2005) confirment également que le mucilage extrait de cactus agit comme un coagulant efficace dans le traitement de l'eau trouble [42].
- Avec l'Aloe vera, nous avons pu atteindre un taux d'abattement de la turbidité de 97,47% cependant, A. Benalia et al. (2019) n'ont pu enregistrer que 84,77% lors du traitement d'une eau ayant une turbidité de 13NTU par l'Aloe vera [43].

Afin de montrer l'efficacité de floculation de chaque gel nous avons rapporté sur la figure ci-dessous le suivi de la turbidité en fonction des doses de chaque gel.

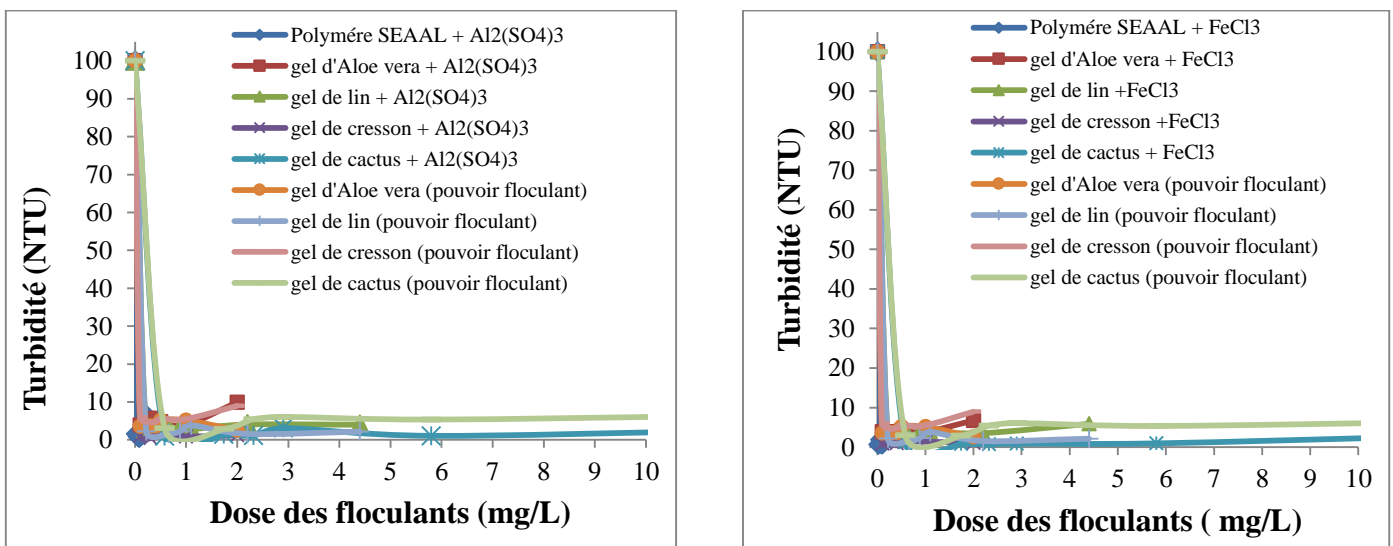
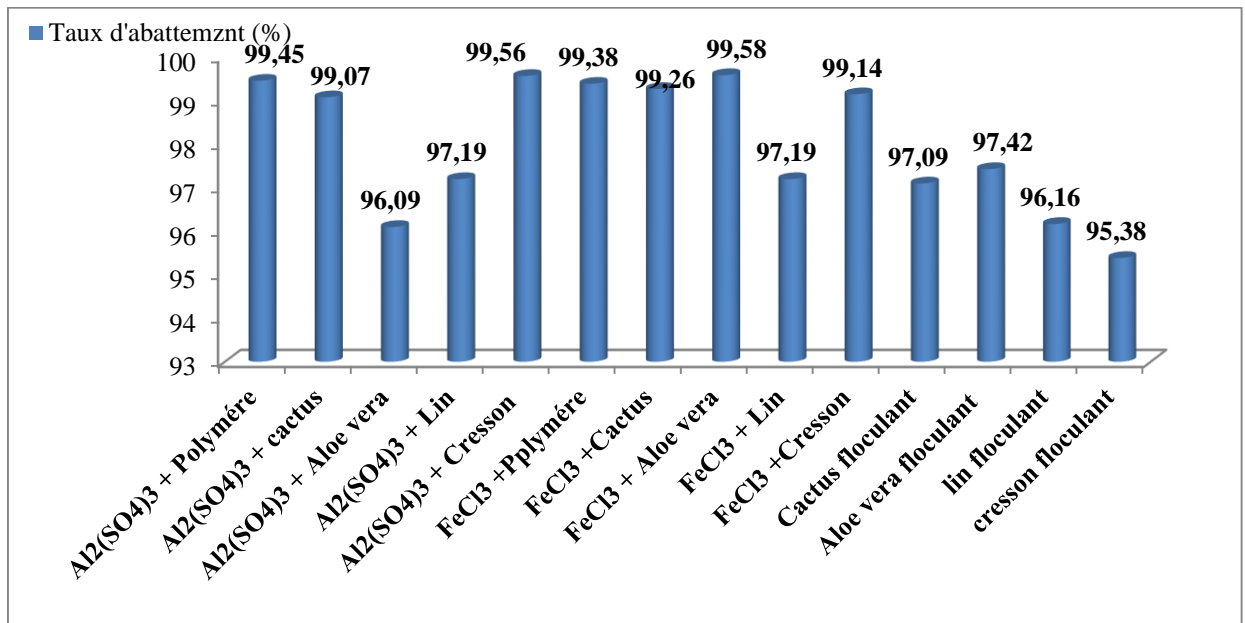


Figure IV.24: variation de la turbidité en fonction des doses de chaque combinaison.

Le suivi de la turbidité, en fonction des doses des flocculants a montré un léger effet des coagulants  $Al_2(SO_4)_3$  et  $FeCl_3$ , sur un abattement de la turbidité ne dépassant pas les 5% comme le montre la figure IV.24, ce qui prouve la performance des flocculants naturels

pour l'élimination de la turbidité. En outre, afin de pouvoir comparer la différence entre les flocculants utilisés, nous avons présenté les taux d'abattement maximum de la turbidité de chaque combinaison dans la **figure IV.25**.



**Figure IV.25: Les taux d'abattement de la turbidité pour les différentes combinaisons (coagulant-flocculant)**

D'après la figure ci-dessus, les meilleures combinaisons sont : (FeCl<sub>3</sub>+ Aloe vera) avec un taux d'abattement de turbidité de **99,58%**, (Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+Graines de cresson) (**99,56%**), (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+polymère SEAAL) (**99,45%**) et (FeCl<sub>3</sub>+cactus) (**99,26%**). Ces résultats montrent que nos gels ont un pouvoir flocculant similaire à celui obtenu avec le polymère synthétique utilisé au niveau de la station de traitement, cependant ces polymères synthétiques sont toxiques, cancérigènes, et résistants à la biodégradation. Ainsi, ces flocculants naturels seront un bon alternatif au polymère synthétique, limitant les problèmes environnementaux et de santé.

#### IV.4.4 Pouvoir flocculant de la poudre de cactus

Après avoir étudié l'efficacité du gel de cactus, nous avons testé celle de la poudre de cactus dans le processus de coagulation-floculation, où elle a été utilisée comme flocculant.

Les résultats obtenus nous ont permis de tracer le graphe ci-dessous.

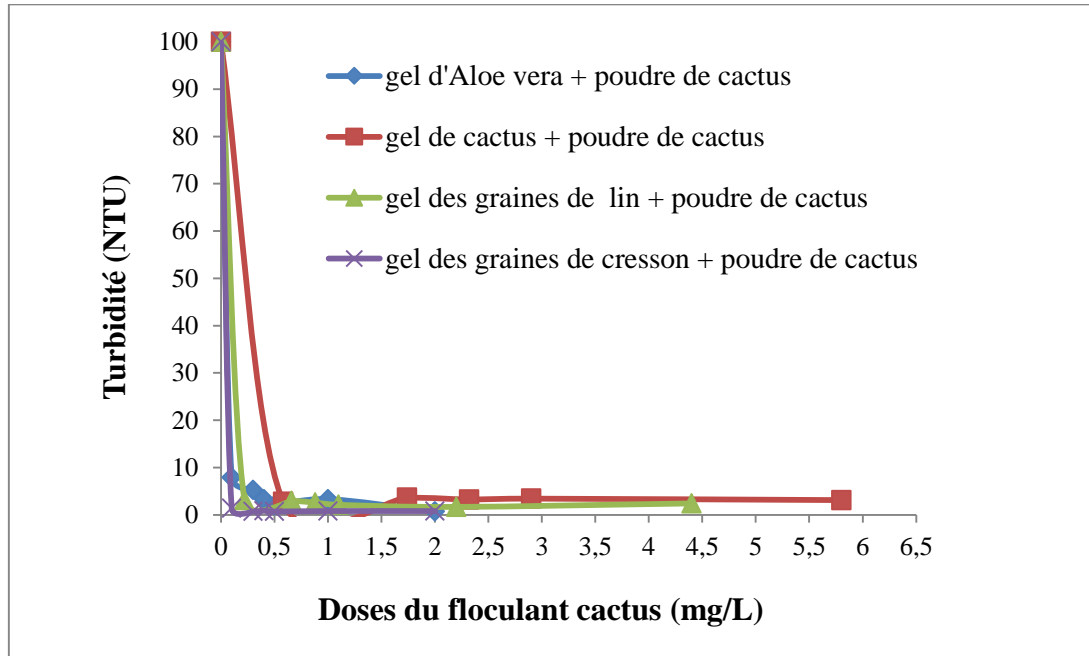
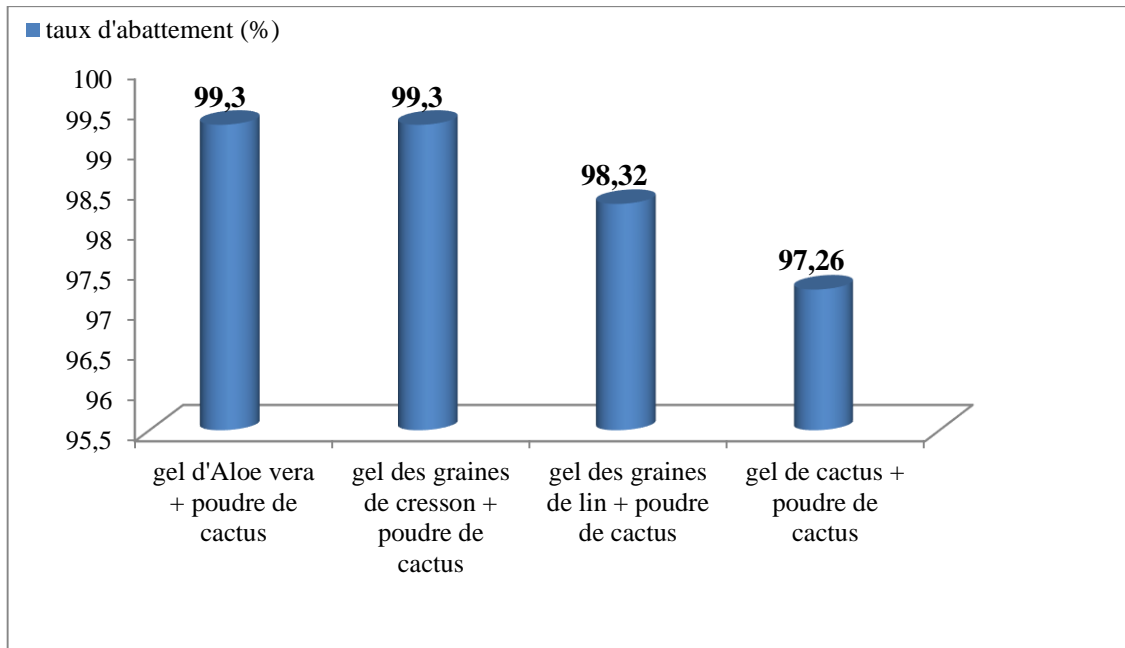


Figure IV.26: effet de la poudre de cactus en fonction de la turbidité

L'allure des courbes représente l'effet flocculant de la poudre de cactus sur la turbidité pour différentes doses des gels, montrant une diminution spectaculaire de la turbidité dont les meilleurs résultats sont enregistrés pour les combinaisons (gel des graines de cresson + poudre de cactus) et (gel d'Aloe vera + poudre de cactus) avec une turbidité de **0,70 NTU** soit **99,30%** d'abattement, en deuxième position viendra (gel des graines de lin + poudre de cactus) avec un taux d'abattement de **98,32%** de turbidité de **1,68 NTU**, et en dernier (gel de cactus + poudre de cactus) avec une turbidité de **2,74 NTU**, soit un taux d'abattement de **97,26%**. Ces résultats sont regroupés dans la figure suivante:



**Figure IV.27 : taux d'abattement de la réduction de la turbidité des différentes combinaisons.**

Les résultats obtenus ont montré l'efficacité de la poudre de cactus dans le procédé de coagulation-floculation. A. Belayneh et W. Batu, (2015) ont rapporté que la poudre de cactus forme de larges floccs avec des impuretés, où elle facilite la décantation et l'éclaircissement de l'eau [44].

Kaur et ses collaborateurs (2006), ont montré l'existence de l'acide polygalacturonique qui est un dérivé de monomères galacturoniques est le principal composant responsable de l'activité floculant dans la poudre de cactus [42].

### IV.4.5 Influence du temps de décantation

Cet essai est réalisé avec les coagulants chimiques  $Al_2(SO_4)_3$  et  $FeCl_3$  dans les conditions optimales de pH (pH=7, 7,2) respectivement, avec une dose de 5mg/L.

Nous avons fait varier le temps de décantation (30-60min) pour différentes doses de floculant (gel de cactus). Les résultats obtenus sont interprétés ci-dessous :

#### Cas d' $Al_2(SO_4)_3$ + gel de cactus

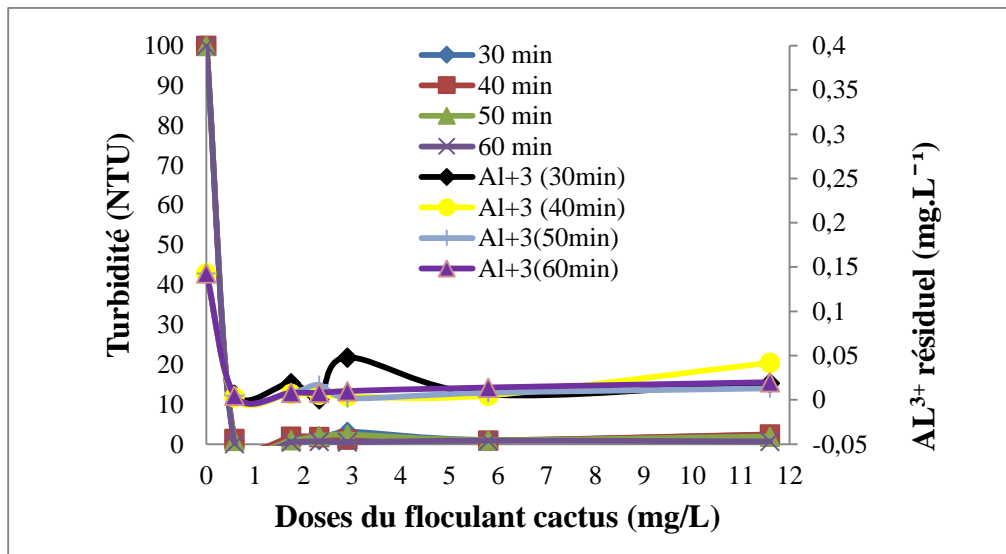


Figure. IV.28: Influence du temps de décantation sur la turbidité et l'Aluminium résiduel.

#### Cas de $FeCl_3$ +gel de cactus

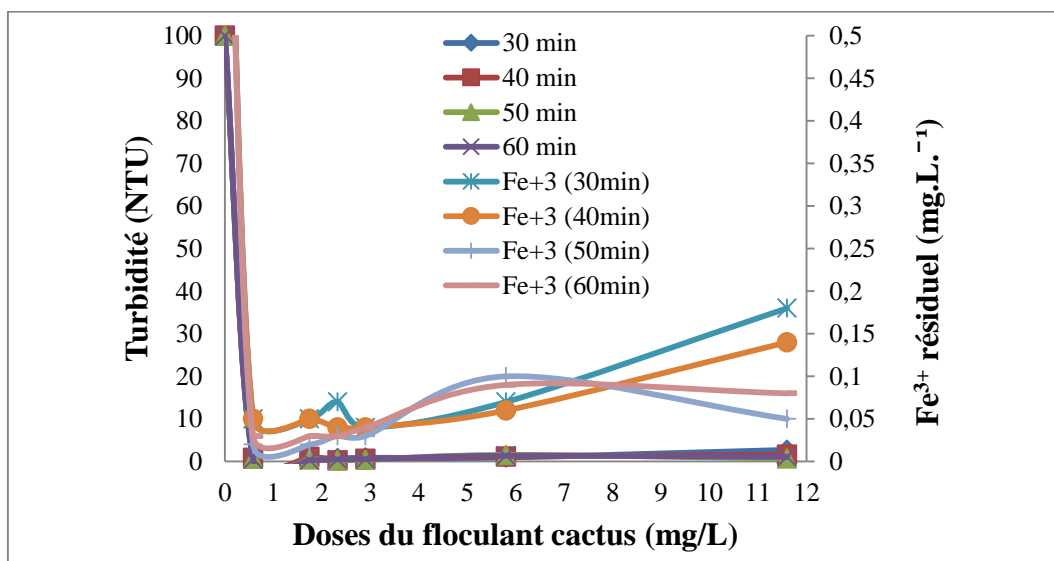


Figure IV.29: Influence du temps de décantation sur la turbidité et le Fer résiduel.

Les figures IV.28 et IV.29 illustrent, l'effet du temps de décantation sur la turbidité et l'Aluminium et le Fer résiduel, nous remarquons à 30min une chute de la turbidité jusqu'à **0,93 NTU** et **0,74NTU** respectivement avec des taux d'abattement de **99,06%** et **99,26%** correspondants à des taux d'Aluminium et du Fer résiduels de **0,006mg/L** et **0,07mg/L**.

Le meilleur résultat est atteint après 60min de décantation où elle atteint un maximum d'élimination avec un taux d'abattement de **99,83%** et une turbidité de **0,17NTU** avec un taux d'Aluminium résiduel de **0,003mg/L** pour la combinaison (**Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+gel de cactus**) et une turbidité de **0,33NTU** soit **99,67%** d'abattement correspondant à un taux de Fer résiduel de **0,03mg/L** pour la combinaison(**FeCl<sub>3</sub>+gel de cactus**).

Pour conclure, les bio-floculants utilisés dans notre étude ont donc un pouvoir mutuel coagulant et floculant, ils auront donc une forte possibilité d'être une alternative aux coagulants et floculants chimiques.

### IV.5 La consommation d'alcalinité

Une autre particularité de l'addition de coagulant dans l'eau, a été examinée. Tout coagulant mis en solution, consomme de l'alcalinité. Cette perte d'alcalinité est fonction de la nature et de la concentration du composant mis en jeu.

Pour vérifier cela, nous allons mesurer le TAC de surnageant dans une série de jar test avec les deux coagulants chimiques FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, ainsi que les gels naturels.

#### IV.5.1 Cas de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> et FeCl<sub>3</sub>

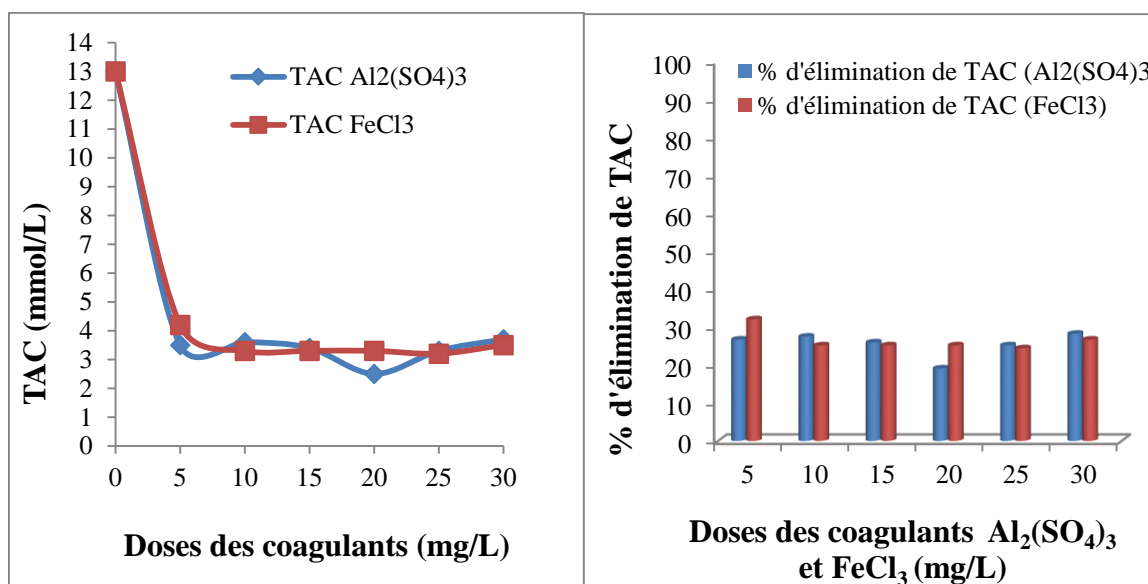


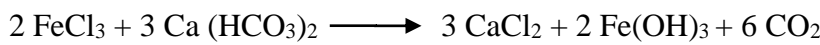
Figure IV.30: L'effet de la variation des Doses d'Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> et FeCl<sub>3</sub> sur le TAC

Figure IV.31: Taux d'élimination de TAC (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> et FeCl<sub>3</sub>)

D'après les figures (IV.30 et IV.31) nous observons une diminution de l'alcalinité de l'eau après la coagulation, la dose **30mg/L** du sulfate d'alumine a consommé **28,46%** de TAC (le taux le plus élevé) tandis que le faible taux **19,23%** est enregistré pour la dose de **20mg/L**. Selon la même figure, nous remarquons une consommation de TAC de l'eau traitée par le chlorure ferrique, où le taux le plus élevé **32,30%** est enregistré pour la dose **5mg/L**, un taux d'environ **25%** pour le reste des doses.

En comparant les résultats obtenus avec le chlorure ferrique à ceux trouvés avec le sulfate d'alumine, nous pouvons déduire que ce dernier consomme moins d'alcalinité.

Cette consommation pourra être expliquée par les équations suivantes:



La consommation d'alcalinité par les coagulants et la production de CO<sub>2</sub> sont les éléments importants de ces réactions. Cette perte d'alcalinité se traduit par une chute de pH, donc par une acidification de l'eau; l'acidité est à vérifier avant et après la coagulation. Les corrections de pH s'effectuent en corrigeant la perte d'alcalinité, par l'ajout de la chaux et la soude.

#### IV.5.2 Cas des gels naturels

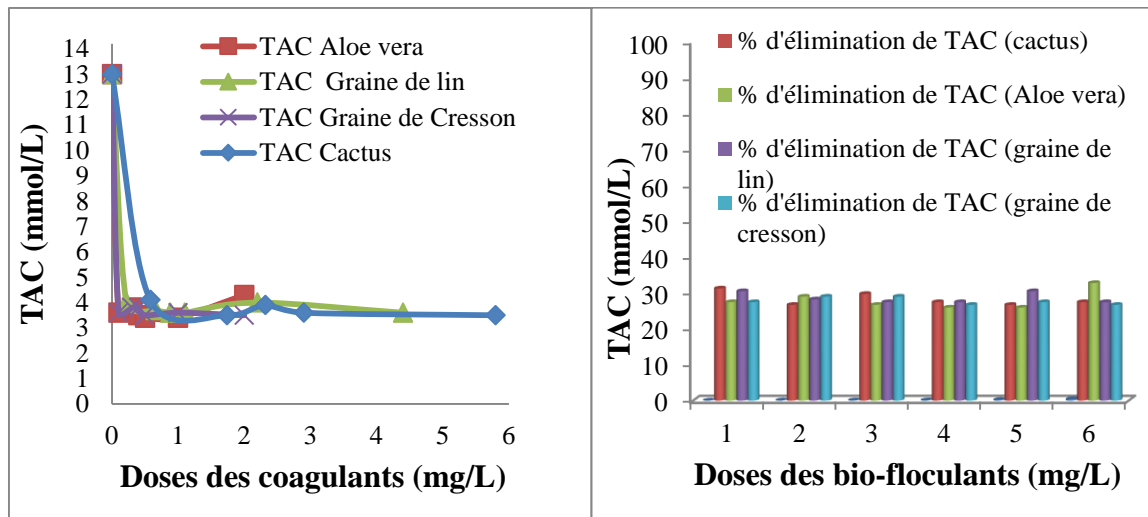


Figure IV.32: l'effet de la variation des doses des gels naturels sur le TAC

Figure IV.33: Taux d'élimination du TAC en fonction des doses des gels naturels

Les graphes ci-dessus montrent une consommation de TAC de l'eau traitée par les gels naturels dans l'intervalle **26,15-33,07%**. En comparant ces résultats à ceux trouvés avec les coagulants chimiques, nous pouvons déduire que les bio-floculants ont le même effet sur l'alcalinité.

L'objectif de notre étude est de substituer les produits synthétiques utilisés dans le traitement des eaux de surface, par des produits naturels.

Comme l'ont relevé certaines études, les coagulants à base d'aluminium, et de fer ainsi que les polymères synthétiques utilisés au niveau des stations de traitement des eaux potables, présentent un désavantage important du fait de leurs coûts et de leurs toxicités probantes pour l'environnement et la santé humaine. Cela nous a donc poussés à investiguer la possibilité d'utiliser les composés d'origines naturelles extrait à partir du cactus (gel et poudre), Aloe vera, des graines de lin et des graines de cresson, dans la coagulation-floculation.

Des études au niveau du laboratoire de la station de traitement TAKSEBT, ont permis l'obtention d'une excellente performance à l'aide de nos bio-floculants. Les résultats obtenus nous permettent de tirer les enseignements suivants:

- Nos bio-floculants représentent une très bonne capacité de floculation en présence des coagulants  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  avec des taux d'abattement de la turbidité qui dépassent les 95%, dont les combinaisons ( $\text{FeCl}_3$  + Aloe vera), ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  + graines de Cresson), ( $\text{FeCl}_3$  + Cresson), ( $\text{FeCl}_3$  + Cactus), ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  + Cactus) révèlent des taux d'abattement 99,58%, 99,56%, 99,14%, 99,26%, 99,07% respectivement.
- L'Aluminium et le Fer résiduels enregistrent des valeurs au-dessous des normes de potabilité.
- Les floculants naturels disposent d'un pouvoir mutuel coagulant et floculant qui rivalise celui des coagulants chimiques et des polymères synthétiques.
- La poudre de cactus possède un bon pouvoir floculant où les pourcentages de réduction de turbidité dépassent les 97%.

Des tels rendements positionnent avantageusement les solutions alternatives aux problèmes associés à la performance environnementale des coagulants chimiques et les polymères synthétiques, sans oublier que ces bio-floculants Ecofriendly, sont biodégradables, non toxiques, relativement peu coûteux et sont produits localement, comparés aux produits chimiques qui sont importés.

- [1] OLIVIER ATTEIA, Chimie des pollutions des eaux souterraines, professeur des universités, institut EGID (environnement, géo-ingénierie et développement) université Michel de Montaigne Bordeaux 3.
- [2] C.T.TANOVA, contrôle et suivi de la qualité des eaux usées, Protocole de détermination de paramètres physico-chimique et bactériologiques, Centre régionale pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût, centre collaborant de l'OMS, CRETA, Janvier (2007).
- [3] Romade. F. Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Edi science international, Paris (1998).
- [4] Levallois P, St-Laurant J, Gauvin D, Courteau M. Etude de l'impact de la contamination par le plomb de l'environnement résidentiel sur la plombémie des jeunes enfants. Report presented to Health Canada. Institut national de santé publique du Québec, (2011).
- [5] J.RODIER, L'analyse de l'eau, 9<sup>ème</sup> édition. Dunod, (2009).
- [6] BEST WATER TECHNOLOGY, techniques du traitement de l'eau dans les bâtiments, 3<sup>ème</sup> édition, LE MONITEUR, (2009).
- [7] DEGREMONT. Mémento techniques de l'eau. Edition : techniques et documentation, paris, (1989).
- [8] Glossaire sur l'eau. (2012).
- [9] Metahri. Caractérisations de l'état de pollution et modélisation du pouvoir auto épurateur du Sebaou par la méthode du bilan d'oxygène et évaluation de la pollution par les nitrates. Mémoire de Magistère de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2003).
- [10] KACI-MOUSSA, MOALI. Suivi du barrage Taksebt en surface et en profondeur et des affluents de l'Oued Aissi. Master en Géologie de l'Université Mouloud Mammeri (2019).
- [11] Laboratoire de la station du traitement TAKSEBT (2022). SEAAL.
- [12] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition volume 1, Recommandations. Genève (2004).
- [13] JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°18.2011.
- [13] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. Directives de qualité pour l'eau de boisson : quatrième édition. Intégrant le premier additif (2017). ISBN 978-92-4-254995-9.
- [14] Desjardins R. Traitement des eaux. Edition de l'école polytechnique de Montréal. 2<sup>ème</sup> édition revue et enrichie. Montréal Québec (1997), 304p.
- [15] Ezziane S. Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT'TENES. Mémoire de Magister en génie de procédé. Université Hassiba Ben BOUALI. Chelef (2007).
- [16] Zengo I., Maiga A.H., Wéthé J., Valentin G., Leclerc J.P., Paternotte G., Lapicque F., Electrocoagulation for the treatment of textile wastewaters with Al or Fe electrodes :

Compared variations of COD levels, turbidity and absorbance, *Journal of Hazardous Materials* (2009), 70-76p.

[17] Valentin N. Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable. Thèse de doctorat, UTC/Lyonnaise des Eaux /CNRS, (2000).

[18] Desjardins C. Simulation et étude en laboratoire de floculation lestée (ACTIFLO) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test. Mémoire de Maîtrise Es Science Appliquées (Génie Civil), Département Des Génie Civil, Géologique et des Mines, Ecole polytechnique de Montréal, Canada (1999).

[19] Claude Cardot. Les traitements de l'eau pour l'ingénieur, procédés physico-chimiques et biologiques. Edition ellipses.

[20] Jean-Claude BOEGLIN. Traitements physico-chimiques de la pollution insoluble, G1270. Editions Techniques de l'ingénieur (2002).

[21] HERNANDEZ DE LEON H. R. Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France (2006).

[22] Lakhdari bouazza, Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Air ELHOUTZ (2011), p20-36.

[23] Onesippe C .Etude des systèmes polyélectrolytes /Tensioactif en phase aqueuse et l'interface liquide/gaz. Application à l'élaboration de micro-capsules. Thèse de doctorat, Ecole doctorale : Science chimiques et physique, Université de Montpellier II, France., (2005).

[24] DEGREMONT. Mémento technique de l'eau : Tome 2. Lavoisier, SAS-Lexique technique de l'eau, dixième édition, Paris, France (2005).

[25] A. Mazari et A. Mahdeb. Importance nutritionnelle et agro-économique des produits issus du figuier de barbarie : revue de la littérature. *Recherche Agronomique*, 2021 Vol. 19, N° 1, p 43-63.

[26] Neffer S. Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de barbarie sur la variation des ressources naturelles des steppes Algérienne de l'Est cas de souk Ahrass et Tebessa. Doctorat en biologie végétale. Algérie (2012), 154p.

[27] Hadj Sadok T., Aid F., Bellal M., Maria Stela Abdul Hussain. Composition chimique des jeunes cladodes d'opuntia ficus indica et possibilités de valorisation alimentaire. *Agriculture, Agricultural practice and science journal*, Vol 65, N 1-2 (2008).

- [28] Natacha Michayewicz. L'Aloe vera plante médicinale traditionnellement et largement utilisée depuis des millénaires, aux nombreuses propriétés thérapeutiques. Plante miracle ?. Science pharmaceutiques (2013).
- [29] Bruneto J, pharmacognosie- phytochimie, plantes médicinales, 4 éd, revue et augmentée, Paris, Tec & DOC. Editions médicinales internationales (2009), 1288p.
- [30] Véronique Bertrand. Graines de lin. Bienfaits, Utilisations, Dangers, Santé. Diététicienne nutritionniste, Publié le 15sept (2022).
- [31] Jansen P. PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (2007).
- [32] Bigoniya P, CS Singh and A Shukla. Indian Journal of Natural Products and Resources (2011), 2(4), 464-471.
- [33] Chtourou Sabrina. Bienfaits et vertus des herbes, (2018).
- [34] M. JAOUADI, N.AMDOUNI, Coagulation treatment By  $Al_2(SO_4)_3$  And Residual Al, determination In medjerda water dam (Tunisia), Journal de la Société Chimique de Tunisie (2013), 15, 175-1813.
- [35] Asnam Amira ; Aouabed Ali ; Bouras Omar, Synthesis and application of a new biomaterial based on Opuntia Ficus India (cactus) in water treatment. Laboratoire d'analyse fonctionnelle des procédés chimiques, Université Saad Dahleb, Laboratoire Eau, Environnement et Développement Durable, Université Saad Dahlab (2019).
- [36] Miller Sarah M., Ezekiel J. Fugate, Vinka Oyanedel Craver, James A. Smith, And Julie B. Zemmerman. Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntia spp. As a natural coagulant for potential Application in Water Treatment. Environ. Sci. Technol (2008), 42, 4274-4279.
- [37] LEONI N., Amélioration du traitement de clarification, contribution à l'étude des mécanismes de coagulation d'eaux douces et peu turbides par le fer(III) et d'un procédé de floculation lestée. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France (1996).
- [38] PALLIER V., Elimination de l'arsenic par coagulation/floculation et électrocoagulation d'eaux faiblement minéralisées. Thèse de doctorat, Université de Limoges (2008), 282 p.
- [39] Bouchareb, R. ; Derbal, K. ; Benalia, A. Optimization of active coagulant agent extraction method from Moringa Oleifera seeds for municipal wastewater treatment. Water Sci. Technol (2021).

- [40] Wang, Z.J., Wei, X.M., Yang, J.L., Suo, J.N., Chen, J.Y. et al. (2016). Chronic exposure to aluminium and risk of Alzheimer's disease : A meta-analysis. *Neuroscience Letters*, 610, 200-206. DOI 10.1016/j.neulet. (2015).11.014.
- [41] Gandiwa, B.I. ; Moyo, L.B. ; Ncube, S. ; Mamvura, T.A. ; Hlabangana, N. Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment : (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-Alum Blend). *S. Afr. J. Chem. Eng.* (2020), 34, 158-164, doi : 10.1016/J. Saje-2020.07.005.
- [42] Young, k. The Mucilage of *Opuntia ficus indica*: a natural, sustainable and viable water treatment technology for use in rural Mexico for reduction turbidity and arsenic contamination in drinking water. Master's Thesis, University of South Florida, Tampa (2006).
- [43] Benalia, A. ; Derbal, K. ; Panico, A. ; Pirozzi, F. Use of Acorn leaves as a Natural Coagulant in a Drinking Water Treatment Plant. *Water Res* (2019), 11, 57, doi : 10 : 10.3390/W11010057.
- [44] Belayneh, W-Batu, « Application of biosorbent derived from Cactus Peel for Removal of Colorful Manganese ions from Ground Water », *Journal of Water Resources and Oceans Science* (2015); 4 (1): 18-23 Published online February 9 /2015.

Lors de notre étude nous avons mesuré les paramètres physico-chimiques de l'eau traitée tels que la turbidité, le pH, la couleur, l'absorbance, la concentration de l'Aluminium résiduel ainsi que le Fer résiduel.

- **Mesure de la turbidité**

La turbidité est l'effet optique qui traduit le caractère trouble de l'eau. Elle est due à la présence de diverses matières en suspension telles que les fines particules de matière organiques ou d'argiles et microorganismes. La turbidité se mesure par la technique optique absorption ou diffusion des rayons lumineux par les particules en suspension, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit).



**Turbidimètre 2100N**

- **Mesure du pH**

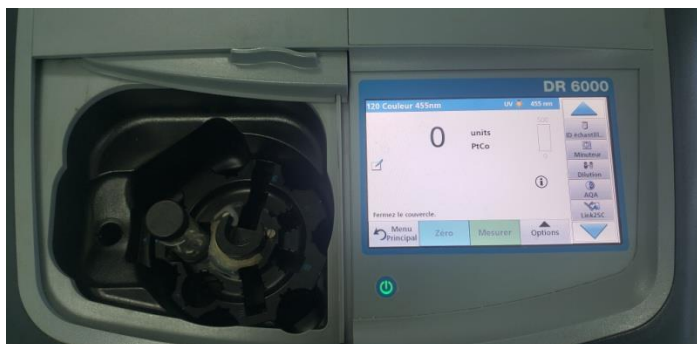
Le potentiel hydrogène est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènes  $H^+$ . Un pH inférieur à 7 signifie une solution acide, au dessus de 7 c'est une solution basique.



**pH mètre**

- **Mesure de la couleur**

La coloration d'une eau placée dans des tubes à colorimétrie est comparée soit avec celle d'une solution de référence de platine-cobalt soit avec des disques de verre colorés et exprimée en unités Hazen.



**Spectrophotomètre DR6000**

- **Mesure de l'absorbance à 254nm**

La mesure de l'absorption à 254nm est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons. La mesure de l'absorbance peut nous renseigner sur le contenu organique d'une eau. Elle caractérise la lumière absorbée par la matière organique présente dans l'échantillon. L'absorbance est lue sur spectrophotomètre (DR6000) exprimé en abs/cm.



**Spectrophotomètre DR6000**

- **Dosage d'Aluminium par la méthode LCK**

C'est une méthode spectrophotométrique au chromazurol S qui est basée sur la formation d'un complexe coloré entre la molécule de chromazurol S et l'ion aluminium, exprimé en unité mg/l.



**LCK301**

**Tube LCK301**

- **Dosage du Fer par la méthode classique**

Après oxydation en milieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrométrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la phénanthroline 1,10, exprimé en mg/l.



**Dosage du fer**

- **Méthode titrimétrique de dosage du TAC**

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué (acide Chloridrique 0,01M), en présence d'un indicateur coloré (méthyle orange), exprimé en degré français F°.



**Titrage du dosage TAC**

## Résumé

L'utilisation des sels minéraux et des polymères synthétiques dans le traitement des eaux potables, suscite des inquiétudes quant à leurs conséquences sur la santé humaine et l'environnement. Aujourd'hui, la nécessité de substituer ces produits chimiques par des produits naturels est cruciale. La présente étude vise à étudier l'efficacité des bio-floculants (cactus (gel et poudre), Aloe vera, graines de lin, graines de cresson) comme coagulant et floculant dans la filière coagulation-floculation, et ce, en comparaison avec les deux coagulants  $Al_2(SO_4)_3$  et  $FeCl_3$ , ainsi que le polymère synthétique SEAAL. Ces polymères d'origine naturelle offre des propriétés de non-toxicité et de biocompatibilité, et révèlent des rendements satisfaisants concernant la floculation et la réduction de la turbidité, plus de 95%, ainsi qu'un double pouvoir, floculant et coagulant.

**Mots clés :** Cactus, Aloe vera, graines de lin, graines de cresson, coagulation-floculation, traitement des eaux potables.

## Abstract

The use of mineral salts and synthetic polymers in the treatment of drinking water raises concerns about their consequences on human health and the environment. Today, the need to substitute these chemicals with natural products is crucial. The present study aims to verify the effectiveness of bio-flocculants (cactus (gel and powder), Aloe vera, flax seeds, watercress seeds) as coagulants and flocculants in the coagulation-flocculation process, in comparison with the two coagulants  $Al_2(SO_4)_3$  and  $FeCl_3$ , as well as the synthetic polymer SEAAL. These natural polymers offer properties of non-toxicity and biocompatibility reveal satisfactory yields regarding flocculation and turbidity reduction of more than 95%, as well as their double flocculating and coagulating power.

**Key words:** Cactus, Aloe vera, flax seeds, watercress seeds, coagulation-flocculation, drinking water treatment.