

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU
Faculté des Sciences
DEPARTEMENT DE CHIMIE



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Spécialité: Chimie de l'environnement

Thème

Etude de l'efficacité des flocculants naturels dans le traitement des eaux potables

Réalisé par :

M^{elle}. ITAALIT Leiticia

Membres du Jury :

FERRAG Fatiha	MCA	UMMTO	Présidente
CHEIKH Assira	MCB	UMMTO	Examinatrice
ALI Oumessaad	MCB	UMMTO	Promotrice

2020/2021

Remerciement

C'est pour moi autant de plaisir qu'un devoir d'exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à ma promotrice Mlle ALI Oumsaad Maitre de conférences B, qui m'a orienté et guidé à fin de mener à bien ce travail.

Je remercie aussi très sincèrement les membres de jury, la présidente Mme FERRAG Fatiha Maitre de conférences A ainsi que l'examinatrice Mme CHEIKH Assira Maitre de conférences B, d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je remercie également l'ensemble du personnel de la station Taksebt de Tizi-Ouzou et tout particulièrement Madame CHIKHI la responsable du laboratoire à la station SEAAL, ainsi que les ingénieurs laboratoire Mr Heddadi, Mlle Bachi, Mme Akliouat et Mme Khiali, pour leurs disponibilité et leurs attention particulière à mon travail.

Je tiens à remercier mon oncle Mourad Helli et son épouse tata Rachida pour leur aide.

Je remercie ma chère amie Mina Cherifi pour son aide et ses conseils lors de la rédaction de mon mémoire.

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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire

De ma défunte grand-mère « YAYA »

De mes défunts grands-parents (paternel) « JEDI et Yemma Azza »

Que dieu le tout puissant les accueille en son vaste paradis, vous êtes mon exemple de gentillesse et de sagesse. Merci pour votre amour.

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour vous remercier comme il se doit. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux, et le fruit de vos innombrables sacrifices.

A mes deux adorables petits frères YANIS et ILYANE

A mon PAPI

Ainsi qu'à ma très chère tata DJIDJI

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager ;
Merci d'avoir été et d'être toujours là pour moi.

A toute ma famille « ITAALIT et HELLI »

A mes amies

Mina, Samira, Melissa, Hanane, Basma, Katia et Zouzou

Sommaire

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Etude bibliographique

Chapitre I : présentation du barrage et de la station de traitement de Taksebt

I. Présentation du barrage et de la station de traitement de Taksebt.....	6
I.1 Barrage Taksebt.....	6
I.2 Les eaux de surface	7
I.3 Pollution des eaux de surface	8
I.4 Station de traitement.....	8
I.5 Les eaux potables	8
I.6 Traitement des eaux de barrage.....	10
I.6.1 Chambre d'arrivée (chambre de dissipation)	10
I.6.2 Chambre de mélange.....	10
I.6.3 Répartiteur.....	10
I.6.4 Décantation.....	11
I.6.5 Filtration.....	11
I.6.6 Désinfection et stockage de l'eau traitée.....	11
I.6.7 Laboratoire physico-chimique.....	13
I.6.8 Laboratoire bactériologique.....	14

Chapitre II : Coagulation-floculation

II.1 Particules colloïdales.....	16
II.2 Stabilité des particules.....	16
II.3 Potentiel Zeta.....	18
II.4 Principe et définition de procédé coagulation – floculation.....	18
II.4.1 La coagulation.....	18
II.4.1.1 Définition	18
II.4.1.2 Mécanisme	18
a. Compression de la double couche.....	19

b.	Adsorption et neutralisation des charges.....	19
c.	Emprisonnement et piégeage des particules dans un précipité.....	19
II.4.2	La floculation.....	19
II.4.2 .1	Définition.....	19
II.4.2.2	Nature des flocculants.....	20
II.4.2.3	Processus de la floculation.....	20
II.5	Paramètres affectant la coagulation-floculation.....	20
II.5.1	Paramètres liés à la qualité de l'eau brute	20
II.5.1.1	Effet du pH	20
II.5.1.2	Influence de la température.....	21
II.5.1.3	Effet des sels dissous.....	21
II.5.1.4	Influence de la turbidité.....	21
II.5.2	Paramètres liés au traitement	21
II.5.2.1	Influence de la dose de coagulant.....	21
II.5.2.2	Influence du mélange	21
II.6.	Coagulants et flocculants.....	22
II.6.1.	Les coagulants.....	22
II.6.1.1	Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$	22
II.6.1.2	Chlorure Ferrique $FeCl_3$	23
II.6.2.	Les flocculants.....	23
II.6.2.1	Flocculant organique de synthèse.....	23
II.6.2.2	Les bioflocculants	24
II.6.2.2.1	<i>Opuntia ficus indica</i>	24
a.	Description morphologique.....	25
b.	Composition chimique des cladodes de cactus.....	25
c.	Gel de cactus en coagulation-floculation.....	26
d.	Bien faits et utilisations.....	26
II.6.2.2.2	<i>Aloe Vera</i>	27
a.	Description morphologique.....	27
b.	Composition chimique de l'Aloe Vera	28
c.	Gel d'Aloe Vera en coagulation-floculation.....	28
d.	Bien faits et utilisations.....	29

Etude expérimentale

Chapitre III : Matériel et méthodes

III. Matériels et Méthodes.....	31
III.1 Matériels.....	31
III.1.1 Matériels végétal.....	31
a. <i>Opuntia ficus indica</i> (cactus).....	31
b. <i>Aloe vera</i>	32
III.1.2 Matériels de laboratoire utilisés.....	32
III.1.3 Produits utilisés.....	33
III. 2 Méthodes expérimentales et analytiques.....	33
III. 2 .1 Préparation du gel de cactus.....	33
III. 2.2 Préparation du gel d' <i>Aloe vera</i>	33
III. 2.3 Préparation de l'eau a traité.....	34
III. 2.4 Jar test (essai de coagulation –floculation).....	34
III. 2.4.1 Détermination du pH optimal	35
III. 2.4.2 Détermination de la dose optimale du coagulant.....	35
III. 2.4.3 Détermination de la dose optimal du floculant.....	35
III. 2.4.3.1 Floculant chimique (synthétique SEAAL).....	35
III. 2.4.3.2 Floculant naturels organiques.....	36
III. 2.4.4 Détermination de la dose optimale des floculants organiques.....	36
III. 2.4.5 Masse volumique (la densité) d'un produit.....	36
III. 2.5 Quantification de la concentration massique du gel de <i>cactus</i> et d' <i>Aloe vera</i>	36
III. 2.6 Les paramètre de caractérisation de l'eau après décantation.....	37

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV .1 Caractérisation de la matière végétale.....	39
IV .1.1 Caractérisation spectrale des gels de cactus et <i>Aloe vera</i>	39
IV.1.1.1 Spectre IR du cactus.....	39
IV .1.1.2 Spectre IR de l' <i>Aloe vera</i>	40
IV .2 Caractérisation de l'eau du barrage Taksebt.....	41
IV.3 Caractérisation de l'eau après dopage.....	42
IV.4 Essais de traitement de l'eau de barrage par coagulation-floculation.....	43
IV.4.1 Sulfate d'Alumine	43

IV.4.1 .1 Détermination du pH optimal.....	43
IV.4.1 .2 Détermination de la dose optimale du coagulant $Al_2(SO_4)_3$	44
IV.4.1.3 Optimisation de la dose optimale des flocculants utilisés avec le coagulant $Al_2(SO_4)_3$	45
a. Polymère SEAAL.....	45
b. Les flocculants naturels.....	46
b.1 Cactus.....	47
b.2 <i>Aloe Vera</i>	48
IV.4.2 Chlorure ferrique.....	49
IV.4.2.1 Détermination du pH optimal.....	49
IV.4.2.2 Détermination de la dose optimale du coagulant ($FeCl_3$).....	50
IV.4.2.3 Optimisation de la dose optimale des flocculants utilisés avec le coagulant Chlorure Ferrique.....	51
a. Polymère SEAAL.....	51
b. Les flocculants naturels.....	52
b.1.Cactus.....	52
b.2 <i>Aloe Vera</i>	52
IV.4.3 Le pouvoir coagulant et flocculant des gels de cactus et d' <i>Aloe vera</i>	54
IV.5 La consommation d'alcalinité.....	57
IV.5.1 Cas de $FeCl_3$	57
IV.5.2 Cas d' $Al_2(SO_4)_3$	58
IV.5.3 Cas d' $Al_2(SO_4)_3$ +gel	59
Conclusion générale.....	61
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure I.1 Barrage de Taksebt Mars 2019 rempli à 100%.....	6
Figure I.2 Barrage de Taksebt Mars 2021 rempli a 25%.....	7
Figure I.3 Schéma générale de l'usine de traitement d'eau potable de la station de Taksebt.....	12
Figure II.1 Double couche et variation du potentiel électrostatique autour d'une sphère.....	17
Figure II.2 Représentation schématique du profil d'interaction de type DLVO.....	17
Figure II.3 Mécanismes de formation des floccs.....	19
Figure II.4 Figuier de barbarie.....	25
Figure II.5 Aloe vera.....	27
Figure II.6 Coupe d'une feuille d'Aloe vera.....	27
Figure III.1 Raquettes de cactus.....	31
Figure III.2 Feuilles d'Aloe Vera.....	32
Figure III.3 Etapes de préparation du gel de cactus.....	33
Figure III.4 Etapes de préparation du gel d'Aloe Vera.....	34
Figure III.5 Peser de la bentonite.....	34
Figure III.6. Jar test.....	35
Figure III.7. Pycnomètre.....	36
Figure III.8.Quantification de la concentration massique du gel de cactus et d'Aloe vera.....	37
Figure IV.1.Spectre IR de gel de cactus.....	40
Figure IV.2.Spectre IR de gel de l' Aloe vera.....	40
Figure IV.3.La turbidité d'eau de barrage de Taksebt au cours de l'année 2020.....	42
Figure IV.4.Effet de la variation du pH sur la turbidité et de l'aluminium résiduel.....	43
Figure IV.5.Effet de la dose du coagulant ($Al_2(SO_4)_3$) sur la turbidité et l'aluminium résiduel.....	44
Figure IV.6.Effet de la variation des différentes doses du polymère SEAAL sur la turbidité et l'aluminium résiduel.....	45
Figure IV.7.L'influence du gel de cactus sur la turbidité et l'aluminium résiduel.....	46

Figure IV.8.L'effet de variation des volumes d'AloeVera sur la turbidité et l'aluminium résiduel.....	48
Figure IV.9.L'effet de variation du pH sur la turbidité en présence de chlorure ferrique.....	49
Figure IV.10.L'effet de la Variation des doses de FeCl ₃ sur de la turbidité.....	50
Figure IV.11.L'effet de la variation de la dose du polymère SEAAL sur la turbidité et le Fer résiduel.....	51
Figure IV.12 L'effet de la variation des volumes du gel de cactus sur de la turbidité et le fer résiduel.....	52
Figure IV.13 L'effet de Variation des volumes d'Aloe Vera sur la turbidité et le fer résiduel.....	53
Figure IV.14 Le pouvoir coagulant et flocculant des gels de cactus et d'Aloe Vera.....	54
Figure IV.15 Les taux d'abattelements de la turbidité pour les différents coagulants.....	55
Figure IV.16 Les taux d'abattelementsde la turbidité pour les différentes combinaisons (coagulant-flocculant).....	56
Figure. IV.17 L'effet de la Variation de la dose de FeCl ₃ sur le TAC et de la turbidité.....	57
Figure IV.18 Taux d'élimination du TAC (cas de FeCl ₃).....	57
Figure IV.19 L'effet de la Variation de la dose d'Al ₂ (SO ₄) ₃ sur le TAC et de la turbidité...	58
Figure IV.20 Taux d'élimination du TAC (cas de Al ₂ (SO ₄) ₃).....	58
Figure. IV.21 L'effet de la Variation du volume de gel sur le TAC.....	59
Figure IV.22 Taux d'élimination du TAC en fonction des volumes de gel.....	59

Liste des tableaux

Tableau I.1 Qualité de l'eau à l'entrée de la station.....	9
Tableau II.1 Les coagulants les plus efficaces.....	22
Tableau IV.1 Caractéristiques physiques de gels.....	39
Tableau IV.3 Caractéristiques d'eau de barrage durant le mois de mai 2021.....	41
Tableau IV.4 Caractéristiques d'eau de barrage après l'ajout de la bentonite.....	42
Tableau III. Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel de la république Algérienne N°18.....	Annexe 1

Liste des abréviations

CAP: Charbon Actif en Poudre.

IR : Spectrométrie Infrarouge.

MES : Matière En Suspension.

MS : Matière Solide.

NTU: Néphélométrique Turbidity Unit.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

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

T.A : Titre Alcalimétrique.

T.A.C : Titre Alcalimétrique Complet.

T.H : Titre Hydrométrique.

pH: Potentiel d'hydrogène.

.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément de la vie quotidienne, elle est si familière, qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue.

Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie dans le monde. Sous la pression des besoins considérables, on est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surfaces. La qualité des eaux de surfaces ; souvent polluées est donc très variables et ne peuvent être épurées que par des traitements appropriés à leurs nature et degrés de pollution [1].

Plusieurs opérations unitaires sont envisageables pour le traitement des eaux impliquant des réactions d'adsorption, oxydation chimique et /ou électrochimique, de la séparation physique ou membranaire. Toutes ces méthodes présentent des contraintes économiques et techniques qui compliquent leur application. Parmi les différentes solutions envisageables, la coagulation-floculation permet de répondre à de nombreuses situations et elle est mise en œuvre de manière classique pour la potabilisation des eaux de surface.

Ce traitement peut être coûteux, et nécessitera l'utilisation de produits chimiques synthétiques, qui sont néfaste à la santé des consommateurs [2].

L'utilisation de polymère synthétique permet d'améliorer la floculation et la séparation de la matière en suspension produite. Les flocculants chimiques majoritairement utilisés pour la production d'eau potable est le polyacrylamide et son monomère d'acrylamide. Ce dernier est classé par l'OMS comme substance mutagène et cancérigène. La recherche d'alternatives dans des bioflocculants et notamment ceux issus des ressources végétales, est nécessaire.

En effet, ces flocculants biosourcés sont non toxiques et le plus souvent biodégradables. Effectivement, de nombreuses ressources ont déjà été utilisées comme les graines de Moringa, les amidons, les alginates... autant que bio-flocculant et coagulant [2].

Afin d'élargir la gamme des flocculants naturels utilisés dans la clarification des eaux, et pour la limitation des problèmes environnementaux et économiques causés par l'utilisation des produits synthétiques, nous avons choisi de tester l'efficacité du gel *d'Aloe vera* et le gel de cactus (*Opuntia ficus indica*) comme flocculants naturels et biodégradables dans le traitement des eaux potables par le procédé de coagulation-floculation.

Cette étude comportera 2 parties :

La première partie porte sur une synthèse bibliographique, consacrée d'un côté à la présentation du barrage de Taksebt et sa station de traitement, et de l'autre au procédé de coagulation floculation et la présentation des bio-floculants.

La seconde partie concerne la partie expérimentale, qui comporte 2 chapitres, l'un sur le matériel et les méthodes utilisés, et l'autre, analytique traitera l'ensemble des résultats qui seront suivis d'une discussion, et une conclusion.

Etude bibliographique

Chapitre I

*Présentation du barrage et de la station de
traitement de Taksebt*

I. Présentation du barrage et de la station de traitement de Taksebt

I.1. Barrage de Taksebt

Construit entre 1993 et 2002, le barrage TAKSEBT est situé en Algérie, dans la wilaya de Tizi-Ouzou, communes d'Irdjen et Beni Aissi. Il s'agit d'un barrage de type en remblai, sur la rivière de Takhoukhth et sur le prolongement de oued Aissi.

La retenue créée par le barrage a une capacité de 175 million m³ permettant une régularisation de 180 millions de m³, destinée à l'alimentation en eau potable, répartie comme suite :

- 173 000 m³/jr pour Tizi-Ouzou
- 60 000 m³/jr pour Boumerdes
- 235 000 m³/jr pour Alger



Figure I.1 Barrage de Taksebt mars 2019 rempli à 100%

Pendant de longues périodes, l'eau a été considérée comme une ressource naturelle gratuite et inépuisable. Or, des études de prospection font apparaître une diminution alarmante des réserves d'eau à l'échelle du quart de siècle, voire même de la décennie.

Dans certains pays, et notamment le Bassin Méditerranéen, la demande en eau potable dépasse très largement l'offre constituée par les ressources naturelles.

Confrontée à une sécheresse, l'Algérie fait face actuellement à un problème crucial d'approvisionnement en eau d'alimentation publique, agricole et industrielle.

Endémique depuis trois ans, les pluies se font rares, les barrages se sont vidés et la consommation des ménages n'a pas arrêté d'augmenter [3].



Figure I.2Barrage de Taksebt Mars 2021 rempli à 25%

Avec un volume d'eau emmagasiné présentement de l'ordre de 25%, le barrage de Taksebt qui alimente la wilaya de Tizi-Ouzou et une partie d'Alger et de Boumerdès enregistre l'un des plus faibles taux de remplissage depuis sa mise en eau en 2002.

Ayant attendu vainement le remplissage naturel du barrage, les autorités de la wilaya de Tizi-Ouzou, d'un commun accord avec le ministère des ressources en eau ont opté pour la solution proposée par le laboratoire des eaux de l'université Mouloud Mammeri, à savoir la récupération des eaux de l'oued Sébaou et leur injection dans le barrage, à effet de repousser autant que possible le stress hydrique qui guette cette région [4].

I.2 Les eaux de surface

Les eaux de surfaces proviennent surtout des pluies, et sont constituées d'un mélange d'eaux de ruissellement et d'eaux souterraines. Ces eaux se regroupent en cours d'eau et sont caractérisées par une surface de contact entre l'eau et son environnement, et sont toujours en mouvement, avec une vitesse variable.

Elles peuvent se retrouver stockées dans des réservoirs naturels comme les lacs ou artificiels comme les barrages, de profondeur variable [5].

I.3 Pollution des eaux de surface

La pollution des eaux de surface peut être définie comme une dégradation de celle-ci. Au cours de leur cheminement terrestre les eaux brutes lessivent systématiquement les terres et se chargent en quantité et proportions variables suivant les lieux, de tous les spectres des composants naturels de la croute terrestre, des produits de la vie végétale et animale ainsi que des constituants des rejets des activités humaines sous divers états. Les teneurs de ces paramètres dans le milieu naturel sont souvent incompatibles avec la réglementation sanitaire et la perception des consommateurs [6].

Le traitement des eaux pour la distribution a pour objet de réduire ces teneurs pour les rendre inférieures à des valeurs aux normes [6].

I.4 Station de traitement Taksebt

Elle se situe à environ 8 km du barrage, et est conçue pour alimenter en eau potable la wilaya d'Alger, Boumerdes, Tizi-Ouzou (centre de Tizi-Ouzou, DBK, Freha, Azazgua). Le transport se fera de façon gravitaire depuis la station de traitement jusqu'au réservoir de Boudouaou.

Station mise en service en juillet 2008, construite par SNC LAVALIN/DEGREMONT puis exploitée par SNC LAVALIN jusqu'en 2013, elle a été reprise en gestion par SEAAL. Elle est désormais l'ouvrage de traitement d'eau le plus important, géré par la SEAAL.

En Algérie, c'est la station de traitement d'eau potable la plus importante en capacité. Elle est constituée d'une station de pompage et d'une usine de traitement dont la production nominale est de 605 000 m³/j basée sur un approvisionnement en eau brute de 616 000 m³/j.

I.5 Les eaux potables

L'eau potable peut être définie en se référant à l'OMS (1994) comme une eau ne contenant en quantité dangereuse ni substances chimiques, ni germes nocifs à la santé humaine. Elle doit répondre à la réglementation en vigueur pour les eaux destinées à la consommation humaine, et doit être agréable à boire si les circonstances le permettent, pour être distribuée.

L'OMS a établi pour chaque paramètre, des recommandations qui peuvent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des conditions économiques, afin d'aboutir aux normes réglementaires nationales (voir annexe1) [6].

Tableau I.1 Qualité de l'eau à l'entrée de la station

Paramètres	Unité	Valeurs contractuelles	
		min	max
pH		7	9
Couleur	Hazen	5	25
Turbidité	NTU	1	100
Conductivité	µs/cm	300	800
Température	°C	10	30
Ammoniac	mg de N /L	0,01	0,2
Nitrites	mg de N /L	<0,001	0,05
Nitrates	mg de N /L	0,5	4
Matières organiques	mg de O /L	2.5	10
Alcalinité	mgde CaCO ₃ /L	100	250
Dureté totale	mg de CaCO ₃ /L	100	350
Calcium	mg de Ca ²⁺ /L	20	70
Magnésium	mg de Mg ²⁺ / L	15	60
Sodium	mg deNa ⁺ /L	5	60
Chlorures	mg de Cl ⁻ /L	10	70
Sulfates	mg de SO ₄ ²⁻ /L	20	100
Orthophosphates	mgde P /L	<0,01	0,2
Fer (total)	mg de Fe /L	0,05	5
Manganèse (total)	mg de Mn ²⁺ /L	<0,01	0,1
Oxygène dissout	mg de O ₂ /L	4	10
Coliforme totaux	MPN/100 ml	10	10 000
E. Coli	MPN/100 ml	5	5000
Chlorophylle	mg/m ³	<5	40

I.6 Traitement des eaux de barrage

Afin de pouvoir répondre à la réglementation de l'eau potable, l'eau brute du barrage de Taksebt passe par les étapes de traitement suivantes :

I.6.1 Chambre d'arrivée (chambre de dissipation)

L'arrivée d'eau brute à la station Taksebt se fait dans la chambre de dissipation, l'eau surnageant des dessableurs y est également retournée.

- Lieu de pré-chloration, là où sont éliminés les organismes susceptibles de proliférer dans les filières de traitement (algues, bactéries et planctons) et les matières organiques, où s'oxyde aussi une partie du fer et manganèse.

- Injection du sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ en tant que coagulant pour éliminer les matières en suspension colloïdales.

I.6.2 Chambre de mélange :

L'eau passe ensuite à travers la chambre de mélange, qui comprend des chicanes de façon à optimiser le mélange des réactifs et d'assurer un temps de contact suffisant pour un mélange homogène.

Réactifs injectés :

- **Acide sulfurique H_2SO_4** : acidification pour une coagulation optimale (une meilleure performance du procédé).
- **Permanganate de potassium**: utilisé pour la précipitation du manganèse ou contrôler la charge biologique: $4 Mn^{2+} + MnO_4^- + H_2O + 5 OH^- \rightarrow 5 MnO_2 + 3 H^+$
- **Charbon actif en poudre (CAP)**: sert à contrôler les paramètres organoleptiques (goût, odeur) en captant les micropolluants d'origine organique.

I.6.3. Répartiteur :

A la sortie de la chambre de mélange, l'eau est répartie en 2 filières de décanteurs (4 dans chaque filière).

L'ajout de polymère en amont des décanteurs, sur les déversoirs de l'ouvrage de répartition permet la concentration des MES en floccs plus facilement décantables.

I.6.4. La décantation :

L'objectif de la décantation est de séparer les particules floculées de l'eau clarifiée.

Une partie des MES décantée est conservée au fond de l'ouvrage, formant un lit de boue. L'eau entrante traverse ce lit de boue de bas en haut. Les floes nouvellement formés en entrée du décanteur passent à travers le lit de boue, entrent en contact avec les floes conservés et s'y agrègent.

I.6.5. La filtration :

C'est le processus qui vient juste après la décantation, répartie entre les 24 filtres à sable de granulométrie homogène (type Aquazur V), l'eau est filtrée de façon gravitaire à travers un lit de sable pour éliminer les matières en suspension.

I.6.6. Désinfection et stockage de l'eau traitée :

La désinfection finale de l'eau traitée est faite dans des cuves de contact, après injection de chlore. La sortie des cuves de contact, vers les réservoirs d'eau traitée se fait par-dessus un déversoir où est injecté le lait de chaux afin de réguler le pH.

Les réservoirs d'eau traitée jouent le rôle de bassin déstockage, permettant de conserver une réserve de production de 1,5 heure au débit nominal de production (605 000 m³/jr). Ils débouchent dans une chambre de sortie qui assure la distribution de l'eau vers les conduites de sortie d'eau traitée, les pompes d'eau de service, ainsi que les pompes de dilution de chaux sont alimentées depuis cette chambre.

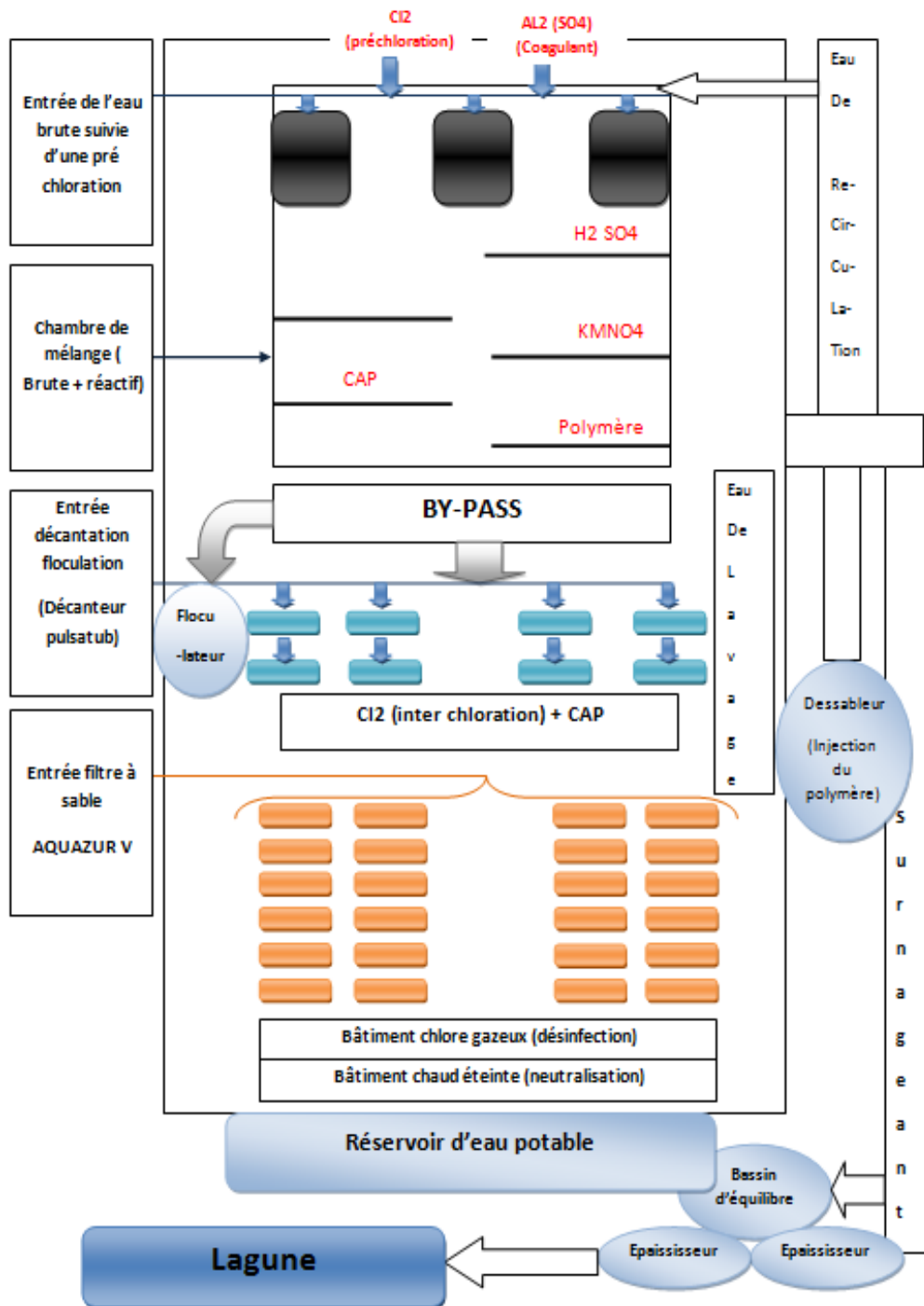


Figure I.3 Schéma général de l'usine de traitement d'eau potable de la station de Taksebt.

La détermination du traitement demande une étude analytique préalable tendant à la connaissance, d'une part de la nature et de la quantité des corps indésirables à éliminer.

C'est au niveau du laboratoire que les ingénieurs effectuent cette étude et où sont déterminées les doses (coagulant, polymère, chlore ...) injectées au processus de traitement.

Après chaque étape de traitement du processus et aux points d'échantillonnage du réseau (allant du réservoir de la station jusqu'au réservoir de Boudouaou), un suivi minutieux des échantillons d'eau est assuré afin que l'eau réponde bien aux normes.

Dans le cas où une anomalie est observée le service d'exploitation est directement informé afin d'intervenir.

I.6.7 Laboratoire physico-chimique

Chaque jour, le laboratoire effectue des paramètres de table dont le ; pH, Conductivité, turbidité, couleur, UV, oxygène dissous et taux d' Al^{3+} (analyses partielles), ainsi que le taux de chlore et les paramètres de pollution: fer, nitrites et ammonium. Un test de goût et d'odeur est également effectué 2 fois par semaine.

Une fois par semaine

- ❖ Jar test : appelée aussi la mini station permet de déterminer le taux d'injection de la dose optimale du coagulant (Sulfate d'alumine), polymère, et de l'acide (acide sulfurique) ;
- ❖ Matières organiques ;
- ❖ Matières en suspension ;
- ❖ La demande en chlore ;
- ❖ Manganèse, ortho phosphate.

Une fois par mois

- ❖ Titrimétrie : TA, TAC, TH, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$;
- ❖ Nitrates, potassium, sulfates.

I.6.8 Laboratoire bactériologique

L'analyse débute par l'acte de prélèvement qui doit mettre en œuvre des méthodes propres à assurer l'absence de contamination de l'échantillon et la survie bactérienne.

La technique appliquée est la filtration sur membrane, cette dernière de nature ester de cellulose, de porosité 0,22 μm ou 0,45 μm , est susceptible de retenir les bactéries et les virus. L'opération se fait 1 fois par jour sur des échantillons d'eaux traitées.

Les paramètres bactériologiques visés par l'analyse sont :

- ✓ ***Coliformes fécaux ou E-Coli:*** leurs présence indique une contamination par du fumier ou des eaux fécales ;
- ✓ ***Streptocoques:*** leur présence dans l'eau suggère une contamination d'origine fécale;
- ✓ ***Spores d'anaérobies-sulfite-réducteurs ASR ;***
- ✓ ***Coliformes totaux.***

Chapitre II
Coagulation-floculation

L'étape de coagulation et floculation est largement appliquée dans le prétraitement de clarification des eaux (potables ou usées). Le mécanisme global de la coagulation floculation d'une eau trouble (donc chargée en colloïde) consiste dans un premier temps, en l'ajout d'un sel appelé « coagulant » celui-ci déstabilise les colloïdes qui peuvent se regrouper sous forme de floes. Ensuite les floes formés décantent, permettant la séparation des agrégats.

Les propriétés des particules en suspension, (colloïdes), ainsi que les conditions physicochimiques du procédé influencent son efficacité.

Nous allons présenter le principe de la coagulation-floculation dans un premier temps avant de nous intéresser aux biofloculants.

II.1 Particules colloïdales :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre appelées : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation, en effet, leur vitesse de sédimentations est extrêmement faible.

Les colloïdes présentent des particules ayant un diamètre compris entre 1nm et 1 μ m (particules microscopiques : virus, bactéries, bio polymères, substances minérales/végétales) ils peuvent provenir de l'érosion des sols, de la dissolution minérale ou encore de la décomposition de la matière organique et forment une dispersion stable dans l'eau [8].

II.2 Stabilité des particules :

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent, et n'ont pas tendance à former de gros agrégats facilement éliminés. Elles demeurent donc stables.

Une particule typique est représentée sur la **Figure II.1** [7]. Les ions positifs présents dans l'eau neutralisent la charge à la surface de la particule, et forment, selon la théorie de Helmholtz, une « couche liée ».

Cette dernière se déplace avec la particule. Cette couche attire à son tour des ions négatifs inégalement répartis et forme, selon la théorie de Gouy-Chapman, la (couche diffuse). Cette dernière ne se déplace pas avec la particule, d'où l'inégalité dans la densité et la répartition des ions qu'ils la composent. **Figure II.1** est, en fait, un rassemblement des deux théories, communément appelée théorie de la (double couche) [7] [9].

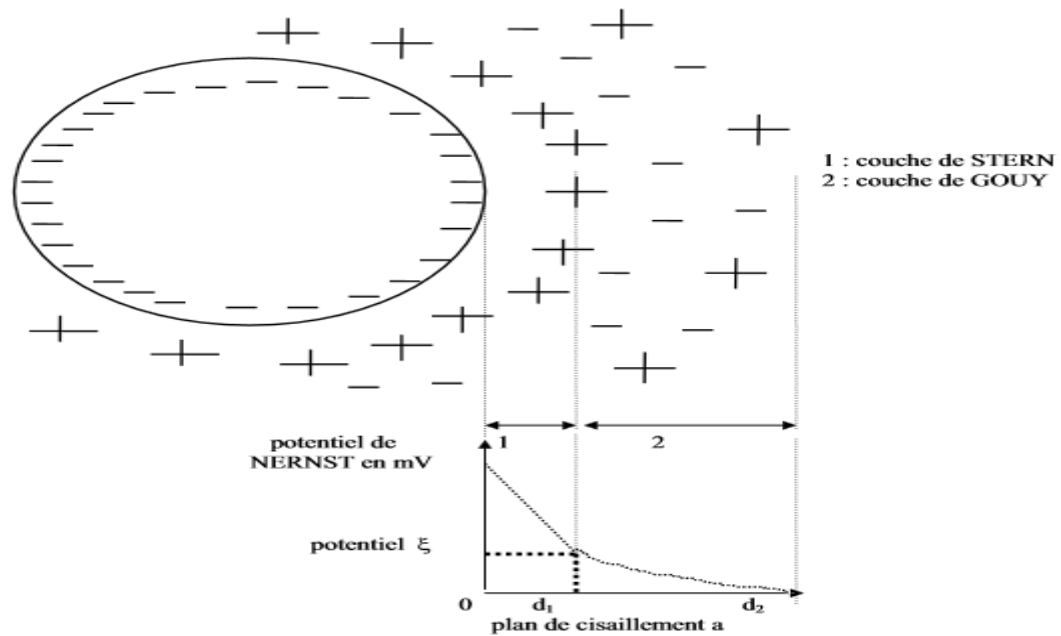


Figure II.1. Double couches et variation du potentiel électrostatique autour d'une sphère

Lorsque deux particules sont sur le point d'entrer en contact, elles sont essentiellement soumises à deux forces : la force d'attraction de Van-der-Waals, et celle de répulsion électrostatique [9].

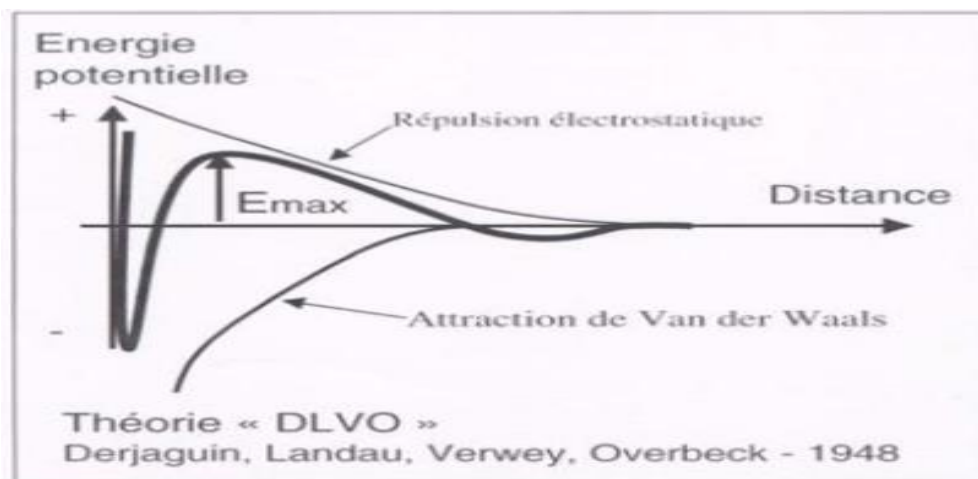


Figure II.2 Représentation schématique du profil d'interaction de type DLVO

Si, le potentiel de répulsion est plus élevé que le potentiel d'attraction, la particule est dite électro- statiquement stabilisée, et doit subir un traitement pour être déstabilisée. La déstabilisation dans ce cas, se ferait en diminuant les forces de répulsion électrostatique.

II.3 Potentiel Zeta

Le potentiel électrostatique diminue au fur et à mesure où l'on s'éloigne de la particule. Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Lorsqu'un champ électrique est appliqué, les particules ayant un potentiel Zêta négatif se déplacent en direction de l'électrode positive [10]. Le potentiel Zêta est important, car il définit le comportement électrocinétique des particules, et par conséquent, leur stabilité dans la solution. L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leur agglomération.

II.4 Principe et définition de procédé coagulation - floculation

Lors du traitement des eaux, la coagulation et la floculation sont des traitements physico-chimiques qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration.

Ces traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent en deux étapes principales à savoir la déstabilisation des particules et la collision des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. Ils peuvent être employés pour retirer plusieurs types de substances organiques et inorganiques permettant donc la réduction des populations bactériennes ainsi que de nombreux composés qui sont à l'origine de la turbidité, la couleur, voir la toxicité d'une eau[7].

II.4.1 La coagulation

II.4.1.1 Définition

La coagulation représente l'ensemble des mécanismes de déstabilisation d'une dispersion colloïdale menant à l'agglomération de ces particules sous forme de micro-flocs provoquant la précipitation des substances dissoutes [11].

II.4.1.2 Mécanisme

Le principe de la technique de la coagulation est basé sur la déstabilisation des particules en suspension par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, afin de favoriser leur agglomération et de permettre leur décantation [12]. Les mécanismes conduisant à la déstabilisation des colloïdes ont été largement étudiés et peuvent être récapitulés comme suit :

a. Compression de la double couche :

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de Van der Waals ne sont pas affectées [13]. Les concentrations nécessaires des ions Na^+ , Ca^{2+} et Al^{3+} varient approximativement dans des rapports de 1: 10^{-2} : 10^{-3} respectivement à cause de leur valence différente.

b. Adsorption et neutralisation des charges :

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations, afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi ré-stabilisées [13].

c. Emprisonnement et piégeage des particules dans un précipité :

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme le $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou le FeCl_3 sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive. Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précipité formé, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation [13].

II.4.2 La floculation

II.4.2 .1 Définition

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact ; c'est la floculation. Le floc ainsi formé, peut décanter, flotter ou filtrer, suivant le procédé de rétention le plus adapté choisi [8].

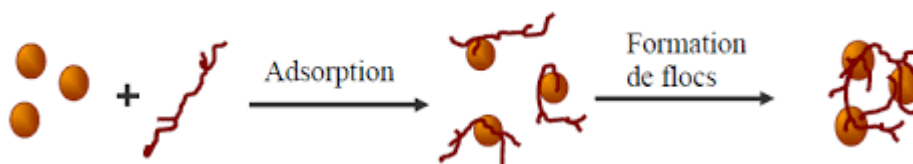


Figure II.3 Mécanisme de formation des floes

On distingue la floculation précinétique due à l'agitation désordonnée des particules et la floculation orthocinétique provoquée par les mouvements de l'eau. Cette floculation est

fonction du gradient de vitesse conféré au milieu par agitation. Elle est responsable en grande partie du phénomène de floculation [8].

II.4.2.2 Nature des flocculants

Les flocculants sont des composés agissant par pontage. Il s'agit de polymères à haut poids moléculaire présentant des groupes réactionnels de charge inverse à celle de la suspension à traiter. On distingue des flocculants naturels et synthétiques.

Les polymères synthétiques se répartissent en polyanions, polycations, non ioniques et amphotères. Toutes ces molécules se définissent par le poids moléculaire [8].

II.4.2.3 Processus de la floculation

Les polyanioniques agissent par pontage en association avec les cations bivalents du milieu tels que les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Dans ce cas, le titre hydrométrique de l'eau est essentiel, on en ajoute qu'à la fin de la floculation lorsque les micros floccs sont formés.

Les polycationiques agissent directement par leurs charges positives. Elles neutralisent les charges primaires des colloïdes qui ont échappé au coagulant. Il faut les ajouter juste après la phase d'agitation rapide (coagulation) [8].

II.5 Paramètres affectant la coagulation-floculation

Le processus de coagulation-floculation est un procédé complexe. Ce dernier peut être influencé par plusieurs paramètres, certains sont liés à la qualité de l'eau brute, d'autres le sont au traitement lui-même. Toutefois, il convient de préciser que d'autres paramètres sont importants, tels que la couleur, et le potentiel Zêta [13].

II.5.1 Paramètres liés à la qualité de l'eau brute

II.5.1.1 Effet du pH

Le pH est un des paramètres qui affecte le plus la coagulation floculation. Son contrôle est donc suggéré. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant la meilleure coagulation. Ce pH se situe souvent dans la plage où la solubilité du coagulant utilisé est minimale, ce qui permet une meilleure précipitation. Le contrôle du pH permet aussi d'améliorer la coagulation lorsque la température de l'eau est faible [13].

II.5.1.2 Influence de la température

La température joue un rôle important. En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons [13].

II.5.1.3 Effet des sels dissous:

Les sels dissous dans une eau influent beaucoup sur la coagulation et la floculation. Ils peuvent modifier la plage du pH optimal, le temps requis pour la coagulation, et la quantité du coagulant [13].

II.5.1.4 Influence de la turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre affectant 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 [13].

II.5.2 Paramètres liés au traitement

II.5.2.1 Influence de la dose de coagulant

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à baisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base. Une dose de coagulant excessive entraîne une augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante.

II.5.2.2 Influence du mélange

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.

II.6 Coagulants et floculants

Le type et la dose des produits de coagulation floculation ont une influence sur la (bonne ou mauvaise) qualité de l'eau clarifiée, le (bon ou mauvais) fonctionnement de la floculation et la filtration, et le coût d'exploitation.

Les réactifs de coagulation et de floculation sont des produits d'origine minérale (sels d'aluminium et de fer) (cas de coagulation), des polymères naturels et des polymères de synthèse (cas de floculation). Les polymères sont beaucoup plus chers que les coagulants minéraux, mais leur dose d'emploi est faible, ce qui peut compenser l'écart de prix [14]

II.6.1 Les coagulants

Les coagulants les plus efficaces sont cités dans le tableau ci-dessous

Tableau II.1 Les coagulants les plus efficaces

Sels d'aluminium	formules chimiques	Sels de Fer	Formules chimiques
Sulfate d'aluminium (alun)	$Al_2(SO_4)_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure d'Aluminium	$AlCl_3$	Sulfate ferrique	$Fe(SO_4)_3$
Aluminium de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

II.6.1.1 Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$

Le sulfate d'aluminium reste le produit le plus utilisé, mais il est peu à peu déplacé par des polymères minéraux plus performants. Dans le monde des coagulants et floculants, il est représentatif du produit de commodité, peu onéreux, mais sans valeur ajoutée particulière.

Le seul critère différenciant les produits du marché est la pureté du produit. En effet, il est possible de trouver des produits recyclés contenant de nombreuses impuretés. Cependant, les principaux producteurs proposent des produits de très bonne qualité, répondant aux critères d'acceptation pour le traitement des eaux potables [15].

II.6.1.2 Chlorure Ferrique $FeCl_3$

De la famille des sels de fer, le chlorure ferrique commercialisé en traitement des eaux, plus chargé et donc a un meilleur pouvoir coagulant, comme pour les sels d'aluminium, des espèces polycondensées apparaissent au cours de traitement, il est fortement dépendant du pH. L'utilisation d'un sel ferrique à dose élevée induit souvent une coloration rouille de l'eau traitée : c'est le principal inconvénient de ces produits [14].

II.6.2 Les flocculants

II.6.2.1 Flocculant organique de synthèse

Depuis de nombreuses années de nombreux polymères synthétiques sont utilisés comme adjuvants de floculation aux sels métalliques pour améliorer l'efficacité de la coagulation floculation.

Les flocculants organiques commerciaux sont des polymères linéaires ou ramifiés solubles dans l'eau, cationiques et dont l'unité de base composée de divers monomères (l'acrylamide et l'acide acrylique), par exemple.

Dans la plupart des cas, ils proviennent de matières premières à base de pétrole non réutilisable [15].

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

Ils améliorent la coagulation et donc la qualité du traitement, permettent la réduction du volume des boues formées après traitement, ne modifient que très faiblement ou pas le pH, et apportent très peu de salinité supplémentaire [15].

Toutefois, l'utilisation de ces derniers peut présenter des risques sanitaires avec la libération de monomères, tels que le formaldéhyde, l'acrylamide et de la diméthylamine, qui sont des espèces toxiques, neurotoxiques ou cancérigènes et résistantes à la biodégradation[9].

Pour ces raisons, des matériaux biodégradables et respectueux de l'environnement sont testés afin de substituer les flocculants synthétiques par des bioflocculants et peuvent être une solution prometteuse en traitement des eaux potables par coagulation floculation [15].

II.6.2.2 Les biofloculants

Les floculants et coagulants d'origine naturelle comprennent à la fois les ressources végétales et animales, citons les plus communément utilisés; l'ichtycolle obtenue à partir de la vessie de poisson ou le chitosane extrait de la coquille de crustacés.

Ceux à base de plantes ont été beaucoup plus utilisés et ont acquis une importance significative depuis les dernières années, tels que les tanins, la cellulose, l'alginate, les gommes et le mucilage, suscitant un large intérêt auprès des chercheurs [15].

Afin d'élargir la gamme des floculants naturels, nous nous sommes intéressées au mucilage d'Aloé Vera et au cactus (*Opuntia Ficus Indica*).

Sachant que les mucilages sont des polymères complexes de nature glucidique avec une forte structure ramifiée, les mucilages se rencontrent dans un grand nombre de végétaux, tel que le cactus et *Aloe Vera* appelés plantes mucilagineuses [16].

II.6.2.2.1 *Opuntia Ficus Indica*

Opuntia Ficus Indica, communément appelé Figuier de barbarie appartient à la famille des Cactacées. Originaire des régions arides du Mexique, il a été introduit en Afrique du nord au 16^{ème} siècle.

Il fait partie du paysage aride des campagnes algériennes, à l'état sauvage ou planté comme haie naturelle. La culture du cactus à large échelle a débuté en 1994, plus de 52 000 hectares ont été plantés dans quelques wilayas de l'est [17].

a. Description morphologique

L'Opuntia est une plante arborescente robuste, possède un tronc épais et ligneux. La dénomination « cladodes » désigne les feuilles du cactus, également appelées « raquette », elles ont une forme de segments plats et sont constellées par des touffes d'aiguilles [18].



Figure II.4 Figuier de barbarie

b. Composition chimique des cladodes de cactus

Elles sont principalement composées de minéraux dont le potassium et le calcium, 0,24 à 5,5g dans 100g de MS. Dans la pulpe (partie molle et charnue des végétaux), le potassium est présent à 161 mg pour 100g de MS, dépassant d'autres minéraux comme le calcium et magnésium.

Les sucres sont présents sous formes polymérique (cellulose et amidon) ou monomérique, El Samahy et al. (2006)[17] ont montré que le mucilage d'*Opuntia ficus indica* contient du D-glucose, du D-galactose, de l'arabinose, du D-xylose et du L-rhamnose. une teneur en sucre libre de 0,32 % du poids sec, ainsi que des composés phénoliques de type tanins, flavonoïdes et lignine, des acides organiques, acides aminés et des protéines[17].

c. Gel de Cactus en coagulation floculation

Plusieurs composés sont susceptibles d'agir comme des biofloculants. Comme cité précédemment la composition chimique des cladodes de cactus est riche en sucres avec des monomères glucidiques (D-glucose, D-galactose, L arabinose). Ces sucres ont montré leur pouvoir floculant en traitement d'un effluent synthétique de Kaolin avec un abattement de Turbidité de 50% [17].

Aussi, Madjoub et *al.* (2010)[17], ont rapporté que les polysaccharides sont considérés comme des matières flocculantes du cactus.

D'autres familles biochimiques sont soupçonnées d'avoir un effet de synergie avec les polysaccharides, telles que les protéines qui ont déjà été rapportées par Ndabignesere et *al.* (1995)[11], comme la molécule responsable de la floculation pour *Moringa Oleifera*. Les polyphénols et surtout les tanins qui ont déjà montré leurs efficacité en traitement des eaux par coagulation-floculation (jeon et *al.*, 2009)[17], pourraient aussi expliquer le meilleur abattement de floculation >90% d'*Opuntia ficus indica*.

El Mostafa et *al.*, (2014), Muller et *al.*, (2008)[17] ont montré que les cladodes de cactus, ont un fort pouvoir flocculant (98% d'abattement de la turbidité), pour le traitement des eaux synthétiques de Kaolin par coagulation floculation.[17]

d. Bienfaits et utilisations :

Récemment, on observe un regain d'intérêts pour cette culture vu l'élargissement des connaissances sur les bienfaits de la consommation de ces produits sur la santé humaine d'une part, et le profit commercial substantiel pouvant être tiré de la valorisation des produits et sous-produits de haute valeur ajoutée, d'autre part [17].

Des études antérieures ont démontré que les fruits du figuier de barbarie contiennent de très importants composés sur le plan nutritionnel notamment, les bêtaïnes, les composés aminés y compris la taurine, les minéraux, les vitamines, ainsi que les antioxydants. Ces composés naturels et leurs dérivés se sont avérés dotés d'activités biologiquement pertinentes, notamment des propriétés anti-inflammatoires, anti-oxydantes, hypoglycémiantes, antivirales et anticancéreuses. Ces vertus offrent d'excellentes possibilités à l'industrie alimentaire et nutraceutique pour la préparation de produits de haute valeur ajoutée [17].

II.6.2.2.2 Aloe Vera

Utilisé depuis l'antiquité, l'aloès est une plante succulente vivace originaire de l'Afrique du sud et de l'Est, essentiellement présente dans les régions désertiques d'Asie et d'Amérique, appartient à la famille des *Aloeaceae* du genre *Aloe* et de l'espèce *vera*.

L'*Aloe vera* est l'espèce la plus utilisée et la plus commercialisée pour ses propriétés thérapeutiques [19].



Figure II.5 *Aloe vera*

a. Description morphologique

L'*Aloe vera* est une plante arborescente d'environ 1m de hauteur. Sur une tige robuste se dressent des feuilles vertes, charnues à cuticule épaisse et bords épineux disposées en rosette. Sur ces dernières, on trouve au centre la pulpe proprement dite, parenchyme mucilagineux incolore très épais qui contient le gel, la partie la plus riche et la plus active [19].

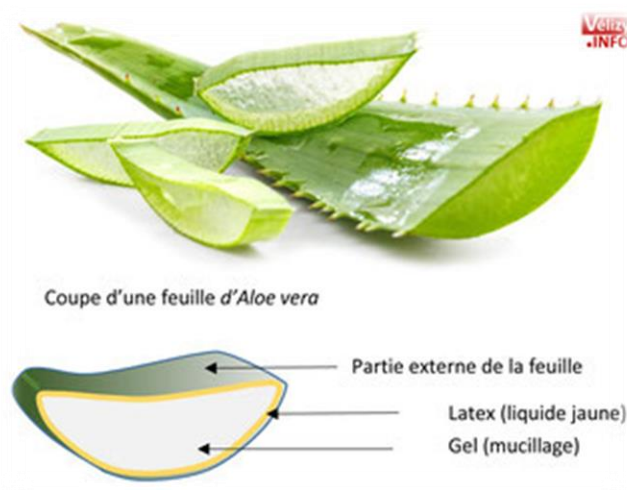


Figure II.6 Coupe d'une feuille d'*Aloe vera*

b. Composition chimique du gel d'*Aloe vera*

La sève de l'*Aloevera* composée 99% d'eau, le 1% restant représente plus de 75 autres ingrédients qui lui confèrent de nombreuses propriétés, parmi ces composés :

- Les mono et poly saccharides: Glucose, mannose, cellulose, aldo-pentose, L-rhamnose, acemannan, aloéride.

- Acides aminés essentiels : Isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, valine.

- Minéraux et oligoéléments : le gel d'*Aloevera* contient en moyenne 390 mg/L de potassium, 186 mg/L de sodium, 313 mg/L de calcium et 55 mg/L de magnésium.

- Composants organiques et lipides contenus dans le sel : Stérols, acide salicylique, gibbérélline, lupéol, lignines, acide urique, acide arachidoniques [19].

c. Gel d'*Aloe vera* en coagulation floculation

Le gel d'*Aloe vera* est une substance mucilagineuse riche en mono et poly saccharides qui ont des pouvoirs floculents comme cité précédemment, ainsi qu'en albumine (protéines) qui flocule en chauffant et flotte à la surface avec les impuretés étranglées [20].

Thangamuthu (1991)[20], a rapporté que l'extrait d'*Aloevera* peut être utilisé comme floculant pour clarifier le jus de canne, par sédimentation et récupération accrue de la biomasse algale cultivée sur les effluents de l'industrie agro-alimentaire [20].

d. Bienfaits et utilisations

L'engouement pour cette plante ne date pas d'hier. Il y a plus de 2000 ans, les Egyptiens l'appelaient « plante de l'immortalité » du fait de ses nombreuses vertus.

Une plante médicinale avec des propriétés anti-inflammatoires, anti cancéreuses, immunodultrices et gastro-protectrice ainsi qu'une activité antifongique, des effets hypoglycémiantes ou antidiabétiques.

Par ailleurs l'*Aloevera* a des bienfaits dermatologiques, sa teneur en eau et certains de ses composants lui confère des propriétés hydratantes et anti-âge ainsi que des propriétés cicatrisantes contre les brûlures[17].

Etude expérimentale

Chapitre III
Matériels et méthodes

Ce travail a été essentiellement réalisé dans le but de trouver un flocculant alternatif au polymère chimique actuellement utilisé pour le traitement des eaux brutes, de moindre dangerosité et d'une accessibilité plus abondante. Ceci est réalisé suivant un procédé de coagulation-floculation, en présence de deux coagulants ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ et $FeCl_3 \cdot 6H_2O$) et des flocculants naturels et synthétiques, afin de déterminer les conditions optimales permettant un meilleur abattement de la turbidité.

Dans ce cadre et en premier lieu, nous citerons les différents matériels et méthodes suivis au cours de la réalisation de ce travail.

III. Matériels et Méthodes

III.1 Matériels

Une liste de l'ensemble des matériels et produits utilisés durant ce travail est présentée dans cette partie, avant d'aborder les différentes méthodes expérimentales.

III.1.1 Matériel végétal

a. *Opuntia ficus indica* (cactus)

Des cladodes de cactus ont été collectés au cours du mois de Mai 2021 dans la région de Boghni Wilaya de Tizi-Ouzou.



Figure III.1 Raquettes de cactus

b. Aloe vera

Des feuilles d'*Aloe vera* ont été récoltées au cours du mois de Mai 2021 dans un jardin privé dans la wilaya de Boumerdes.



FigureIII.2 Feuille d'*Aloe vera*

III.1.2 Matériels de laboratoire utilisés

- ✓ Jar-test à six béchers Lovibond ;
- ✓ Turbidimètre Merck 1500 P avec une cuvette de verre incolore de 50mm de diamètre ;
- ✓ pH Mètre WTW avec terminal 730 et électrode en verre ;
- ✓ Conductimètre, WTW avec terminal 740 ;
- ✓ Balance analytique OHAUS AdventurerPro ;
- ✓ Étuve réglable BINDER ;
- ✓ Micropipettes (100-1000 μ l) ;
- ✓ Verreries: béchers, pipettes, erlenmeyers, fioles, pissette....
- ✓ Agitateur magnétique (MR3001 K) ;
- ✓ Barreaux magnétiques ;
- ✓ Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 2800 ;
- ✓ Burettes ;
- ✓ Pycnomètre 25ml ;
- ✓ Fourier transform infrared spectrophotometer .

III.1.3 Produits utilisés

- ✓ Bentonite ;
- ✓ Acide sulfurique H_2SO_4 (1N) ;
- ✓ Sulfate d'Alumine $Al_2(SO_4)_3$;
- ✓ Chlorure ferrique $FeCl_3$;
- ✓ Polymère SEAAL;
- ✓ Acide Chloridrique HCl (0,02N) ;
- ✓ Rouge de méthyle ;
- ✓ Kit LCK 301 ;
- ✓ Solution EDTA ;
- ✓ NET et Murixide .

III. 2 Méthodes expérimentales et analytiques

III. 2 .1 Préparation du gel de cactus

Après avoir retiré les épines du cactus, les cladodes ont été rincés abondamment à l'eau du robinet puis à l'eau distillée, elles ont ensuite été pelées et coupées en petits dés pour faciliter le mixage. Le gel a été extrait par la suite à l'aide d'un tamis et conservé à 5°C dans l'obscurité.



Figure III.3 Étapes de préparation du gel de cactus

III. 2.2 Préparation du gel d'Aloe vera

Les feuilles d'*Aloe vera* ont été rincées et coupées horizontalement pour extraire le gel à l'aide d'une cuillère. Afin d'homogénéiser le gel, il a été mixé et conservé à 5°C dans l'obscurité.



Figure III.4 Etapes de préparation du gel d'*Aloe vera*

III. 2.3 Préparation de l'eau à traiter

La turbidité initiale de l'eau brute du barrage est d'une valeur de 2 à 4 NTU. Afin d'avoir des résultats plus visibles, cette eau a été dopée avec de la bentonite en poudre pour atteindre une turbidité de 100 NTU. Pour chaque 10L d'eau, nous avons ajouté 1,8g de bentonite.



Figure III.5 Peser de la bentonite

III. 2.4 Jar test (essai de coagulation –floculation)

La coagulation-floculation a été réalisée dans le « Jar Test ». Il consiste en une rangée de béciers alignés sous un appareillage permettant de les agiter à la même vitesse et en même temps.



Figure III.6 Jar test

III. 2.4.1 Détermination du pH optimal

Une série de béchers contenant 1 litre d'eau brute chacun, ont été ajustés à des valeurs du pH à 5 ; 5.2 ; 5.4 ; 5.6 ; 5.8 ; 6 ; 6.2 ; 6.4 ; 6.5 ; 7 ; 7.5 ; 7.86 avec du H_2SO_4 (1N), ensuite une dose du $Al_2SO_4 \cdot 18 H_2O$ de 32 mg/l a été ajoutée (dose utilisée lors du traitement d'eau brute à 100NTU au niveau de la station) pour que le mélange subisse une agitation rapide (120tr/min) pendant 30 secondes, puis elle sera réduite à 40 tr/min, et laisser le mélange sous agitation lente durant 20 min. Enfin, l'agitation sera arrêtée et le mélange subira une décantation pendant 30min.

Les mêmes étapes ont été refaites pour le coagulant $FeCl_3$ (32mg/l) en ajustant le pH à : 5 ; 5.2 ; 5.4 ; 5.6 ; 5.8 ; 6 ; 6.2 ; 6.4 ; 6.5 ; 7 ; 7.5 ; 8 ; 8.2.

Un volume du surnageant sera prélevé, sur lequel, la détermination de la turbidité de l'eau brute, pH, le taux d'aluminium et le fer résiduels et la couleur seront effectués.

III. 2.4.2 Détermination de la dose optimale du coagulant

Après avoir déterminé le pH optimal, les mêmes étapes ont été réalisées pour l'essai de détermination de pH optimal, tout en variant la dose du coagulant de 0mg/L à 45mg/L avec un pas de 5mg/L.

III. 2.4.3 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 :

III. 2.4.3.1 Flocculant chimique (synthétique SEAAAL): 0.02 ; 0.04 ; 0.06 ; 0.08 ; 0.1 ; 0.12 ; 0.14 ; 0.16 ; 0.18 ; 0.2 mg/L.

III. 2.4.3.2 Flocculant naturels organiques

- a. **Cactus** : 0.02 ; 0.04 ; 0.05 ; 0.08 ; 0.1 ; 0.2 ; 0.3 ; 0.4 ml
- b. **Aloe vera** : 0.2 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; 2.5 ; 3 ml

III. 2.4.4 Détermination de la dose optimale des flocculants organiques

Lancement du traitement sans ajout du coagulant afin d'étudier l'effet flocculant et coagulant du cactus et *Aloe vera*.

III. 2.4.5 Masse volumique (la densité) d'un produit

Nous avons commencé par placer le pycnomètre propre, sec et vide sur une balance, puis, noté le poids indiqué. Le pycnomètre de l'échantillon a été rempli jusqu'au bord, sur lequel nous avons déposé un couvercle et fermé fortement (une petite quantité du produit sortira par le trou du couvercle : cela confirme qu'il est bien rempli). Enfin, nous avons placé le pycnomètre rempli sur une balance et consigné le poids affiché.



Figure III.7 Pycnomètre

III. 2.5 Quantification de la concentration massique du gel de *cactus* et d'*Aloe vera*

Dans un premier temps, nous avons procédé à la pesée d'une capsule d'évaporation en verre de 100ml à vide (préalablement bien nettoyée) puis nous avons noté le poids indiqué. Nous avons ensuite versé 50ml de gel de cactus dans la capsule, cette dernière est placée dans une étuve ventilée à une température de 150°C pendant 4 heures. A la fin, la capsule a été pesée.



Figure III.8 Quantification de la concentration massique du gel de *Cactus* et d'*Aloe vera*

III. 2.6 Les paramètres de caractérisation de l'eau après décantation

Paramètres	Méthodes
Température	Mesure directe avec thermomètre
PH	Mesure directe avec PH-mètre
Conductivité	Mesure directe avec conductimètre
Couleur	spectrophotométrie
UV	spectrophotométrie
Turbidité	Mesure direct avec turbidimètre
Aluminium	Kit LCK 301 a code barre + spectrophotométrie
Fer	Kit + spectrophotométrie
TAC	NF EN ISO 9963-1 Février 1996

Chapitre IV

Résultats et discussions

Pour rappel, l'objectif de notre travail est de substituer les produits synthétiques utilisés lors du procédé de coagulation floculation par des produits naturels biodégradables. Nous avons utilisé les gels extraits du cactus et de *l'Aloe Vera* comme agents floculants avec deux différents coagulants (sulfate d'alumine et le chlorure ferrique). Nous testerons aussi le pouvoir coagulants et floculant des gels seuls (sans d'autres aditifs chimique).

IV .1 Caractérisation de la matière végétale

Nous avons effectué une caractérisation du gel de cactus et de *l'Aloe Vera*, pour mieux comprendre les mécanismes impliquer.

Les gels obtenues à l'état naturels sont des liquides visqueux relativement stables de coloration verte miscible à l'eau, peut se conserver pendant plusieurs jours.

Tableau IV.1 Caractéristiques physiques de gels

	cactus	Aloe Vera
pH	4,16	7,69
Conductivité $\mu\text{s/cm}$	10,15	4,32
Taux d'Al^{+3} (mg/L)	0,471	0,152
Masse volumique (kg/L)	1,0248	1,0161

IV .1.1 Caractérisation spectrale des gels de cactus et Aloe vera

IV.1.1.1 Spectre IR du cactus

Le spectre IR à transformée de Fourier (Figure IV.1) a été utilisé pour identifier la présence de groupes fonctionnels sur l'extrait aqueux de cactus, les principaux pics observés sont interprétés comme suit :

- 1- 3439.08 cm^{-1} : élongation de la liaison O-H et N-H
- 2- 2075.41 cm^{-1} : Alcynes, Nitrites
- 3- 1645.28 cm^{-1} : vibration de la liaison -C=O , acide carboxylique / déformation de la liaison -NH_2 (amides primaire)
- 4- 500 cm^{-1} : groupe aromatiques

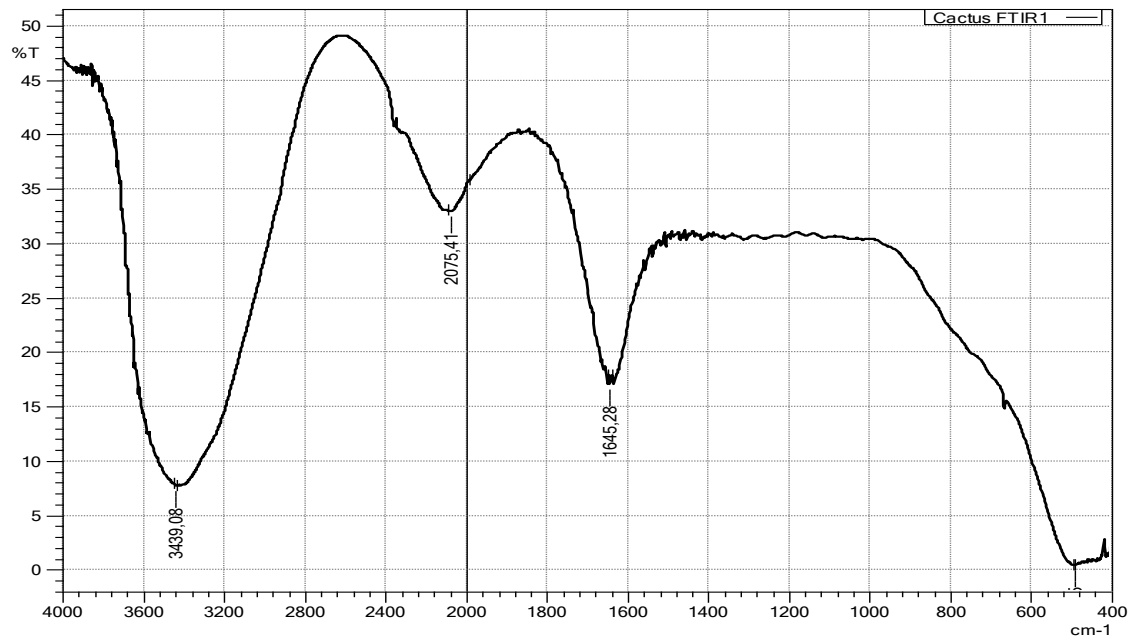


Figure IV.1 Spectre IR de gel de cactus

IV .1.1.2 Spectre IR de l'Aloe vera

Les spectres FTIR de l'Aloe Vera, montrent plusieurs groupes fonctionnels, le pic le plus large observé à des nombres d'onde de 3200 à 3600 cm⁻¹, liée aux vibrations d'étirement des groupes hydroxyles (OH), Le pic a 1650 cm⁻¹ attribué au groupe amide lié aux protéines. Plusieurs pics mineurs entre 1000 et 1400 cm⁻¹ pourrait être liée à l'existence des composants carboxyliques.

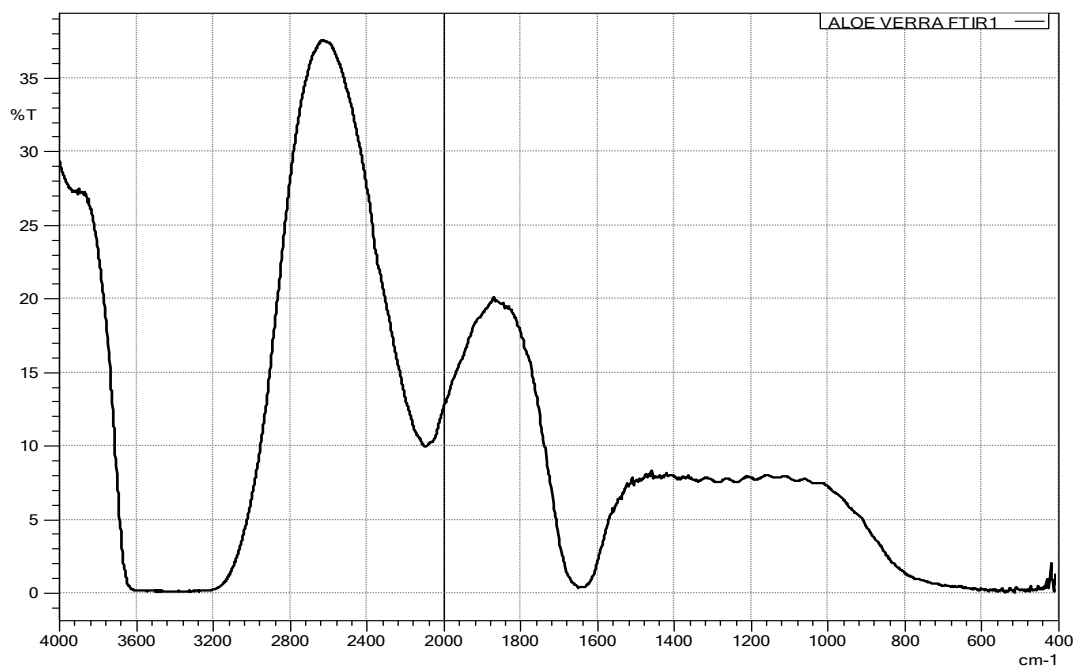


Figure IV.2 Spectre IR de gel de l' Aloe vera

IV .2 Caractérisation de l'eau du barrage de Taksebt

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

Tableau IV.3 Caractéristiques d'eau de barrage durant le mois de mai 2021

Paramètres	Unité	Valeurs
Température	°C	16,52
pH	-	7,53
Conductivité	µs/cm	528,41
Turbidité	NTU	2,44
Oxygène dissous	mg/L	2,42
UV 254	Abs/cm	5,147
Couleur A	HZ	11
TH	F ⁻	22,6
TAC	F ⁻	15
Ca²⁺	mg/L	60
Mg²⁺	mg/L	36,93
Cl⁻	mg/L	41,7
HCO²⁻	mg/L	183
CO₃²⁻	mg/L	0
K⁺	mg/L	3,1
SO₄²⁻	mg/L	44
Fe²⁺	mg/L	0,05
Mn²⁺	mg/L	0,05
Matière organique	mg/L	2,410
NO₂⁻	mg/L	0,015
NO₃⁻	mg/L	1,686
PO₄³⁻	mg/L	0,099
Al³⁺	mg/L	0 à 0,05

Cette année l'eau de barrage a une faible turbidité 2,44 NTU, nous avons dopé notre eau pour atteindre la valeur maximale de turbidité, celle-ci correspond à 100 NTU, comme le montre le graphe suivant.

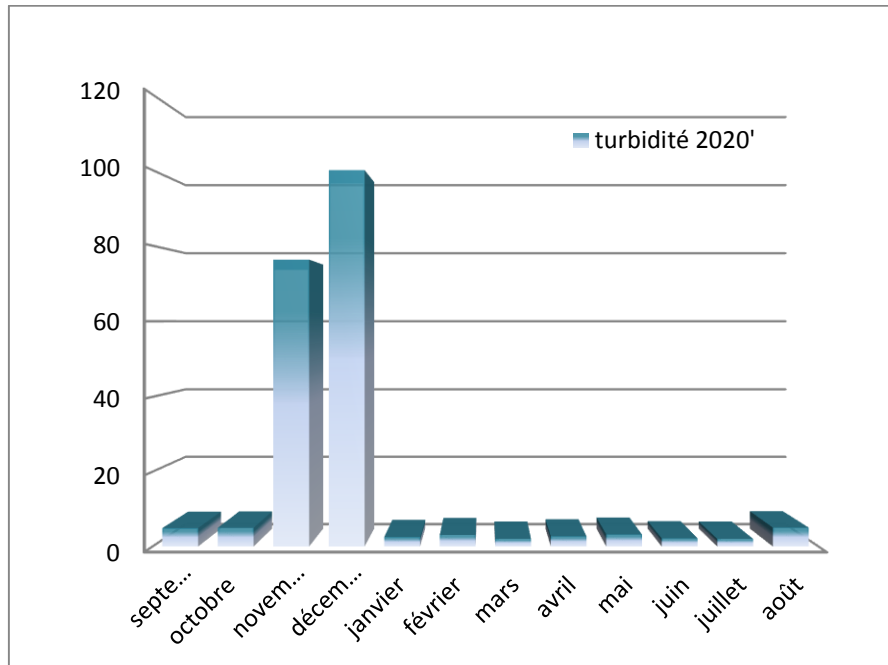


Figure IV.3 La turbidité d'eau de barrage de Taksebt au cours de l'année 2020

IV.3 Caractérisation de l'eau après dopage

Tableau IV.4 Caractéristiques d'eau de barrage après l'ajout de la bentonite

Paramètres	Unité	Valeurs
pH	-	7,6
Conductivité	µs/cm	530
UV	%	28,7
Couleur	Hz	203
Fe ⁺³	mg/L	0,66
Al ⁺³	mg/L	0,09 (±0,02)
Turbidité	NTU	100(+5à10)

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

IV.4.1 Sulfate d'Alumine

IV.4.1 .1 Détermination du pH optimal

La notion de pH permet de définir les zones optimales de coagulation; nous avons donc suivi la variation de la turbidité et de l'aluminium résiduels en fonction des valeurs croissantes du pH (5 ; 5,2 ; 5,4 ; 5,6 ; 6 ; 6,4 ; 6,5 et 7,86) le coagulant a été fixé à une dose de 32mg/l (dose prise au niveau de la station avec une turbidité d'eau brute de 100 NTU), en absence de floculant cela nous a permis d'obtenir le graphe représenté sur la figure ci-dessous.

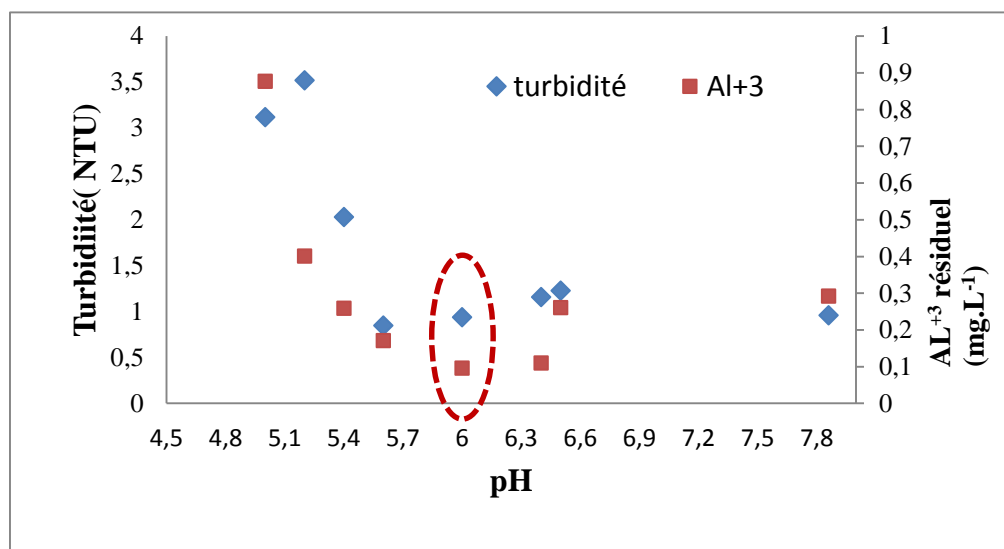


Figure IV.4 Effet de la variation du pH sur la turbidité et de l'aluminium résiduel

- D'après la Figure IV.4, nous observons une diminution de la turbidité suite à l'augmentation du pH avec un taux d'abattement allant de 96% à 99,1%
- L'Aluminium résiduel enregistre une diminution pour des valeurs de pH allant de 5 à 6 qui sera suivie d'une légère augmentation des valeurs de pH 6,4 ; 6,5 et 7,86.
- La valeur optimale du pH est fixée à 6, donnant la meilleure combinaison turbidité avec un taux d'abattement de 99,06% et une valeur de 0,096 mg/l d'Aluminium résiduel (norme 0,2 mg/l). Ceci correspond à la gamme optimale pour $Al_2(SO_4)_3$ (5,8 à 7,2) qui est conditionné pour l'obtention et la persistance de la forme précipitée $Al(OH)_3$, en plus de la forme dissoute Al^{3+} qui est inexistante [8].

IV.4.1 .2 Détermination de la dose optimale du coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Pour déterminer la dose optimale d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ nous avons suivi la variation de la turbidité et de l'aluminium résiduel en fonction des doses croissantes du coagulant, en fixant le pH à 6 et sans l'ajout du flocculant, les résultats obtenus sont représentés sur le graphe suivant.

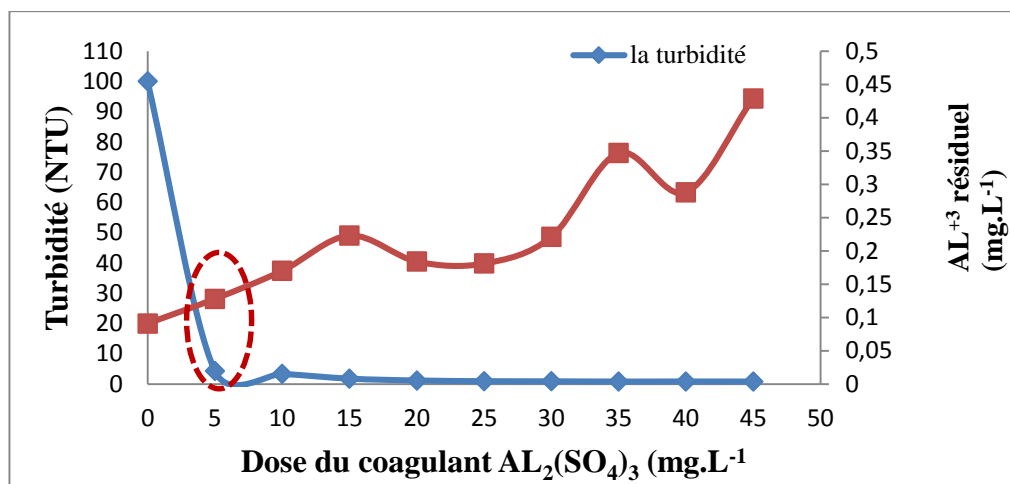


Figure IV.5 Effet de la dose du coagulant ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sur la turbidité et l'aluminium résiduel

D'après la figure ci-dessus nous observons une diminution de la turbidité arrivant à 4,29NTU avec un taux d'abattement de 96% pour une dose de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 5mg/L, ce qui peut être expliqué par le rôle que joue le coagulant lors de son ajout qui est de cercler toutes les particules en suspension par les particules colloïdales entraînant une élimination maximale à **5mg/L** qui représente la dose optimale, correspondant à un taux d'aluminium résiduel de 0,128 mg/L. Ce dernier enregistre une augmentation sur tout l'intervalle d'étude jusqu'à atteindre 0,45 mg/L.

IV.4.1.3 Optimisation de la dose optimale des flocculants utilisés avec le coagulant

$Al_2(SO_4)_3$:

a. Polymère SEAAL

Après avoir fixé le pH à 6, et la dose du coagulant à 5 mg/l, nous avons varié les doses du polymère synthétique utilisé au niveau de la station de traitement, les résultats obtenus nous ont permis de tracer le graphe suivant.

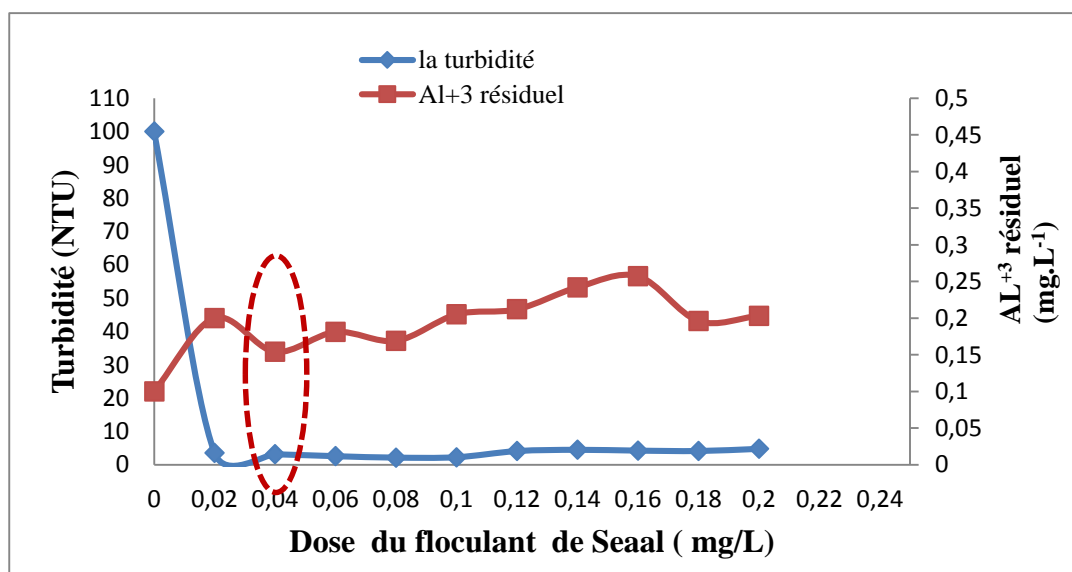


Figure IV.6 Effet de la variation des différentes doses du polymère SEAAL sur la turbidité et l'aluminium résiduel

En ajoutant le polymère, nous observons une amélioration de 2% des taux d'abattement de la turbidité, ainsi qu'une stabilité du taux d'Aluminium résiduel. Le polymère synthétique utilisé au niveau de la station a donc amélioré la décantation (une meilleure formation de flocs). La dose de 0,04 mg/L de polymère est considérée comme dose optimale avec 97% d'abattement de turbidité (**figure IV.6**) correspondant à un taux d'aluminium résiduel de 0,154mg/L.

b. Les flocculants naturels :

b.1 Cactus :

Nous avons refait les mêmes étapes, sauf que cette fois-ci nous avons remplacé le polymère SEAAL par le cactus (bio-flocculant) dont les résultats figurent sur le graphe ci-dessous.

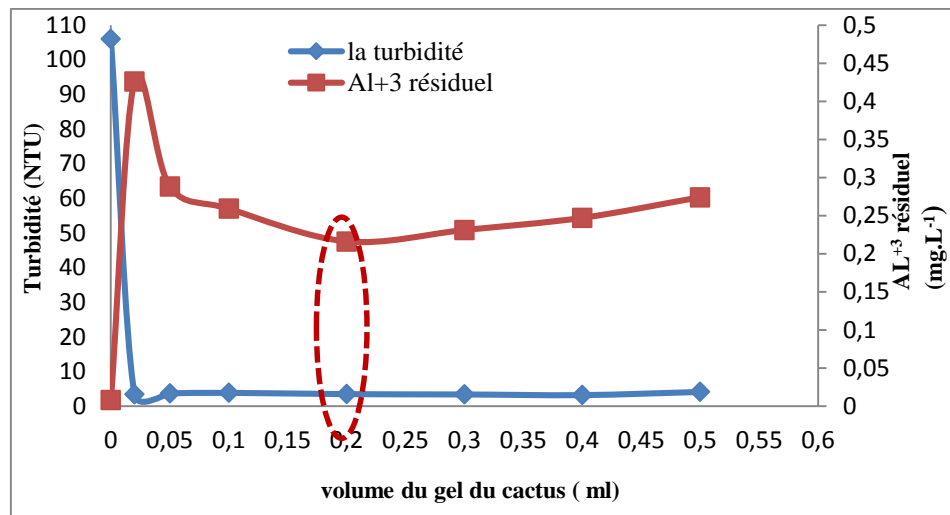


Figure IV.7 L'influence du gel de cactus sur la turbidité et l'aluminium résiduel

Nous observons d'après la figure **IV.7**, une chute de la turbidité, soit 96,76% d'abattement, une augmentation des taux d'aluminium résiduel assez remarquable (arrive jusqu'à 0,4 mg/l), qui pourrait être due à la présence des ions Al^{3+} dans le gel de cactus.

Selon la même figure nous pouvons constater que la turbidité décroît à l'inverse des volumes du bioflocculant (cactus) jusqu'à atteindre une valeur optimale de **3,48 NTU** pour **0,2ml** de cactus, soit **96,71%** d'abattement de la turbidité (**figure IV.7**) correspondant à un taux d'aluminium résiduel de **0,216mg/L**, sachant que ce résultat est obtenu après 30 min de décantation, en essayant d'assimiler notre expérience au processus traitement de la station, un test de filtration sur papier ($0,45\mu m$) a été utilisé pour le surnageant du bécher de la dose optimale, les résultats trouvés sont représentés dans le tableau suivant :

	Turbidité (NTU)	Al ³⁺ (mg/L)
Avant filtration	3,48	0,216
Après filtration	1	0,095

L'étape de filtration réduit le taux d'Aluminium résiduel d'environ 60%. Pour étayer notre résultat nous l'avons suivi au cours du processus de traitement des eaux dans la station, comme l'illustre le tableau suivant.

	Eau brute	Décanteur D1	Décanteur D2	Filtre 1	Filtre 2	Eau traitée
Taux D'Al (mg/l)	0,00	0,128	0,123	0,064	0,058	0,08

Cela confirme le résultat trouvé, les valeurs après filtration correspondent donc à la norme de potabilité qui est de 0,2 mg/l.

Après chaque jar test, une caractérisation de surnagent (après 30 min de décantation) est effectuée :

	Eau brute	Eau après décantation sans cactus	Eau après décantation avec cactus
Volume cactus (ml)	0	0	0,2
Turbidité (NTU)	106	4,29	3,48
pH	7,83	6,3	-
Conductivité (µs/cm)	541 / 20°C	583/21°C	586/23.7°C
Couleur (Hz)	200	15	12
UV (%)	28	6	5,6
Al³⁺residuel (mg/L)	0,1	0,128	0,216

On conclut que le cactus n'influe pas sur les paramètres suivants : pH, conductivité, couleur, odeur, ainsi que sur la matière organique (UV).

b.2 Aloe Vera

En fixant le pH à 6 et la dose du coagulant à 5 mg/l nous avons fait varier les volumes d'*Aloe Vera* (biofloculant) pour constater leurs influences sur la turbidité et l'Aluminium résiduel, les résultats nous ont permis de tracer le graphe ci-dessous :

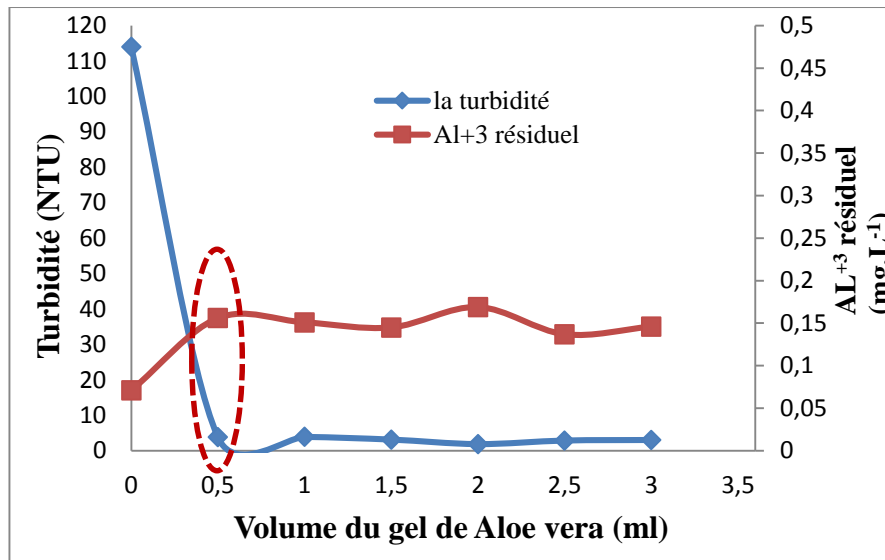


Figure IV.8 L'effet de variation des volumes d'*Aloe Vera* sur la turbidité et l'aluminium résiduel

La figure IV.8 représente l'effet de variation des volumes d'*Aloe Vera* sur la turbidité et l'aluminium résiduel montrant une diminution rapide de turbidité (de 114 jusqu'à 2 NTU) et stabilité de taux d'Al résiduel en dessous de la norme de potabilité, ce qui nous a permis de déduire que l'*Aloe Vera* forme une très bonne combinaison avec le sulfate d'Alumine. Selon la même figure, la valeur optimale est enregistrée pour le volume 0,5 ml d'*Aloe Vera*, soit 96,64% d'abattement de la turbidité correspondant à 0,156 mg/L d'aluminium résiduel.

En comparant les taux de l'aluminium résiduel de cette manipulation à ceux trouvés avec le gel de cactus, nous constatons que le gel d'*Aloe Vera* a facilité la décantation des ions d'aluminium résiduel. Un résultat similaire (96,5%) a été trouvé par K, M, Katubi et al 2021, qui ont utilisé l'*Aloe Vera* combiné à du sulfate d'Alumine pour traiter l'eau de ruisseau Indiyani.

IV.4.2 Chlorure ferrique

IV.4.2.1 Détermination du pH optimal

Pour déterminer le pH optimal nous avons suivi la variation de la turbidité, en fonction des valeurs croissantes du pH, le coagulant a été fixé à une dose de 32mg/l (comme réalisé précédemment pour le sulfate d'alumine) sans ajout du flocculant, les résultats obtenus sont présentés sur le graphe suivant.

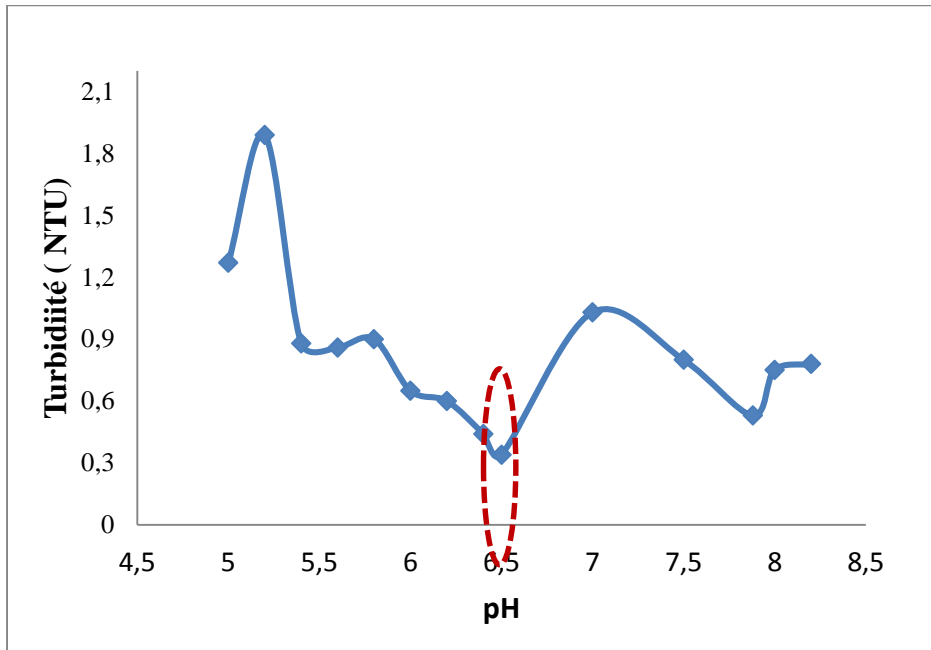


Figure IV.9 L'effet de variation du pH sur la turbidité en présence de chlorure ferrique

D'après la Figure, nous observons une diminution de la turbidité avec un taux d'abattement allant de 98% à 99,6%.

Comme l'indique la figure ci-dessus le pH optimal est fixé à 6,5 correspondant à une turbidité minimale 0,34 NTU, soit 99,6% d'abattement de la turbidité. Cette valeur du pH est incluse dans la plage de pH optimal (entre 5,5 et 8,3) pour le fonctionnement de chlorure ferrique [8].

IV.4.2.2 Détermination de la dose optimale du coagulant (FeCl_3)

Nous avons suivi la variation de la turbidité en fonction des doses croissantes du coagulant (FeCl_3), en fixant le pH à 6,5 sans ajout du flocculant. Les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant.

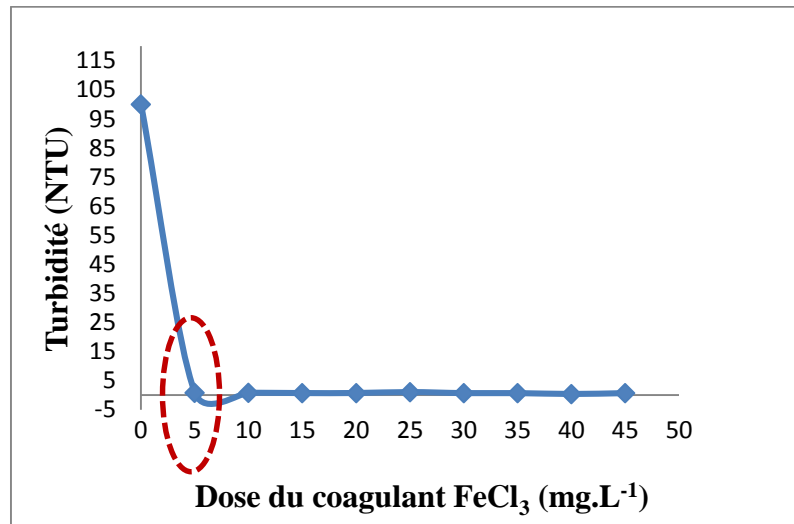


Figure IV.10 L'effet de la Variation des doses de FeCl_3 sur de la turbidité

D'après les figures ci-dessus qui représentent la variation de la turbidité en fonction des doses du coagulant FeCl_3 , nous remarquons une diminution de la turbidité arrivant à **0,83 NTU (99,2%)** pour une dose de **5 mg/L** ce qui peut être expliqué par le rôle que joue le coagulant lors de son ajout qui est de cercler toutes les particules en suspension par les particules colloïdales entraînant une élimination maximale à **5 mg/L** qui représente la dose optimale. (Par faute de manque de réactifs, nous n'avons pas pu quantifier le taux du fer résiduel).

IV.4.2.3 Optimisation de la dose optimale des flocculants utilisés avec le coagulant Chlorure Ferrique

a. Polymère SEAAL

Après avoir fixé le pH à 6,5 et la dose du coagulant à 5 mg/L, nous avons varié les doses du polymère synthétique utilisé au niveau de la station de traitement, les résultats sont représentés sur le graphe ci-dessous.

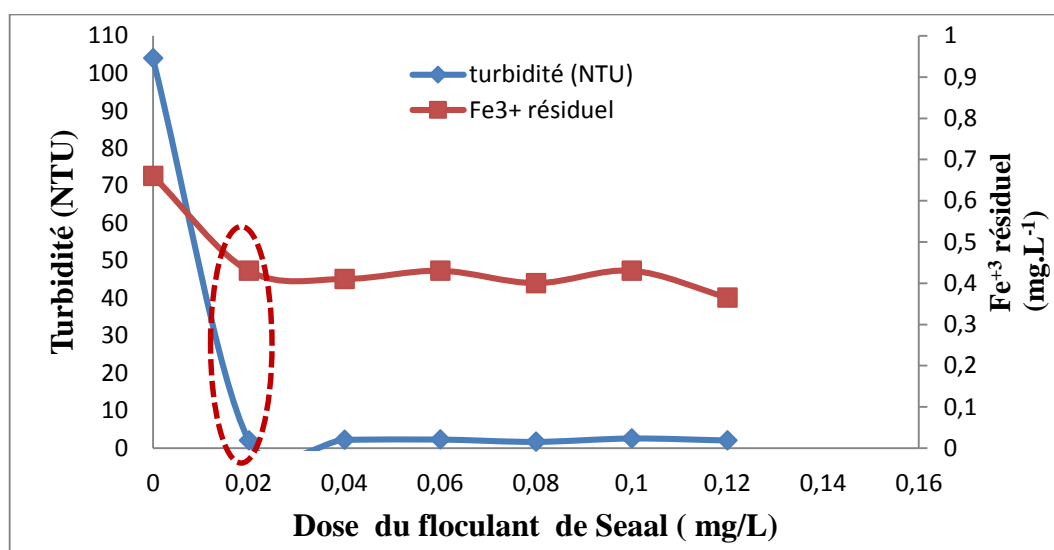


Figure IV.11 L'effet de la variation de la dose du polymère SEAAL sur la turbidité et le Fer résiduel

La figure IV.11 représente la variation de la turbidité et le fer résiduel en fonction des différentes doses du polymère SEAAL. On constate que la turbidité décroît rapidement jusqu'à atteindre une valeur optimale de **2,07 NTU** pour **0,02mg/L** de polymère SEAAL, soit 98% d'abattement de la turbidité correspondant à un taux de fer résiduel de **0,43mg/L**. Ce résultat peut être expliqué par l'affinité qu'a le polymère SEAAL envers les sels ferriques.

Un test de filtration sur papier (0,45µm) a été utilisé pour le surnageant d'un béccher de cette manipulation, les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	Turbidité (NTU)	Fe ³⁺ (mg/L)
Avant filtration	2,06	0,365
Après filtration	0,65	0,18

*norme de potabilité pour de fer résiduel est 0,3 mg/L.

Les résultats après filtration correspondent aux normes de potabilité pour la turbidité et le taux de fer résiduel.

b. Les flocculants naturels

b.1 Cactus

Nous avons refait les mêmes étapes expérimentales que la manipulation précédente, sauf que cette fois-ci nous avons remplacé le polymère SEAAL par le gel du cactus, les résultats sont représentés sur le graphe ci-dessous.

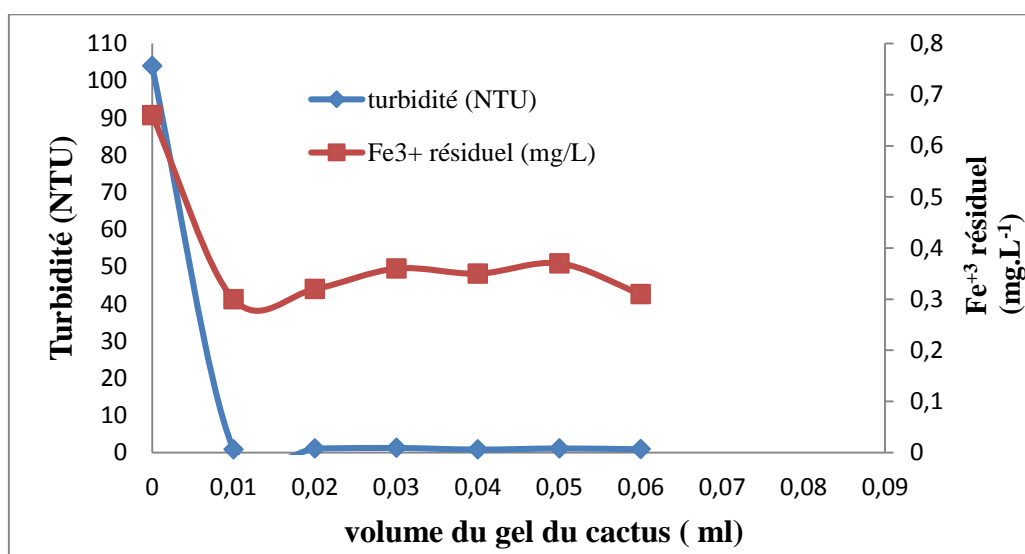


Figure IV.12 L'effet de la variation des volumes du gel de cactus sur de la turbidité et le fer résiduel

La figure IV.12 représente la variation de la turbidité et le fer résiduel en fonction des différents volumes de gel de cactus, montrant que 0,01 ml de gel de cactus en présence de chlorure ferrique suffise pour abattre **99,23%** de la turbidité initiale et pour diminuer le taux de fer jusqu'à la norme de potabilité (0,3 mg/l) tandis qu'il nous a fallu 0,2 ml de ce gel pour abattre **96,71%** de la turbidité en présence de sulfate d'alumine.

b.2 Aloe Vera

En fixant le pH à 6,5 et la dose du coagulant à 5 mg/L, nous avons fait varier les volumes d'*Aloe Vera* (bioflocculant) pour voir l'effet de ce dernier sur la turbidité et le fer résiduel, les résultats nous ont permis de tracer le graphe ci-dessous.

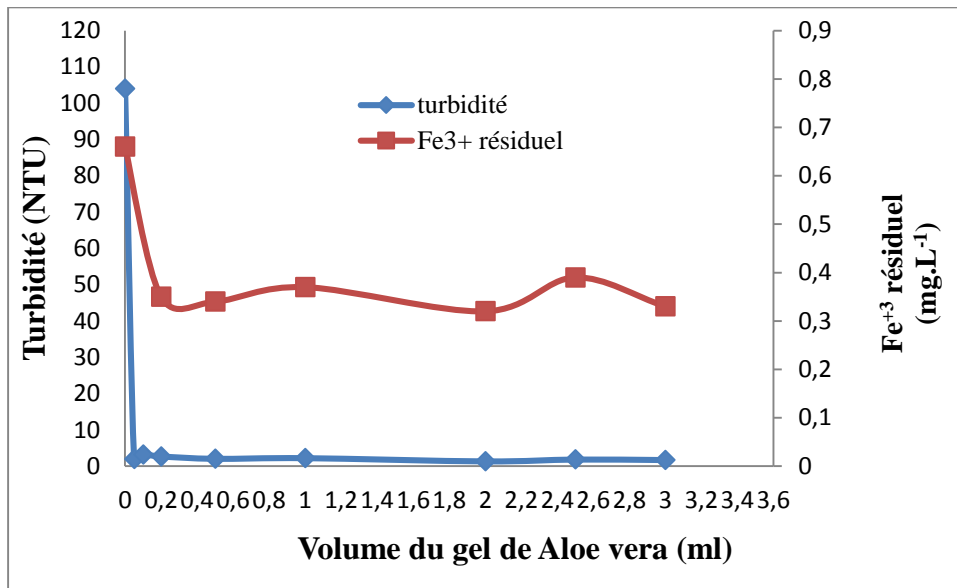


Figure IV.13 L'effet de Variation des volumes d'Aloe Vera sur la turbidité et le fer résiduel

Selon la **IV.13** l'abattement de la turbidité est de 97,90% correspondant à 0,2 ml de gel d'Aloe Vera, en comparant ce résultat à l'essai précédent (celui trouvé avec le gel cactus (0,01 ml)) nous pouvons déduire la richesse du gel de cactus au monomère glucidiques. Le taux de fer résiduel reste toujours aux environs de la norme de potabilité.

IV.4.3 Le pouvoir coagulant et floculant des gels de cactus et d’Aloe Vera

Cependant, après détermination des doses optimales des floculants en présence du coagulant, nous avons testé l’efficacité des floculants sans l’ajout du coagulant; en fixant le pH à 7,5 (pH d’eau de barrage) et en variant le volume des gels de cactus et d’Aloe Vera.

Pouvoir coagulant: l’injection des volumes de gel à une vitesse très rapide (étape de coagulation).

Pouvoir floculant: l’injection des volumes de gel à une vitesse lente (étape de floculation).

Les résultats sont représentés sur les figures ci-dessous.

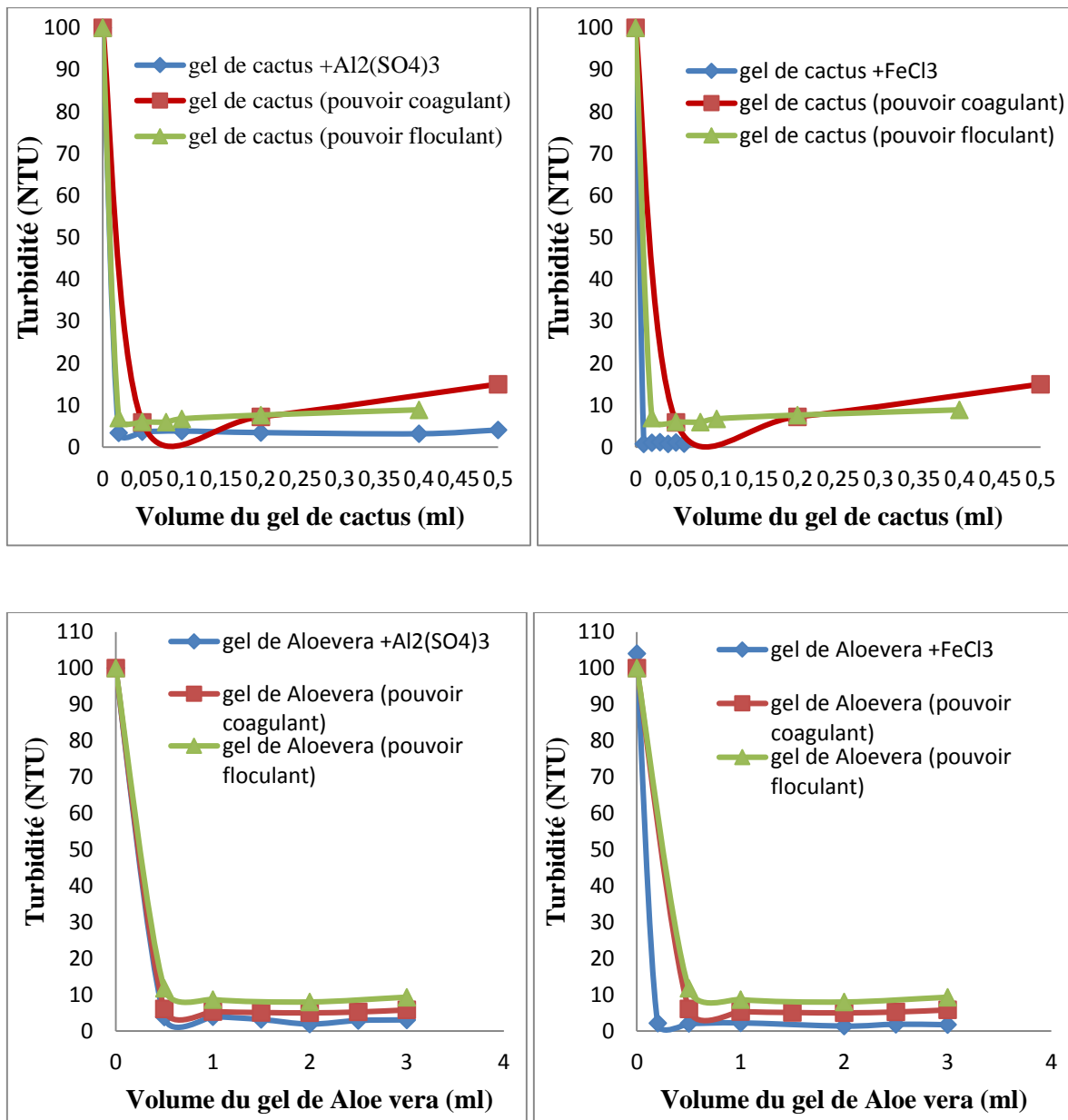


Figure IV.14 Le pouvoir coagulant et floculant des gels de cactus et d’Aloe Vera

Les résultats obtenus (Figure IV.14) montrent la capacité des gels à déstabiliser les particules colloïdales (pouvoir coagulant). Ce qui a été confirmé par la caractérisation des gels (cactus et d'Aloe Vera) qui prouve la richesse de ces gels en minéraux bivalent notamment le calcium, le magnésium et le fer, cette composition en ions cationiques pourrait leur conférer un caractère coagulant. Selon les travaux de N. Fedala, H. Lounici, et *al*, le cactus ce coagulant naturel fonctionne au moyen de mécanismes d'adsorption suivis d'une neutralisation de charge ou d'un effet de pontage polymérique [21].

Selon la même figure nous remarquons que ces deux gels ont aussi un pouvoir floculant qui peut être dû à leur richesse en monomères glucidiques et des protéines qui forment de longues chaînes favorisant l'assemblage des mini floes.

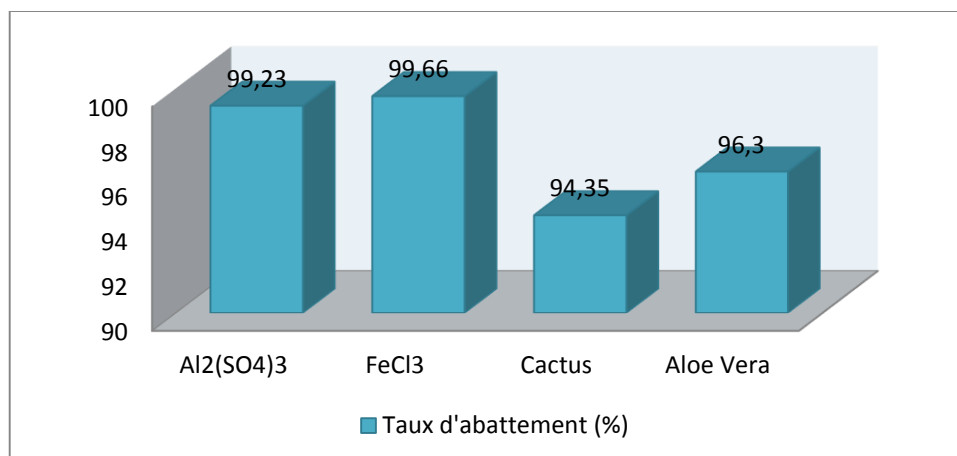


Figure IV.15 Les taux d'abattements de la turbidité pour les différents coagulants

Nous avons reporté sur le graphe ci-dessus (Figure IV.15) le taux d'abattement de la turbidité de chaque coagulant qui nous a permis de déduire:

- Le Chlorure Ferrique et le Sulfate d'Alumine prennent les premières positions en élimination de la turbidité comparant à nos bio-coagulants. Cependant, le FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ sont des produits chimiques qui ont un impact sur la santé humaine, surtout que les ions Fe³⁺ et Al³⁺ résiduels dans l'eau après traitement peuvent causer des problèmes de santé (genotoxicité, Alzheimer.. etc) contrairement à nos gels biodégradables qui sont sans danger ni sur la santé humaine, ni sur l'environnement.
- Avec l'Aloe Vera nous avons pu atteindre un taux d'abattement de la turbidité de 96,3%, un résultat meilleur que celui trouvé par R.Daza, JM Epalza et *al*. Qui ont rapporté que le

traitement d'une eau potable à une turbidité de 44,5 NTU avec de l'Aloe Vera donne 92,74 % en abattement de la turbidité [22].

- Les travaux de A. Balakrishnan et A. Neera qui ont utilisé le cactus comme coagulant naturel sur une eau synthétique, ont montré l'efficacité du cactus à un pH neutre avec 95% d'élimination de turbidité [21].

- Amira, A. Ali et *al.* ont signalé, lors de l'utilisation du cactus comme coagulant pour le traitement de leur échantillon ayant une turbidité initiale de 120 NTU, qu'ils ont pu réduire sa turbidité à 99,53% [21].

Afin de montrer l'efficacité de chaque flocculant nous avons reporté les taux d'abattement maximal de la turbidité après 30 min de décantation, de chaque combinaison.

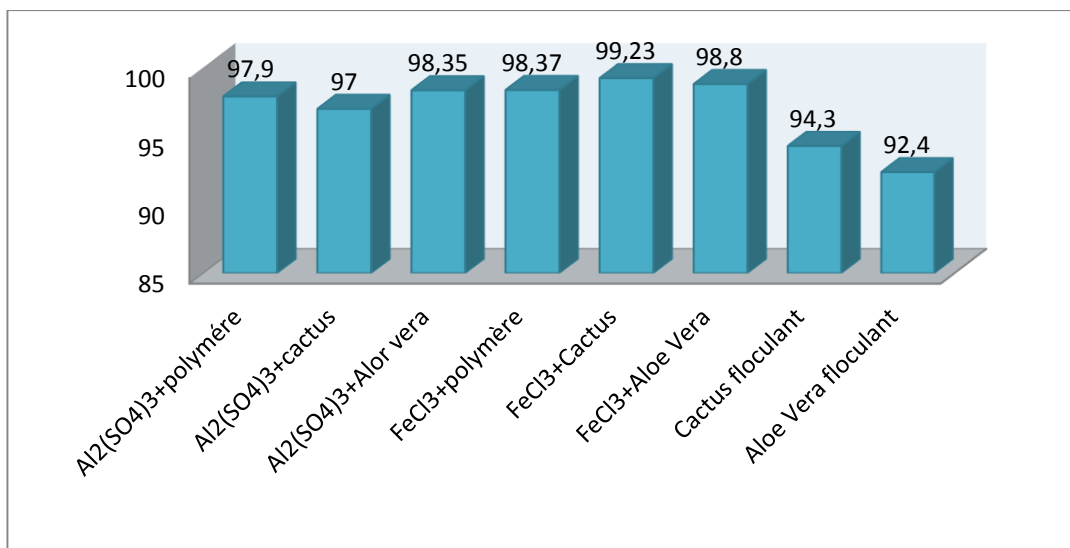


Figure IV.16 Les taux d'abattements de la turbidité pour les différentes combinaisons (coagulant-flocculant)

D'après la figure ci-dessus, les meilleures combinaisons sont: (FeCl₃+ cactus) avec un taux de 99,23% d'élimination de la turbidité, (FeCl₃ + Aloe vera) qui a donné 98,8%, et (Al₂(SO₄)₃+ Aloe vera), soit 98,35% d'abattement de la turbidité. Ces taux sont bien meilleurs que ceux obtenus avec du polymère synthétique utilisé au niveau de la station de traitement.

La combinaison (Al₂(SO₄)₃+ cactus) donne un meilleur abattement si nous comparons les résultats à ceux trouvés par Bouatay F. et Mhenni F. qui ont rapporté, qu'une analyse utilisant du mucilage de cactus combiné avec du sulfate d'Alumine a donné une élimination de turbidité d'environ 91,66%. [21] et par R.Rachdi, F.Srarfi et *al.* qui ont signalé que le traitement mené par du sulfate d'alumine avec du cactus, avait un rendement d'élimination de la turbidité de l'ordre de 93,65 %. [21]

Pour conclure, les gels de cactus et l’Aloe Vera 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 composé mis en jeux.

Pour vérifier cela, nous allons mesurer le TAC de l’eau surnagent dans une série de jar test avec les deux coagulants FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃.

IV.5.1 Cas de FeCl₃

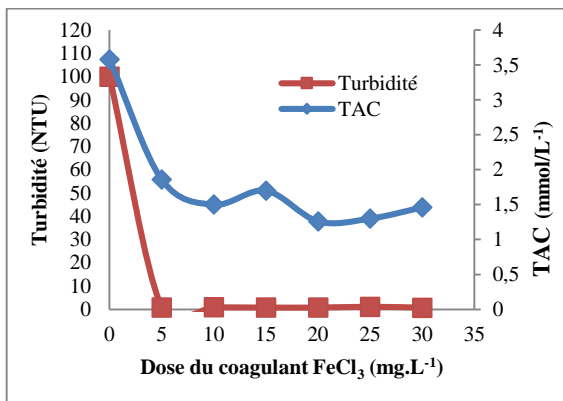


Figure. IV.17 L’effet de la Variation de la dose de FeCl₃ sur le TAC et de la turbidité

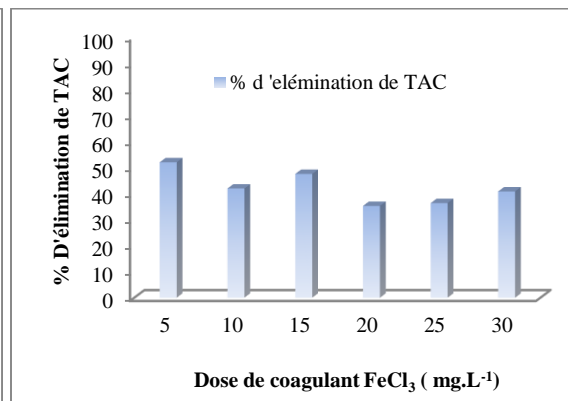


Figure IV.18 Taux d’élimination du TAC (cas de FeCl₃)

Les figures (IV.17 et IV.18) montrent qu’il y a effectivement une baisse en alcalinité dans l’eau après la coagulation, la dose de 5 mg/L du chlorure ferrique a consommé plus de 50% de TAC (le taux le plus élevé) tandis que le faible taux (35.2%) est enregistré pour la dose de 20 mg/l de FeCl₃. Ce phénomène pourra être expliqué par l’équation suivante:



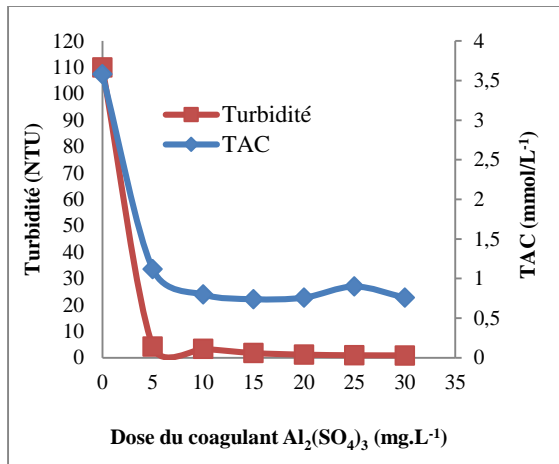
IV.5.2 Cas d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

Figure IV.19 L'effet de la Variation de la dose d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur le TAC et de la turbidité

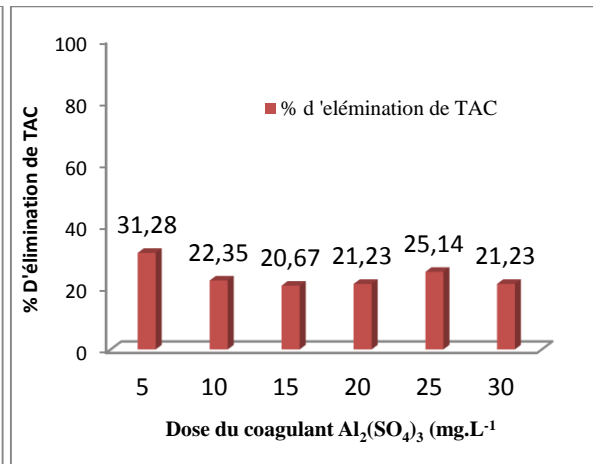
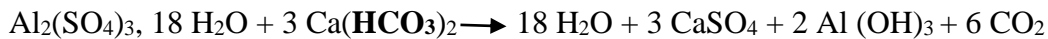


Figure IV.20 Taux d'élimination du TAC (cas de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Les graphes ci-dessus montrent eux aussi une consommation de TAC de l'eau traitée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dans l'intervalle 21,23 et 31,28 %. En comparant ces résultats à ceux trouvés avec FeCl_3 nous pouvons déduire que le sulfate d'alumine consomme moins d'alcalinité. Cette consommation pourra être expliquée par l'équation suivante:



Cette perte d'alcalinité se traduit par une chute de pH, donc par une acidification de l'eau. Le précipité d'hydroxy-alumine se forme en dureté permanente, se forme aux dépens de la dureté temporaire ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) qui se transforme en dureté permanente sous forme de sulfate de calcium.

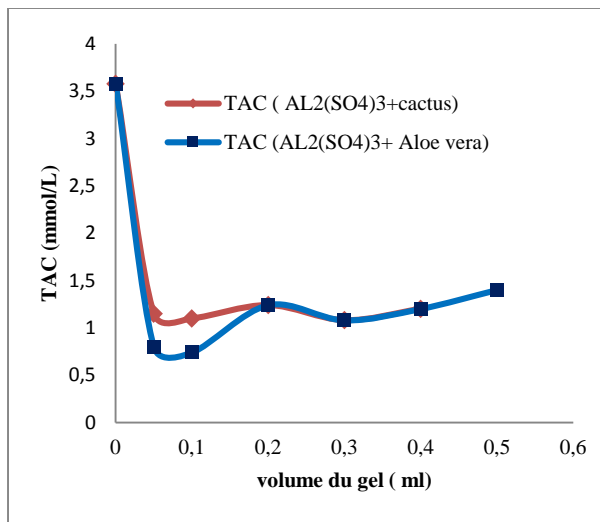
IV.5.3 Cas d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ +gel

Figure. IV.21 L'effet de la Variation du volume de gel sur le TAC

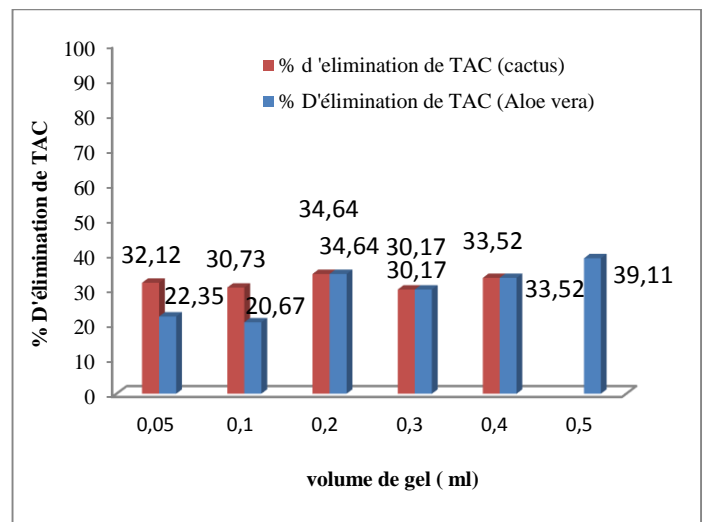


Figure IV.22 Taux d'élimination du TAC en fonction des volumes de gel

Les graphes ci-dessus nous permettent de constater ce qui suit:

Les volumes 0,05 et 0,1 ml de gel d'Aloe vera combinés au $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ont pu abaisser le TAC de 3,58 jusqu'à 0,8 mmole/L, soit un abattement de TAC de 22,35%, ce taux est inférieur à celui trouvé lors du traitement par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ soit (31,28 %). Ainsi, nous pouvons déduire que le gel d'Aloe vera a un effet tampon (ce n'est pas le cas pour le gel de cactus). En augmentant les volumes de gel de plus de 0,2 ml le TAC augmente d'environ 1,2mmole/L, soit un abattement de TAC de l'ordre de 34%.

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est de substituer les produits synthétiques utilisés dans les procédés de traitement des eaux par coagulation-floculation, avec d'autres produits naturels. Par ailleurs, A cet effet nous avons utilisé des sulfates d'alumine et du chlorure ferrique, comme des agents coagulants et les produits biodégradables extrait à partir de la raquette du cactus et les feuilles de l'Aloe vera comme agents floculants. Cette étude suit un protocole purement écologique.

D'après les résultats obtenus au cours de cette étude nous pouvons en tirer les renseignements suivants :

- Les gels de cactus et d'Aloé-vera représentent une très bonne capacité de floculation en présence des coagulants FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
- Le cactus et l'Aloe vera disposent d'un pouvoir mutuel coagulant et floculant
- Pour des doses optimales, les pourcentages de réduction de turbidité dépassent les 90%.

Les avantages d'un traitement avec les gels de cactus et d'Aloe Vera seront nombreux ; produits naturels, abondants et peu couteux, biodégradables, et non toxiques dont les propriétés pharmacologiques ont déjà été démontrés. Ils sont utilisés à faible dose avec une production minimale de boue non nocive pour l'environnement.

Ce travail nous permettra : d'une part, une contribution intéressante dans le domaine de la valorisation des ressources naturelles de notre pays. Et d'autre part, la possibilité d'introduire de nouveaux réactifs biodégradables dans le processus de traitement physico chimiques par le procédé de coagulation floculation.

L'utilisation des gels s'est avérée être un traitement simple et efficace d'un point de vue technique et économique. De plus, ce procédé sera rentable et s'introduira dans le développement durable dans les régions où les plantes sont cultivées à grande échelle.

Nous espérons à travers cette étude remplacer certains coagulants inorganiques largement utilisés dans le domaine de traitement des eaux et ayant des inconvénients sur l'environnement et en particulier sur la santé humaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ❖ [1] : A.KETTAB,(2001), les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision. Désaliénation 136. 25-33.
- ❖ [2] : SOHOUNHOUE KOKO CADJO DOMINIQUE,(2015), Evaluation of aloe vera leaf gel as a natural flocculant : phytochemical screening and turbidity removal trials of water by coagulation flocculation. Research journal of recent science, 4(12), 1-9.
- ❖ [3] : S.M. OUSSEDIK,(2001), déminéralisation de l'eau saumâtre du forage Albien « Ain Sahara » pour l'alimentation en eau potable de la ville de Touggourt. Désalination 137 (103-111).
- ❖ [4] : S.LESLOUS,(22-03-2021) journal Liberté
- ❖ [5] : Ministère de développement durable, environnement et parcs,(2012), critères de qualité de l'eau de surface. Quebec. Canada. 230p
- ❖ [6] : MOISE DESIR DIHANG,(2007), Mécanismes de coagulation et de floculation de suspensions d'Argile diluées rencontrées en traitement des eaux. Doctorat de l'université Paul Sabatier, spécialité : Génie des procédés et de l'environnement.
- ❖ [7] : Moise Desir DIHANG ,(2007), Mécanismes de coagulation et de floculation de suspensions d'Argile diluées rencontrées en traitement des eaux. Doctorat de l'université Paul Sabatier, spécialité : Génie des procédés et de l'environnement
- ❖ [8] : Claude Cardot. Les traitements de l'eau pour l'ingénieur, procédés physico chimiques et biologiques. Edition ellipses.
- ❖ [9] : DEGREMONT, (2005). Mémento technique de l'eau : Tome 2. Lavoisier, SAS-Lexique technique de l'eau, dixième édition, Paris, France.
- ❖ [10] : SIANGSANUN V,(2010), Procédé hybride: hydrocyclone, coagulation, floculation et flottation pour le traitement de l'eau, Hybrid process : hydrocyclone, coagulation, floculation and flotation for water treatment process. Thèse Doctorat. Université de Chulalongkorn - Bangkok - Thaïlande, INSA de Toulouse.
- ❖ [11] : HUBERT CABANAT,(2011). GCI 720 conception : usine de traitement des eaux potables.
- ❖ [12] : BRATBY. J, (2007). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 2nd ed. IWA Publishing.
- ❖ [13] : HERNANDEZ De LEON H. R. (2006). Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France.
- ❖ [14] : MOTTOT Y. (2000). Coagulants et floculants. Texte de la 279e conférence de l'Université de tous les savoirs.

- ❖ [15] : OMAR BOUAOUINE,(2018), Caractérisation et valorisation de bioressources végétales pour le prétraitement d'effluents par coagulation-floculation. Sciences de la Terre. Université de Limoges; Université Sidi Mohamed ben Abdellah (Fès, Maroc). Français.
- ❖ [16] : MAROUF ABDERRAZAK, G.T.,(2015), Abrégé de biochimie appliquée.
- ❖ [17] : A. MAZARI et A. MAHDEB,(2021). 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.
- ❖ [18] : NEFFER S.,(2012), Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de barbarie sur la variation des ressources naturelles des steppes Algériennes de l'Est cas de Souk Ahrass et Tebessa. Doctorat en Biologie végétale. Algérie.154P
- ❖ [19] : NATACHA MICHAYEWICZ,(2013), L'Aloe vera, plante médicinale traditionnellement et largement utilisée depuis des millénaires, aux nombreuses propriétés thérapeutiques. Plante miracle ?. Sciences pharmaceutiques.
- ❖ [20] : P. ABIRAMI,(2010), Flocculant effect of Aloe vera L. in removing pollutants from raw and treated dye industry effluent. Asian Journal of Environmental Science, Vol. 5 No. 1 : 5-7
- ❖ [21] : SAURABH O.DESHMUKH,(2018), Wastewater Treatment using Bio-Coagulant as Cactus Opuntia Ficus Indica – A Review. International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 6, Issue 10, | ISSN (online): 2321-0613
- ❖ [22] : DAZA, R.; BARAJAS SOLANO, A.F.; EPALZA CONTRERAS, J.M.(2016), Evaluation of the efficiency of bio-polymers derived from desertic plants as flocculation agents. Chem. Eng. Trans. , 49, 361–366

Tableau III. PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18

Groupe de paramètres	Paramètres	unité	Valeurs limites
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100 ml	0
	Entérocoques	n/100 ml	0
	Bactéries sulfitoréductrice y compris les spores	n/20 ml	0
Paramètres organoleptiques	Couleur	Mg/L platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12° C	Taux de dilution	4
	Saveur à 25° C	Taux de dilution	4
Paramètres chimiques	Aluminium	Mg/l	0.2
	Fer total	Mg/l	0.3
	Ammonium	Mg/l	0.5
	Fluorures	Mg/l	1.5
	Manganèse	µg/l	50
	Nitrates	Mg/l	50
	Nitrites	Mg/l	0.2
	phosphore	Mg/l	5
	cuivre	Mg/l	2
	plomb	µg/l	10
	Zinc	Mg/l	5
	H.P.A	µg/l	0.2
	Chlore	Mg/l	5
Bromates	µg/l	10	

Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux		
Alcalinité	Mg/l en CaCO₃	500
Calcium	Mg/l en CaCO₃	200
chlorures	Mg/l	500
pH	---	>6.5 et < 9
Conductivité a 20 °C	µs/cm	2800
Dureté	Mg/l en CaCO₃	200
potassium	Mg/l	12
Résidus sec	Mg/l	1500
Sodium	Mg/l	200
Sulfates	Mg/l	400

Résumé

Certaines études ont révélé que les coagulants à base d'aluminium, de fer et même les polymères synthétiques présentent un désavantage important : leur toxicité probante pour la santé humaine et l'environnement. Ce travail consiste à substituer ces produits chimiques utilisés lors du traitement des eaux potables, par des composés d'origine naturelle tel que le gel d'*Aloe vera* et de *Opuntia ficus indica* (cactus). L'étude expérimentale a été réalisée au laboratoire de la station de traitement du barrage TAKSEBT, à l'aide d'un Jar test et en utilisant deux coagulants ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ et $FeCl_3 \cdot 6H_2O$) avec un suivi du taux d'élimination de la turbidité. L'étude comparative entre les biofloculants et le floculant industriel a relevé des rendements satisfaisants concernant la floculation et la réduction de la turbidité; plus de 95%, ainsi que leurs double pouvoir floculant et coagulant.

Mots clés : *Aloe vera*, *Opuntia ficus indica*, floculation, traitement d'eau de barrage.

Abstract

Some studies have revealed that aluminium, iron and even synthetic polymers coagulants have an important disadvantage: their proven toxicity for human health and the environment. This work consists of substituting these chemicals used in the treatment of drinking water with compounds of natural origin such as *Aloe vera* gel and *Opuntia ficus indica* (cactus). The experimental study was carried out in the laboratory of the TAKSEBT dam treatment station, using a Jar test and two coagulants ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ and $FeCl_3 \cdot 6H_2O$) with a follow-up of the turbidity elimination rate. The comparative study between the biofloculants and the industrial flocculant showed satisfactory yields concerning flocculation and turbidity reduction; more than 95%, as well as their double flocculating and coagulating power.

Key-words : *Aloe vera*, *Opuntia ficus indica*, flocculation, dam water treatment.