



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimî B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Intitulé :

**Traitement des eaux de surface du barrage "Ain Zada"
Bordj Bou Arreridj par coagulation floculation**

Présenté par :

BAHFIR Anissa

BENBOUZID Hadjer

Soutenu le 24/06/2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. HERIZI Toufik	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Encadrant :	M. TIAIBA Mohammed	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Examinatrice :	Mme. BOURAHLA Amel	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements



Tout d'abord, nous remercions "Allah" qui nous a donné le courage pour achever ce modeste travail.

*Merci à notre encadrant Monsieur **TAIBA Mohammed** pour son intérêt, sa disponibilité, sa patience et surtout ses précieux conseils.*

*Nous remercions très sincèrement **Mmes HABBICHE. F et BENATTIA. A** qui ont assuré notre enseignement et apprentissage durant tous ces mois de stage.*

*Nous remercions tous **les membres du jury** d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

Et enfin, un grand Merci à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Dédicace



Tout d'abord je remercie "**ALLAH**" le tout puissant pour m'avoir donnée la force nécessaire et le courage pour mener à bien ce travail, nous te prions de nous aider davantage à percer dans la recherche du savoir.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma **mère**...

À mon **père**, école de mon enfance, qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. Que dieu les garde et les protège.

À mes très chers frères et sœurs

Mohamed et sa femme **Zainab, Amina** et son mari **Ammer** et ses enfants
"**KHadidja, Nada, Fares Abd Allah, Kaouthar, Abd Salem**."

Je vous aime tous et je suis reconnaissante de vous avoir dans mes meilleurs souvenirs d'enfance.

À mes meilleures amies "**Semai Amira et Bahfir Anissa**" que j'amie, merci d'être à mes côtés dans les moments les plus dures et inoubliables, reconnaissante pour votre sacrifice, soutien et confiance. J'espère que vous serez toujours avec moi pour le reste de ma vie.

À mon fiancé **RÉZKI Alaa** qui est une source de courage et soutien constant pour moi.

À mon encadrant **TIAIBA Mohammed** et ma binôme **Bahfir Anissa**, je ne peux vous remercier autant pour votre précieuse aide et vos encouragements, je serais toujours reconnaissante, mille merci.

Un grand merci à **Chelbabi Mohamed, Dehimat Toufik, Benbouzid Nourdine**

À toute ma famille **BENBOUZID** et **BENHAMENA** pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

À tous les enseignants qui m'ont suivis au long de mon parcours universitaire.



HADJER

Dédicace



C'est grâce à "Allah" le très miséricordieux, qui m'a inspiré, m'a guidé sur le droit chemin, Je vous dois ce que je suis devenue.

Ma chère mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par ton amour, ton soutien, tes sacrifices consentis et tes précieux conseils, pour toute ton assistance et ta présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et mon éternelle gratitude.

A Mon très cher père, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être, tous leurs sacrifices qui trouvent ici ma reconnaissance éternelle, ma profonde gratitude et mon grand respect et amour.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à mes frères Tarek, Walid, Mohamed Amine, et mes sœurs Chaima, Karima, et Mes nièces Meriam, Ritadj, je dédie ce travail dont le grand plaisir leur revient en premier lieu pour leurs conseils, aides et encouragements.

Un immense merci à mes copines Amira Semai, Hadjer BenBouziid, en lettres d'or, gravé dans mon cœur, garni de gratitude, parfumé d'émotions. Ce grand merci serait très petit face à votre soutien, à vos sacrifices, prières et encouragements durant toute ma formation.

A mon encadrant TIAIBA Mohammed et ma binôme BenBouziid Hadjer, je ne peux vous remercier autant pour votre précieuse aide et vos encouragements, je serais toujours reconnaissante, mille merci.

Un grand merci à mes grands-parents Lakhder, Manana, Yamina, Chelbabi Mohamed, Dehimat Toufik

A toute ma famille BAHFIR et GUISSOUS pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.



ANISSA



Table des matières

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction.....	02
I.2. Description du sous bassin versant de Boussellam amont	02
I.2.1. Situation géographique	02
I.3. Description du barrage Ain Zada	04
I.4. Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Ain Zada.....	05
I.4.1. Situation géographique	05
I.4.2. Les caractéristiques techniques du barrage.....	06
I.4.3. Evolution de la réserve du barrage Ain-Zada (2008-2022).....	07
I.4.3.1. Fluctuation de la réserve durant les années 2008 au 04/10/2022	07
I.4.3.2. Fluctuation des apports / deffluent durant les années 2007 au 2022.....	08
I.6. Situation climatiques.....	09
I.6.1. Aperçu général sur le climat de la région.....	09
I.6.1.1. Température	09
I.6.1.2. Les précipitations	10
I.6.1.3. Diagramme pluvio-thermique	11
I.7. Conclusion	12

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Introduction	13
II.2. Procédure expérimentale	13
II.2.1. Mode opératoire en Jar-test	14
II.3. Matériels	14
II.3.1. Coagulants	14
II.3.1.1. Mode de préparation	15
II.3.2. Flocculants.....	16
II.3.2.1. Dose du flocculant industriel (Polyélectrolytes anionique).....	16
II.3.2.2. Utilisation de Charbon actif en poudre (CAP).....	16
II.3.2.3. Utilisation du jus de raquette	17
II.3.3. Échantillonnage des eaux brutes.....	18
II.4. Méthodes analytiques	19
II.4.1. Mesure du pH	19
II.4.2. Mesure de la conductivité électrique	20
II.4.3. Mesure de la turbidité	20
II.4.4. Mesure des Matières en Suspensions (MES).....	22
II.4.5. Détermination de la dureté TH	22
II.4.6. Protocole expérimentale de la demande en chlore pour le traitement de Pré-chloration.....	23
II.4.7. Le rendement d'élimination des paramètres étudiés.....	25

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction	26
III.2. Effet du temps et de la vitesse d'agitation.....	26
III.2.2. Cas de la floculation	27
III.3. Effet de la dose et le type du coagulant.....	28
III.3.1. Sulfate d'aluminium	28
III.3.2. Chlorure ferrique	29
III.3.3. sulfate ferrique.....	29
III.3.4. Chlorure d'aluminium.....	30
III.4. Effet du pH initial.....	31
III.4.1. En présence de sulfate d'alumine	31
III.4.2. En présence de FeCl_3	32
III.4.3. En présence de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	33
III.4.4. En présence de chlorure d'aluminium (AlCl_3).....	33
III.5. Effet de la dose du floculant (polyélectrolytes anionique)	35
III.5.1. En présence de sulfate d'alumine	35
III.5.2. En présence de FeCl_3	36
III.5.3. En présence de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	36
III.5.4. En présence de chlorure d'aluminium (AlCl_3).....	37
III.6. Effet de la dose du floculant (charbon actif en poudre)	37
III.6.1. En présence de sulfate d'alumine	38
III.6.2. En présence de FeCl_3	38
III.6.3. En présence de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	39
III.6.4. En présence de chlorure d'aluminium (AlCl_3).....	39
III.7. Effet du volume du floculant naturel.....	40
III.7.1. En présence de sulfate d'alumine	40
III.7.2. En présence de FeCl_3	41
III.7.3. En présence de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	41
III.7.4. En présence de chlorure d'aluminium (AlCl_3).....	42
III.8. Influence de la pré-chloration sur la coagulation floculation	43
III.9. Influence de la qualité de l'eau brute	44
III.10. Qualité physico-chimique d'eau traitée après l'optimisation des paramètres	45
III.11. Conclusion partielle.....	46
Conclusion générale.....	47

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude		
Tableau I.1	Les caractéristiques de la digue du barrage Ain Zada	04
Tableau I.2	Caractéristiques techniques du barrage Ain-Zada	06
Tableau I.3	Températures moyennes mensuelles de la station de BBA (2010-2020)	10
Tableau I.4	Moyennes mensuelles des précipitations de la station de BBA (2010-2020)	10
Chapitre II : Matériels et méthodes		
Tableau II.1	Spécification techniques de flocculant	16
Tableau II .2	Caractéristiques de Charbon actif en poudre	16
Tableau II.3	Caractéristiques physicochimiques des eaux brutes	19
Tableau II.4	paramètres et méthodes de dosage des paramètres physico-chimiques des eaux testés	19
Tableau II.5	Les doses croissantes de chlore à injecter	24
Chapitre III : Résultats et discussions		
Tableau III.1	Évolution des valeurs de pH pendant le processus de C-F pendant 60 min de décantation pour différentes valeurs de pH initial	34

Liste des figures

N°	Titre	Page
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude		
Figure.I.1	Situation géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont	02
Figure.I.2	Carte géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont (06-15)	03
Figure.I.3	Photo de la digue principale et coupe en travers du barrage d'Ain Zada	04
Figure.I.4	Barrage de Ain Zada Wilaya de Bordj Bou-Argeridj (Algérie) (photo Satellitaire) caractérisation du changement du niveau d'eau entre 2010 (a) et 2023 (b)	05
Figure.I.5	Vue en plan de la retenue du barrage d'Ain Zada	05
Figure.I.6	Evolution du volume mobilisé en millions de m ³	07
Figure.I.7	Apport – Deffluent (Hm ³) Durant la période 2007/2022	08
Figure.I.8	Bilan (Apport – Deffluent (Hm ³) durant la période 2007-2022	09
Figure.I.9	Variations des températures moyennes mensuelles à la station de BBA(2010-2020)	10
Figure.I.10	Variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de BBA(2010-2020)	11
Figure.I.11	Diagramme pluvio-thermique de la station de BBA (2010-2020)	12
Chapitre II: Matériels et méthodes		
Figure II .1	Etapes de l'extraction du jus du figuier de Barbarie	17
Figure II .2	Carte illustrant la zone d'étude et les points de prélèvement à partir du barrage de Ain Zada	18
Figure II .3	Turbidimètre Lovibond "TB 300 IR"	21
Chapitre III : Résultats et discussions		
Figure III.1	Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Coagulation) : Turb initial = 77.7 NTU, C(SA) = 100 mg/L, pH initial = 6.94, conductivité $\kappa = 1.4$ mS/cm	27
Figure III .2	Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Floculation) :Turb _i = 70,9 NTU, C(SA)=100 mg/L, pH initial=7.4, conductivité $\kappa = 1.4$ mS/cm	28
Figure III .3	Effet de la dose du coagulant (SA) et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 57.2 NTU, pH initial = 7.1, conductivité $\kappa = 1.551$ mS/cm	28
Figure III .4	Effet de la dose du coagulant (FeCl ₃) et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 62.3 NTU, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.771$ mS/cm	29
Figure III .5	Effet de la dose du coagulant Fe ₂ (SO ₄) ₃ et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 37.3 NTU, pH initial = 6.8, conductivité $\kappa = 1.465$ mS/cm	29
Figure III .6	Effet de la dose du coagulant AlCl ₃ et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 41.1 NTU, pH initial = 7.2, conductivité $\kappa = 1.446$ mS/cm.	30
Figure III .7	Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 62.3 NTU, C(SA) = 400 mg/L conductivité $\kappa = 1.758$ mS/cm	31
Figure III .8	Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 57 NTU, C(FeCl ₃) = 250 mg/L conductivité $\kappa = 1.943$ mS/cm	32
Figure III .9	Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : Turb _i = 41,8 NTU,	33

	$C(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400 \text{ mg/L}$, conductivité $\kappa = 1.053 \text{ mS/cm}$	
Figure III .10	Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 47.77 \text{ NTU}$, $C(\text{AlCl}_3) = 400 \text{ mg/L}$, conductivité $\kappa = 0.844 \text{ mS/cm}$	33
Figure III.11	Effet de la dose du flocculant anionique en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 42.9 \text{ NTU}$, $C(\text{SA}) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 10, conductivité $\kappa = 1.170 \text{ mS/cm}$	35
Figure III .12	Effet de la dose du flocculant anionique en présence du FeCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 42.9 \text{ NTU}$, $C(\text{FeCl}_3) = 250 \text{ mg/L}$, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.507 \text{ mS/cm}$	36
Figure III .13	Effet de la dose du flocculant anionique en présence du $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 42.9 \text{ NTU}$, $C(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.443 \text{ mS/cm}$	36
Figure III .14	Effet de la dose du flocculant anionique en présence du AlCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 42.9 \text{ NTU}$, $C(\text{AlCl}_3) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 10, conductivité $\kappa = 1.164 \text{ mS/cm}$	37
Figure III .15	Effet de la dose du flocculant charbon actif en poudre en présence du $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 29.8 \text{ NTU}$, $C(\text{SA}) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 10, $\kappa = 1.736 \text{ mS/cm}$	38
Figure III .16	Effet de la dose du flocculant anionique en présence du FeCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 29.6 \text{ NTU}$, $C(\text{FeCl}_3) = 250 \text{ mg/L}$, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.624 \text{ mS/cm}$	38
Figure III .17	Effet de la dose du flocculant charbon actif en poudre en présence du $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 29.6 \text{ NTU}$, $C(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.630 \text{ mS/cm}$	39
Figure III .18	Effet de la dose du flocculant charbon actif en poudre en présence du AlCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 29.6 \text{ NTU}$, $C(\text{AlCl}_3) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 10, conductivité $\kappa = 1.660 \text{ mS/cm}$	39
Figure III .19	Effet du volume du flocculant naturel (jus de cactus) en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 142 \text{ NTU}$, $C(\text{SA}) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 10, $\kappa = 1.662 \text{ mS/cm}$	40
Figure III .20	Effet du volume du flocculant naturel (jus de cactus) en présence du FeCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 149 \text{ NTU}$, $C(\text{FeCl}_3) = 250 \text{ mg/L}$, pH initial = 7, $\kappa = 1.662 \text{ mS/cm}$	41
Figure III .21	Effet du volume du flocculant naturel (jus de cactus) en présence du $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 118 \text{ NTU}$, $C(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 7, $\kappa = 1.644 \text{ mS/cm}$	41
Figure III .22	Effet du volume du flocculant naturel (jus de cactus) en présence du AlCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 135 \text{ NTU}$, $C(\text{FeCl}_3) = 400 \text{ mg/L}$, pH initial = 10, $\kappa = 1.635 \text{ mS/cm}$	42
Figure III.23	Effet de la dose du coagulant et de la pré-chloration en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 58 \text{ NTU}$, pH initial = 7.4, $\kappa = 1.684 \text{ mS/cm}$	44
Figure III.24	Effet de la qualité de l'eau brute en présence de (SA) sur l'élimination de la turbidité : $C(\text{SA}) = 400 \text{ mg/L}$, $C(\text{floculant anionique}) = 50 \text{ mg/L}$, $\text{Turb pt 1} = 74 \text{ NTU}$, $\text{Turb pt 2} = 107 \text{ NTU}$, $\text{Turb pt 3} = 100 \text{ NTU}$, $\text{Turb pt 4} = 115 \text{ NTU}$, $\text{Turb pt 5} = 201 \text{ NTU}$, $\text{Turb de mélange} = 109 \text{ NTU}$	45
Figure III.25	Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau traitée par le sulfate d'aluminium ($C_{\text{SA}} = 400 \text{ mg/L}$) et le polyélectrolytes anionique ($C_{\text{PA}} = 50 \text{ mg/L}$)	45

Liste des photos

N°	Titre	Page
Chapitre II : Matériels et méthodes		
Photo II.1	Appareil du Jar test	14
Photo II.2	Etapes de préparation de solution du coagulant (FeCl ₃)	15
Photo II.3	(a) Microprocesseur pH Mètre "InoLab pH7110" ; (b) Conductimètre "InoLab Cond7110"	20
Photo II.4	Appareil de filtration et papier filtre de 0.45 µm	25

Liste d'abréviation

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ANBT	Agence Nationale des Barrages et Transferts
AEP	Alimentation en Eau Potable
AFNOR	Association Française de Normalisation
CAP	Charbon Actif en Poudre
C-F	Coagulation - Flocculation
EDTA	Acide Ethylène – Dimine - Tétracétique
FNU	Formazine Nephelometric Units
MES	Matière En Suspension
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OFI	Opuntia Ficus Indica
pH	Potentiel d'Hydrogène
TH	Titre Hydrométrique

Introduction générale

Introduction générale

D'après un nouveau rapport commun de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et de l'UNICEF, Quelque 2,1 milliards de personnes, soit 30 % de la population mondiale, n'ont toujours pas accès à des services d'alimentation domestique en eau potable.

Les eaux brutes qu'elles soient souterraines ou superficielles ne présentent pas toujours les critères requis en termes de qualité chimique et microbiologique, ce qui nécessite un traitement adéquat avant la consommation.

Différentes techniques sont utilisées parmi lesquelles la coagulation-floculation (C-F) est le traitement chimique le plus utilisé. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation. L'étude de l'étape de coagulation-floculation se fait en laboratoire, dans une installation appelée Jar-Test, permettant la sélection du meilleur jeu de conditions opératoires en vue de l'étape de décantation.

Cette étude a pour objectif de trouver ces conditions opératoires pour la traitement des eaux de surface par C-F, en étudiant l'effet de la vitesse et le temps d'agitation, le temps de décantation, la dose et le type du coagulant et floculant, la pré-chloration, la qualité de l'eau brute et le pH initial. En plus, de tester et de voir l'impact de l'ajout d'un floculant naturel extrait à partir de la raquette de cactus (Figuier de Barbarie : *Opuntia Ficus Indica*) sur les performances de cette technique.

Pour mener cette étude, nous avons adopté le plan suivant :

- Introduction générale ;
- Le chapitre I donne une présentation de la zone d'étude ;
- Le chapitre II décrit la procédure expérimentale suivie, les analyses effectuées et le détail des conditions opératoires choisies pour les expériences ;
- Le chapitre III résume les principaux résultats obtenus et leur interprétation ;
- Une conclusion générale et les perspectives viendront résumer ce travail.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction

La région d'étude se situe dans la partie Nord-Est d'Algérie, elle appartient au bassin de la Soummam qui est l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie, avec une superficie de 9125 Km², soit 19 % de la superficie totale du grand bassin Algérois-Hodna-Soummam (AHS), il s'étend sur l'Est de l'Algérois à 100 Km au Sud de la capitale Alger, sa position exacte est définie par l'espace se trouvant entre les méridiens 3°.38 et 5°.38 et les parallèles 35°.45 et 36°.45, il est limité par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord, les contreforts du mont du Hodna au Sud, les chaînes des Babors et le plateau de Sétif à l'Est, le plateau de Bouira à l'Ouest.

I.2. Description du sous bassin versant de Boussellam amont

I.2.1. Situation géographique

L'oued Boussellam est le principal affluent du Soummam avec une longueur de 150 Km et une surface de 5010 Km², leur bassin est subdivisé en quatre sous bassin (le Boussellam amont (C/ 15 06, S/1785 Km²), le Boussellam moyen (C/ 15 07, S/1234 Km²), El Main (C/ 15 08, S/930 Km²), et le Boussellam aval (C/ 15 09, S/1061 Km²) (figure I.1).

C : Code du sous bassin selon l'ABH, S : Surface du sous bassin.

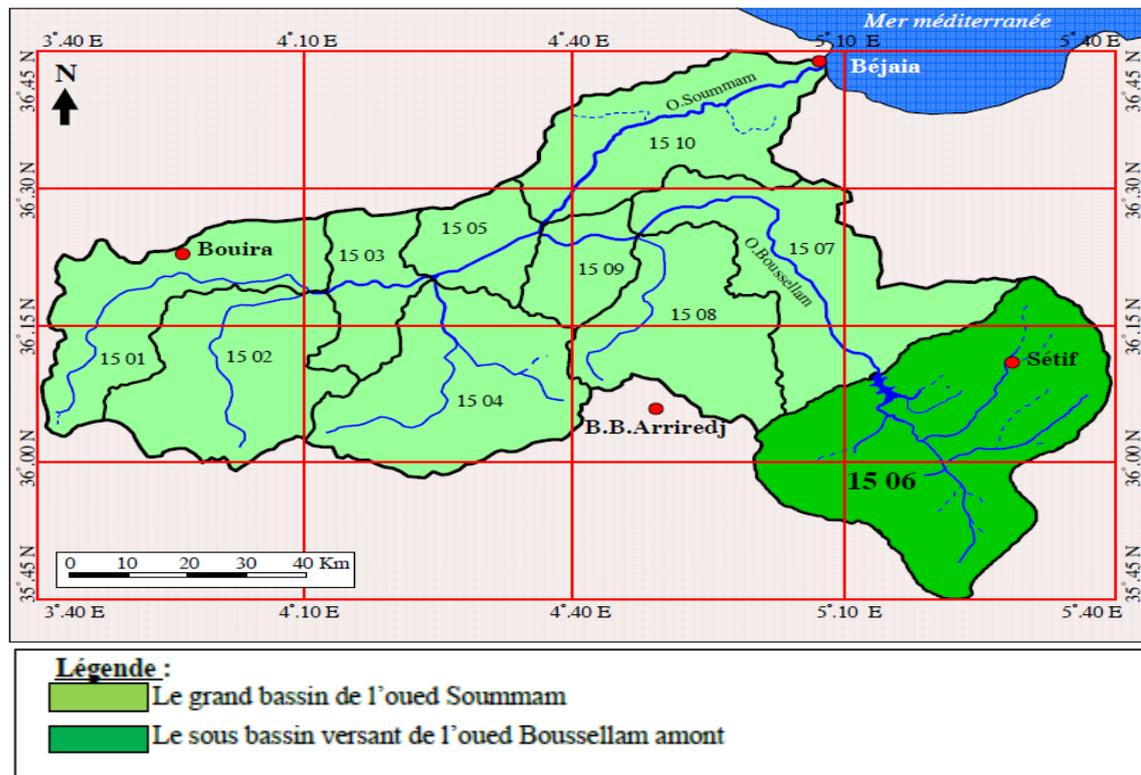
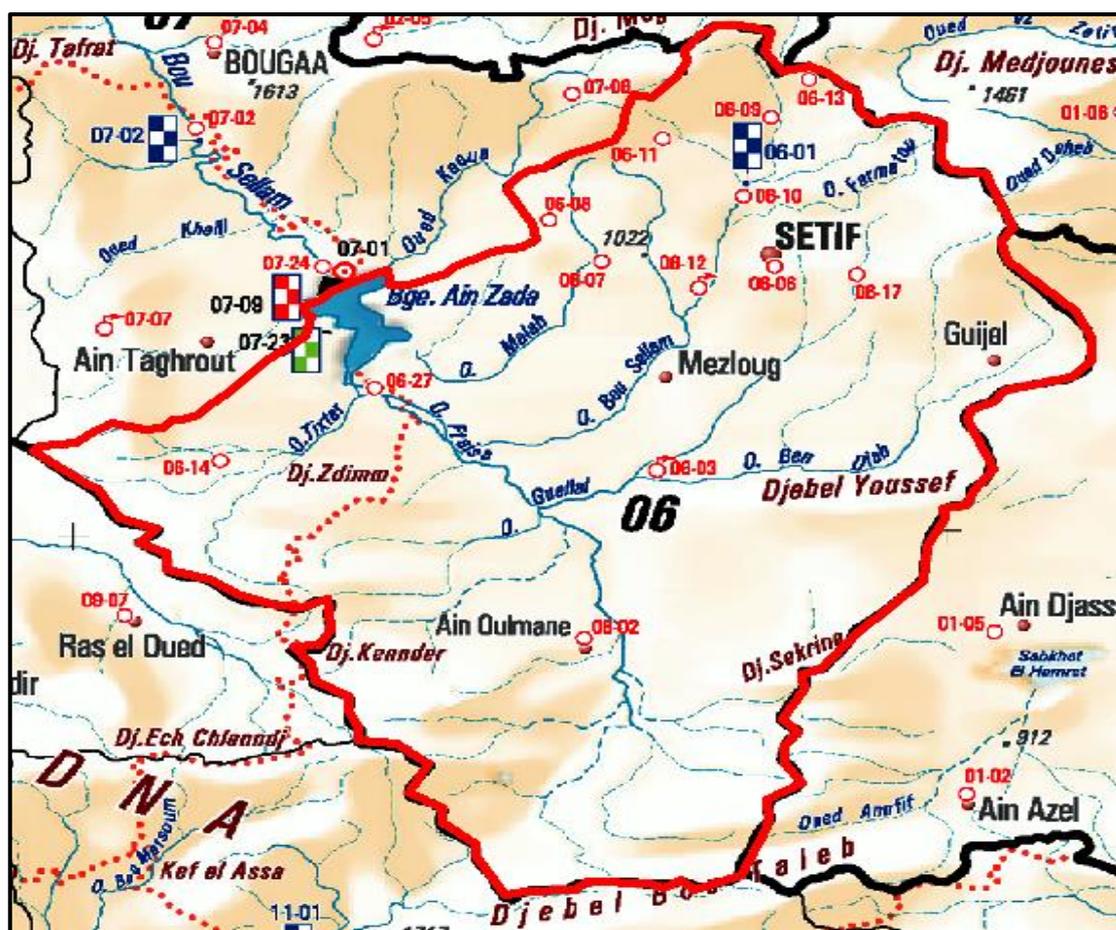


Figure I.1 : Situation géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont (Mebarkia, 2011)

Le sous bassin du Boussellam amont qui fait l'objet de cette étude contient 35 % de la surface du grand Boussellam (1785 Km²) de code (15-06) d'après l'Agence nationale du réseau Hydrographiques (ANRH), et une longueur de 65 Km, il situe entre le grand bassin Constantinois à l'Est, celui de Hodna au Sud, et le sous bassin de Boussellam moyen à l'Ouest.

Le sous bassin du Boussellam amont s'étend sur les haut-plateaux sétifiennes avec une superficie de 1785 Km², et inscrit dans le territoire de deux wilayas une grande partie Ouest de la wilaya de Sétif et une partie Est de la wilaya de Bordj Bou-Arredj, elle est située au Nord-est de l'Algérie (Mebarkia, 2011).



LEGEND :

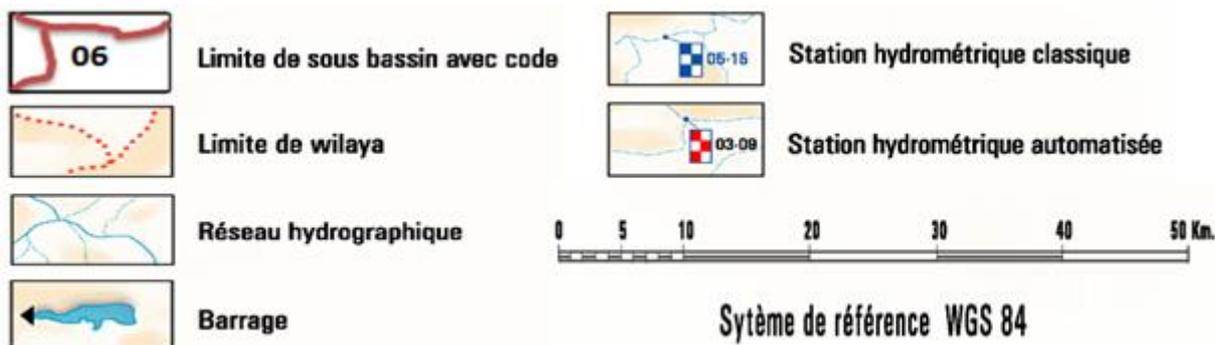


Figure I.2 : Carte géographique du sous-bassin versant de Boussellam amont (06-15) (extrait de la carte du réseau hydrologique et de la surveillance de la qualité des eaux (ANRH, 2005)

Le bassin de la zone d'étude est contrôlé par le barrage de Ain Zada qui se situe à cheval sur les Wilayas de Sétif à 25 km d'Ouest et à 40 km de l'Est de Bordj Bou-Arredj, mais dépend administrativement de la Wilaya de Bordj Bou-Arredj.

I.3. Description du barrage Ain Zada

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers un cours d'eau, dans le but de créer des réservoirs (retenues) qui permettent d'accumuler l'eau durant les périodes pluvieuses pour pouvoir en distribuer ensuite durant les périodes sèches.

Le barrage Ain Zada est un barrage en enrochement avec un noyau central en argiles incliné vers l'amont de hauteur 55 m (Figure I.3). La digue ou le barrage principal est une section souvent relativement épaisse, dont la propre masse suffit à résister à la pression exercée par l'eau et sa forme est dans la plupart des cas simple (triangle rectangle).

Le remblai se compose de recharge en enrochement compacté supportant un noyau en argile incliné, les deux matériaux étant séparés par un filtre à deux zones, le talus amont du remblai est protégé contre le battillage par un rip-rap (Figure I.3 et tableau I.1). Les volumes de remblai correspondant aux différents éléments sont : L'argile, L'enrochement, Filtrant et Rip-rap.

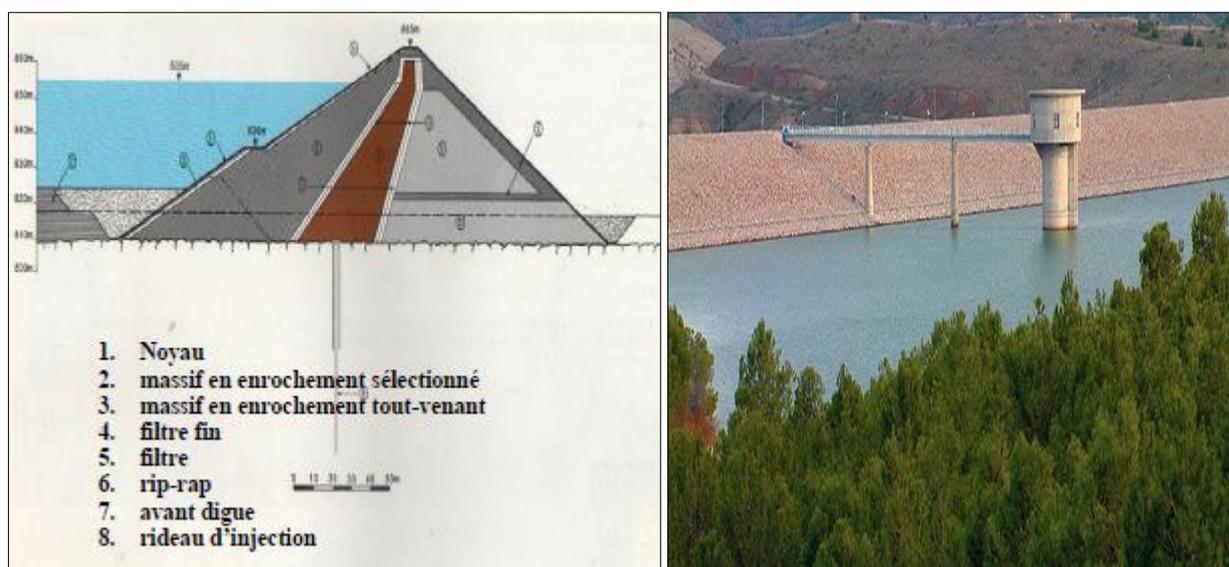


Figure I.3 : Photo de la digue principale et coupe en travers du barrage d'Ain Zada (ANBT, 2011)

Les caractéristiques de la digue sont données dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Les caractéristiques de la digue du barrage Ain Zada (Belhaddad, 2018)

Elévation de la crête	865 m
Hauteur de la crête au-dessus de niveau du lit de l'oued	55 m
Largeur de la crête	7 m
Longueur de la crête	688 m
Pente du talus amont	2,5 / 1
Pente de talus aval	1,75 / 1

I.4. Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Ain Zada

I.4.1. Situation géographique

Le barrage Ain Zada est situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj à 25 km à l'ouest de Sétif et à 40 km à l'est de Bordj Bou Arreridj. Il est implanté dans la commune Ain Taghrout (Figure I.4) sur l'oued Boussellam (direction sud-nord) au niveau de la jonction avec l'oued Ain Taghrout à l'ouest, l'oued Kharoua au nord-est et l'oued Malah au sud-est.

L'étude de faisabilité du barrage Ain Zada a été réalisée par le bureau d'étude Américain Bechtel en 1979, puis il a été réalisé par l'entreprise Hidrotéchnika- Belgrade- Yougoslavie. L'étude d'exécution et l'étude des travaux ont été faites par Atkins–Humphreys et Sir M. Mac Donal Angleterre, sur la période de 1981 jusqu'à 1986 l'année de mise en service.

Le barrage Ain Zada permet actuellement d'emmagasiner un volume d'eau de 121,40 millions de m³ régularisant ainsi un volume de 50 millions m³/an, afin d'assurer les besoins en eau potable et industrielles des populations des villes de Bordj Bou Arreridj et Bougaâ.

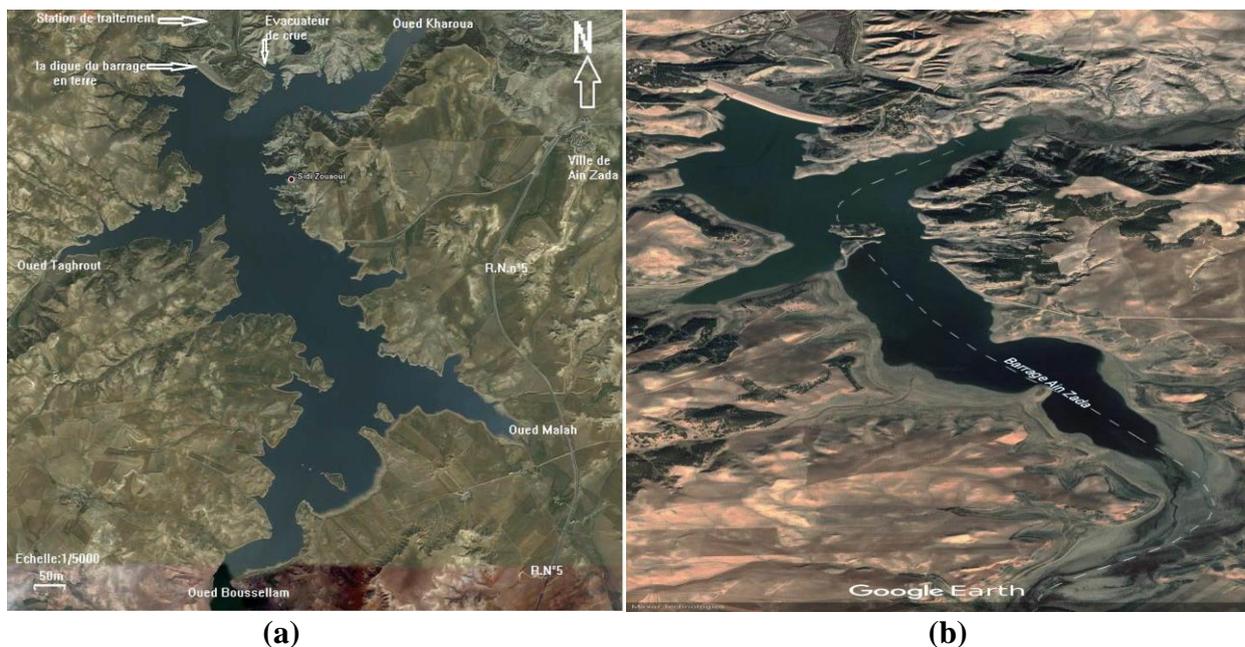


Figure I.4 : Barrage de Ain Zada Wilaya de Bordj Bou-Arreridj (Algérie) (photo Satellitaire) caractérisation du changement du niveau d'eau entre 2010 (a) et 2023 (b)

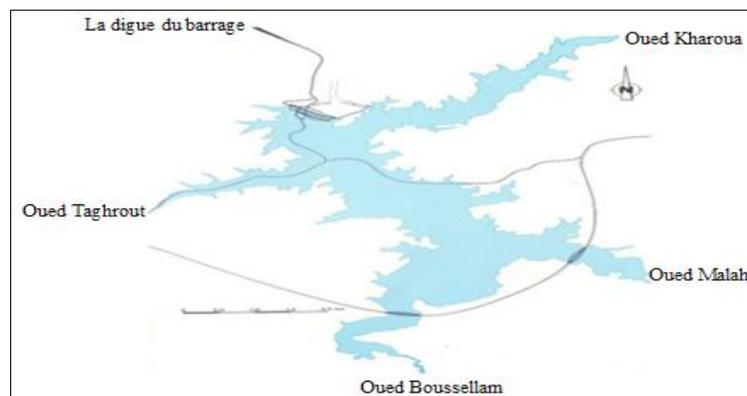


Figure I.5 : Vue en plan de la retenue du barrage d'Ain Zada (Belkhir, 2015)

I.4.2. Les caractéristiques techniques du barrage

La superficie initiale au niveau maximale normale de stockage était de 1300 Ha correspondant à une capacité de 125 Hm³. Elle a subi une diminution au cours des dernières années d'exploitation, due essentiellement au phénomène d'envasement sachant que le levé bathymétrique effectué en septembre 2004, avait engendré une diminution de la capacité de stockage, soit 121.4 Hm³ correspondant à une superficie de 1100 ha au niveau normale de stockage 855m (ANBT, 2013).

Depuis la mise en eau décembre 1985, la retenue à connu 6 déversements, en mars 1993, mai 2003, janvier des années 2004, 2005, 2006 et avril 2008. Elle a connu un niveau critique au mois d'octobre 2002 où le volume correspondant à son plus bas niveau atteint a été de 19,7 Hm³ (ANBT, 2013).

Tableau I.2 : Caractéristiques techniques du barrage Ain-Zada (Mebarkia, 2011)

Wilaya	BBA
Commune	Ain Taghrout
Les oueds	Oued Boussellam, Kharwaa, Taghrout.
Déversoir	Saut de ski
Type de barrage	En terre
Surface de bassin versant	2080 km ² (boisé et agricole)
Capacité initiale	125,000 Hm ³
Envasement annuel	0,240 Hm ³
Cote retenue normale	855 m
Bathymétrie septembre 2004	121,400 Hm ³
Capacité utile	106,400 Hm ³
Altitude de plus hauteur(PHE)	864,20 m
Précipitation moyenne annuelle	400 m
Destination AEP ville	BBA, Bougaâ
Surface PHE	1920 ha
Volume PHE	261,200 Hm ³
Cote minimale	828,12 m
Volume (cote minimale)	0,001 Hm ³
Surface (cote minimale)	0,1 Ha
Apport moyenne annuelle	79 Hm ³
Evaporation moyenne annuelle	10 Hm ³
Percolation moyenne annuelle	6 Hm ³
Déversement moyenne annuelle	27 Hm ³
Volume régularisé	50 Hm ³
Année de mise en eau	Novembre 1985
Début de travaux	1981,1986

I.4.3. Evolution de la réserve du barrage Ain-Zada (2008-2022) (ANBT, 2022)**I.4.3.1. Fluctuation de la réserve durant les années 2008 au 04/10/2022**

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	4/10/2022
82.53	121.4	76.47	68.12	67.98	64.78	34.55	106.77	56.47	21.31	18.08	29.73	15.035	10.121	8.836

Le volume d'eau mobilisé dans le barrage Ain zada, a connu des progressions remarquables durant la période de 2008 à 2009.

La réserve d'eau a atteint un volume de 121.400 millions m³ (2009), correspondant à un taux de remplissage de 100%.

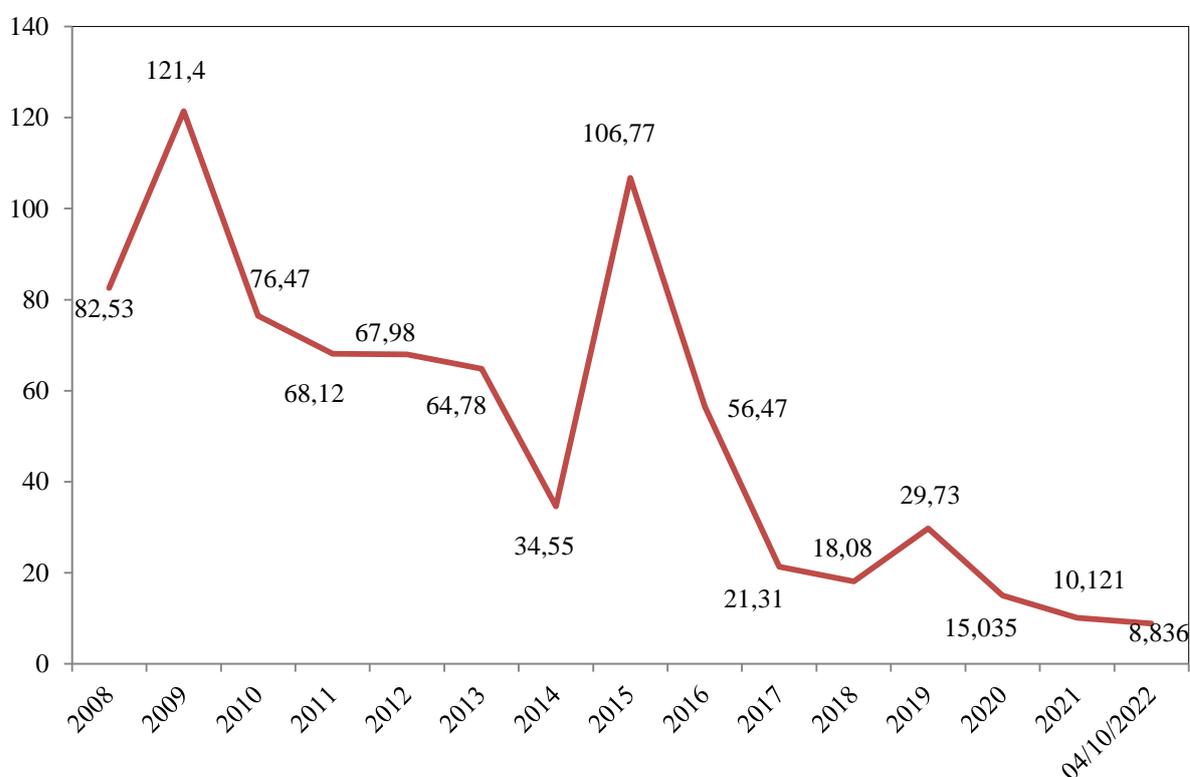


Figure I.6 : Evolution du volume mobilisé en millions de m³

Par absence d'apport et recul des précipitations, cette réserve d'eau a connu une régression entre 2016 et le : 04/10/2022.

Seuls 8,836 millions de m³, sont stockés actuellement au barrage.

I.4.3.2. Fluctuation des apports / deffluent durant les années 2007 au 2022

N°	Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	4/10/2022
1	Apport	36.24	27.81	65.46	21.67	37.41	46.81	45.66	17.89	101.36	20.81	12.81	36.42	50.76	16.484	19.283	12.693
2	AEP	27.35	27,98	28,41	31.22	32.28	34.34	34.85	36.58	35.89	38.09	38.02	35.49	33.96	25.556	18.465	11.073
3	Evaporation	12.15	10.45	12.08	10.63	9.43	10.4	9.02	8.22	10.9	8.46	6.78	4.06	4.76	3.926	3.014	2.521
4	Deffluent	39.5	38.43	40.49	41.85	41.71	44.74	43.87	44.8	46.79	46.55	44.8	39.55	38.72	29.482	21.479	13.594
Résultat (1-4) HM ³		-3.26	-10.62	24.97	-20.18	-4.239	-23.773	1.787	-27.066	55.587	-27.335	-31.984	-3.12	12.139	-12.998	-12.998	-0.901

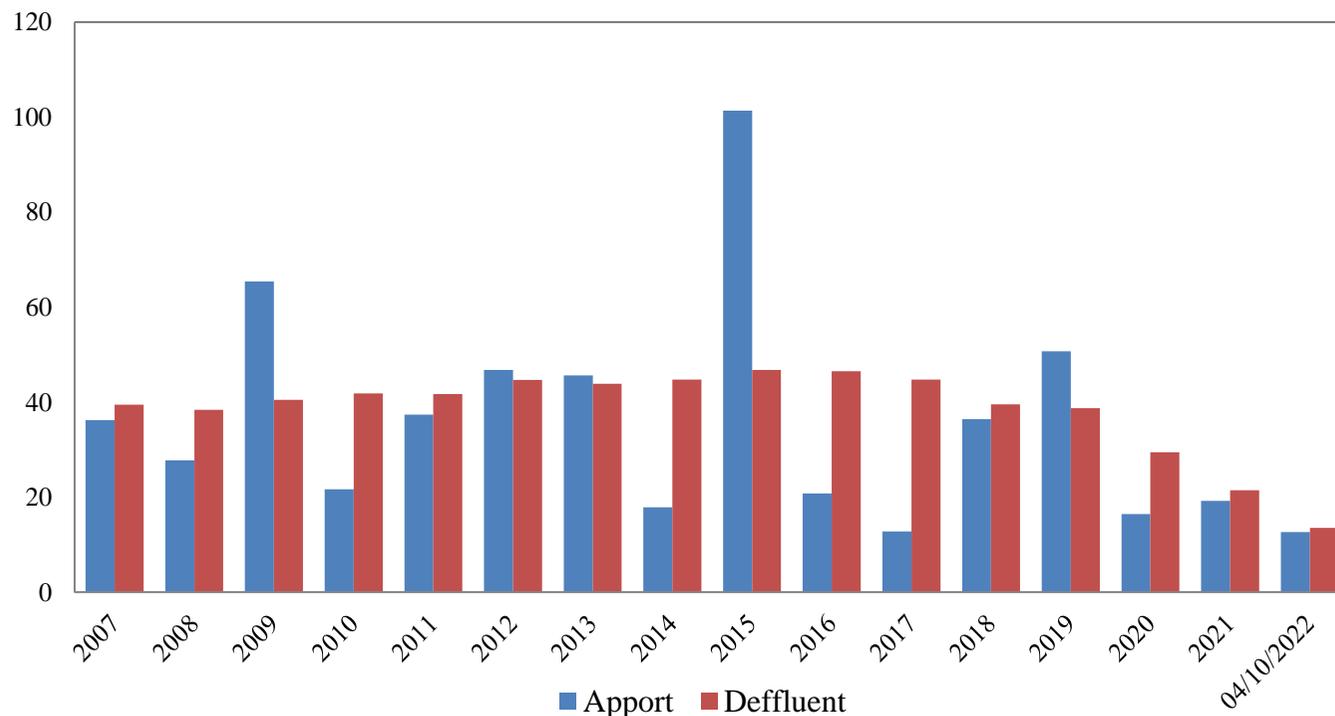


Figure I.7 : Apport – deffluent (Hm³) Durant la période 2007/2022

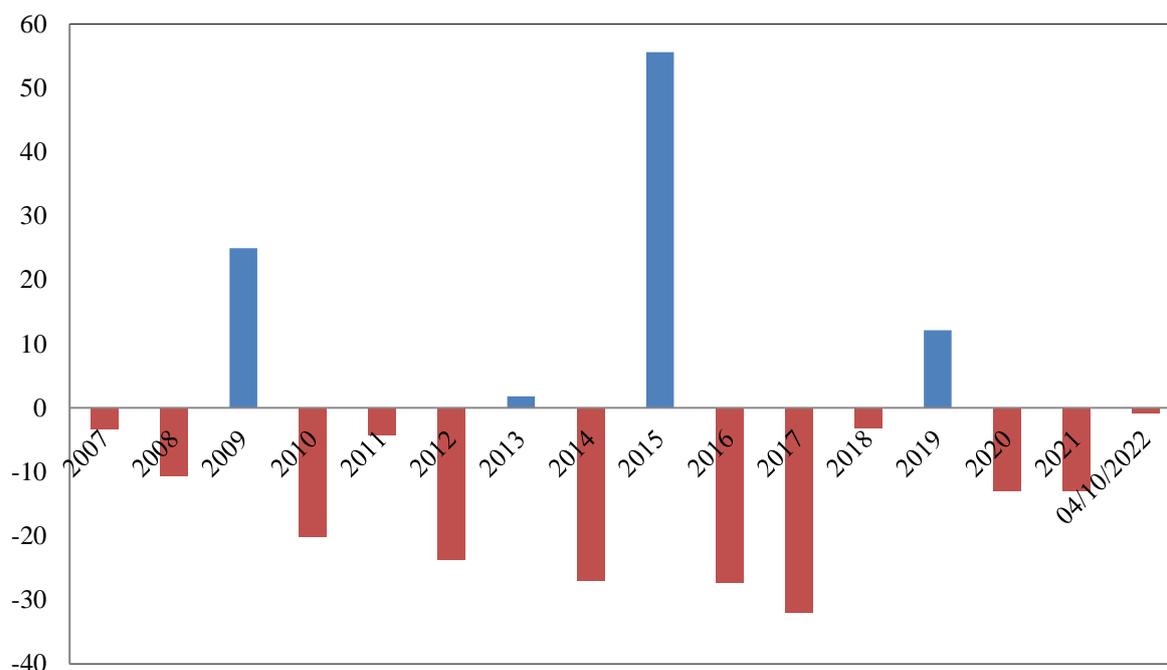


Figure I.8 : Bilan (Apport –Deffluent (Hm³) durant la période 2007-2022

I.6. Situation climatiques

L'étude climatologique est d'une importance non négligeable, car elle permet d'analyser des facteurs importants comme la température et les précipitations qui conditionnent le bilan hydrologique et l'alimentation des barrages et même la recharge des aquifères.

I.6.1. Aperçu général sur le climat de la région

Le climat de la zone d'étude de bassin versant du barrage de Ain Zada est de type méditerranéen semi-aride, caractérisé par un hiver relativement tempéré et un été chaud et sec, cette zone est également caractérisée par une saison pluvieuse qui s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril ou parfois Mai qui annonce la fin de la saison humide (**Mebarkia, 2011**).

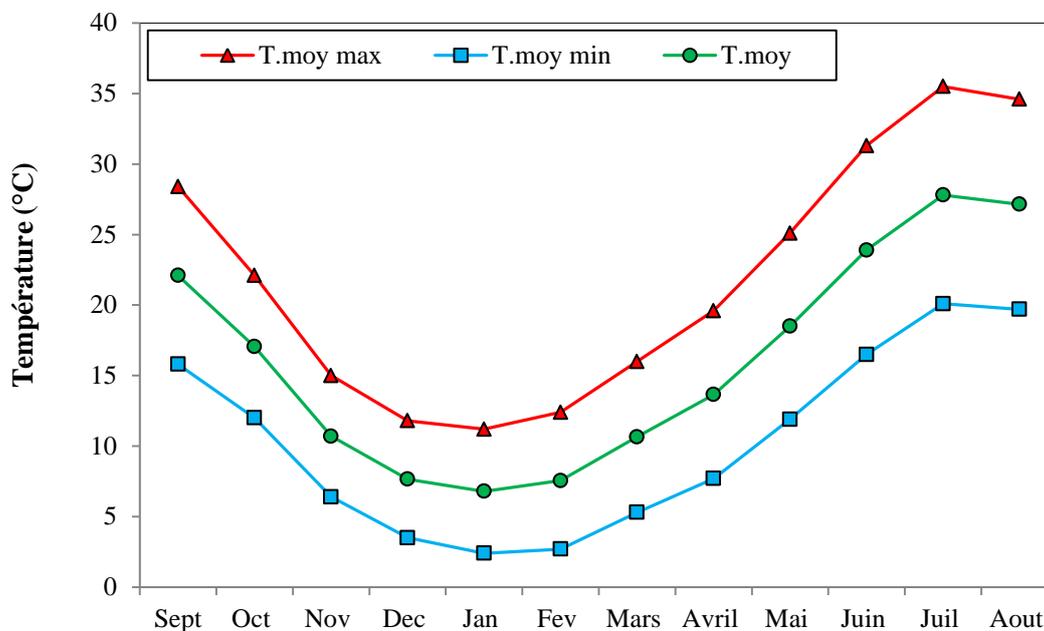
I.6.1.1. Température

L'étude des températures est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation du barrage de Ain zada par les eaux de surface des oueds et même l'alimentation des aquifères profonds et les concentrations des sels dissous dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité.

Tableau I.3 : Températures moyennes mensuelles dans la région de Bordj Bou Arreridj 2010-2020

Température	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
T.moy max	28,4	22,1	15	11,8	11,2	12,4	16	19,6	25,1	31,3	35,5	34,6	21,9
T.moy min	15,8	12	6,4	3,5	2,4	2,7	5,3	7,7	11,9	16,5	20,1	19,7	10,3
T.moy	22,1	17,05	10,7	7,65	6,8	7,55	10,65	13,65	18,5	23,9	27,8	27,15	16,1

(Station météorologique de BBA)

**Figure I.9** : Répartition mensuelles des températures moyennes au niveau de la région de BBA (2010-2020)

La température moyenne annuelle est égale à 16.1 °C. Les mois les plus chauds sont les mois d'été, soit juin ; juillet ; août et septembre durant lesquelles les températures moyennes dépassent les 20°C. La saison froide pendant laquelle les températures sont inférieures à 10°C se prolonge de décembre à février.

1.6.1.2. Les précipitations

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par un pluviomètre ou un pluviographe, elle englobe l'ensemble des eaux météorologiques : pluie, grêle ...etc.

Tableau I.4 : Moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Bordj Bou Arreridj (2010-2020)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	totale
P (mm)	50,2	36,4	32,4	34,4	34,1	26,3	35,7	41,6	40,9	33,2	11,4	16,0	392,6

(Station météorologique de BBA)

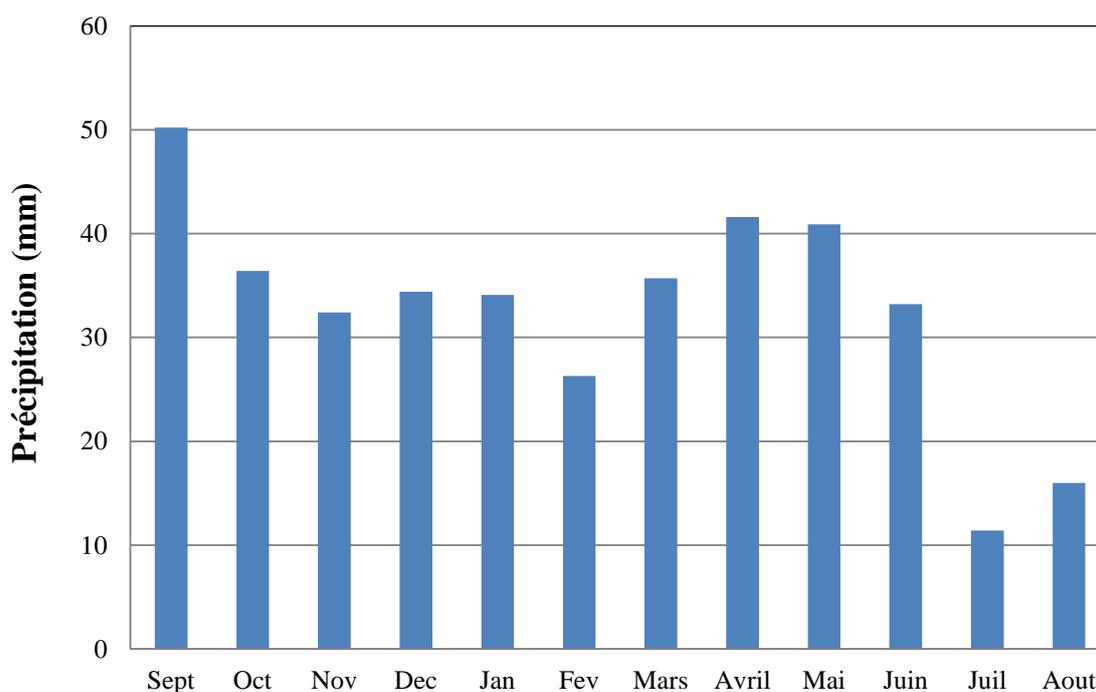


Figure I.10 : Répartition mensuelles des précipitations au niveau de la région de BBA (2010-2020)

D'après le tableau nous notons que le mois de Septembre à les précipitations les plus élevées 50.2 mm, par contre la moyenne mensuelle la plus faible est enregistré pendant le mois de juillet 11.4 mm.

1.6.1.3. Diagramme pluvio-thermique

Le diagramme pluvio-thermique de (**Bagnouls et Gaussen, 1957**) peut représenter une méthode utile pour mettre en évidence les limites climatiques qui peuvent fournir des informations sur le type de climat dans un site donné. A cet effet, cet outil a démontré un assez bon pouvoir prédictif. Egalement appelé «diagramme ombrothermique», il fournit une vue d'ensemble des températures et des caractéristiques des précipitations pour une station donnée.

Ce diagramme représente sur même système d'axes, la variation des températures et celle des précipitations moyennes mensuelles. On porte les valeurs des températures moyennes à l'échelle double des précipitations moyennes mensuelles sur l'axe des ordonnées, les différents mois de l'année figureront sur l'axe des abscisses (Figure I.11) le climat de la région se caractérise par deux périodes :

- Une période sèche relativement courte qui dure du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre.
- Une période humide qui commence du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.

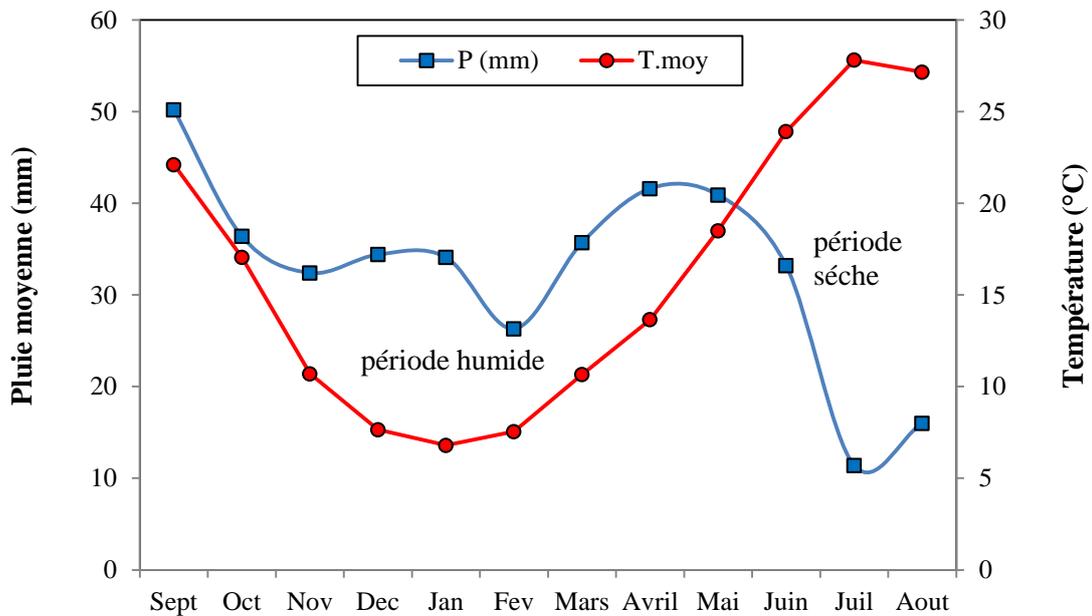


Figure I.11 : Diagramme pluvio-thermique de la station de BBA (2010-2020)

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de représenter le bassin versant de Boussellam amont qui s'étend sur les hauts- plateaux sétifiens au nord-est algérien, avec une superficie de 1785 km² et une longueur de 65 Km, ce bassin est contrôlé par le barrage de Ain zada qui est l'objectif de notre étude.

C'est un barrage en remblai de type en enrochement avec un noyau central en argile, située à cheval sur les Wilayas de Sétif à 25 km d'Ouest et à 40 km de l'Est de Bordj Bou-Argeridj, mais dépend administrativement de la Wilaya de Bordj Bou-Argeridj.

Du point de vue climatique, la région des hauts plateaux est soumise à un climat semi-aride caractérisé par deux saisons, la première humide allant du mois de Septembre au mois de Avril et une seconde sèche allant du mois de Mai au mois de Aout.

La connaissance de la région d'étude est très importante avant toute étude approfondie d'un bassin versant (Hydrologie, érosion, transport solide, inondations, qualité des eaux, traitement des eaux ...). Dans cette étude nous allons nous intéresser au traitement des eaux.

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les réactifs, produits chimiques et matériels qui ont été utilisés dans notre étude, et de la méthodologie expérimentale adoptée pour réaliser ce travail. Nous détaillerons les modes et protocoles opératoires de préparation des solutions, les techniques et méthodes de mesure et d'analyse suivie pour la préparation, caractérisation et l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux avant et après le traitement.

II.2. Procédure expérimentale

Afin de poursuivre le phénomène de la coagulation-floculation et l'optimisation des paramètres qui l'influent, nous avons effectué des séries d'essais sur Jar test en laboratoire.

Ce test réalisé avec le banc de Jar test Fischer Bioblock Scientific (Floculateur numérique 10409) permet d'évaluer l'aptitude à la décantation des MES dans des conditions contrôlées et reproductibles (vitesse d'agitation, géométrie, concentration en coagulants/floculant). L'appareil est constitué de 6 postes à vitesse réglable de 0 à 250 tr/min, un régulateur de vitesse et une minuterie (Figure II.1). Les vases de floculation utilisés sont des béchers (dans lesquels l'effluent est introduit avec différentes familles et doses de coagulants et de floculants organiques ou minéraux) de forme haute de 95 mm de diamètre utile et d'une capacité de 1 L. Les agitateurs sont des pales rectangulaires de 2 x 5,5 cm et placées à 4 cm du fond du bécher.

Le test permet de déterminer la concentration en coagulant/floculant, la vitesse et le temps d'agitation optimales pour obtenir le surnageant le moins turbide et les floes les plus denses et les mieux décantés.

II.2.1. Mode opératoire en Jar-test

- 1- Remplir les béchers (1 L ou 800 mL) par l'eau brute à traiter ;
- 2- A $t = 0$, ajouter le coagulant le plus rapidement possible avec une pipette et de façon identique dans chaque vase. Ajouter des doses croissantes de façon à encadrer la dose optimale présumée ;
- 3- Mettre en route les agitateurs (100 – 250 tr/min pendant 2 à 3 min) : c'est la *phase de coagulation* (agitation rapide) ;
- 4- Après 2 – 3 min, ajouter le flocculant en mettant une dose constante et réduire la vitesse à 30 – 60 tr/min ; c'est la *phase de floculation* (agitation lente) ;
- 5- Laisser 15 à 30 min d'agitation lente, et laisser décanter tout en ayant arrêté et levé les pales ;
- 6- Après 10 – 60 min de décantation, prélever une quantité suffisante du surnageant (*l'eau claire*) dans chaque bécher, mesurer les paramètres de rendement choisis (Turbidité, pH ...).



Photo II.1 : Appareil du Jar test

II.3. Matériels

La préparation des produits chimiques utilisés ainsi que les étapes suivies lors de l'échantillonnage des eaux brutes et décantées sont décrites dans les sous-sections suivantes.

II.3.1. Coagulants

Les coagulants chimiques utilisés dans cette étude sont :

- Aluminum sulfate hexadecahydrate (sulfate d'aluminium) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ masse molaire 630,40 g/mol ;
- Iron (III) chloride (chlorure ferrique) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ masse molaire 162,2 g/mol ;

- Iron (II) Sulfate (sulfate ferrique) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ masse molaire 278,02 g/mol ;
- Aluminum chloride (chlorure d'aluminium) $\text{AlCl}_3(\text{H}_2\text{O})_6$ masse molaire 133,34 g/mol.

Le choix de ces coagulants (à l'exception de AlCl_3) est justifié par leurs utilisations à grande échelle dans les stations de traitement des eaux. Ainsi que son efficacité dans la dépollution des eaux industrielles (Tiaiba et al., 2018) et de surface (Chennafi et Doaudi, 2021 ; Bentaleb, 2021).

II.3.1.1. Mode de préparation

Une solution mère de 5 g/L est préparée périodiquement par dissolution du coagulant dans de l'eau distillée. Cette solution permet un ajout de faibles quantités pour les doses voulues de coagulant.

$$C_m \cdot V_m = C_f \cdot V_f \Rightarrow V_m = (C_f \cdot V_f) / C_m$$

C_m : concentration de la solution mère (mg/L) ;

V_m : volume à prélever de la solution mère (ml) ;

C_f : concentration de la solution fille (mg/L) ;

V_f : volume de la fiole où on va mettre le volume prelevé (V_m) ou le volume de la solution à traiter (ml).

Exemple :

Solution mère (Coagulant) : $C_m = 5 \text{ g/L} = 5000 \text{ mg/L}$ (eau distillée)

C (SA) mg/L	100	200	250	300	400	500
V (SA) ml	16	32	40	48	64	80

⁽¹⁾ **Sulfate d'aluminium** : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$,

⁽²⁾ **Chlorure ferrique** : $\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$

⁽³⁾ **sulfate ferrique** : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

⁽⁴⁾ **chlorure d'aluminium**: $\text{AlCl}_3(\text{H}_2\text{O})_6$



Photo II.2 : Etapes de préparation de solution du coagulant (FeCl_3)

II.3.2. Floculants

Plusieurs floculants ont été utilisés au cours de cette étude, il s'agit de :

- Polyélectrolytes anionique ;
- Charbon actif en poudre (CAP) ;
- Floculant naturel (Figuier de Barbarie : *Opuntia ficus indica*).

II.3.2.1. Dose du floculant industriel (Polyélectrolytes anionique)

Des solutions mères de 2 g/L sont préparées par dissolution du floculant polyélectrolytes anionique dans de l'eau distillée. Les concentrations étudiées sont 5, 10, 20, 50, 100 et 150 mg/L.

Les principales caractéristiques de floculant utilisé sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Spécification techniques de floculant (Bentaleb, 2021)

Nom du produit	Polyélectrolyte
Ionicité	anionique moyen
Aspect	poudre Granulé blanc
Poids spécifique apparent	de 0,89 à 0,91 gr/ml
Granulométrie	10 mesh - 100mesh
Poids moléculaire	Haut
Stabilité	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

II.3.2.2. Utilisation de Charbon actif en poudre (CAP)

Des solutions mères de 2 g/L sont préparées par dissolution du charbon actif en poudre (CAP) dans de l'eau distillée. Les concentrations étudiées sont 10, 20, 30, 40, 60 et 80 mg/L.

Les principales caractéristiques de charbon actif en poudre sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Caractéristiques de Charbon actif en poudre (Bentaleb, 2021)

Nom du produit	Charbon actif en poudre
Aspect	
Apparence	Poudre
Couleur	Noir
Odeur	Sans
Autres propriétés Physiques et Chimiques	
pH	7 à 11
Taux d'humidité en %	6 à 9 % au max par rapport au poids
Indice d'iode	Supérieur ou égal à 900 mg/g
Abattement de l'UV après traitement	Le taux d'abattement doit être supérieur à 35% au minimum
Surface spécifique total	Supérieur à 980 m ² /g
Diamètres moyen des particules	30 µm
Densité apparentes	environ 400 kg/m ³
Granulométrie	20 µm
L'emballage	Big bag de 500 kg

II.3.2.3. Utilisation du jus de raquette

Opuntia ficus indica (OFI) est une plante très répandue en Algérie, et notamment très appréciée pour son fruit : le figuier de Barbarie. Cependant l'exploitation des raquettes (tiges) de la plante dans différents domaines, ou bien même les simples connaissances sur leurs potentialités reste encore inconnues au grand public. Une des applications de la raquette est son utilisation comme bio-matériau dans les technologies de décontamination des eaux usées, qui est connue auprès des scientifiques à travers le monde (Etats unis, Amérique latine, Maroc, Espagne) (Adjeroūd, 2017).

Les principaux résultats de différentes études utilisant le jus et le mucilage de la raquette montrent des capacités très élevées de coagulation-floculation pour l'élimination de la turbidité, des métaux lourds ou d'espèces organiques (colorants, pesticides) (Adjeroūd, 2017 ; Marouf, 2018).

Les raquettes du figuier de Barbarie utilisées dans cette étude ont été collectées le 23 Avril 2023 dans la région de Ouled Dahmane, près de la ville de Bordj Bou Arreridj. Elles ont été stockées dans un réfrigérateur à 4 °C.

Mode d'extraction

Étape 1 : Nettoyage de la raquette à l'eau de robinet puis eau distillée, retrait de taches noires, retrait de la cuticule (fine couche à la surface de la raquette, qui joue le rôle de barrière empêchant l'extraction de biomolécules en général (y'a une référence pour ce retrait)).

Étape 2 : Broyage (45 à 50 seconde) avec un broyeur de cuisine, obtention d'une broyat (une purée).

Étape 3: Dilution à 1/10, (donc pour 10 mL + 90 mL= 100 mL). Obtention d'un jus (moins visqueux que le broyat) qu'il faudra filtrer en utilisant une simple passoire, pour l'usage final.

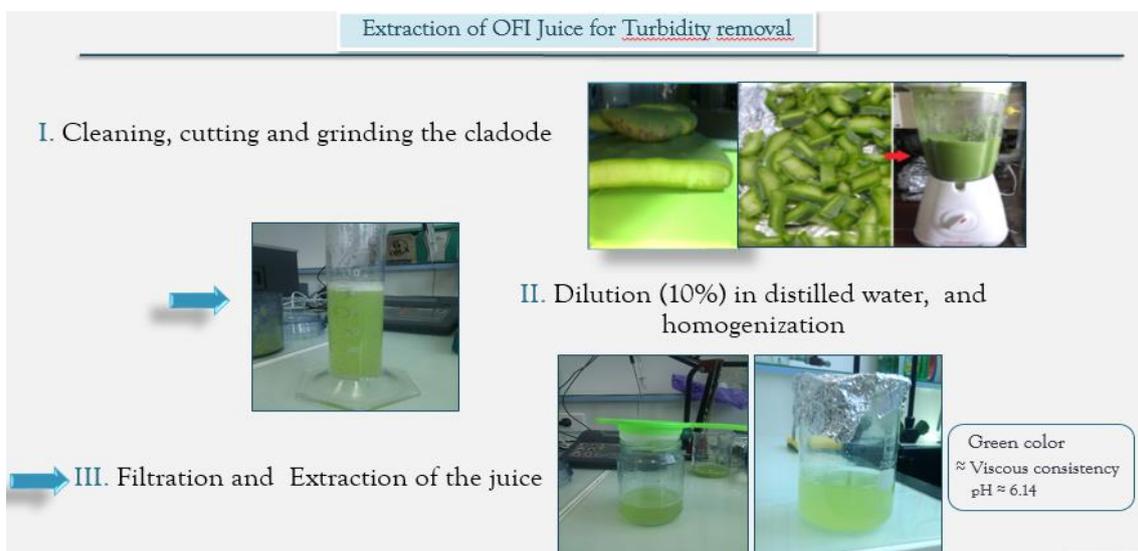


Figure II.1 : Etapes de l'extraction du jus du figuier de Barbarie (Adjeroūd, 2017)

II.3.3. Échantillonnage des eaux brutes

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser, c'est pourquoi nous avons prélevé des échantillons en cinq points différents du barrage Ain zada (figure II.4) le mois de Février 2023.

L'échantillonnage d'eau a pour but d'estimer un ou plusieurs paramètres qui caractérisent la concentration en polluant ou ses variations, ou les deux à la fois au cours d'une période donnée. Les résultats sont nécessaires à la caractérisation de l'eau auquel un contrôle continu est nécessaire. Le prélèvement d'échantillons d'eau doit être fait de façon à ce que les résultats de l'analyse des échantillons prélevés permettent de tirer des conclusions valables quant aux propriétés de l'eau à analyser. Il faut éviter toute pollution secondaire de l'échantillon provoquée par le mode de prélèvement, ou par les récipients contenant les échantillons (Yakoubi, 2016).

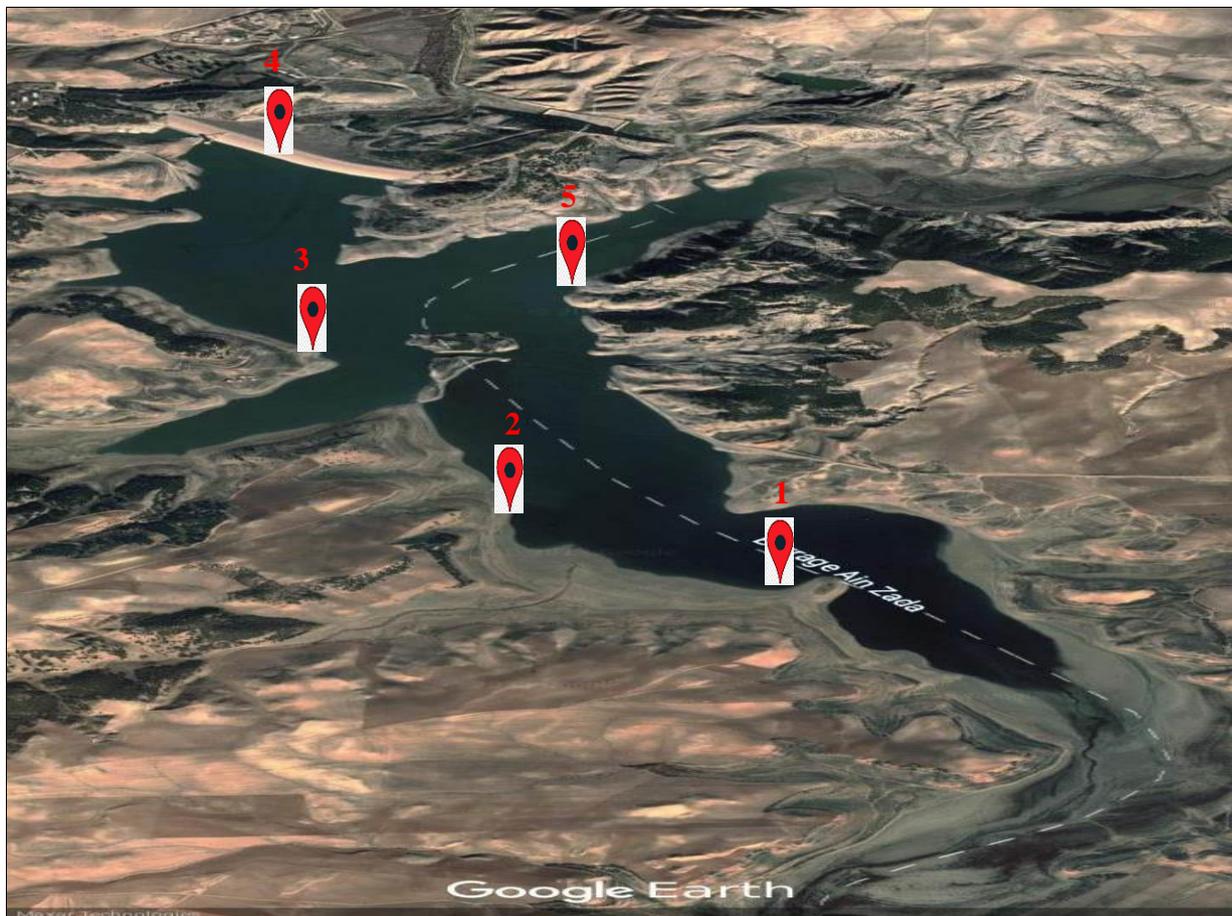


Figure II.2 : Carte illustrant la zone d'étude et les points de prélèvement à partir du barrage de Ain Zada

Afin d'évaluer la qualité de cette eau (eau brute), on a réalisé une succession d'analyse qui consiste à évaluer les différents composants chimiques, physique, organoleptique. Ces caractéristiques sont regroupées dans le tableau suivant (tableau II.3).

Tableau II.3 : Caractéristiques physicochimiques des eaux brutes

Prélèvement Paramètres	Point 1 36°08'55"N 5°09'44"E	Point 2 36°09'05"N 5°09'20"E	Point 3 36°09'43"N 5°09'03"E	Point 4 36°10'20"N 5°08'52"E	Point 5 36°09'56"N 5°09'25"E
Turbidité (NTU)	74	107	100	115	201
pH ₀	7.5	8.06	7.9	8.1	7.7
Conductivité κ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1564	1105	1424	1890	1175
Température (°C)	18.5	5.2	4.4	4.9	8.2
Couleur	Vert				

II.4. Méthodes analytiques

Les méthodes de mesures et de dosages des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux que nous avons testées sont résumées dans le tableau II.4. La détermination des paramètres physicochimiques a été réalisée sur la base des méthodes de dosage standards décrites par Rodier (**Rodier, 2005**), et selon les catalogues des instruments de mesures.

Tableau II.4 : paramètres et méthodes de dosage des paramètres physico-chimiques des eaux testés

paramètres	Méthode de mesure/dosage
Turbidité	Turbidimètre Lovibond instruments "TB 300 IR"
Température et pH	Microprocesseur pH Mètre "InoLab pH7110"
Conductivité	Conductimètre "InoLab Cond7110"
Dureté totale (TH)	Complexation à l'EDTA
Matière en suspension (MES)	Méthode de filtration

Pour suivre le traitement de l'eau brute, on a mesuré en ligne des caractéristiques des effluents (pH, conductivité), et analysé la phase clarifiée après décantation. Ces analyses incluent les indicateurs de la dépollution comme la turbidité, les matières en suspension et la dureté....

II.4.1. Mesure du pH

Le pH a été mesuré directement à l'aide d'une électrode de pH combiné à 20°C. Il consiste à tremper l'électrode dans un bécher contenant l'eau à analyser selon la norme AFNOR, laissé stabiliser un moment, puis lire la valeur du pH. À chaque détermination du pH, retirer l'électrode rincer avec l'eau distillée et sécher (Norme NF T 90-017). La mesure du pH a été réalisée à l'aide du pH-mètre "InoLab pH7110".

II.4.2. Mesure de la conductivité électrique

Pour la détermination de la conductivité un conductimètre est utilisé. Elle est déterminée après rinçage plusieurs fois de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner, faire la mesure en prenant soit que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de conductivité est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Norme NF T 90-111 ; 1975). La mesure de la conductivité a été réalisée à l'aide du conductimètre "InoLab Cond7110".

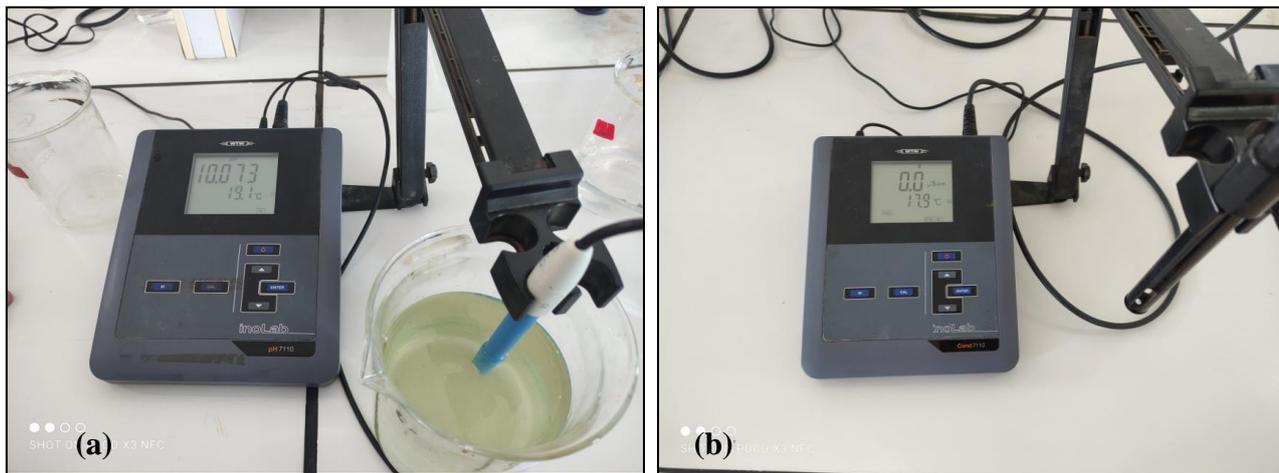


Photo II.3 : (a) Microprocesseur pH Mètre "InoLab pH7110" ; (b) Conductimètre "InoLab Cond7110"

II.4.3. Mesure de la turbidité

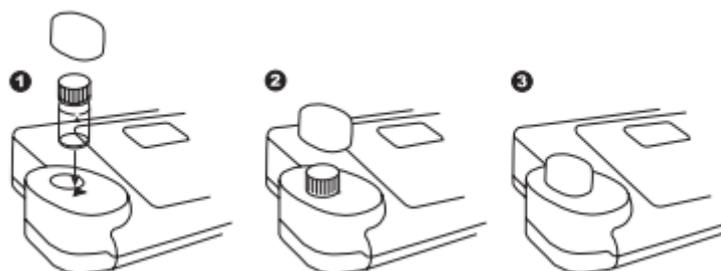
La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un turbidimètre. Le principe de fonctionnement Le turbidimètre TB300 IR mesure la turbidité dans une plage de mesure de 0,01 à 1100 NTU/FNU. La source de lumière utilisée est une DEL (diode électroluminescente) de longueur d'onde 860 nm. La lumière rayonnée est réfléchiée par les particules (turbidité) existantes. La lumière diffusée est ensuite mesurée par un photodétecteur disposé en angle droit (90°C) par rapport à la source lumineuse. Ce principe dit nephelométrique est décrit en détail dans la norme DIN EN ISO 7027, qualité de l'eau – détermination de la turbidité (Water quality – Determination of turbidity). L'étalon standard international de turbidité est la formazine. Fondé sur ce dernier, le TB300 IR détermine la turbidité des liquides aqueux en FNU (Formazine Nephelometric Units - Unités Nephelométriques de Formazine).



Figure II.3 : Turbidimètre Lovibond "TB 300 IR"

Mode opératoire

- a) Après chaque mesure, vous devez impérativement nettoyer soigneusement les cuvettes et les couvercles afin d'éviter les erreurs dues aux résidus. Des quantités de résidus faibles suffisent pour provoquer des erreurs de mesure.
- b) Les parois extérieures des cuvettes doivent être propres et sèches avant que le test soit effectué. Des empreintes de doigts ou des gouttes d'eau sur les surfaces de pénétration de la lumière des cuvettes entraînent des erreurs de mesure.
- c) Pour la mesure, la cuvette doit être mise en place dans le compartiment de mesure de telle manière que la graduation dotée du triangle blanc soit orientée vers le marquage sur le boîtier.



- d) La mesure doit être effectuée lorsque le couvercle de la cuvette est fermé.
- e) La formation de petites bulles sur les parois intérieures de la cuvette provoque des erreurs de mesure. Voir chapitre 2.3.8.1 élimination des bulles d'air.
- f) Eviter impérativement la pénétration d'eau dans le compartiment de mesure. La pénétration d'eau dans le boîtier du turbidimètre est susceptible d'entraîner la destruction de composants électroniques et des dommages dus à la corrosion.

- g) L'encrassement des composants optiques dans le compartiment de mesure entraîne des erreurs de mesure. Vérifier à des intervalles de temps réguliers les surfaces de pénétration de la lumière du compartiment de mesure et nettoyer ces dernières le cas échéant. Pour le nettoyage, utiliser de préférence des torchons humides et des cotons tiges.
- h) Des différences de températures relativement importantes entre le turbidimètre et son environnement peuvent entraîner des erreurs de mesure, par exemple du fait de la formation d'eau de condensation dans la zone du système optique ou dans la cuvette. Les conditions idéales pour la réalisation des mesures sont celles d'une température de l'échantillon comprise entre 20 et 25 °C.
- i) D'une manière générale, protéger l'appareil de tout rayonnement solaire direct et de la surchauffe.
- j) Utiliser votre turbidimètre dans un environnement propre et exempt de poussière, sur une table exempte de toutes vibrations et secousses.

II.4.4. Mesure des Matières en Suspensions (MES)

La mesure des matières en suspension a été faite par la méthode de filtration en utilisant des disques filtrants de porosité de 0,45µm, et un dispositif de filtration sous vide.

Une quantité d'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle. La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/L) est donnée par l'expression suivante : $M_1 - M_0 / V \times 1\,000$

M_0 = masse du disque filtrant avant utilisation (mg) ;

M_1 = masse du disque filtrant après utilisation (mg) ;

V = volume d'eau utilisé (ml).

Mode opératoire

- ✓ On pèse un papier filtre spéciale ce qui représentera le poids 0 (M_0) ;
- ✓ On filtre 150ml d'eau (brute, traitée), à l'aide d'une pompe à vide ;
- ✓ On récupère le filtre mouillé, on le sèche dans l'étuve pendant 2h à 100 °C ;
- ✓ Une fois séché, on repese le filtre qui va donner le poids 1(M_1) ;
- ✓ On calcule les MES de la manière suivante : **MES = $(M_1 - M_0) \times 1000 / 150$ (Rodier, 2005).**

II.4.5. Détermination de la dureté TH

Principe

Pour déterminer la concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et en ions magnésium (Mg^{2+}) dans une eau on utilise une réaction de complexations. Le dosage s'effectue avec une solution du sel di-sodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) symbolisé par $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$, en milieu tamponné à pH10 (auquel on observe de bons résultats expérimentaux).

Mode opératoire

- ✓ Introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole.
- ✓ Chauffer la prise d'essai à une température de 60°C.
- ✓ Ajouter 5 ml de solution tampon (pH 9,5-10) et quelques gouttes du noir ériochrome.
- ✓ Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vineux au bleu vert.
- ✓ Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.
- ✓ Soit V le volume de solution d'EDTA versé.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml la dureté totale, exprimée en degrés français sera égale à V et à 2V/10 en milliéquivalent (NF T90-003).

II.4.6. Protocole expérimentale de la demande en chlore pour le traitement de Pré-chloration

Avant d'entamer à l'essai de coagulation-floculation des eaux brutes pré-chlorées, il faut d'abord déterminer la dose de chlore à introduire. La demande en chlore est déterminée selon le protocole appliqué au niveau de laboratoire procès de la station de Ain Zada, en fixant le temps de contact. Le chlore consommé est alors déduit de la différence chlore introduit et chlore résiduel. Le dosage du chlore résiduel étant suivi par la méthode de comparaison avec des éprouvettes, disques colorés, comparateur en lumière du jour et des réactifs présentés en comprimés DPD (diéthyl-p-phénylènediamine) permettant de doser sur la même eau le chlore sous ses différentes formes (total, libre, combiné).

Principe

On réalise une expérience avec du temps de contact de 2 heures à 10 flacons de l'eau à analyser, on ajoute des doses croissantes de chlore. Après écoulement du temps de contact, on mesure le chlore résiduel avec un comparateur DPD. On trace alors la courbe (chlore résiduel)=f (chlore introduit).

Matériel utilisé

- Dix flacons en verre brun à col rodé de 1 litre, lavés et rincés avec l'eau à étudier.
- Un chronomètre.
- Un comparateur de chlore libre.
- Comprimé DPD N°1.
- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, bicher, pipettes...).

Mode opératoire**1ere étape :**

- Tout d'abord, on prépare la solution chlorée, en mettant 2 ml de la javel dans une fiole de 100 ml puis, on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- On prend 100 ml de l'eau distillée puis on ajoute dans l'ordre :
 - 5 ml d'acide acétique.
 - 1 g de iodide de potassium.
 - 10 ml de la solution chlorée.
- On titre immédiatement par thiosulfate de sodium 0.1N en versant lentement tout en agitant constamment jusqu'au virage jaune clair.
- Une fois la couleur jaune clair apparaît, on ajoute une pincée de thioudène, on observe la couleur bleu.
- On continue le titrage jusqu'à la disparition de la couleur bleu.
- On note V_{eq} .
- Puis, on détermine la concentration de chlore actif (eau de javel) par la loi suivante :

$$C = \frac{35.5 \times 0.1 \times 10 \times V_{eq}}{100} \times F$$

Avec :

35.5 : la masse molaire du chlore.

0.1 : la normalité de thiosulfate de sodium.

10 : le volume de la solution chlorée.

V_{eq} : volume équivalent de thiosulfate de sodium.

100 : volume d'eau distillée

F : facteur de dilution.

2^{ème} étape :

- Dans chacun de flacon de 1 litre numéroté de 1 à 10, on introduit 1 litre d'eau à analyser.
- Ensuite, on ajoute des doses croissantes de chlore de concentration 1 g/l.

Tableau II.5 : Les doses croissantes de chlore à injecter

N° Flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose de chlore à injecter (mg/l)	1	3	5	8	10	12	15	/	/	/

- On met les flacons à l'abri de lumière et travailler à température ambiante.
- Après 2 heures on fait le dosage de chlore libre :
 - On transpose 10 ml de l'échantillon analysé dans un tube à essai préalablement rincé avec l'échantillon lui-même.
 - On introduit un comprimé du DPD N°1 et on mélange jusqu'à dissolution du DPD.
 - Ensuite, on mesure l'intensité de la couleur par comparaison visuelle à l'aide d'une échelle (disque) ou moyen d'un comparateur.

II.4.7. Le rendement d'élimination des paramètres étudiés

Le rendement d'élimination des paramètres étudiés (Turbidité, TH, MES...) Y (%) est déterminé par la relation suivante :

$$Y(\%) = \frac{(Y_i - Y_f)}{Y_i} \cdot 100$$

Y_i et Y_f sont les concentrations de la solution avant et après traitement par C-F.

Remarque : après l'étape de décantation on fait la filtration sur papiers filtre de 0,45 μm .

On met le filtre à papier dans l'appareil de filtration, en suite on verse la solution de l'eau décanter dans le filtre, on allume l'appareil on attend quelques minutes, on observe que la solution traverse le filtre goutte à goutte jusqu'à la solution de l'eau décanter se filtre.

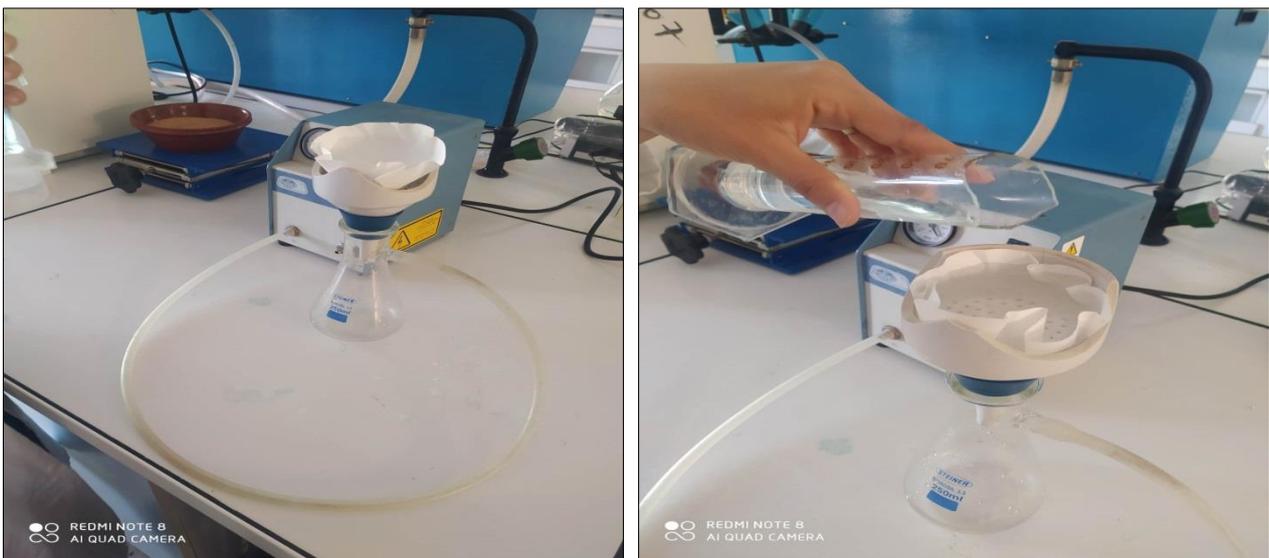


Photo II.4 : Appareil de filtration et papier filtre de 0.45 μm

Chapitre III

Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction

Le dernier chapitre est consacré à l'évaluation des performances du procédé de coagulation-floculation (C-F), pour le traitement des eaux de surface (*barrage Ain Zada*).

Puisque la coagulation floculation prend sa place pratiquement dans toutes les stations de traitement ou d'épuration des eaux, on procède dans ce travail de montrer la mise en œuvre et le fonctionnement de cette étape de traitement à l'aide de l'étude expérimentale de la coagulation floculation, dans cette partie expérimentale, nous avons montré l'importance du Jar-test dans le choix d'un réactif et la détermination des concentrations optimales nécessaire à une réduction maximale de la turbidité d'une eau de surface du barrage Ain Zada, les essais ont été réalisés au laboratoire de traitement des eaux du département de génie des procédés à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj.

Les expériences ont été réalisées pour examiner l'effet des paramètres de fonctionnement du procédé, tels que, le temps et la vitesse d'agitation, le temps de décantation, la concentration et le type du coagulant, la concentration et le type du flocculant, le pH initial, la pré-chloration, la qualité de l'eau brute et l'ajout d'un flocculant naturel (le figuier de Barbarie).

III.2. Effet du temps et de la vitesse d'agitation

Les deux étapes de formation du floc consistent en une phase d'agitation rapide afin que le coagulant et les particules se rencontrent et se neutralisent, suivie d'une phase d'agitation lente permettant la maturation du floc. Néanmoins, il faut éviter que l'agitation soit trop intense car elle empêche l'agrégation, ni trop prolongée car elle entraîne la restabilisation des colloïdes (**Dihang, 2007**). On cherche à obtenir au final une eau plus limpide et des floccs volumineux pour faciliter leur décantation.

III.2.1. Cas de la coagulation

Les vitesses étudiées sont 150, 200 et 250 tr/min. Les temps d'agitation sont 2 et 3 min. Pour chaque vitesse on varie la durée d'agitation. La dose du coagulant de sulfate d'aluminium est fixée à 100 mg/L. Après chaque temps d'agitation rapide, on réduit la vitesse à 60 tr/min pendant 20 min d'agitation. Après ce temps, l'appareil s'éteint, on lève les outils d'agitation et on laisse décanter pendant 60 min. Chaque 10 min, un échantillon de 50 ml de surnageant est prélevé

avec une pipette dans chaque bécher, sans perturbation du liquide pour l'analyse. Les résultats trouvés sont représentés sur la figure suivante (Fig. III.1).

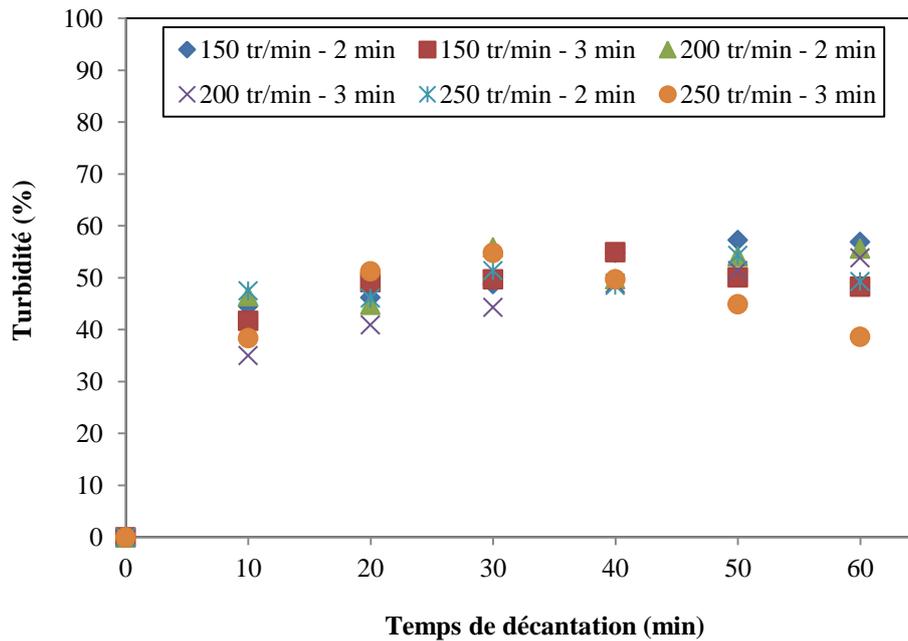


Figure III.1 : Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité

(Coagulation) : $Turb_{initial} = 77.7$ NTU, $C(SA) = 100$ mg/L, pH initial = 6.94, conductivité $\kappa = 1.4$ mS/cm

Les résultats expérimentaux montrent que les vitesses de 150 tr/min pendant 2 min et 200 tr/min pendant 2 et 3 min sont proches. Pour cela, une agitation rapide de 150 tr/min pendant 2 min (Turb % = 57.2 %) sera prise comme la vitesse de la coagulation. Les résultats expérimentaux montrent que le taux d'élimination de la turbidité augmente avec le temps de décantation.

III.2.2. Cas de la floculation

En fixant la vitesse de la coagulation à 150 tr/min durant 2 min d'agitation, et pour la même concentration de coagulant, on fixe l'agitateur mécanique à la vitesse voulue (30, 40 et 60 tr/min). Pour chaque vitesse, on varie le temps d'agitation lente (20 et 30 min). Juste après l'arrêt de l'appareil et la levée des hélices d'agitation, on laisse décanter pendant 60 min. L'analyse des échantillons prélevés nous donne la figure suivante (Fig. III.2).

Les résultats montrent que pour une vitesse de 30 tr/min pendant 20 min (60.78 %) et 40 tr/min pendant 30 min (61.07 %) d'agitation sont proches. Pour cela on opte pour une agitation lente de 30 tr/min pendant 20 min sera prise comme la vitesse de la floculation pour les prochaines expériences.

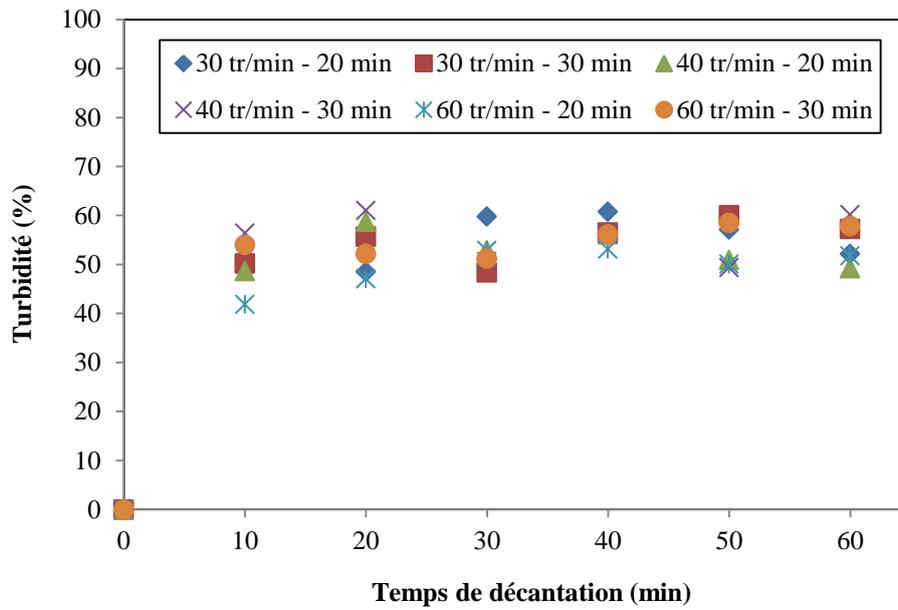


Figure III.2 : Effet du temps et de la vitesse d’agitation sur l’élimination de la turbidité (Floculation) : $Turb_i = 70,9$ NTU, $C(SA) = 100$ mg/L, pH initial = 7.4, conductivité $\kappa = 1.4$ mS/cm

III.3. Effet de la dose et le type du coagulant

Bien que la dose de coagulant soit le paramètre avec un effet positif sur l’efficacité de la coagulation, il est aussi le principal responsable pour la présence d’aluminium (l’apparition de la maladie d’Alzheimer) ou de fer résiduel dans l’eau traitée.

L’effet de la dose des coagulants est illustré dans les figures (III.3 – III.6). Tous les paramètres ont été maintenus constants ($v_{coag.} = 150$ tr/min, Temps d’agitation rapide = 2 min, $v_{floc.} = 30$ tr/min, Temps d’agitation lente = 20 min), excepté la concentration du coagulant.

III.3.1. Sulfate d’aluminium

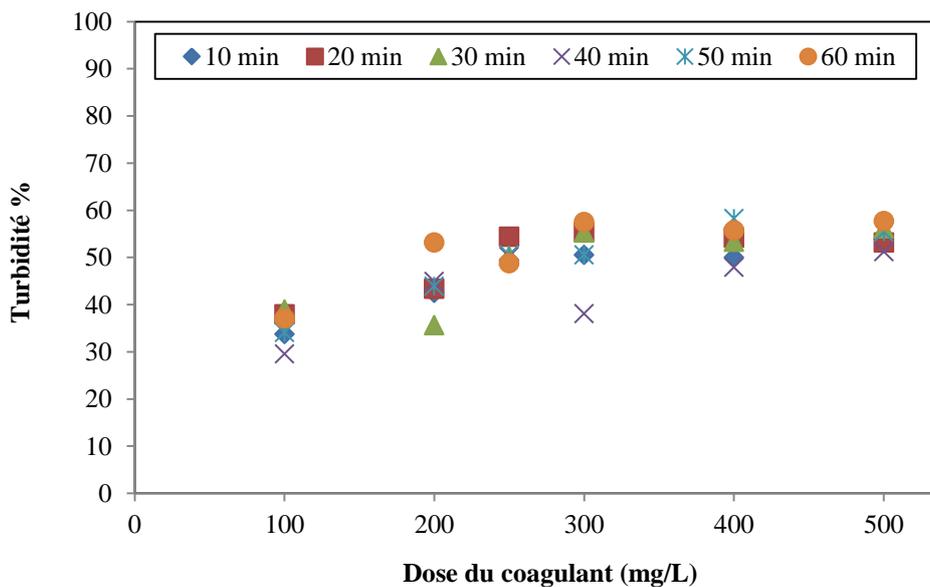


Figure III.3 : Effet de la dose du coagulant (SA) et du temps de décantation sur l’élimination de la turbidité : $Turb_i = 57.2$ NTU, pH initial = 7.1, conductivité $\kappa = 1.551$ mS/cm

III.3.2. Chlorure ferrique

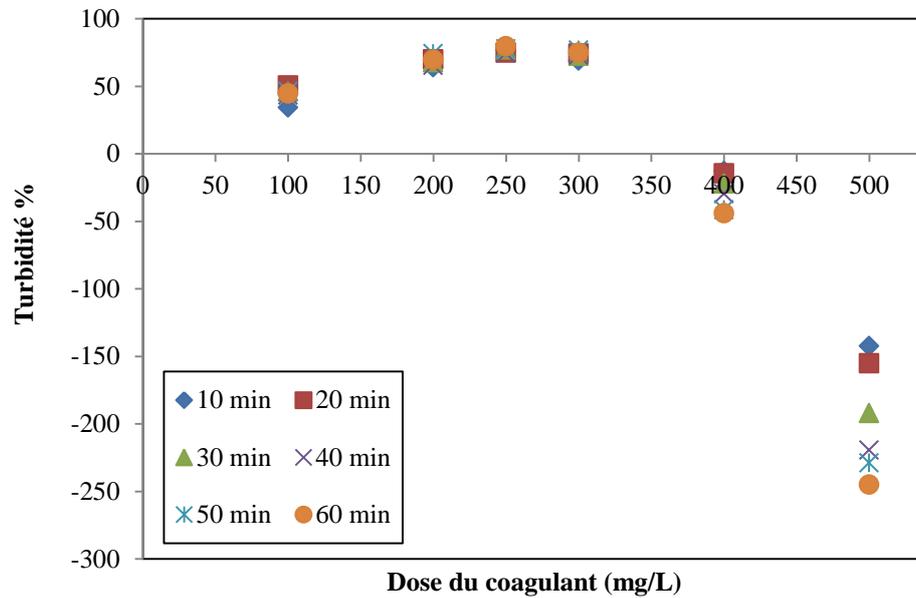


Figure III.4 : Effet de la dose du coagulant (FeCl_3) et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 62.3$ NTU, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.771$ mS/cm

III.3.3. sulfate ferrique

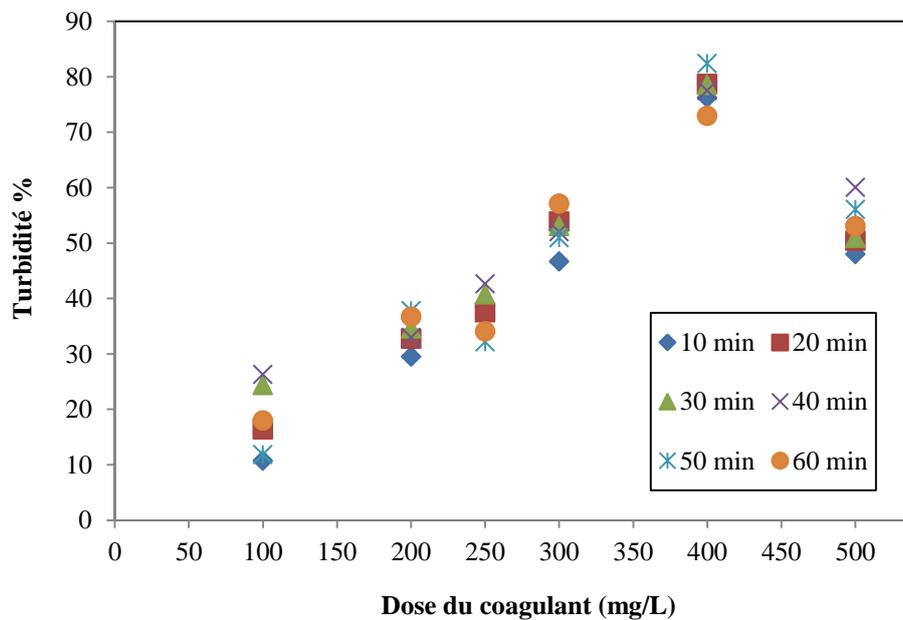


Figure III.5 : Effet de la dose du coagulant $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 37.3$ NTU, pH initial = 6.8, conductivité $\kappa = 1.465$ mS/cm

III.3.4. Chlorure d'aluminium

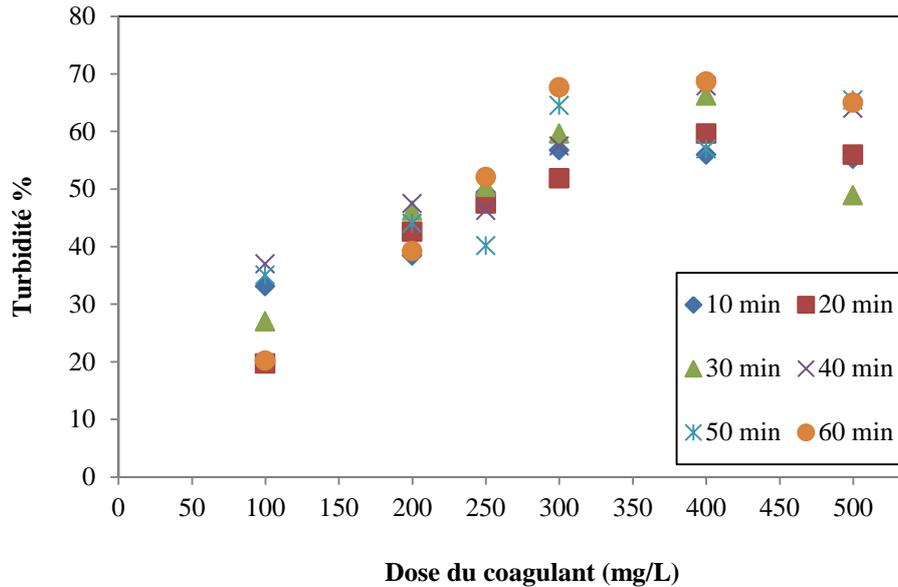


Figure III.6 : Effet de la dose du coagulant AlCl_3 et du temps de décantation sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 41.1$ NTU, pH initial = 7.2, conductivité $\kappa = 1.446$ mS/cm

D'après les figures (III.3 - III.6), on voit que les allures des courbes d'élimination de la turbidité en fonction de la dose du coagulant sont semblables :

a) Sulfate d'aluminium

Le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant pour les concentrations (100 – 400 mg/L). La dose optimale de coagulant à ajouter est de 400 mg/l, pour avoir un taux maximal de 58.21 % après 50 min de décantation.

b) Chlorure ferrique

Le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant pour les concentrations (100 – 250 mg/L). La dose optimale de coagulant à ajouter est de 250 mg/l, pour avoir un taux maximal de 79.61 % après 60 min de décantation.

c) Sulfate ferrique

Le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant pour les concentrations (100 – 400 mg/L). La dose optimale de coagulant à ajouter est de 400 mg/l, pour avoir un taux maximal de 82.41 % après 50 min de décantation.

d) Chlorure d'aluminium

Le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant pour les concentrations (100 – 400 mg/L). La dose optimale de coagulant à ajouter est de 400 mg/l, pour avoir un taux maximal de 68.61 % après 60 min de décantation.

On peut interpréter ces résultats par le fait que cette dose de coagulant (optimale) est dispersée sur tout le bécher et toute la matière en suspension a été piégée (attraction de la charge positive de coagulant avec la charge négative des matières en suspension MES) ce qui favorise la formation des floccs par la suite. Il est à noter que le temps de décantation a une influence sur l'abatement de la turbidité.

En effet, le surdosage des coagulants peut provoquer l'effet inverse (c'est-à-dire, le taux diminue) où des charges positives se disposent sur la surface des particules, ce que provoque l'inversion du potentiel Zêta, la redéstabilisation des floccs et la redispersion des particules (**Amirtharajah et Mills, 1982**). Lors de la sur-injection du coagulant, le pH chute et entraîne la formation d'espèces plus solubles que le précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Il est à noter que le temps de décantation a une influence sur l'abatement de la turbidité.

III.4. Effet du pH initial

Le pH initial est l'un des paramètres clés jouant un rôle important dans l'efficacité de la coagulation-floculation par la formation des précipités tels que, $\text{Al}(\text{OH})_3$ et $\text{Fe}(\text{OH})_3$. L'utilisation du coagulant à son pH optimal permet une élimination maximale des polluants (**Tiaiba et al., 2018**).

Afin d'étudier l'effet de ce paramètre, le pH initial a été varié de 4 à 10 en utilisant une solution de HCl (0.1 N) ou une solution de NaOH (2 N) (Figures III.7 – III.10).

III.4.1. En présence de sulfate d'alumine

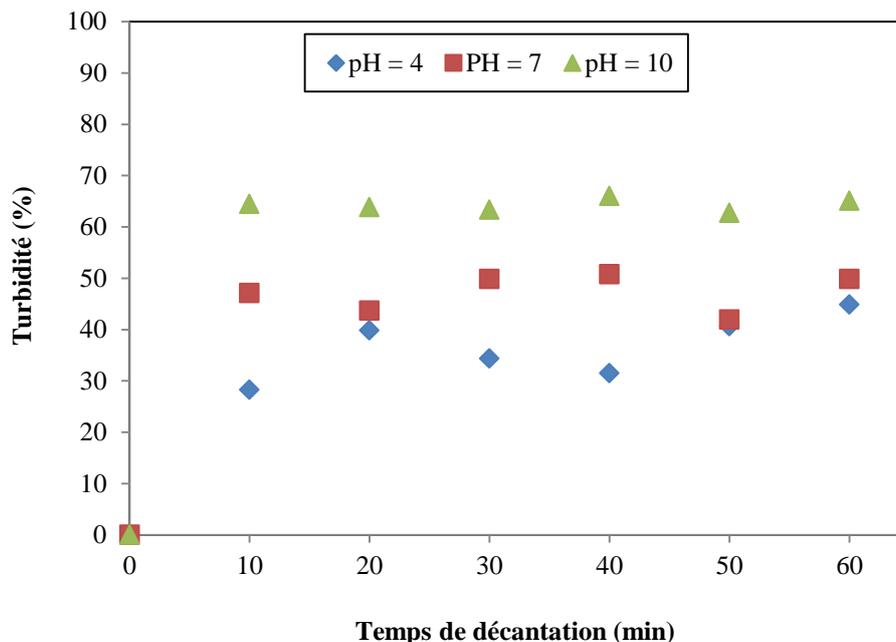


Figure III.7. Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 62.3 \text{ NTU}$,

$C(\text{SA}) = 400 \text{ mg/L}$ conductivité $\kappa = 1.758 \text{ mS/cm}$

Les résultats montrent que plus l'eau est alcaline, plus le taux d'élimination de la turbidité est élevé. Avec une Y_{Turb} dépasse 66 % pour pH = 10 et ne dépasse pas 51 % pour les autres pH. Le maximum d'élimination de la turbidité a été observé à un pH de 10 avec $Y_{\text{Turb}} = 66.04$ % après 40 min de décantation.

III.4.2. En présence de FeCl_3

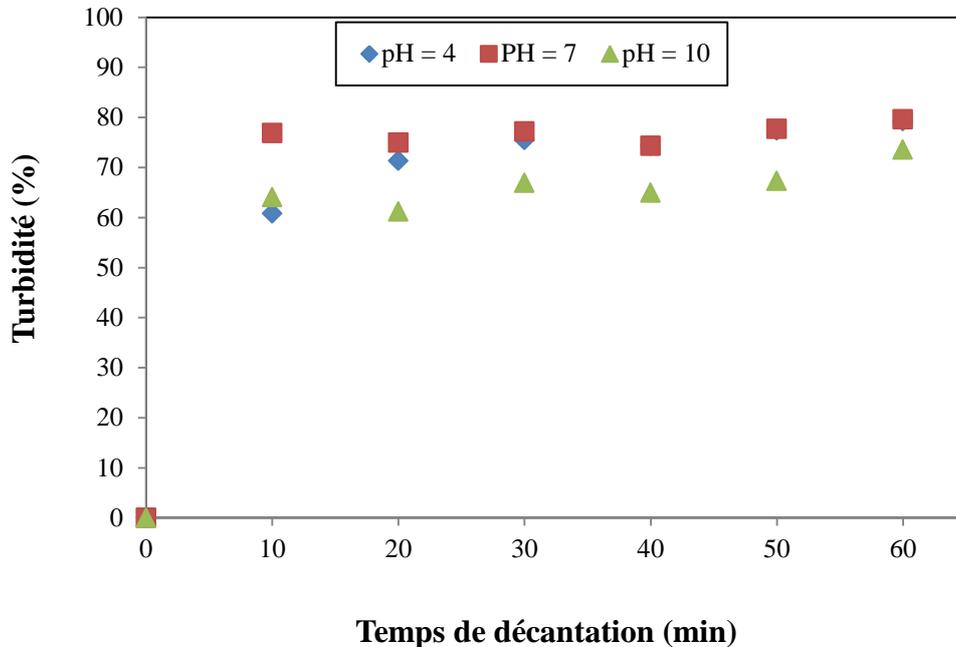


Figure III.8 : Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 57$ NTU,

$$C(\text{FeCl}_3) = 250 \text{ mg/L} \text{ conductivité } \kappa = 1.943 \text{ mS/cm}$$

La courbe montre que l'élimination de la turbidité est plus efficace (dépasse 79 %) avec des pH de 4 et 7. Le maximum d'élimination de la turbidité a été observé à un pH de 7 avec $Y_{\text{Turb}} = 79.61$ % après 60 min de décantation. Cela correspond à la région où $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ et $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$ chargés positivement, et les espèces $\text{Fe}(\text{OH})_3$ insolubles prédominent (Tiaiba et al., 2018, Chafi et al., 2011) : les cations sont capables de conduire principalement neutralisation de charge, car les particules colloïdales sont généralement chargées négativement, tandis que les espèces insolubles favorisent la coagulation par précipitation. Inversement, Y_{Turb} diminue lorsque les anions $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ solubles deviennent prédominants à pH élevé.

III.4.3. En présence de $Fe_2(SO_4)_3$

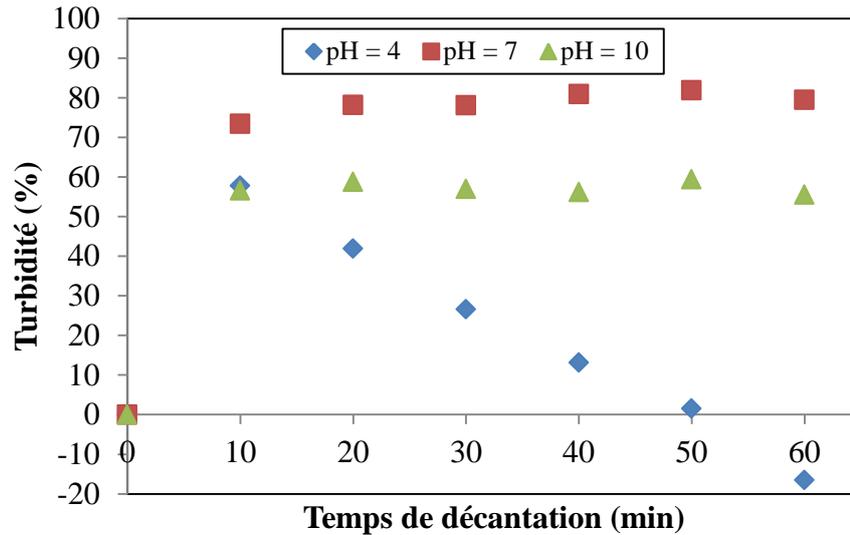


Figure III.9 : Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 41,8$ NTU, $C(Fe_2(SO_4)_3) = 400$ mg/L, conductivité $\kappa = 1.053$ mS/cm

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

Pour la valeur de pH 10 on a obtenu un taux d'élimination de la turbidité $Y_{Turb} = 59.35$ % après 50 min de décantation, Le maximum d'élimination de la turbidité a été observé à un pH de 7 avec $Y_{Turb} = 81.87$ % après 50 min de décantation.

Pour pH = 4, le taux maximal d'élimination de la turbidité $Y_{Turb} = 57.75$ % après 10 min de décantation, après ce résultat, le taux diminué d'une façon continu en fonction du temps de décantation jusqu'à une valeur négative (-16.52 %) à $t = 60$ min.

III.4.4. En présence de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)

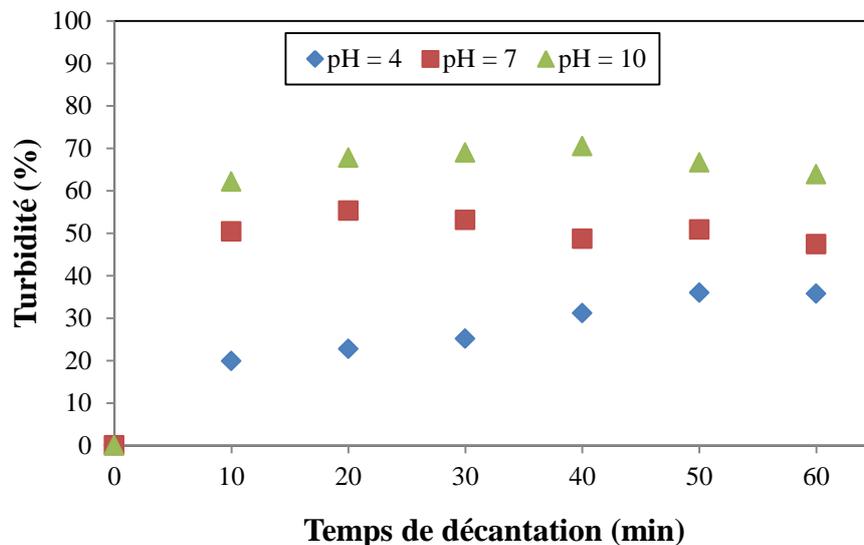


Figure III.10 : Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 47.77$ NTU, $C(AlCl_3) = 400$ mg/L, conductivité $\kappa = 0.844$ mS/cm

Même interprétation que précédemment concernant l'effet du pH initial en présence de sulfate d'alumine (Fig. III.5). Avec $Y_{\text{Turb}} \text{ max} = 70.45 \%$ à $\text{pH} = 10$ après 40 min de décantation.

- à $\text{pH} = 7$, $Y_{\text{Turb}} \text{ max} = 55.28 \%$ à après 20 min de décantation.
- à $\text{pH} = 4$ le taux augmente d'une façon continue en fonction du temps de décantation jusqu'à une valeur maximale de 35.94% après 50 min.

Le pH a changé pendant la période de traitement par C-F et son **évolution** dépend du pH initial. On remarque un certain pouvoir tampon en raison d'une balance entre la production et la consommation de OH^- et du besoin de la neutralisation de la charge avant la transformation finale des composés solubles du coagulant sous forme d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou de fer $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Chafi et al., 2011 ; Verma et al., 2012 ; Verma et al., 2014) qui empêche le changement élevé du pH de la neutralité, comme dans le tableau (III.1). Lorsque le pH initial est au-dessus de cette valeur, le pH diminue pendant la coagulation-floculation; autrement, on observe le comportement inverse (à l'exception avec FeCl_3).

Tableau III.1 : Évolution des valeurs de pH pendant le processus de C-F pendant 60 min de décantation pour différentes valeurs de pH initial

	pH Initial	4						7						10					
$C_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 400 \text{ mg/L}$	pH Final	4.2	4.8	5	5	5	4.9	5	5.7	5.8	5.9	5.6	5.8	6.4	7	7.2	7.3	7.3	7.2
$C_{\text{FeCl}_3} = 250 \text{ mg/L}$		4	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	5.1	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	6.5	6.8	6.9	6.9	6.9	
$C_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} = 400 \text{ mg/L}$		2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	4.7	5.5	5.5	5.9	5.9	5.9	6.1	6.9	6.9	7.1	7.1	7.2
$C_{\text{AlCl}_3} = 400 \text{ mg/L}$		4.3	4.3	4.7	5	5.2	5.3	4.6	5	5.5	5.7	5.7	5.9	5.8	6.3	6.3	6.9	6.9	7.1

D'après l'étude de ce paramètre, nous pouvons dire que les quatre coagulants sont efficaces (le meilleur résultat a été enregistré par $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ avec un abattement de turbidité $Y_{\text{Turb}} = 81.87 \%$ à $\text{pH} = 7$), mais il est à signaler que pour les quatre coagulants dont les pH initiaux de 4 et 7, le pH final dépasser la norme Algérienne de potabilisation (6.5 – 8.5), ils sont sélectionnés en rouge dans le tableau (III.1). Les pH finaux correspondants sont sélectionnés en verre dans le tableau (III.1).

En conclusion, la valeur du pH optimale varier en fonction de la concentration et le type du coagulant. Dans les sections suivantes, le pH initial doit être ajusté dans la gamme optimale afin d'avoir une efficacité maximale de dépollution et de respecter les normes de rejets.

III.5. Effet de la dose du flocculant (polyélectrolytes anionique)

Le flocculant industrielle étudié est le polyélectrolytes anionique, il a été gracieusement offert par la station de traitement des eaux potables "Ain Zada – Bordj Bou Arreridj". Afin de voir l'effet de l'ajout du flocculant, nous avons testé les concentrations suivantes : 5, 10, 20, 50, 100 et 150 mg/L.

Les résultats de l'influence de la dose du flocculant polyélectrolytes anionique sur la coagulation – floculation, sont illustrés dans les figures (III.11 – III.14).

III.5.1. En présence de sulfate d'alumine

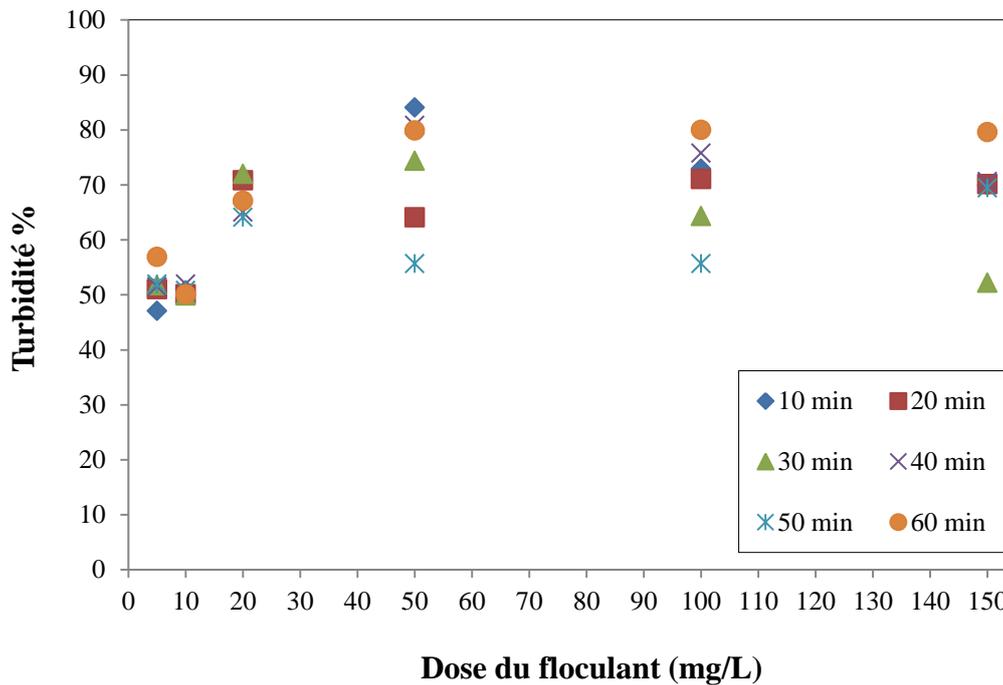


Figure III.11 : Effet de la dose du flocculant anionique en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 42.9$ NTU, $C(\text{SA}) = 400$ mg/L, pH initial = 10, conductivité $\kappa = 1.170$ mS/cm

La figure (III.11) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**84.08 %**) a été observé pour une concentration de **50 mg/L** après 10 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **58.21 %**, soit une augmentation d'environ **25.9 %**.

III.5.2. En présence de $FeCl_3$

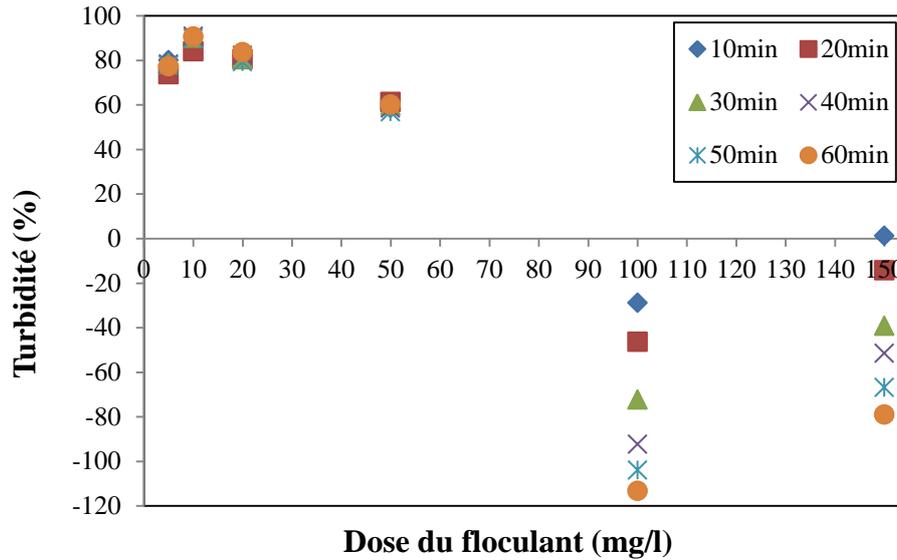


Figure III.12 : Effet de la dose du flocculant anionique en présence du $FeCl_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 42.9$ NTU, $C(FeCl_3) = 250$ mg/L, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.507$ mS/cm

La figure (III.12) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**90.82 %**) a été observé pour une concentration de **10 mg/L** après 40 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **79.61 %**, soit une augmentation d'environ **11.2 %**.

III.5.3. En présence de $Fe_2(SO_4)_3$

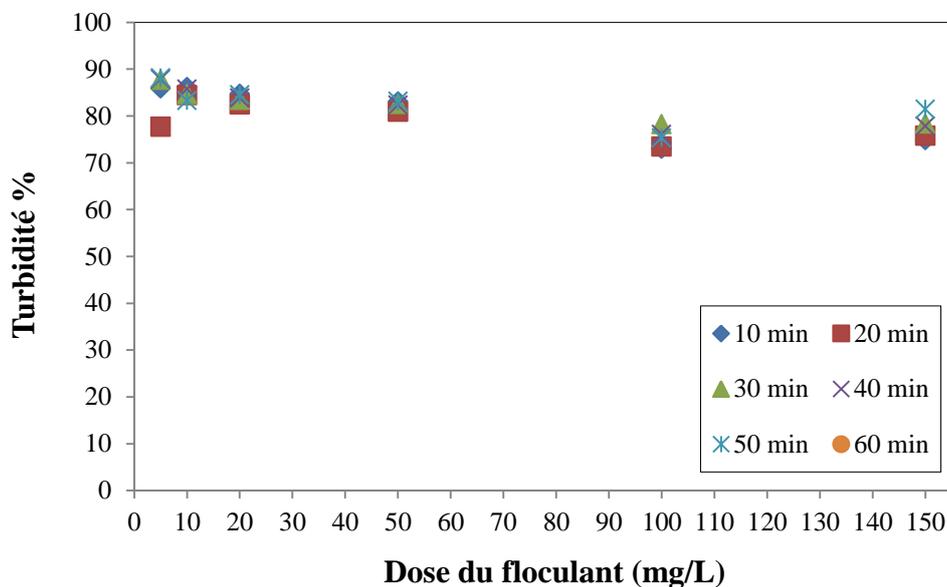


Figure III.13 : Effet de la dose du flocculant anionique en présence du $Fe_2(SO_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 42.9$ NTU, $C(Fe_2(SO_4)_3) = 400$ mg/L, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.443$ mS/cm

La figure (III.13) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**88.11 %**) a été observé pour une concentration de **5 mg/L** après 60 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **82.41 %**, soit une augmentation d'environ **5.7 %**.

III.5.4. En présence de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)

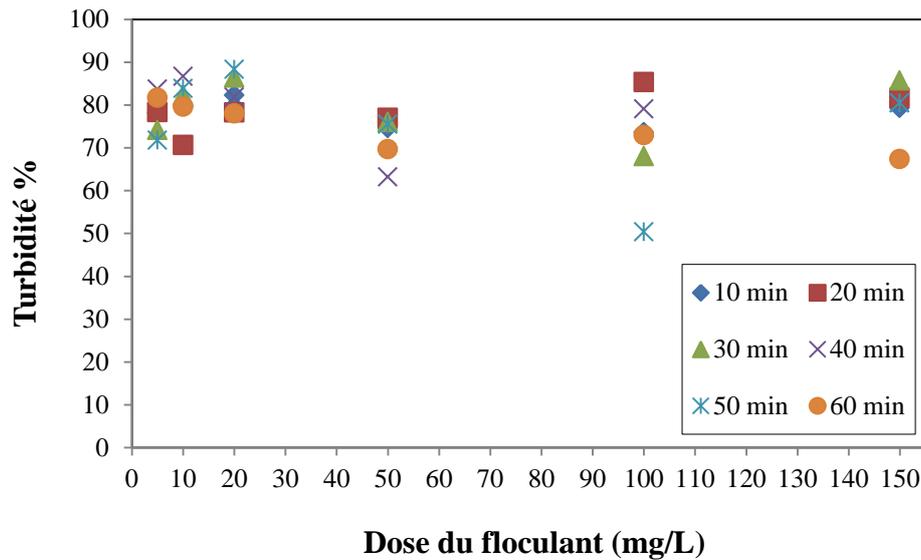


Figure III.14 : Effet de la dose du flocculant anionique en présence du $AlCl_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 42.9$ NTU, $C(AlCl_3) = 400$ mg/L, pH initial = 10, conductivité $\kappa = 1.164$ mS/cm

La figure (III.14) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**88.3 %**) a été observé pour une concentration de **20 mg/L** après 50 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **68.61 %**, soit une augmentation d'environ **19.7 %**.

En conclusion, nous pouvons dire que l'utilisation de flocculant polyélectrolytes anionique a augmenté considérablement le taux d'élimination de la turbidité avec les quatre coagulants, le meilleur résultat a été enregistré par $FeCl_3$ avec un abattement de la turbidité de **90.82 %** après 40 min de décantation.

III.6. Effet de la dose du flocculant (charbon actif en poudre)

Afin de voir l'effet de l'ajout du flocculant de charbon actif en poudre (CAP), nous avons testé les concentrations suivantes : 50, 100, 150, 200, 300 et 400 mg/L.

Les résultats de l'influence de la dose de charbon actif en poudre sur la coagulation – floculation, sont illustrés dans les figures (III.15 – III.18).

III.6.1. En présence de sulfate d'alumine

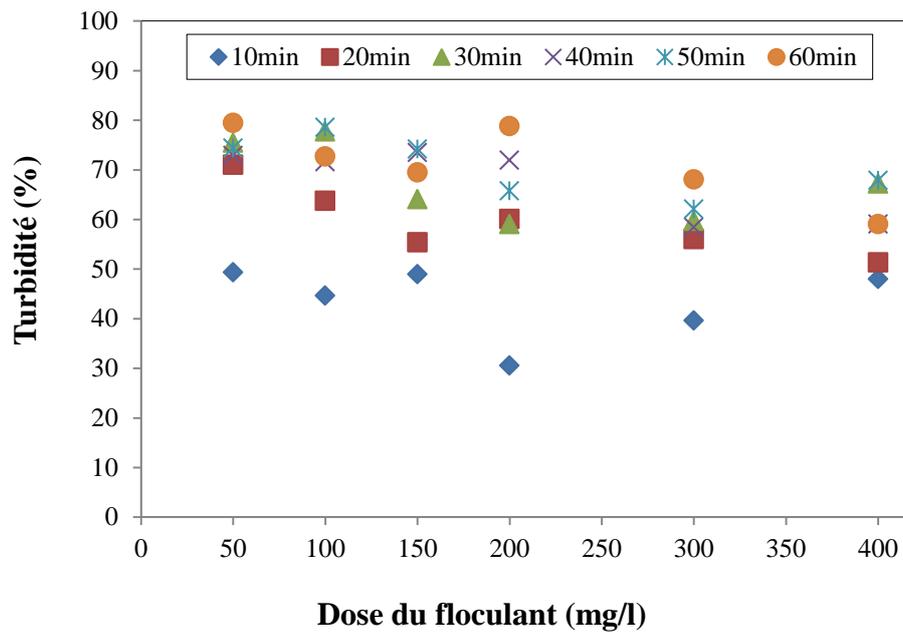


Figure III.15 : Effet de la dose du flocculant charbon actif en poudre en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 29.8$ NTU, $C(\text{SA}) = 400$ mg/L, pH initial = 10, $\kappa = 1.736$ mS/cm

La figure (III.15) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**79.46 %**) a été observé pour une concentration de **50 mg/L** de charbon actif en poudre après 50 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **58.21 %**, soit une augmentation d'environ **21.3 %**.

III.6.2. En présence de FeCl_3

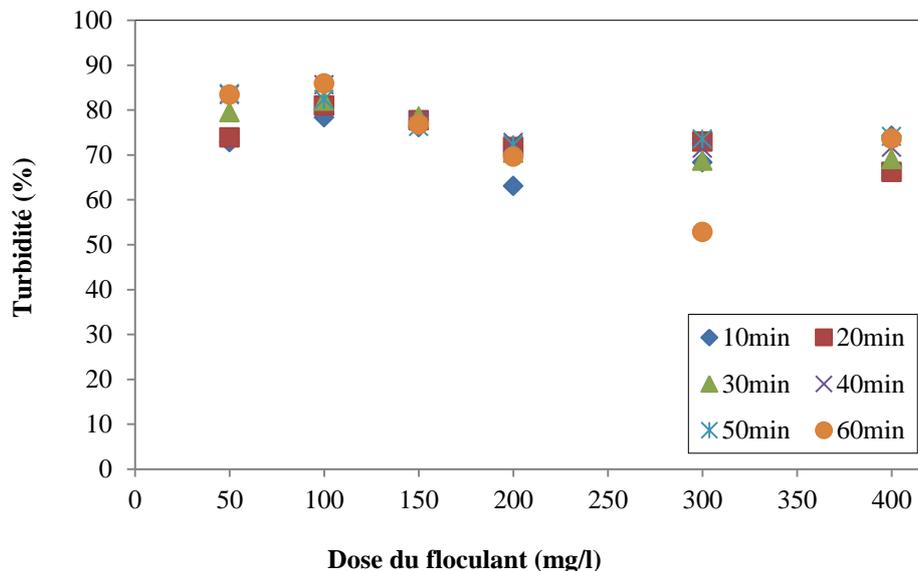


Figure III.16 : Effet de la dose du flocculant anionique en présence du FeCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 29.6$ NTU, $C(\text{FeCl}_3) = 250$ mg/L, pH initial = 7, conductivité $\kappa = 1.624$ mS/cm

La figure (III.16) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**85.91 %**) a été observé pour une concentration de **100 mg/L** de charbon actif en poudre après 60 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **79.61 %**, soit une augmentation d'environ **6.3 %**.

III.5.3. En présence de $Fe_2(SO_4)_3$

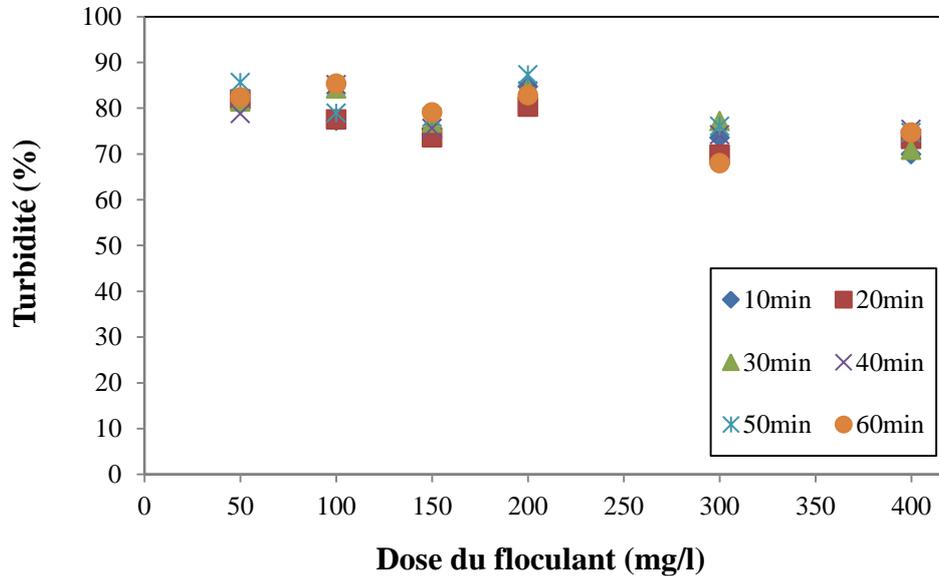


Figure III.17 : Effet de la dose du flocculant charbon actif en poudre en présence du $Fe_2(SO_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 29.6$ NTU, $C(Fe_2(SO_4)_3) = 400$ mg/L, pH initial = 7, $\kappa = 1.630$ mS/cm

La figure (III.17) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**87.3 %**) a été observé pour une concentration de **200 mg/L** de charbon actif en poudre après 50 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **82.41 %**, soit une augmentation d'environ **4.9 %**.

III.6.4. En présence de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)

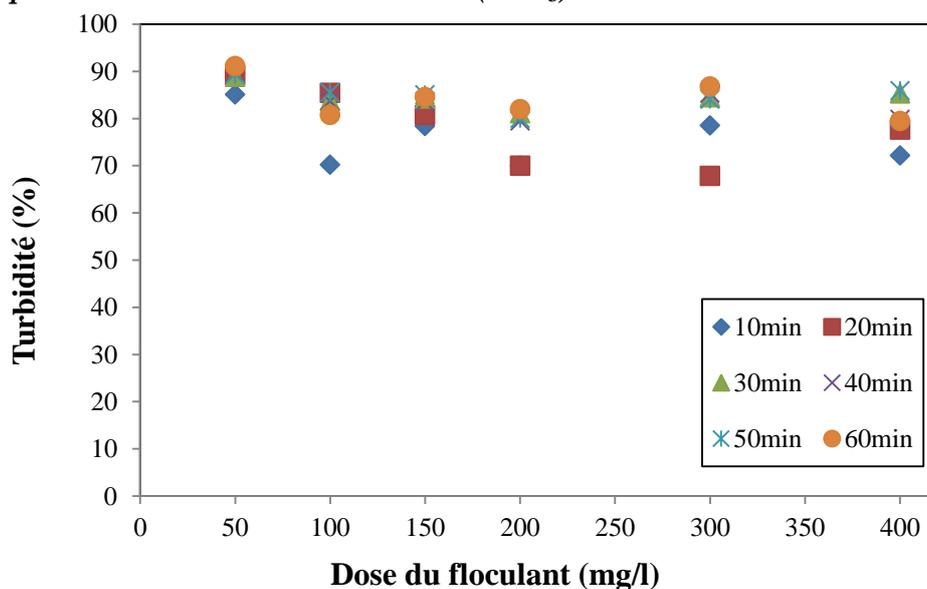


Figure III.18 : Effet de la dose du flocculant charbon actif en poudre en présence du $AlCl_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 29.6$ NTU, $C(AlCl_3) = 400$ mg/L, pH initial = 10, $\kappa = 1.660$ mS/cm

La figure (III.18) montre que le maximum d'abattement de la turbidité (**91.09 %**) a été observé pour une concentration de **50 mg/L** après 60 min de décantation. Le taux observé en absence du flocculant est de **68.61 %**, soit une augmentation d'environ **22.5 %**.

En conclusion, nous pouvons dire que l'utilisation de flocculant charbon actif en poudre (CAP) a augmenté considérablement le taux d'élimination de la turbidité avec les quatre coagulants, le meilleur résultat a été enregistré par AlCl_3 avec un abattement de la turbidité de **91.09 %** après 50 min de décantation.

III.7. Effet du volume du flocculant naturel

Dans le but d'évaluer l'impact de l'ajout d'un flocculant naturel (*Opuntia ficus indica* : OFI) sur les performances de la méthode de la C-F, nous avons testé les volumes suivants : 10, 15, 20, 50, 80 et 200 mL.

III.7.1. En présence de sulfate d'alumine

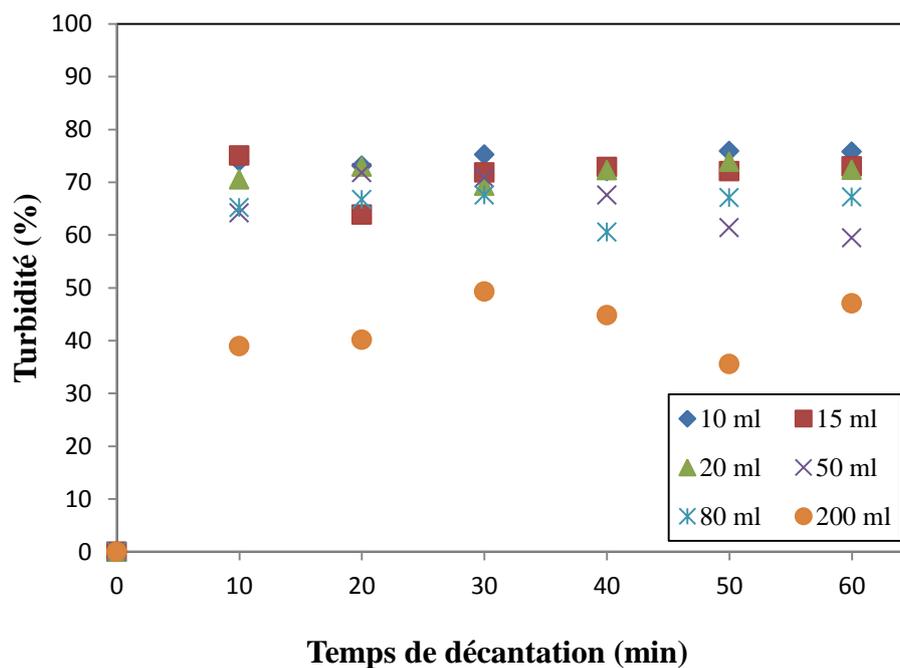


Figure III.19 : Effet du volume du flocculant naturel (jus de cactus) en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 142 \text{ NTU}$, $C(\text{SA}) = 400 \text{ mg/L}$, $\text{pH initial} = 10$, $\kappa = 1.662 \text{ mS/cm}$

III.7.2. En présence de $FeCl_3$

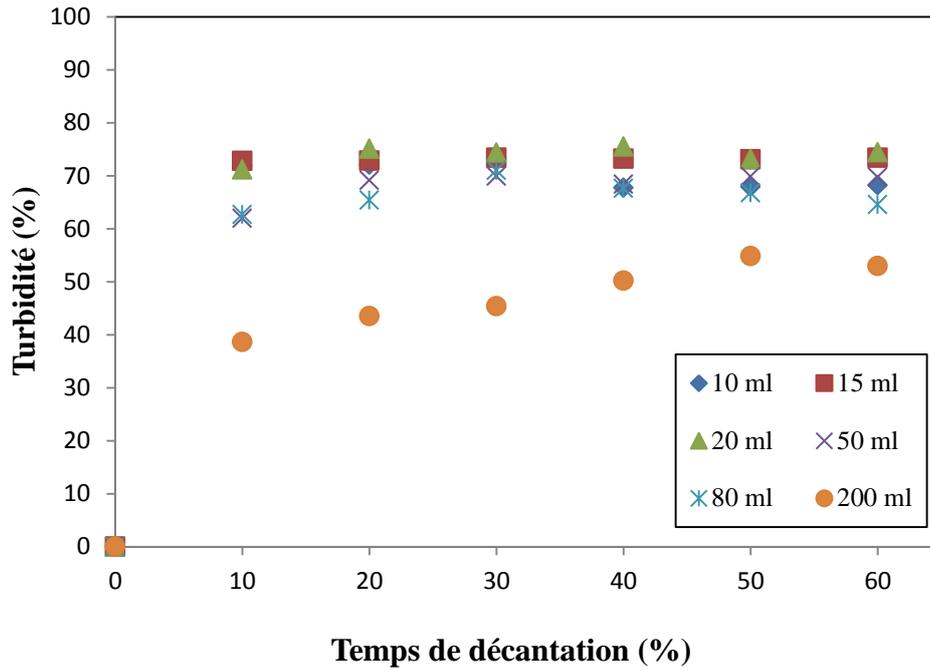


Figure III.20 : Effet du volume du floculant naturel (jus de cactus) en présence du $FeCl_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 149$ NTU, $C(FeCl_3) = 250$ mg/L, pH initial = 7, $\kappa = 1.622$ mS/cm

III.7.3. En présence de $Fe_2(SO_4)_3$

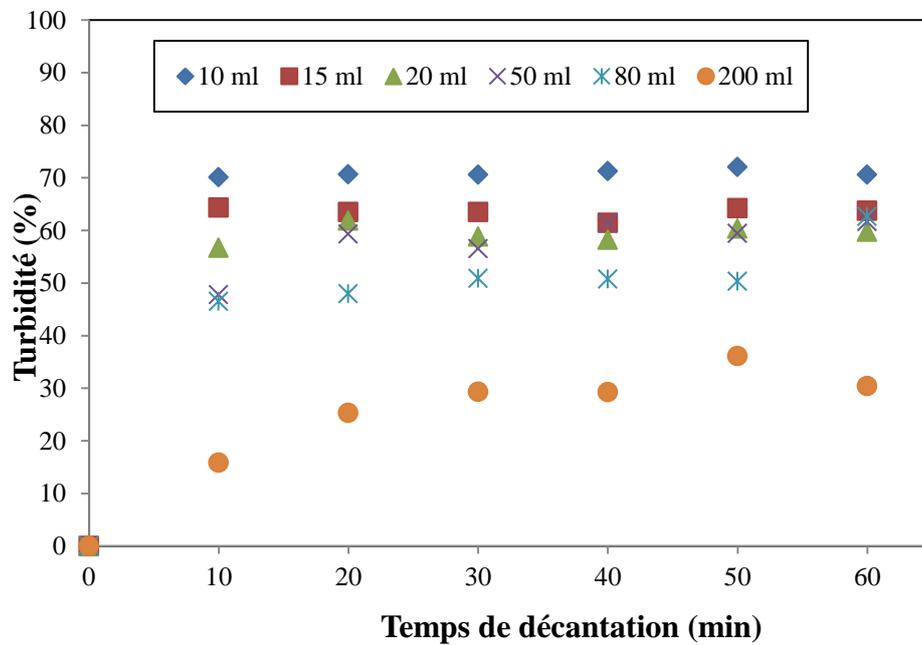


Figure III.21 : Effet du volume du floculant naturel (jus de cactus) en présence du $Fe_2(SO_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 118$ NTU, $C(Fe_2(SO_4)_3) = 400$ mg/L, pH initial = 7, $\kappa = 1.644$ mS/cm

III.7.4. En présence de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)

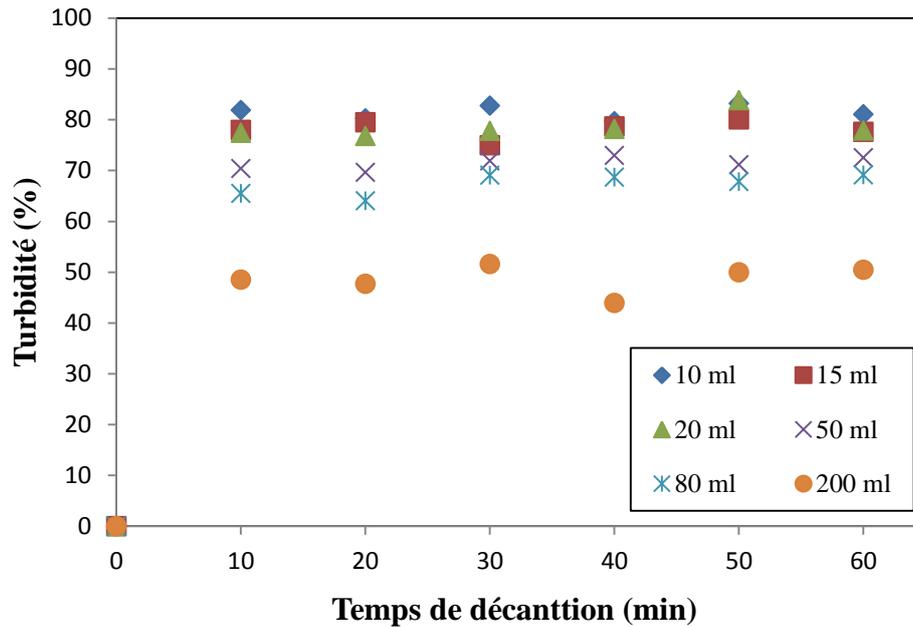


Figure III.22 : Effet du volume du flocculant naturel (jus de cactus) en présence du $AlCl_3$ sur l'élimination de la turbidité : $Turb_i = 135$ NTU, $C(FeCl_3) = 400$ mg/L, pH initial = 10, $\kappa = 1.635$ mS/cm

D'après les figures (III.19 - III.22), on voit que les allures des courbes d'élimination de la turbidité en fonction du volume du flocculant ajouté sont semblables, les figures montrent que le taux d'élimination de la turbidité diminue avec l'augmentation du volume ajouté de l'OFI. Les résultats obtenus pour les volumes **10, 15 et 20 ml** sont proches.

a) Sulfate d'aluminium

Le meilleur résultat a été enregistré par l'ajout de **10 ml** de l'OFI avec un abattement de la turbidité de **75.92 %** après 50 min de décantation.

Les résultats montrent qu'un ajout de **10 ml** du jus de cactus a augmenté considérablement l'élimination de la turbidité, de **58.21 %** à **75.92 %**, soit **17.7 %** de plus.

b) Chlorure ferrique

Le meilleur résultat a été enregistré par l'ajout de **20 ml** de l'OFI avec un abattement de la turbidité de **75.50 %** après 40 min de décantation.

Les résultats montrent qu'un ajout de **20 ml** du jus de cactus a diminué l'élimination de la turbidité, de **79.61 %** à **75.50 %**, soit **4.1 %** de moins.

c) Sulfate ferrique

Le meilleur résultat a été enregistré par l'ajout de **10 ml** de l'OFI avec un abattement de la turbidité de **72.03 %** après 50 min de décantation.

Les résultats montrent qu'un ajout de **10 ml** du jus de cactus a diminué l'élimination de la turbidité, de **82.41 %** à **72.03 %**, soit **10.4 %** de moins.

d) Chlorure d'aluminium

Le meilleur résultat a été enregistré par l'ajout de **20 ml** de l'OFI avec un abattement de la turbidité de **82.85 %** après 50 min de décantation.

Les résultats montrent qu'un ajout de **20 ml** du jus de cactus a augmenté considérablement l'élimination de la turbidité, de **68.61 %** à **82.85 %**, soit **14.24 %** de plus.

En conclusion, nous pouvons dire que l'utilisation de flocculant de jus de cactus (OFI) a augmenté considérablement le taux d'élimination de la turbidité avec les coagulants *sulfate d'aluminium et le chlorure d'aluminium*, le meilleur résultat a été enregistré par $AlCl_3$ avec un abattement de la turbidité de **82.85 %** après 50 min de décantation. Mais il est à signaler que l'utilisation de flocculant de jus de cactus (OFI) avec les coagulants *chlorure ferrique et sulfate ferrique* a diminué le taux d'élimination de la turbidité.

III.8. Influence de la pré-chloration sur la coagulation floculation

Avant d'entamer l'essai de coagulation-floculation des eaux brutes, il faut d'abord déterminer la dose de chlore à introduire par un protocole expérimentale de la demande en chlore.

➤ Résultats de détermination de la dose de chlore à introduire en Pré-chloration

Les résultats de la détermination de la dose de chlore à introduire en Pré-chloration sont présentés dans le tableau suivant :

Echantillons	01	02	03	04	05	06	07
Cl ₂ introduit (mg/l)	1	3	5	8	10	12	15
Cl ₂ libre (mg/l)	0	0	0	0	0.2	0.8	4

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que : la demande en chlore après deux heures, pour obtenir un résiduel de chlore libre de 0,8 mg/l est 12 mg/l.

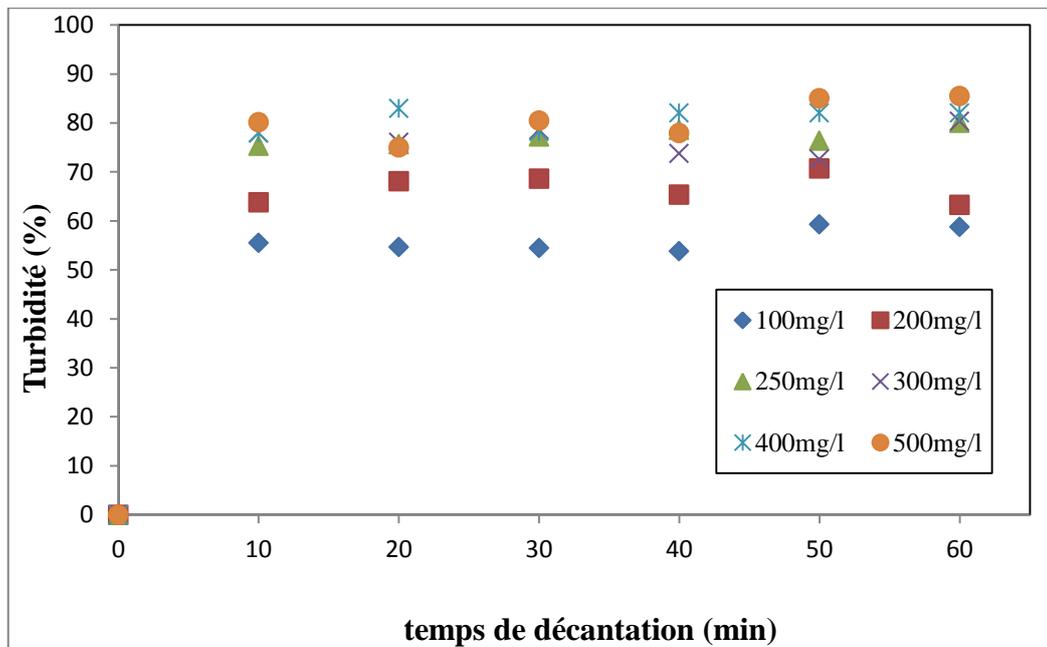


Figure III.23 : Effet de la dose du coagulant et de la pré-chloration en présence du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur l'élimination de la turbidité : $\text{Turb}_i = 58 \text{ NTU}$, $\text{pH initial} = 7,4$, $\kappa = 1,684 \text{ mS/cm}$

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

Pour une dose de 15 mg/l de chlore, Le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant. La dose optimale de coagulant à ajouter est de 500 mg/l, pour avoir un taux maximal de 85,50 % après 60 min de décantation.

La comparaison des résultats des essais avec et sans pré chloration (figure III.3 et III.23) montre que la pré-chloration favorise une meilleure élimination de la turbidité, le rendement d'élimination de la turbidité s'améliore puisqu'une fraction des colloïdes correspondant aux bactéries est déstabilisée par inactivation de ces microorganismes (Bentaleb, 2021).

III.9. Influence de la qualité de l'eau brute

La variation de la qualité de l'eau brute est un paramètre à prendre en compte. La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant 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.

Les essais « Jar-Test » ont été réalisés sur des prélèvements d'eau brute de différentes caractéristiques physico-chimiques (figure II.4 et tableau II.3). Les résultats obtenus sont les suivants.

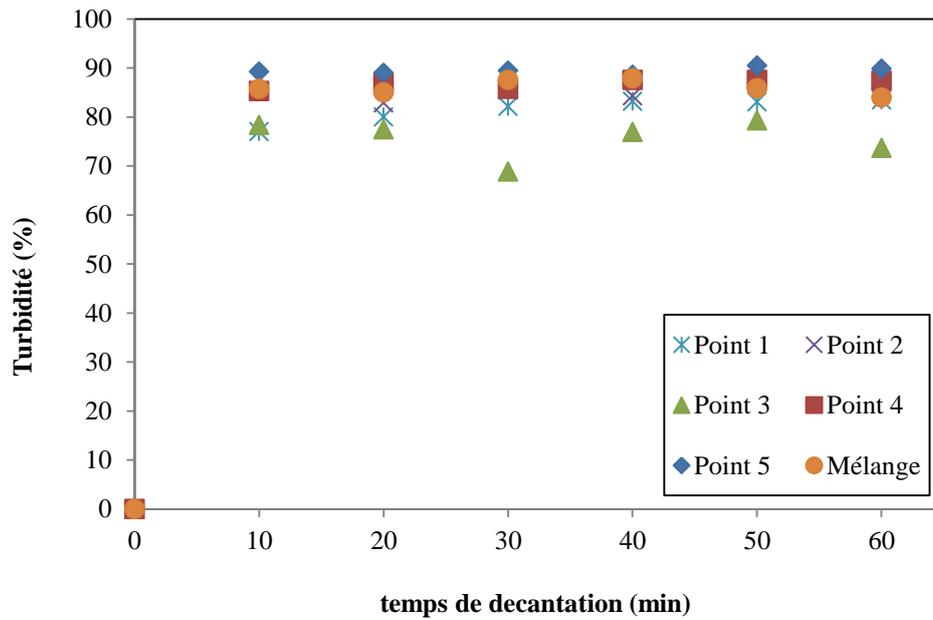


Figure III.24 : Effet de la qualité de l’eau brute en présence de (SA) sur l’élimination de la turbidité : C (SA) = 400 mg/L, C flocculant anionique = 50 mg/L, Turb pt 1 = 74 NTU, Turb pt 2 = 107 NTU, Turb pt 3 = 100 NTU, Turb pt 4 = 115 NTU, Turb pt 5 = 201 NTU, Turb de mélange = 109 NTU

Les résultats montrent que le procédé fonctionne avec un bon rendement d’élimination de la turbidité (> 79 %) pour toutes les eaux brutes après 50 min de décantation.

III.10. Qualité physico-chimique d’eau traitée après l’optimisation des paramètres

Les résultats de la qualité physico-chimique d’eau traitée après l’optimisation aux doses optimales obtenus, sont illustrés dans les figures ci-après :

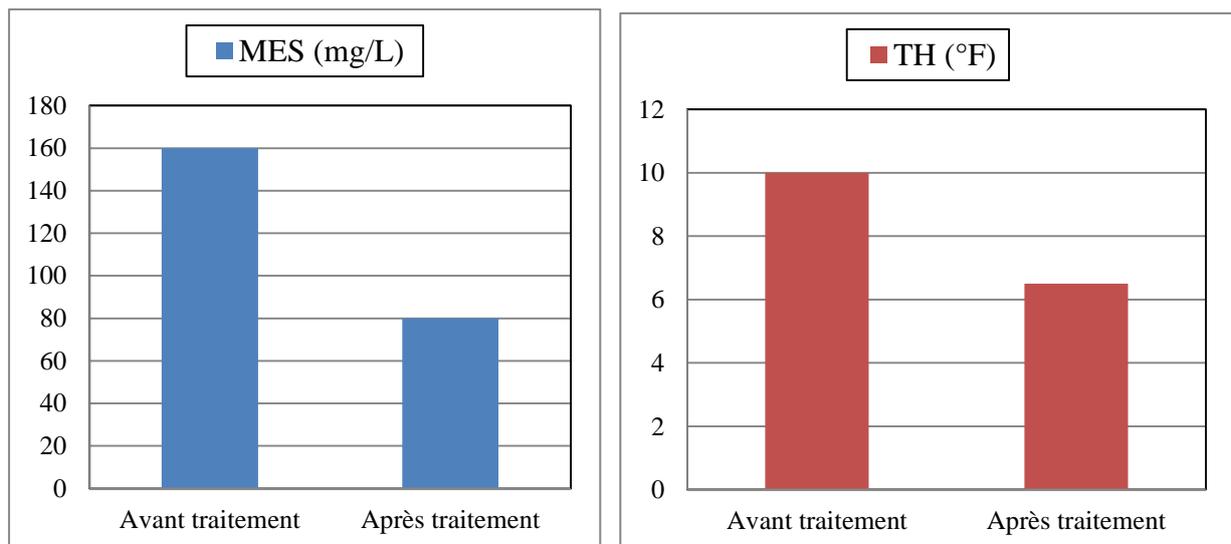


Figure III.25 : Evaluation de la qualité physico-chimique de l’eau traitée par le sulfate d’aluminium ($C_{SA} = 400$ mg/L) et le polyélectrolytes anionique ($C_{PA} = 50$ mg/L)

Les résultats obtenus de l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau traitée par sulfate d'aluminium (dose optimale) et le polyélectrolytes anionique ont montrés que il y a une très grande amélioration de la qualité des eaux pour tous les paramètres commençant par la turbidité ; elle est diminué de 42,9 à 6,83 pour l'eau traitée après 10 min de décantation (figure III.11) ; jusqu'au la matière en suspension (de 160 pour l'eau brute à 80 mg/l) et la dureté totale (de 10 pour l'eau brute à 6,5 °F).

III.11. Conclusion partielle

Une série d'expériences a été réalisée afin de trouver les effets des paramètres influençant le procédé de coagulation-floculation, pour le traitement d'une eau de surface (barrage Ain zada).

Nos résultats soulignent l'opportunité d'appliquer cette technique pour un abattement efficace de la turbidité pour toutes les eaux brutes (> 79 %). les coagulants tels que ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3) ont montré une bonne efficacité d'élimination de la turbidité, mais le pH initial doit ajuster dans la gamme optimale afin d'avoir une efficacité maximale de dépollution et de respecter les normes de rejets.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le processus de coagulation-floculation a fait apparaître divers mécanismes, souvent complexes et dépendant fortement du pH de l'eau à traiter. En outre, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à optimiser cette étape pour un meilleur abattement des polluants, notamment organiques. Certains ont porté leur choix sur l'amélioration des performances des réactifs coagulants et adjuvants de floculation (coagulants pré-hydroxylés minéraux, polymères organiques,...). Mais la plupart des travaux s'accordent à conclure que l'optimisation et l'ajustement de paramètres physico-chimiques de l'eau ou du dosage du coagulant peuvent conduire à une floculation et une élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une *turbidité* ou une *couleur* indésirables. Il s'agit de matières organiques aussi bien que minérales.

L'étude expérimentale que nous avons menée a été consacrée à l'élimination, par coagulation-floculation, la turbidité, la dureté et les MES existants dans l'eau de surface de barrage Ain Zada. Les résultats des essais selon le protocole de Jar teste ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La vitesse d'agitation pour la coagulation doit être rapide en un temps de mélange très court (150 tr/ min - 2 minutes).
- La vitesse d'agitation de floculation doit être lente en un temps de mélange moyen (30 tr/min - 20 min).
- Le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ est le coagulant le plus performant en termes d'élimination de la turbidité avec une dose optimale de 400 mg/L, pour avoir un taux maximal de **82.41 %** après 50 min de décantation.
- La valeur du pH optimale varié en fonction de la concentration et le type du coagulant, le pH initial doit être ajusté dans la gamme optimale afin d'avoir une efficacité maximale de dépollution et de respecter les normes de rejets.
- L'utilisation de flocculant polyélectrolytes anionique a augmenté considérablement le taux d'élimination de la turbidité avec les quatre coagulants, le meilleur résultat a été enregistré par FeCl_3 avec un abattement de la turbidité de **90.82 %**. Le taux observé en absence du flocculant est de **79.61 %**.
- L'utilisation de flocculant charbon actif en poudre (CAP) a augmenté considérablement le taux d'élimination de la turbidité avec les quatre coagulants, le meilleur résultat a été enregistré par AlCl_3 avec un abattement de la turbidité de **91.09 %**. Le taux observé en absence du flocculant est de **68.61 %**.

- L'utilisation de flocculant de jus de cactus (OFI) a augmenté considérablement le taux d'élimination de la turbidité avec les coagulants *sulfate d'aluminium et le chlorure d'aluminium*, le meilleur résultat a été enregistré par AlCl_3 avec un abattement de la turbidité de **82.85 %**, mais il est à signaler que l'utilisation de jus de cactus (OFI) avec les coagulants *chlorure ferrique et sulfate ferrique* diminué le taux d'élimination de la turbidité.
- La combinaison coagulant/flocculant naturel est une très bonne alternative au coagulant/flocculant synthétique dans le traitement des eaux chargées en MES. Cette efficacité du coagulant naturel de l'OFI avec les sels d'aluminium encourage le besoin d'explorer l'intensification de l'étude, de l'échelle du laboratoire à des installations pilotes, et éventuellement à des niveaux industriels. Leur utilisation peut réduire l'emploi de flocculants synthétiques, car ils sont aussi efficaces que leurs homologues chimiques.
- La comparaison des résultats des essais avec et sans pré chloration en présence de sulfate d'aluminium montre que la pré-chloration favorise une meilleure élimination de la turbidité avec un taux de **85.50 %** avec une dose du coagulant de 500 mg/L contre **58.21 %** avec une dose du coagulant de 400 mg/L.
- Concernant l'effet de la qualité de l'eau brute, les résultats montrent que le procédé fonctionne avec un bon rendement d'élimination de la turbidité (**> 79 %**) pour toutes les eaux brutes.
- Les résultats obtenus de l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau traitée par sulfate d'aluminium (400 mg/L) et le polyélectrolytes anionique (50 mg/L) ont montrés que il y a une très grande amélioration de la qualité des eaux pour tous les paramètres commençant par la turbidité ; elle est diminué de 42,9 à 6,83 pour l'eau traitée ; jusqu'au la matière en suspension (de 0,16 pour l'eau brute à 0,08 mg/l) et la dureté totale (de 10 pour l'eau brute à 6,5 °F).

A titre de **perspectives**, d'autres travaux peuvent être envisagés :

- L'étude d'autres paramètres influençant le procédé est intéressante pour l'amélioration de ce traitement.
- Etude comparative avec d'autres techniques de traitement telles que, l'électrocoagulation, l'adsorption ...
- Etude d'autres coagulants et flocculants naturels (chaux, bentonite, alginates...) et un flocculant cationique et non ionique.
- Etude du couplage électrocoagulation et coagulation-floculation.

Références bibliographiques

- Adjeroud N. (2017).** Traitement des eaux usées par la technique d'Electro-coagulation - Electroflottation. Etude de l'extrait aqueux des raquettes de la plante: *Opuntia ficus indica*. Thèse de Doctorat, Université de Bejaia.
- Amirtharajah A., & Mills K. M. (1982).** Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. *Journal - American Water Works Association*, 74(4), 210–216. doi:10.1002/j.1551-8833.1982.tb04890.x.
- Bagnouls F. & Gausson H. (1957).** Les climats biologiques et leurs classifications. *Annales de Géographie*, 66,193-220.
- Belhaddad H. (2018).** Modélisation des écoulements à travers la digue du barrage Ain Zada., Thèse doctorat.
- Belkheir M. (2016).** Etude de stabilité d'un barrage en terre à zones Cas barrage AIN ZADA, B.B. Arreridj. Mémoire de Master. Université de M'sila.
- Bentaleb R. (2021).** Optimisation du procédé de coagulation –floculation des eaux de surface cas de station de traitement Boudouaou- Boumerdes., mémoire Licence professionnelle.
- Chafi M., Gourich B., Essadki A.H., Vial C. & Fabregat A. (2011).** “Comparison of electrocoagulation using iron and aluminium electrodes with chemical coagulation for the removal of a highly soluble acid dye”, *Desalination*, 281, 285-292.
- Chennafi B. & Doaudi A. (2021).** Traitement des Eaux de Surface du Barrage El K'sob par Coagulation Floculation., mémoire de Master.
- Dihang D. (2007).** Mécanismes de coagulation et floculation des suspensions d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux, Doctorat de l'université Paul Sabatier.
- Marouf K. (2018).** Traitement des effluents industriels de textile par coagulation – floculation., mémoire de Master.
- Mebarkia A. (2011).** Etudes des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de ain zada wilaya de bordj Bou Arreridj. (nord-est algérien)., Mémoire de Magister.
- Rodier J. (2005).** Analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduelle, eau de mer, analyse physico-chimiques, bactériologiques. 8eme Ed. Dunode, Paris. PP 111-1232.

Tiaiba M., Merzouk B. & Mazour M. (2018). Jean P. Leclerc and François Lopicque, Study of chemical coagulation conditions for a disperse red dye removal from aqueous solutions, Membrane Water Treatment, Vol. 9, No. 1, 9-15.

Verma A.K., Dash R.R. & Bhunia P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. Journal of Environmental Management, (93) 154-168.

Verma A.K., Bhunia P. & Dash R.R. (2014). Chemical coagulation and sonolysis for total aromatic amines removal from anaerobically pre-treated textile wastewater: A comparative study. Adv. Environ. Res., 3 (4), 293-306.

YAKOUBI M. (2016). Etude comparative entre coagulation-floculation et électrocoagulation-électroflottation, mémoire de Master.

ملخص

في هذه الدراسة، استخدمنا تقنية التخثر - التلبد لمعالجة المياه السطحية (سد عين زاده)، ويتم تطبيق هذه التقنية لدراسة تأثير بعض معاملات التشغيل، مثل سرعة ووقت التحريك، وقت الترسب، نوع و جرعة المادة المخثرة، الكلور المسبق، نوعية المياه الخام، ودرجة الحموضة الأولية. بالإضافة إلى اختبار ومعرفة تأثير إضافة مادة الندف الطبيعي المستخرجة من ورقة الصبار (التين الشوكي) على أداء هذه التقنية.

يتم مراقبة فعالية هذه التقنية عن طريق قياس العكارة والمواد الصلبة العالقة وصلابة الماء. لوحظت معدلات ازالة تبلغ 84.08 و 50 و 35% للعكارة والمواد الصلبة العالقة والصلابة على التوالي، عندما تكون جرعة المخثر سلفات الألمنيوم 400 مغ/لتر، تكون جرعة الندف = 50 مغ/لتر.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن التخثر والتلبد هي تقنية جيدة جدا لتصفية المياه السطحية.

الكلمات المفتاحية : التخثر-التلبد، الترسب، العكارة، Jar test، التين الشوكي.

Résumé

Dans la présente étude, nous avons utilisé la technique de coagulation-floculation pour le traitement des eaux de surface (barrage Ain Zada), Cette technique est appliquée pour étudier l'effet de certains paramètres opératoires, tels que la vitesse et le temps d'agitation, le temps de décantation, la dose et le type du coagulant et flocculant, la pré-chlorination, la qualité de l'eau brute et le pH initial. En plus, de tester et de voir l'impact de l'ajout d'un flocculant naturel extrait à partir de la raquette de cactus (Figuier de Barbarie : *Opuntia Ficus Indica*) sur les performances de cette technique.

L'efficacité de la technique est suivie en mesurant la turbidité, les matières en suspension et la dureté de l'eau. Des taux de réduction de 84.08, 50 et 35 % pour la turbidité, les matières en suspension et la dureté respectivement ont été observés, lorsque la dose du coagulant $C_{Al_2(SO_4)_3} = 400$ mg/L, la dose du flocculant $C_{Polyélectrolytes\ anionique} = 50$ mg/L.

Les résultats obtenus montrent que la coagulation-floculation est une très bonne technique pour la clarification des eaux de surface.

Mots clés : Coagulation-floculation, décantation, Jar test, Turbidité, Matières en suspension, OFI.

Abstract

In the present study, we used the coagulation-flocculation technique for the treatment of surface water (Ain Zada dam). This technique is applied to study the effect of certain operating parameters, such as stirring speed and stirring time, settling time, dose and type of coagulant and flocculant, pre-chlorination, raw water quality and initial pH. In addition, to test and see the impact of adding a natural flocculant extracted from the cactus racket (Prickly Pear: *Opuntia Ficus Indica*) on the performance of this technique.

The efficiency of the technique is monitored by measuring turbidity, suspended solids and water hardness. Reduction rates of 84.08, 50 and 35% for turbidity, suspended solids and hardness respectively were observed, when the dose of coagulant $C_{Al_2(SO_4)_3} = 400$ mg/L, the dose of flocculant $C_{Anionic\ polyelectrolytes} = 50$ mg/L.

The results obtained show that coagulation-flocculation is an excellent technique for clarifying surface waters.

Keywords: Coagulation-floculation, Sedimentation, Jar test, Turbidity, suspended solids, OFI.