

N° d'ordre :

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU

Faculté des Sciences
Département de Chimie



Domaine : **Science de la matière**
Filière : **Chimie**
Spécialité : **Chimie de l'Environnement**

Mémoire de Master

Thème

**Étude comparative et économique des coagulants Sulfate
d'Alumine et Chlorure Ferrique lors du traitement de
l'eau du barrage TAKSEBT par coagulation-floculation**

Présenté par :
ALLACHE Said

KARI Saida

Soutenu publiquement, le 06 / 07 / 2023, devant le Jury composé de :

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

Session 2022 / 2023

Remerciment

Le présent travail a été réalisé au sein du laboratoire de la station de traitement TAKSEBT de TIZI-OUZOU (SEAAL).

Nous devons premièrement exprimer notre respect et reconnaissance à notre promotrice M^{me} FERRAG Fatiha, Maitre de conférences (A) à l'université de Tizi-Ouzou, qui a acceptée de nous encadrer et qui a proposé la thématique réalisée. On vous remercie infiniment pour votre suivi, soutien et vos conseils, merci encore pour votre disponibilité à tout moment. Nos remerciements ne seront jamais à la hauteur de votre présence et travail avec nous.

Nos vifs remerciements s'adressent également au personnel de la station TAKSEBT de Tizi-Ouzou, en particulier M^{me} CHIKHI Akila la responsable du laboratoire à la station pour l'intérêt que vous nous avez donné, également aux cadres d'analyses du laboratoire M^r HADDADI, M^{me} KHALI, M^{lle} BACHI, pour leur disponibilité, conseils ainsi que leurs attentions durant le long de notre travail.

Nos remerciements s'adressent aux membres du jury d'avoir accepter d'être présent pour notre soutenance.

On remercie M^{me} ALI Oumessaad Maitre de conférences (B) à l'UMMTO, pour l'honneur qu'elle nous a fait de présider le jury de notre soutenance.

On tient à remercier également M^{me} OUAMROUCHE Amel Maitre assistante (A) à l'UMMTO, d'avoir acceptée d'examiner notre travail.

Nous remercions infiniment et chaleureusement nos familles qui nous ont soutenu, encourager à la contribution de notre travail. On ne vous remerciera jamais assez.

Nos sincères et profonds remerciements, reconnaissance à nos ami(e)s, et tous ceux et celles qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

Dédicaces

Avec toute mon affection, je tiens à dédier ce travail d'abord à ma petite famille, et à toutes personnes qui m'ont aidées de loin ou de près.

À la mémoire de ma grand-mère Baya, si tu étais là tu serais fier de celle que ta petite fille est devenue.

À celle qui m'a élevée et s'est beaucoup sacrifié afin de me voir réussir, à celle qui me rend heureuse et qui m'a toujours encouragé à aller de l'avant, ma joie, mon bonheur ma moitié ma mère.

À mon roi, l'être sans lequel je ne peux avancer, à mon papa, qui m'a tant offert de l'amour, de l'affection, du soutien et de tout ce qui est en ma faveur, tu es mon pilier papa.

À mon seul et unique frère Ahmed, je tiens à remercier dieu pour ta présence dans ma vie tu es mon exemple, grâce à toi que j'ai pu acquérir beaucoup de choses dans la vie, merci à toi mon grand frère.

À mes trois sœurs adorées, Kayssa, Dihia et ma petite sœur Tinhinane, vous étiez et vous serez ma force dans la vie, merci pour tout l'amour et l'affection que vous m'offrez. Je dédie ce travail en particulier à ma grande sœur Kayssa, qui m'a aidée durant tout mon parcours, et que grâce à elle j'ai pu aimer ce domaine, merci Kayssa.

À mon petit neveu Ghiles, mon ange adoré, ta présence remplit notre vie de joie et d'amour, un jour tu deviendras notre fierté.

À mes copines d'amour, Cylina et Nadia, malgré que vous soyez loin mais vous êtes toujours proche de moi, vous n'avez jamais cessé de m'encourager et me soutenir, on va se réunir un jour.

À ma copine, Bahla, Souhila pour ta présence dans ma vie, ton soutien et ton encouragement.

À mes très chères Hassina et Yasmina, ce qui nous a réunis est plus est plus grand qu'une amitié, je ne vous remercierai jamais assez

Aux membres de ma familles, cousins et cousines.

À tous mes ami(e)s : Lila, Amel, Tina, Kahina, Lina, Liza, Lila, Lilia, Dardy, Kader, Melissa....

À toute la promotion chimie de l'environnement 2022/2023.

À mon cher binôme et ami Said, pour ta présence, ton soutien, ton encouragement, je ne te remercierai jamais assez.

Saida

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma famille ;

À mon père, toi qui as toujours crus en moi le long de mes parcours que ce soit académique ou professionnel, mon guide et modèle le long de ma vie, toi qui m'as appris la patience et les meilleures valeurs de la vie, que dieu t'accorde une longue pour les succès de ton fils.

À toi ma mère, source de bonne éducation, d'affection, tu es mon courage, pour toi que je me bats dans cette vie, que dieu te gardes pour moi, merci pour ton soutien dans les hauts et les bas, les mots ne suffisent pas pour te remercier ma chère mère.

Aux étoiles qui embellissent mon ciel, mes quatre piliers Zina, Damia, Thiziri et Ania je ne vous remercierais jamais assez pour votre soutien, conseils et encouragement, pour votre sagesse inspirante, vous qui me poussiez toujours à y aller de l'avant. Que dieu vous garde pour moi. Que notre fraternité soit soudée à jamais.

À mes beaux-frères, Omar, Aziz et Hamza merci pour vos encouragements et soutiens.

À toi Mouhand, qui m'a fait aimer la chimie, merci infiniment pour tous ces jours et nuits passées à m'expliquer et préparer mes examens.

À mes très chers neveux Zakaria, Ishak, Mayas, Lilyane, Iliz, Thafath et mes très chères Ania et Elia, vous tous qui remplissez ma vie de joie et d'amour.

À Mouh Atmani, mon fère et ma moitié je te remercie pour l'encouragement et l'accompagnement dans toutes les circonstances de la vie.

À Boujma et Kader merci de m'épauler dans tous mes parcours.

À mes amis Marzouk, Said, Sofiane, Massi... et ceux qui ont été là de près ou de loin.

Hassina merci beaucoup pour ton aide durant mon parcours ainsi pour l'encouragement, Yasmine merci de contribuer à mon soutien.

À toute la promotion chimie de l'environnement 2022/2023.

À ma chère binôme et amie Saida, pour ta présence, ton soutien, ton encouragement, je te remercie chaleureusement pour ce beau parcours.

Said

Sommaire

Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre I : Description du barrage de Taksebt et la station

I.1	Description du barrage de TAKSEBT	4
I.2	Alimentation du barrage TAKSEBT	5
I.2.1	Les eaux de surface	5
I.2.2	Pollution du barrage de TAKSEBT	6
I.3	La station de traitement de TAKSEBT.....	7
I.4	Normes imposées par l’OMS	8
I.4.1	Normes de potabilité.....	8

Chapitre II : Procédé de coagulation-floculation

II.1	Définition du procédé de coagulation-floculation.....	10
II.1.1	La coagulation	10
II.1.2	La floculation.....	11
II.1.3	La décantation.....	11
II.2	Le principe de la coagulation-floculation.....	11
II.3	Les facteurs influençant la coagulation-floculation	11
II.3.1	Influence de la température	12
II.3.2	Influence du pH.....	12
II.3.3	Influence de la turbidité	12
II.3.4	Influence de la dose du coagulant.....	12
II.3.5	Influence de l’agitation	13
II.4	Les coagulants et floculants.....	13
II.4.1	Coagulants	13

II.4.2	Floculants.....	15
II.5	Avantages et inconvénients	16

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1	Chaine de traitement de l'eau du barrage de TAKSEBT.....	18
III.1.1	Ouvrage d'entrée (chambre de dissipation).....	19
III.1.2	Chambre de mélange (injection des réactifs).....	19
III.1.3	Décanteurs	19
III.1.4	Filtres	20
III.1.5	Stockage et désinfection de l'eau traitée	20
III.2	Présentation du laboratoire d'analyse	20
III.3	Matériels utilisés	21
III.4	Produits utilisés.....	22
III.5	Dispositif expérimental.....	22
III.5.1	Coagulation floculation avec $FeCl_3$ et le polymère synthétique	24
III.5.2	Coagulation-floculation avec $Al_2(SO_4)_3$ et le polymère synthétique.....	24
III.6	Analyse du fer résiduel.....	24
III.7	Analyse de l'aluminium résiduel.....	25

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1	Étude des paramètres physico-chimique de l'eau traitée par coagulation-floculation .	28
IV.1.1	Effet de la concentration en coagulant $FeCl_3$ durant la période hivernale	28
IV.1.2	Effet de la concentration en floculant durant la période hivernale	30
IV.1.3	Effet de la concentration en $FeCl_3$ durant la période Mai-Septembre	32
IV.1.4	Effet de la concentration en polymère pendant la période Mai-Septembre.....	35
IV.1.5	Effet de la concentration en $Al_2(SO_4)_3$ durant la période hivernale.....	37
IV.1.6	Effet de la concentration en polymère durant la période hivernale	40
IV.1.7	Effets de la concentration en $Al_2(SO_4)_3$ durant la période Mai-Septembre	43
IV.2	Coût de revient des coagulants pour la station de traitement Taksebt	45

IV.2.1	Coût du sulfate d'alumine	46
IV.2.2	Coût du chlorure ferrique.....	46
	Conclusion générale.....	49

Liste des figures

Figure 1 : Barrage TAKSEBT	4
Figure 2 : Station de traitement TAKSEBT	7
Figure 3 : Mécanisme de formation des floes	11
Figure 4 : Quelques coagulants naturels.....	15
Figure 5 : Chaine de traitement d'une station de traitement de l'eau potable	18
Figure 6 : Laboratoire d'analyse de la station SEAAAL de TAKSEBT	20
Figure 7 : Matériels utilisés.....	21
Figure 8 : Jar-test Lovibond à 6 béchers	22
Figure 9 : Décantation et filtration de l'eau.....	23
Figure 10 : Dosage du Fer	25
Figure 11 : Dosage de l'Aluminium.....	26
Figure 12 : Concentration en fer résiduel en fonction des doses du coagulants	30
Figure 13 : Concentration en fer résiduel en fonction de la dose du floculant	32
Figure 14 : Concentration en fer résiduel en fonction de la dose du coagulant.....	34
Figure 15 : Concentration en fer résiduel en fonction des doses en floculant.....	36
Figure 16 : Évolution de la concentration en aluminium résiduel en fonction des doses de coagulant.....	39
Figure 17 : Évolution de la concentration en aluminium résiduel en fonction des doses de floculant	42
Figure 18 : Évolution de la concentration en aluminium résiduel en fonction des doses du coagulant.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Normes OMS et Algériennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques appliquées pour les eaux du barrage TAKSEBT.....	8
Tableau 2 : Zone du pH pour la prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium	12
Tableau 3 : Avantages et inconvénients des coagulants FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ [36]	16
Tableau 4 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute	28
Tableau 5 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau après traitement.....	29
Tableau 6 : Valeurs physico-chimiques de l'eau brute	31
Tableau 7 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau après traitement	31
Tableau 8 : Valeurs d'analyse physico-chimique de l'eau brute.....	33
Tableau 9 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement	33
Tableau 10 : Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau brute.....	35
Tableau 11 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement	35
Tableau 12 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute	37
Tableau 13 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement	38
Tableau 14 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute	40
Tableau 15 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement	41
Tableau 16 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute	43
Tableau 17 : Résultats de l'analyse de l'eau après traitement	44

Liste des abréviations

SEAAL : Station des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.

BV : Bassin Versant.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

pH : potentiel d'Hydrogène.

MES : Matières En Suspension.

Km : Kilomètre.

m³/j : mètre cube par jour.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

g/l : gramme par litre.

UV : UltraViolet.

c-à-d : c'est-à-dire.

nm : nanomètre

tr/min : tour par minute.

ml : millilitre.

μS/cm : Micro Siemens par centimètre.

L'eau est une ressource vitale pour la survie et le développement de toutes les formes de vie sur Terre, elle occupe 72% de la planète. Cette ressource est nécessaire non seulement à notre propre survie, mais également au fonctionnement des écosystèmes et à la croissance des minéraux et des éléments organiques essentiels, c'est l'une des ressources les plus touchées par la pollution. [1]

L'eau est une ressource vitale pour l'homme, mais malheureusement, elle est également soumise à divers types de pollution, tels que : la pollution industrielle, agricole, agriculture, domestique, comme elle peut aussi être accidentelle (le déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème). [2]

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel, les polluants peuvent être transportés par l'eau à toutes les étapes de son cycle [3]. Ces contaminants sont très dangereux pour la vie aquatique et terrestre et, par conséquent, pour les humains qui sont exposés à ces toxines d'une manière ou d'une autre.

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire [4].

La pollution de l'eau est devenue l'un des problèmes les plus préoccupants de la dégradation de l'environnement. Cependant, plusieurs travaux ont été menés afin d'éliminer d'une manière physico-chimique (coagulation-floculation) toute présence de matière polluante, microorganisme, matière en suspension ou autre....

Lors de la clarification des eaux de surface, des coagulants tels que des sels d'aluminium ou de fer sont fréquemment employés. Cependant, si ces produits sont présents dans l'eau sous forme de traces, ils peuvent devenir un danger majeur pour la santé. Les sels d'aluminium du coagulant ont tendance à s'infiltrer dans les cellules cérébrales et à perturber leur fonctionnement. Ce mécanisme peut contribuer au développement de la maladie d'Alzheimer et d'autres maladies comparables [5].

La présence de concentration élevée en fer résiduel dans l'eau risque de nuire aux cellules de la peau et d'entraîner des infections, des rides, l'acné et l'eczéma. Comme

elle a des effets secondaires sur la santé de l'homme, la présence du fer en excessive dans l'eau provoque plusieurs maladies, tels que : Le diabète, Les nausées, Les problèmes d'estomac, l'hémochromatose. [6]

L'objectif de cette étude est l'optimisation des concentrations en coagulants, notamment le chlorure ferrique et le sulfate d'alumine, ainsi que le flocculant polymère SEAAL, lors du traitement de l'eau provenant du barrage Taksebt par coagulation - floculation. L'évolution des concentrations en fer et en aluminium tout au long du processus de traitement est examinée. Ensuite une étude comparative des quantités de coagulants utilisées par la station de traitement du barrage est réalisée afin d'estimer en termes de coût les économies à réaliser après cette étude.

En premier lieu, vient l'étude bibliographique dont le premier chapitre donne un aperçu sur les eaux de surface, la présentation du barrage TAKSEBT et sa station de traitement, le second chapitre présente les notions relatives au procédé de coagulation-floculation et les différents types de coagulant et de flocculant.

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

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

Chapitre I

Le barrage de TAKSEBT et

la station de traitement

L'eau est l'élément naturel indispensable à la vie et à la satisfaction des différents besoins humains. Cependant, l'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient de plus en plus difficile.

L'eau dont nous disposons, notamment les eaux de surface ne sont pas directement prêtes à la consommation, elles subissent une pollution lors de son acheminement ou ruissellement, qui impose un traitement en suivant un certain protocole précis au niveau des stations de traitements des eaux.

I.1 Description du barrage de TAKSEBT

Le barrage de TAKSEBT est un barrage de type remblai, situé dans la région pluviométrique Oued-Aissi dans la wilaya de Tizi-Ouzou, à 10km de l'Est du centre-ville et à 100km de la ville d'Alger



Figure 1 : Barrage TAKSEBT

Le barrage est doté d'une capacité de stockage de 180millions m³, il alimente la wilaya de Tizi-Ouzou, Alger et Boumerdès en eau potable, répartie comme suit :

- 235 000 m³ / j pour Alger ;
- 173 000 m³/j pour Tizi-Ouzou ;
- 60 000 m³/j pour Boumerdès.

I.2 Alimentation du barrage TAKSEBT

La construction du barrage repose essentiellement sur la rivière de Takhoukht et son prolongement, l'Oued-Aissi, au niveau des communes d'Irdjen et Beni Aissi, c'est la source principale de son alimentation. Il est également alimenté par les eaux de pluie, les eaux usées, mais aussi la fonte du manteau neigeux de Djurdjura qui est aussi l'une des plus grandes sources d'alimentation du barrage de TAKSEBT.

L'eau du barrage provient aussi des affluents de l'oued de Sebaou, le projet du transfert des eaux de l'oued vers le barrage TAKSEBT a été mis en service le 24 janvier 2023 afin de renforcer la capacité de ce dernier. [7]

I.2.1 Les eaux de surface

Également appelées « eaux superficielles », les eaux de surface regroupent l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes en contact direct avec l'atmosphère. Ces eaux peuvent être douces, saumâtres ou encore salées selon leur emplacement. [8]

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau-atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau.

Les eaux de surface contiennent :

- Des éléments issus de la dissolution des roches et des terrains traversés, qui sont responsables du pH et de la conductivité.
- Les matières en suspension, sont diverses comme les particules colloïdales, éléments entraînés par les rivières ;
- Les matières organiques d'origine naturelles provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux, des rejets industriels ou urbains ;

Les eaux de surface sont parfois le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton, surtout dans les cas d'eutrophisation. Certains de ces organismes peuvent sécréter des produits sapides et odorants ou des toxines. [9]

➤ **Pollution des eaux de surface**

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement et sont toujours plus au moins polluées par divers rejets :

- D'origine urbaine : les rejets provenant de la collecte des eaux résiduaires urbaines, même après leur traitement en station d'épuration ;
- D'origine industrielle : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniac, produits toxiques),
- D'origine agricole : engrais et produits pesticides (herbicides, insecticides, fongicides), entraînés par les eaux de pluie et le ruissellement ; dans les zones d'élevage intensif, rejets riches en composés de l'azote et du phosphore ainsi qu'en pollution organique,
- Pollution bactériologique d'origines humaine et animale [10].

I.2.2 Pollution du barrage de TAKSEBT

Les eaux du barrage étant des eaux de surface sont exposées à différentes sources de pollution notamment ; l'agriculture, l'industrie, l'urbanisme et la pollution naturelle.

Le bassin versant du barrage de TAKSEBT n'est pas vraiment touché par une forte pollution agricole, il n'existe que quelques cultures maraichères (pomme de terre) et des petits élevages.

La pollution industrielle n'est pas vraiment présente dans notre BV industrielle mis à part quelques activités artisanales comme : les bijouteries, les huileries, les lavage-graissages.

La pollution urbaine, n'arrive pas dans le barrage vu le faible débit des rejets domestiques et la nature du terrain et son boisement qui favorisent l'infiltration et l'autoépuration.

La pollution peut dans certaines circonstances être causée par divers phénomènes naturels, soit le cas d'eutrophisation des eaux brutes du Barrage Taksebt durant l'année 2016-2017. [11]

I.3 La station de traitement de TAKSEBT

La station TAKSEBT, mise en service en juillet 2008, par SNC LAVALIN / DEGREMONT jusqu'en 2013. Elle a été reprise en gestion par SEAAL le 18 juillet 2013 et est désormais le plus important ouvrage de traitement d'eau géré par la SEAAL. Elle assure l'approvisionnement de trois wilayas, Alger, Boumerdes, et Tizi- Ouzou.

Cette station, est située dans la wilaya de Tizi-Ouzou environ 8 km du barrage, elle a été dimensionnée pour traiter un débit d'eau maximal de 616 000 m³/ J. L'eau qui alimente la station de pompage vers la station de traitement arrive d'une manière gravitaire du barrage TAKSEBT qui est alimenté à son tour par l'Oued-Aissi et de l'oued Bougdoura. Par la suite cette eau subit différentes étapes de traitement (physico- chimique ou bactériologique) de l'entrée de l'eau jusqu'à sa sortie.

La station de traitement des eaux TAKSEBT a pour but de transférer l'eau potable aux réservoirs et ADE afin qu'elle soit distribuée aux consommateurs.

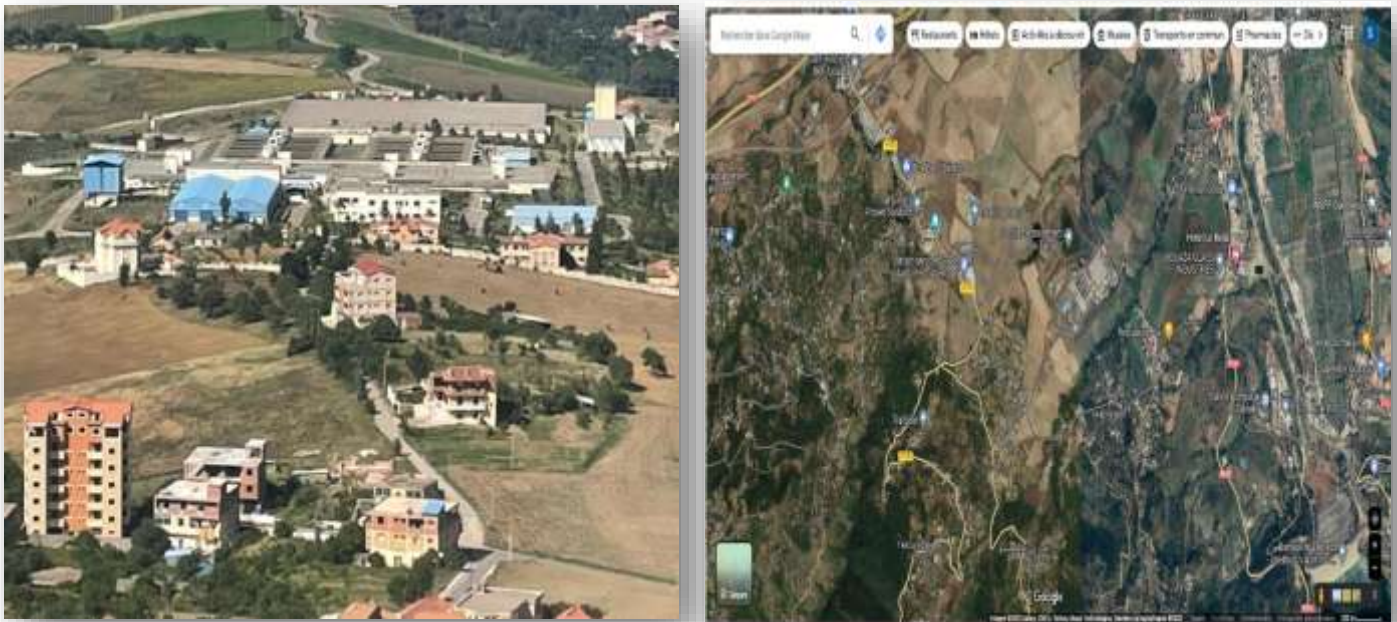


Figure 2 : Station de traitement TAKSEBT

I.4 Normes imposées par l'OMS

I.4.1 Normes de potabilité

L'eau potable est une eau qui répond à un certain nombre de caractéristiques qui la rendent propre à la consommation humaine.

Cette potabilité est indiquée par des valeurs guides, destinées à fournir aux consommateurs une eau ne présentant pas de risque pour la santé, une eau de mauvaise qualité étant souvent causée par une contamination chimique ou bactérienne [12].

Afin de déterminer la potabilité de l'eau traitée du barrage de TAKSEBT, les valeurs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques devaient être conformes aux normes algériennes et de l'Organisation Mondiale de la Santé. [13]

Tableau 1 : Normes OMS et Algériennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques appliquées pour les eaux du barrage TAKSEBT

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

Chapitre II

Procédé de coagulation-floculation

La turbidité et la couleur sont les principaux paramètres d'appréciation visuelle de la qualité d'une eau. La turbidité est due aux particules organiques et inorganiques en suspension ou à l'état colloïdal dans l'eau. Dans les filières de traitement des eaux, la turbidité et la couleur doivent être systématiquement éliminés.

La coagulation floculation est l'un des procédés d'élimination de la couleur et la turbidité c'est à dire l'élimination de matière en suspension (MES). La coagulation consiste à la déstabilisation des colloïdes afin de faciliter leurs agglomérations. Le principal objectif de la floculation est de favoriser le contact entre les particules déstabilisées, à l'aide d'un mélange lent. Ces particules se regroupent pour former des floes qui sont par la suite facilement éliminés par le procédé de décantation et filtration.

II.1 Définition du procédé de coagulation-floculation

La coagulation et la floculation sont des processus indissociables. En effet, la coagulation permet de diminuer les forces de répulsion entre les particules, et la floculation permet la croissance des agrégats et accélère la séparation. [14]

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (matières en suspension) et des colloïdes sous forme de floes dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physico-chimique qui permet d'éliminer les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales. [15]

Le processus de coagulation-floculation élimine 80% des matières en suspension (élimination de la majorité de MES).

II.1.1 La coagulation

Le but de la coagulation est de déstabiliser les particules colloïdales par l'addition d'un réactif chimique, nommé coagulant, ce qui permet aux particules de s'agglomérer et de décanter plus rapidement. Cela demande une forte agitation durant un temps court ou, en d'autres termes, utiliser un gradient de vitesse très élevé. [16]

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût. [17]

II.1.2 La floculation

La floculation est la formation de flocons plus gros (agrégation colloïdale). Pour cela, un floculant ou des floculants sont utilisés. Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente. Les floculants ou auxiliaires de floculation sont pour la plupart des polymères de très haut poids moléculaire. Ils peuvent être de nature minérale ou organique naturelle et organique synthétique. [18]

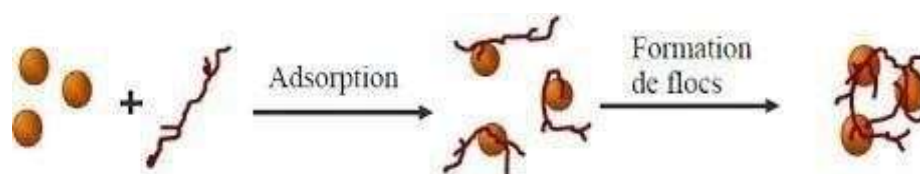


Figure 3 : Mécanisme de formation des floccs

II.1.3 La décantation

C'est un procédé utilisé dans la quasi-totalité des stations d'épuration. En effet, la décantation est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes recueillis en floccs après l'étape de coagulation-floculation. Cette méthode est largement utilisée dans les stations d'épuration et de traitement des eaux [19].

II.2 Le principe de la coagulation-floculation

C'est un ensemble de phénomènes physico-chimiques visant à la déstabilisation des particules chargées négativement appelées colloïdales, par la suite ces dernières s'agglomèrent pour former des floccs qui sont facilement décantés. [14]

Les procédés de coagulation-floculation constituent les méthodes de traitement de base utilisées pour traiter l'eau contaminée par des particules inertes. Ils assurent également l'élimination des organiques macromoléculaires dans la fraction « floculée » de certains métaux lourds, notamment la plupart des acides humiques colorants, et plus généralement la fraction des micropolluants associés à ces matières en suspension et macromolécules colloïdales, parmi lesquelles les virus, sont presque toujours transportés par des solides en suspension et des hydrocolloïdes. [20]

II.3 Les facteurs influençant la coagulation-floculation

Le processus de coagulation-floculation est un processus complexe qui est affecté par de nombreux facteurs. L'efficacité de ce procédé est régie par l'optimisation de plusieurs variables, telles que la température, le pH, le dosage du coagulant, la turbidité et les conditions du mélange qui peuvent avoir un impact significatif. Cependant, il convient de noter que d'autres paramètres sont également importants, tels que la couleur et le potentiel zêta [21].

II.3.1 Influence de la température

Les floccs sont plus difficiles à tasser en hiver lorsque la température avoisine 0°C. De plus, une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité, ce qui rend la décantation des floccs difficile. [22]

II.3.2 Influence du pH

Le pH est l'un des paramètres les plus influents sur la coagulation-floculation. Il est donc recommandé de le garder sous contrôle. Il existe un pH optimum qui permet une meilleure coagulation. Cette valeur de pH se situe généralement dans la plage de moindre solubilité du coagulant utilisé, ce qui entraîne une meilleure précipitation [23]. Les coagulants chimiques utilisés généralement dans la coagulation-floculation sont, les sulfates d'alumine et les chlorures ferriques. La plage de pH qui favorise la formation des hydroxydes de fer et d'aluminium est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Zone du pH pour la prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium

Forme prédominante	pH
Al(OH) ₃	5,8 à 7,2
Fe(OH) ₃	5,5 à 8,3

Pour que la coagulation se produise en dehors de cette plage optimale, soit la quantité de coagulant doit être augmentée, soit une eau de qualité inférieure doit être satisfaite. Généralement, le temps de coagulation est compris entre 15s et 03min. [21]

II.3.3 Influence de la turbidité

La turbidité affecte également le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la dose de coagulant doit être précédée par l'augmentation de la concentration en particules. On peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles, dans le cas où la turbidité de l'eau est trop faible. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation [24].

II.3.4 Influence de la dose du coagulant

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes, donc la dose de réactif est un paramètre essentiel à prendre en considération. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base. Une dose de coagulant excessive entraîne une re-stabilisation de la matière colloïdale et une

augmentation du coût d'exploitation ; tandis qu'un dosage insuffisant conduit à l'obtention d'une mauvaise qualité d'eau.

Bien souvent, la dose de coagulant conditionne le fonctionnement des ouvrages de séparation et il se trouve tout simplement impossible de réaliser la clarification si cette dose est mal ajustée. [25]

II.3.5 Influence de l'agitation

Pour que le coagulant se disperse efficacement et uniformément dans toute la masse d'eau, le processus d'injection doit être effectué avec une vitesse d'agitation élevée. De plus, certaines espèces, en particulier le type polycationique, sont connues pour s'hydrolyser et provoquer une instabilité, entravant ainsi le processus.

Le processus de coagulation nécessite un mélange rapide et puissant de l'eau pour neutraliser efficacement les cations métalliques et les colloïdes. En revanche, le processus de floculation nécessite une vitesse de mélange plus progressive et douce pour faciliter la fusion et l'accumulation des colloïdes, tout en évitant tout dommage aux floes déjà formés.

II.4 Les coagulants et floculants

Les réactifs utilisés en coagulation sont généralement fabriqués à partir de minéraux comme les sels d'aluminium et de fer, tandis que ceux de la floculation sont des polymères fabriqués à partir de matériaux naturels ou synthétiques.

- **Coagulant** : une substance chimique qui cause la déstabilisation des particules.
- **Floculant** : un polymère qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons.

II.4.1 Coagulants

Dans le procédé de coagulation-floculation, on peut ajouter plusieurs agents chimiques. Cependant, les sels minéraux sont les plus utilisés de nos jours comme coagulants.

Les coagulants à base de sel métallique d'aluminium et du fer sont désormais les plus utilisés, et les plus efficaces. [18]

II.4.1.1 Coagulants minéraux

- Sels d'aluminium : sulfate d'aluminium, chlorure d'aluminium, aluminat de sodium, sulfate d'aluminium + chaux, sulfat d'aluminium + carbonate de sodium, polymère d'aluminium : polychlorure basique d'aluminium,

- Sels de fer : chlorure ferrique, chlorure ferrique + chaux, sulfate ferrique, sulfate ferrique + chaux, chlorosulfate ferrique, sulfate ferreux, sulfate ferreux + chlore, sulfate ferreux + chaux
- Autres coagulants minéraux : produits mixtes Al^{3+}/Fe^{3+} , sulfate de cuivre, ozone, chlore...). [26]

II.4.1.2 Coagulants organiques de synthèses

Mélamine formaldéhyde (ou mélamine formol), épichlorhydrine- diméthylamine, polychlorure de diallyldiméthylammonium). [26]

II.4.1.3 Biocoagulant

Les coagulants naturels dit biocoagulants sont des substances naturelles propres pour l'environnement en effet les coagulants chimiques peuvent être remplacés par les coagulants naturels. Parmi les biocoagulants existants on peut citer :

- **Chitosane** : Le chitosane est un polysaccharide linéaire formé d'unités D-glucosamine liées entre elles par des liens glycosidiques et de N-acétyl-N-glucosamine. Le chitosane provient de la désacétylation de la chitine, un composé grandement similaire à la cellulose. [27]
- **Graines de Moringa oleifera (bâton de tambour)** : Les grains de Moringa oleifera contiennent des quantités importantes de protéines solubles dans l'eau, ces dernières agissent de la même manière que les coagulants polymères. [28]
- **Protéines des graines de Cocos** : Les graines de *C. nucifera* contiennent un coagulant à base de protéines appelé caséine. [29]
- **Ocimum basilicum** : *O. basilicum* communément connu sous le nom de basilic, est une herbe aromatique à fleurs cultivée dans les régions tropicales d'Asie, d'Afrique de Centre et l'Amérique du Sud. [30]
- **Protéines des graines de Phaseolus Vulgaris** : Les graines de *P. Vulgaris* constituent une fraction coagulante de type protéine anionique. [31]
- **Graines de mangue (Magnifera indica)** : La mangue est un fruit tropical appartenant à la famille des Anacardiaceae. Il est principalement utilisé comme produit alimentaire, tandis que ses graines sont jetées comme déchet de fruits. Afin de valoriser les graines de mangue jetées, diverses études ont testé leur capacité à éliminer les polluants des eaux usées synthétiques et réelles. [32]

- **Okra (*Abelmoschus esculentus*)** : Les graines de gombo sont considérées comme la partie active potentielle en tant que coagulant et / ou floculant pour l'élimination de la turbidité par rapport aux autres parties de la plante. [32]



Figure 4 : Quelques coagulants naturels

II.4.2 Floculants

II.4.2.1 Floculants de type polymère synthétique

Les polymères synthétiques sont de longues chaînes de petites molécules qui portent une charge électrique. Ces composés sont créés par la polymérisation d'un monomère ionisable ou par ionisation d'un polymère préalablement formé. La synthèse de ces polymères permet leur production en grande quantité avec un haut niveau de pureté et de régularité dans l'enchaînement des monomères. L'importance de ces polyélectrolytes réside dans leur influence sur la croissance des flocons [33].

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

II.4.2.2 Les floculants minéraux

Ce sont des composés colloïdaux qui agissent par adsorption ou neutralisation de charges sur les produits en suspension. Ils comprennent la silice activée ou la silicoalumine. [34]

II.4.2.3 Les floculants naturels

Les floculants naturels les plus répandus sont :

- Amidons : à base de maïs et de pomme de terre ;
- Alginate : tirés des algues et sont de caractère anionique
- Polysaccharides : tirés du fruit du caroubier, non ionique, utilisés en milieu acide.
- Figuier de Barbarie : cactus (*Opuntia ficus indica*) [35].

II.5 Avantages et inconvénients

Comme toutes substances chimiques les coagulants ont des avantages et des inconvénients. Le tableau ci-dessous représente quelques avantages et inconvénients des coagulants $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$:

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des coagulants $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$ [36]

Produits	Avantages	Inconvénients
Chlorure ferrique ou sulfateferrique	<ul style="list-style-type: none"> * Le meilleur pour éliminer les matières organiques * Bas prix * Les concentrations élevées en résidus de fer sont faciles à détecter 	<ul style="list-style-type: none"> * Un mauvais dosage produit une coloration rougeâtre et une concentration élevée en résidus de fer. * La forte concentration en résidus de fer risque de colmater les filtres. * Très acide (le port d'un équipement de protection complet est de rigueur). * Boue inesthétique (brune)
Sulfate d'aluminium	<ul style="list-style-type: none"> *relativement peu coûteux * moins acide (il faut porter un équipement de protection) 	<ul style="list-style-type: none"> * Les erreurs de dosage produisent une grande quantité de résidus d'aluminium, posant un risque potentiel pour la santé. Provoque des maladies tels que l'Alzheimer.

Chapitre III

Méthodes et matériels

Le travail a pour objectif de déterminer la dose minimale du coagulant FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ainsi que du floculant (polymère synthétique), qui permettra d'avoir un abattement optimal en turbidité, en couleur et en fer et aluminium résiduel, et ce en se basant sur les doses utilisées au niveau de la station du traitement du barrage de Taksebt.

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

III.1 Chaîne de traitement de l'eau du barrage de TAKSEBT

L'eau brute qui arrive du barrage subit un traitement éventuel avant son arrivée à la station de pompage d'arrivée. La chaîne de traitement de la station de traitement des eaux TAKSEBT contient :

- Ouvrage d'arrivée ;
- Chambre de mélange ;
- Deux filières de traitement chacune contenant 04 décanteurs et 12 filtres ;
- Stockage et désinfection de l'eau traitée ;
- Traitement des boues.

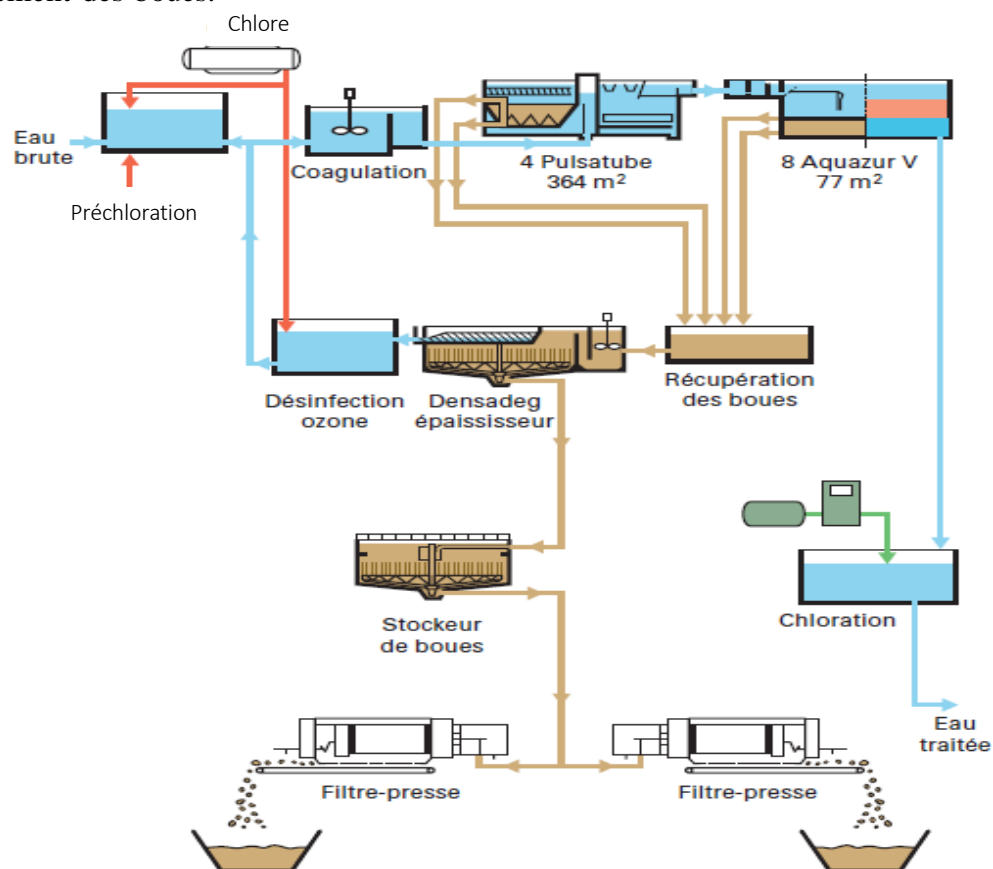


Figure 5 : Chaîne de traitement d'une station de traitement de l'eau potable

III.1.1 Ouvrage d'entrée (chambre de dissipation)

La chambre de dissipation a pour principal but de tranquilliser le débit, assurer une bonne aération et un temps de contact nécessaire en cas d'une pré-chloration. L'injection du chlore gazeux liquéfié, sert à limiter la présence des microorganismes, tels que les algues, les bactéries et les planctons, susceptibles de proliférer dans les filières de traitement.

Dans cette dernière, l'injection d'un coagulant est obligatoire (sulfate d'alumine ou chlorure ferrique) pour faciliter la clarification dans les décanteurs pulsatube.

III.1.2 Chambre de mélange (injection des réactifs)

L'eau brute passe ensuite à travers la chambre de mélange, qui est munie de chicanes afin d'éviter les écoulements préférentiels. Cet ouvrage permet d'assurer un temps de contact suffisant pour homogénéiser le mélange des réactifs injectés. Les réactifs suivants sont injectés dans le sens du flux :

- **Permanganate de potassium** : limite la présence de manganèse, et améliore la qualité organoleptique de l'eau.
- **Charbon actif en poudre** : contrôle le goût et les odeurs.
- **Acide sulfurique** : ajuste le pH (diminution) pour optimiser la coagulation floculation.

Compte tenu de la qualité de l'eau brute du barrage de TAKSEBT, l'injection de permanganate, d'acide sulfurique et du charbon actif en poudre, n'est pas effectuée. Toutefois, les points d'injection sont prévus en cas de détérioration de la qualité de l'eau du barrage avec le temps.

III.1.3 Décanteurs

À la sortie de la chambre de mélange, un polymère est injecté dans les répartiteurs permettant une floculation facile. Cependant, la dose du polymère est déterminée par le «jar test» effectué au laboratoire.

La décantation a pour but de séparer les particules floculées de l'eau clarifiée. Les particules colloïdales ne peuvent-être décantées efficacement que si elles entrent en contact entre elles pour former des floes de plus grande taille. Les décanteurs sont recouverts par une bâche anti UV et étanche afin d'éviter la photosynthèse et la formation des algues. Une partie de MES décantées est conservée au fond de l'ouvrage, formant un lit de boue.

III.14 Filtres

Après décantation, l'eau passe d'une manière gravitaire à travers 24 filtres à sable de granulométrie homogène de type Aquazur V. Les filtres fonctionnent en alternance par groupe de 12, leur rôle est d'éliminer les matières en suspension.

III.15 Stockage et désinfection de l'eau traitée

L'ajout des produits chimiques tels que le chlore, permet d'éliminer tout microorganismes ou bactéries restantes dans l'eau potable avant sa distribution.

Le réservoir d'eau traitée joue le rôle de bassin de stockage, permettant de conserver une quantité d'eau traitée. Il débouche dans une chambre de vannes, d'où se fait la distribution vers le réseau aval.

III.2 Présentation du laboratoire d'analyse

Le laboratoire est équipé d'un ensemble de matériel nécessaire pour l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau tels que : pH-mètre, turbidimètre, jar-test, balance analytique, spectrophotomètre....etc



Figure 6 : Laboratoire d'analyse de la station SEAAL de TAKSEBT

III.3 Matériels utilisés

L'ensemble de matériel utilisé lors de la réalisation de ce travail est :

- pH-mètre (WTW avec terminal 730 et électrode en verre) ;
- Turbidimètre (HACH 2100 NTU avec une cuve en verre de quartz incolore de 25mL) ;
- Conductimètre (WTW avec terminal 740) ;
- Jar-test à six béchers (LOVIBOND) ;
- Balance analytique (OHAUS adventure Pro) ;
- Agitateur magnétique (MR3001 k) ;
- Spectrophotomètre (HACH-LANGE DR 6000) ;
- Cuves de différentes tailles et volumes ;
- Verreries : béchers, pipettes, fioles, erlenmeyers, pissette, entonnoirs, bouteilles, éprouvettes...
- Micropipettes, poires ;
- Seringues (1, 5, 50mL) ;
- Filtre en acétate de cellulose (0,45 μm de diamètre des pores) ;
- Haute aspirante à vapeurs ;
- Plaque chauffante.



Figure 7 : Matériels utilisés

III.4 Produits utilisés

- Chlorure Ferrique FeCl_3
- Sulfate d'Alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
- Polymère synthétique anionique SEAAL.
- Acide Chlorhydrique HCl (0,1M).
- Peroxyde de disulfates.
- Chlorhydrate.
- Solution tampon.
- Phénanthroline.
- Kit LCK31.

III.5 Dispositif expérimental

La coagulation-floculation est le procédé physico-chimique le plus répandu dans les stations de traitement et de production des eaux potables. L'élimination des MES (Matières En Suspension), des colloïdes ainsi que la matière organique est réalisée par l'utilisation d'un coagulant et d'un flocculant nécessaire, menant ainsi à la formation des floccs qui seront séparés par décantation, flottation et/ou filtration

L'essai de coagulation-floculation a été réalisé avec un jar-test à six béchers (1L). L'eau brute utilisée lors de cette étude est extraite depuis la ventouse.



Figure 8 : Jar-test Lovibond à 6 béchers

Des doses de coagulant et de flocculant ont été injectées dans l'eau brute soumise sous agitation rapide 200 tr/min pendant 2 minutes. La vitesse est diminuée à 50 tr/min durant 30 min.

Après une heure de décantation, le surnageant est filtré pour la détermination du pH, la turbidité, la couleur et la concentration en Fer résiduel.



Figure 9 : Décantation et filtration de l'eau

- **Préparation des coagulants**

- **FeCl₃**

Dans une balance analytique, on pèse 1 g de solution commerciale du chlorure ferrique. Dans une fiole de 1000ml, on verse la solution pesée et on ajoute l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- **Al₂(SO₄)₃**

Dans une balance analytique, on pèse 10 g de solution commerciale de sulfate d'alumine (Al₂(SO₄)₃). Dans une fiole de 1000 mL, on ajuste avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

III.5.1 Coagulation floculation avec FeCl_3 et le polymère synthétique

➤ Période hivernale

Différentes concentrations en chlorure ferrique 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 mg/L ont été considérées, avec une dose en flocculant équivalente à celle utilisée dans la station du traitement Taksebt. Par la suite la concentration du chlorure ferrique est fixée à 18 mg/l, la concentration en polymère synthétique varie de 0.08 , 0.10, 0.12 , 0.14 , 0.16, 0.18, 0.20 , 0.22 , 0.24 , 0.26 mg/L.

➤ Période du mois de mai au mois de septembre

De faibles concentrations en chlorure ferrique de 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 mg/L ont été choisies avec une dose en polymère de 0,04 mg/L. Par la suite la concentration en chlorure ferrique est fixée à 10 mg/L et la concentration en polymère varie de 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07 mg/L.

III.5.2 Coagulation-floculation avec $\text{AL}_2(\text{SO}_4)_3$ et le polymère synthétique

➤ Période hivernale

Des concentrations en du sulfate d'alumine de 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 mg/L ont ciblées avec une dose de 0,25 mg/L en flocculant équivalente à celle utilisée dans la station du traitement Taksebt. Ensuite la concentration du sulfate d'alumine est fixée à 25 mg/L et la concentration du polymère varie de 0,08; 0,10; 0,12; 0,14 ; 0,16 ; 0,18 ; 0,20 ; 0,22 ; 0,24 0.26 mg/L .

➤ Période du mois de mai au mois de septembre

La concentration en sulfate d'alumine variant de : 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 mg/L est considérée avec une concentration en polymère de 0,08 mg/L, valeur utilisée par la station de traitementde Taksebt. Une concentration en polymère de 0,04 mg/L est également examinée pour une étude comparative. Puis la concentration en sulfate d'alumine est fixée à 8 mg/L et la dose en polymère varie de 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07 mg/l.

III.6 Analyse du fer résiduel

Le dosage du fer, se fait au niveau de la station de traitement TAKSEBT par la méthodeclassique, son mode opératoire suivante :

- Prendre 50mL de chaque échantillon ;
- Doser avec 1mL de l'acide chlorhydrique ;
- On ajoute 5mL du peroxyde de sulfate ;
- On laisse au chauffage pendant 40min ;
- On laisse refroidir ;
- On dose une autre fois avec 1mL de chlorhydrate ;
- 2mL de la solution tampon et 2mL de phénantroline ;
- Enfin on laisse 15min à l'obscurité, et on effectue la lecture du fer.



Figure 10 : Dosage du Fer

III.7 Analyse de l'aluminium résiduel

La station de traitement TAKSEBT utilise la méthode HACH pour l'analyse de l'aluminium.

- Dans une fiole, on prend l'eau à analyser, on ajoute l'acide, et on agite.
- Dans le code barre, on rajoute 2ml du réactif A ;
- On ajoute 3 ml de l'échantillon à analyser par la suite, on verse une pincée du réactif B, on ferme les bouchons et on agite ;

On laisse le mélange pendant 20mn de temps de contact, puis on effectue la lecture de l'aluminium sur le DR6000.



Figure 11 : Dosage de l'Aluminium

Chapitre IV

Résultats et discussions

Le but principal de cette étude est d'examiner l'effet de la réduction de la dose du coagulant (lechlorure ferrique, le sulfate d'alumine) et du flocculant (polymère synthétique) sur la turbidité, la couleur et la concentration résiduelle en coagulant de l'eau brute traitée par coagulation-floculation. De plus une étude comparative des coûts des coagulants a été réalisée sur les doses injectées par la station de traitement Taksebt avant et après cette étude.

IV.1 Étude des paramètres physico-chimique de l'eau traitée par coagulation-floculation

IV.1.1 Effet de la concentration en coagulant FeCl_3 durant la période hivernale

L'analyse physico-chimique de l'eau brute prélevée du barrage de Taksebt a montré les résultats regroupés dans le tableau 4. La valeur de la turbidité, du pH et de la conductivité de l'eau brute répond aux normes dictées par l'OMS.

Tableau 4 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	3,13
pH	7,92
Conductivité (μs)	550
Température (C)	16,1
Couleur (PtCo)	30
UV ($\lambda=254$)	0,062

Une concentration de 18 à 27 mg/L en coagulant FeCl_3 a été considérée avec une dose de 0,25 mg/L en flocculant lors du traitement de l'eau brute du barrage de Taksebt. L'aspect des floccs est donné par le tableau ci-dessous pour les 10 échantillons étudiés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 5 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose du coagulant (mg/L)	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Aspects des floes	petits	petits	petits	moyens	moyens	moyens	petits	moyens	moyens	moyens
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation										
pH	7,77	7,76	7,77	7,75	7,70	7,66	7,77	7,68	7,71	7,72
Turbidité (NTU)	0,61	0,50	0,48	0,50	0,55	0,67	0,56	0,61	0,65	0,74
Couleur (PtCo)	13	11	11	11	13	15	11	11	13	14
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration										
pH	7,91	7,88	7,83	7,84	7,77	7,83	7,77	7,80	7,82	7,82
Turbidité (NTU)	0,21	0,21	0,18	0,18	0,28	0,26	0,23	0,22	0,22	0,24
Couleur (PtCo)	4	5	3	5	8	4	2	6	5	5

Parmi les 10 échantillons étudiés, les échantillons 3,7 et le 10 de doses 20, 24 et 27 mg/L, respectivement, ont été retenus par rapport aux meilleurs résultats de turbidité et de couleur obtenues après filtration de l'eau.

Les concentrations en fer résiduelles examinées après dosage, sont exprimées par les histogrammes ci-dessous :

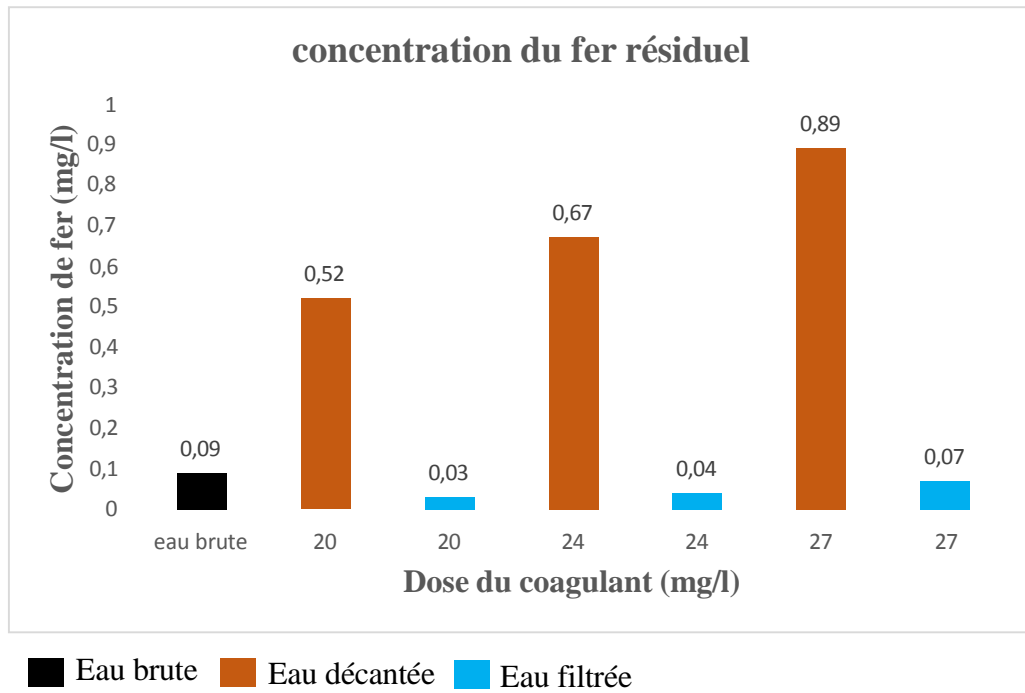


Figure 12 : Concentration en fer résiduel en fonction des doses du coagulants

La présence du fer dans l'eau brute, est due probablement à plusieurs facteurs tels que le lessivage des sols, la dissolution des roches et minerais, les rejets industriels ainsi qu'à la corrosion des canalisations métalliques. L'eau brute provenant du barrage de Taksebt, est prélevée de la ventouse de la station de traitement. L'analyse de cette eau a montré une teneur en fer de 0,09 mg/L. Cette concentration ne dépasse pas la norme imposée qui est de 0,3 mg/L.

Pour des doses importantes en coagulant FeCl_3 durant le traitement, fait apparaître des concentrations élevées en fer résiduelles dans l'eau décantée. En effet, pour une valeur de 20, 24 et 27 mg/L en FeCl_3 , la concentration en fer résiduelle est élevée à 0,52, 0,67 et 0,89 mg/L, respectivement. Cette concentration dépasse la norme imposée par l'OMS.

Après le procédé de décantation, vient le procédé de filtration, ce dernier a pour but d'éliminer les particules en suspension restantes dans l'eau décantée. Pour l'injection de 20, 24 et 27 mg/L du coagulant en FeCl_3 , la concentration en fer restant dans l'eau est faible (0,03 ; 0,04 ; 0,07 mg/L). Les floccs apparus sont petits (faible diamètre), ce qui est bien pour la préservation des filtres de la station de traitement. Ainsi une rétention importante en fer est observée, lors de la filtration par les filtres.

IV.1.2 Effet de la concentration en flocculant durant la période hivernale

L'analyse physico-chimique de l'eau brute prélevée du barrage de Taksebt a signalé les valeurs représentées dans le tableau 6. La valeur de la turbidité, du pH et de la conductivité de

Tableau 6 : Valeurs physico-chimiques de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	2,92
PH	8
Conductivité (µs)	554
Température (°C)	14,9
Couleur (PtCo)	25
UV (λ=254)	0,064

Une concentration de 20 mg/L en coagulant $FeCl_3$ a été considérée avec une dose de 0,08 à 0,26 mg/L en flocculant lors du traitement de l'eau brut du barrage de Taksebt. L'aspect des floccs est donné par le tableau 7 pour 10 échantillons examinés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 7 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose du flocculant (mg/L)	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26
Aspects des floccs	petits	petits	moyens	moyens	moyens	moyens	petits	grands	grands	grands
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation										
pH	7,82	7,78	7,72	7,82	7,75	7,78	7,73	7,74	7,70	7,69
Turbidité (NTU)	0,53	0,42	0,47	0,47	0,48	0,57	0,48	0,59	0,50	0,64
Couleur (PtCo)	12	13	15	13	12	14	13	14	15	16
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration										
pH	7,86	7,88	7,83	7,87	7,85	7,89	7,89	7,90	7,86	7,88
Turbidité (NTU)	0,21	0,26	0,21	0,33	0,24	0,23	0,20	0,40	0,36	0,32
Couleur (PtCo)	5	5	5	8	4	6	7	8	9	7

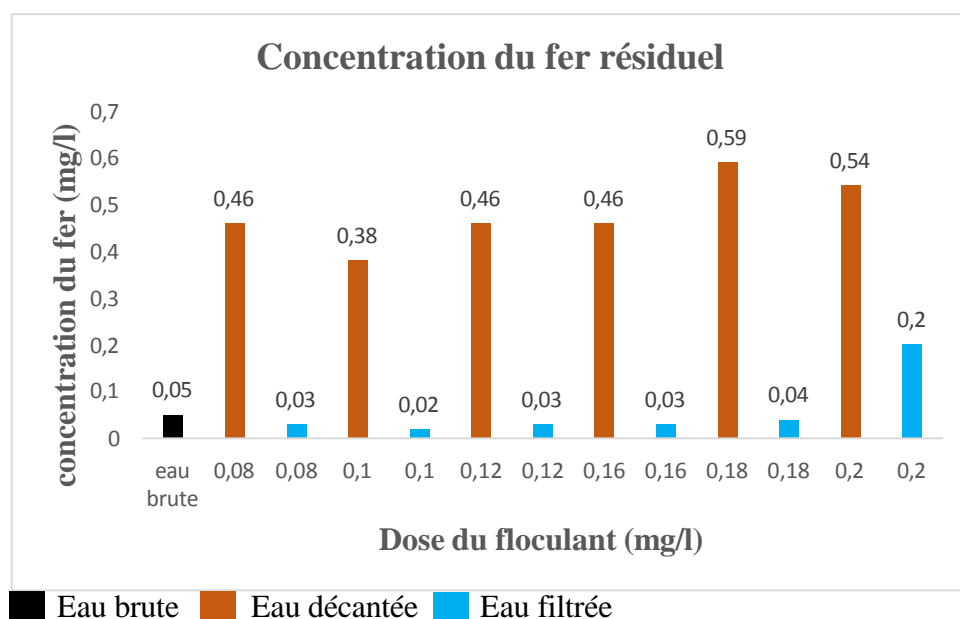


Figure 13 : Concentration en fer résiduel en fonction de la dose du flocculant

La présence du fer dans l'eau brute, est due peut-être à plusieurs paramètres tels que, le lessivage des sols, la dissolution des roches et minerais, les rejets industriels ainsi qu'à la corrosion des canalisations métalliques. L'eau brute provenant du barrage de Taksebt, est prélevée de la ventouse de la station de traitement. L'analyse de cette eau a montré une teneur en fer de 0,09 mg/L. Cette concentration ne dépasse pas la norme imposée qui est de 0,3 mg/L.

Après l'injection du coagulant chlorure ferrique, une hausse de concentration en fer résiduelle dans l'eau décantée est observée. L'analyse effectuée a montré une variation de la concentration en fer résiduel de 0,38 mg/L à 0,59 mg/L. Ces concentrations ont dépassé la norme de la concentration en fer résiduelle dans l'eau.

IV.1.3 Effet de la concentration en FeCl_3 durant la période Mai-Septembre

L'analyse physico-chimique de l'eau brute prélevée du barrage de Taksebt a montré les résultats représentés dans le tableau 8. Les paramètres physico-chimiques de l'eau brute répondent aux normes dictées par l'OMS.

Tableau 8 : Valeurs d'analyse physico-chimique de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	1,10
PH	7,72
Conductivité (µs)	547
Température (°C)	16
Couleur (PtCo)	12
UV (λ=254)	0,048

Une concentration de 4 à 16 mg/L en coagulant FeCl₃ a été considérée avec une dose de 0,04 mg/L en polymère lors du traitement de l'eau brute du barrage de Taksebt. L'aspect des floccs est donné par le tableau 9 pour les 10 échantillons étudiés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 9 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7
Dose coagulant (mg/L)	4	6	8	10	12	14	16
Aspect des floccs	petits	petits	petits	petits	petits	petits	petits
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation							
pH	7,81	7,74	7,70	7,76	7,68	7,65	7,66
Turbidité (NTU)	1,61	1,83	1,99	1,86	1,62	1,50	1,57
Couleur (PtCo)	30	36	45	44	39	38	39
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration							
pH	7,89	7,88	7,86	7,89	7,87	7,82	7,70
Turbidité (NTU)	0,37	0,30	0,20	0,15	0,21	0,25	0,27
Couleur (PtCo)	8	6	6	3	4	4	4

Le traitement de l'eau brute du barrage Taksebt a montré, une concentration FeCl₃ de 10 mg/L et 12 mg/L pour les échantillons 4 et 5, respectivement, avec une concentration de 0,04 mg/L en polymère. Ces concentrations en coagulant sont considérées comme valeurs optimales, par rapport à leurs faibles valeurs de turbidité 0,15 et 0,21 NTU, aussi la faible couleur 3 et 4 PtCo, respectivement, après la filtration, ce qui s'explique par une bonne filtration des matières en suspensions (MES).

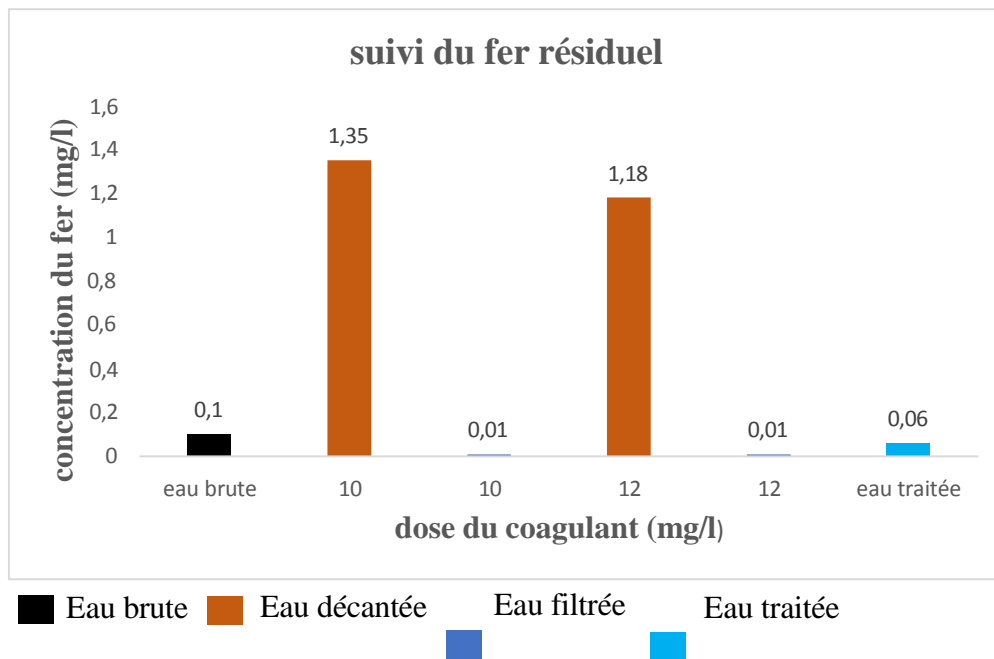


Figure 14 : Concentration en fer résiduel en fonction de la dose du coagulant

Lors de notre analyse du fer résiduel, on trouve que l'eau brute extraite à partir de la ventouse a une valeur de 0,10 mg/L en fer résiduel, qui est au-dessous de la barre de la norme, mais qu'on peut réduire par le procédé de coagulation-floculation.

Après traitement par coagulation floculation de l'eau brute, une hausse de la concentration en fer résiduel de 1,35 mg/l et 1,18 mg/L pour la dose de 10 mg/L et 12 mg/L en FeCl_3 est observée pour les échantillons étudiés, respectivement, après décantation. Cette hausse est due probablement à l'injection du coagulant FeCl_3 qui fait augmenter le taux de fer résiduel dans l'eau traitée.

Suite au procédé de filtration, l'eau subit un abattement brusque de la concentration en fer résiduelle pour atteindre la valeur de 0,01 mg/L bien plus inférieure à celle de l'eau traitée par la station qui est de 0,06 mg/L. Cet abattement peut s'expliquer par la bonne rétention des filtres pour le fer, ainsi que la forme des floccs qui sont petits. La forme petite des floccs peut éviter le colmatage des filtres et prolonger la durée de vie des filtres de la station de traitement.

Ces derniers résultats permettent de nous conduire à deux combinaisons idéales pour le traitement qui sont :

Combinaison (1) : 10mg/L en FeCl_3 ; 0,04mg/L en polymère.

Combinaison (2) : 12mg/L en FeCl_3 ; 0,04mg/L en polymère.

Étant donné que notre étude est basée sur l'économie des quantités de coagulant injectées par la station en aboutissant à une eau de bonne qualité, avec de meilleurs paramètres physico-chimiques. Ainsi la combinaison (1) (10 mg/L de FeCl_3 ; 0,04 mg/L du polymère) peut être qualifiée comme valeur optimale de traitement.

IV.1.4 Effet de la concentration en polymère pendant la période Mai-Septembre

L'analyse physico-chimique de l'eau brute prélevée du barrage de Taksebt a montré les résultats représentés dans le tableau 10. Les paramètres physico-chimiques de l'eau brute répondent aux normes dictées par l'OMS.

Tableau 10 : Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	1.09
PH	7,86
Conductivité (μs)	588
Température ($^{\circ}\text{C}$)	19.1
Couleur (PtCo)	18
U V ($\lambda=254$)	0,051

Une concentration de 10 mg/L en coagulant FeCl_3 a été considérée avec une dose de 0,01 à 0,07 mg/L en flocculant lors du traitement de l'eau brute du barrage de Taksebt. L'aspect des floccs est donné par le tableau 11 pour les 10 échantillons observés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 11 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7
Dose flocculant (mg/L)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Aspect des floccs	très petits	moyens	très petits	moyens	moyens	moyens	moyens
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation							
pH	7,82	7,81	7,79	7,82	7,80	7,76	7,76
Turbidité (NTU)	0,64	0,66	0,73	0,67	0,66	0,57	0,68
Couleur (PtCo)	14	8	12	10	12	15	11
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration							
pH	7,90	7,93	7,84	7,90	7,95	7,90	7,84
Turbidité (NTU)	0,15	0,26	0,24	0,27	0,28	0,20	0,29
Couleur (PtCo)	5	6	6	9	7	6	7

Le traitement de l'eau brute par coagulation-floculation a montré, une meilleure concentration en polymère de 0.01, 0.03 et 0.06 mg/L pour l'échantillon (1), (3) et (6), respectivement.

Après décantation la valeur en termes de turbidité 0.64, 0.73 et 0.57 NTU est élevée, de même pour la couleur 14, 12 et 15 PtCo pour l'échantillon (1), (3) et (6), respectivement.

La filtration permet de retenir les matières en suspension (MES), des valeurs minimales en turbidité (0.15, 0.24 et 0.20 NTU) et de la couleur (5, 6 et 6 PtCo) ont été obtenues, ce qui justifie la sélection des échantillons (1), (3) et (6).

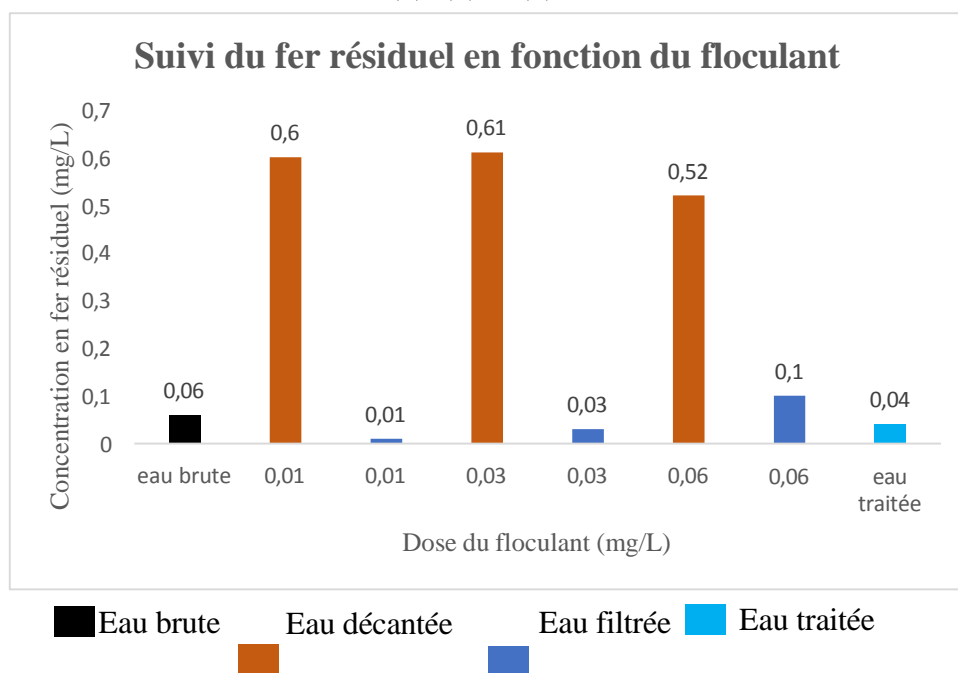


Figure 15 : Concentration en fer résiduel en fonction des doses en flocculant

L'eau brute issue du point de captage a pour valeur de 0.06 mg/L en fer résiduel, cette valeur s'explique par la présence naturelle du fer dans l'eau du barrage de Taksebt, qui est issue des ruissellements ainsi que la corrosion des roches.

Après décantation de l'eau traitée par coagulation-floculation, une croissance considérable en fer résiduel est observée, cela est due à l'utilisation du chlorure ferrique lors de l'injection, ce qui augmente la présence du fer dans l'eau pour les échantillons (1), (3) et (6) de 0.60 , 0.61 et 0.51 mg/L qui dépasse bien trop la norme imposée par l' OMS.

Après filtration, des résultats bien meilleurs se présentent, qui se résume par le fort abattement de la concentration du fer résiduelle partant jusqu'à 0.01, 0.03 et 0.10 mg/L pour les échantillons (1), (3) et (6), ce résultat est expliqué par la bonne rétention des filtres pour le

Les échantillons (1) et (3) présentent des valeurs en concentration résiduel inférieures par rapport à l'eau traitée par la station qui a une valeur de 0.04 mg/L.

D'après nos résultats et analyse, on sélectionne deux combinaisons pour le bon traitement de l'eau du barrage, qui sont :

Combinaison (1) : 10 mg/L de FeCl_3 et 0.01 mg/L de polymère.

Combinaison (2) : 10 mg/L de FeCl_3 et 0.03 mg/L de polymère.

Pour l'économie de la station en injection de FeCl_3 et du polymère, on prend en considération la combinaison (1) de 10 mg/L de FeCl_3 et 0.01 mg/L de polymère, afin d'éviter le risque de colmatage filtres et leur lavage répété, c'est la justification de notre choix de la combinaison (1) comme l'optimale pour traitement de l'eau pour la station.

IV.1.5 Effet de la concentration en $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ durant la période hivernale

L'analyse physico-chimique de l'eau brute prélevée du barrage de Taksebt a montré les résultats regroupés dans le tableau 12. La valeur de la turbidité, du pH et de la conductivité de l'eau brute répond aux normes dictées par l'OMS.

Tableau 12 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	3.35
PH	8.04
Conductivité (μs)	551
Température ($^{\circ}\text{c}$)	16.9
Couleur (PtCo)	20

Une concentration de 18 à 27 mg/L en coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a été considérée avec une dose de 0,25 mg/L en flocculant lors du traitement de l'eau brut du barrage de Taksebt. L'aspect des floccs est donné par le tableau13 pour 10 échantillons étudiés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 13 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose et volume du coagulant (mg/L)	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
Aspects des floes	petits	petits	petits	petits	moyens	moyens	moyens	moyens	grands	grands
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation										
pH	7,94	7,89	7,86	7,84	7,79	7,77	7,74	7,73	7,70	7,68
Turbidité (NTU)	0,42	0,25	0,27	0,30	0,27	0,33	0,34	0,31	0,44	0,45
Couleur (PtCo)	7	5	4	4	4	6	5	4	6	6
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration										
pH	7,84	7,80	7,80	7,78	7,84	7,84	7,83	7,82	7,8	7,77
Turbidité (NTU)	0,18	0,31	0,36	0,20	0,21	0,13	0,23	0,10	0,22	0,22
Couleur (PtCo)	5	5	6	4	4	5	5	4	5	4

Le traitement par coagulation-floculation de l'eau brute issue de la ventouse d'arrivée d'eau du barrage vers la station, a montré une diminution de la turbidité et de la couleur après la décantation, et bien plus faible après la filtration, ce qui nous a permis de prendre en considération les échantillons (6), (7) et (8) de turbidité très faible 0.13, 0.23 et 0.10 NTU et de couleur 5, 5, 4 PtCo, respectivement.

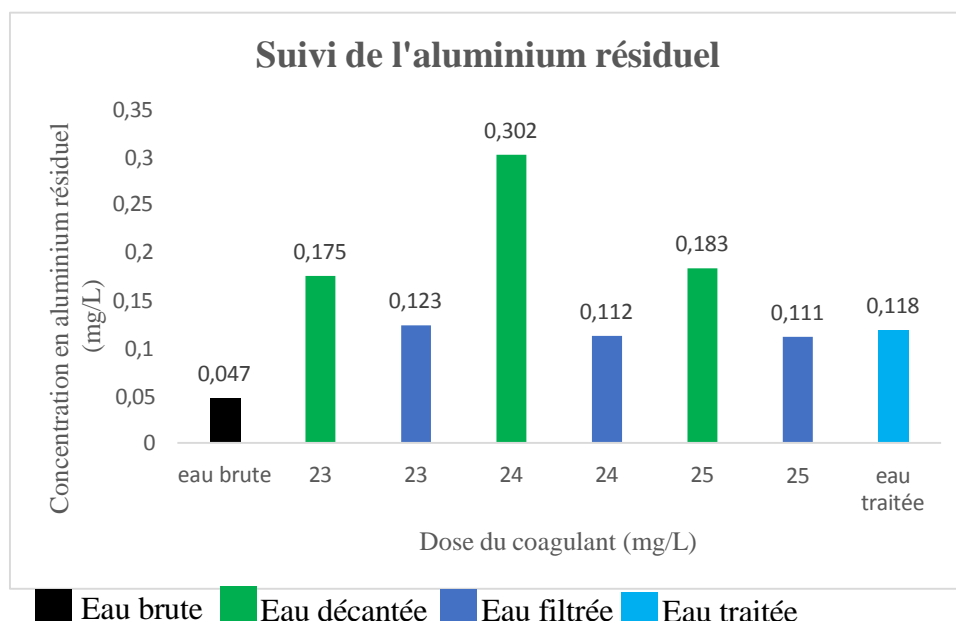


Figure 16 : Évolution de la concentration en aluminium résiduel en fonction des doses de coagulant

L'aluminium résiduel est présent naturellement dans l'eau grâce au ruissèlement et la corrosion des roches mais à faible concentration, prenant l'eau du barrage de Taksebt, cette faible concentration en aluminium s'explique par l'absence de la pollution industrielle à travers le rejet des effluents, ce qui nous donne l'avantage à utiliser le sulfate d'alumine.

Lors de l'analyse de l'aluminium résiduel, on trouve que notre échantillon étudié d'eau brute issue de la ventouse (point de prélèvement) a pour valeur de 0.047 mg/L, cette valeur est bien au-dessous de la norme qui est de 0,2 mg/L.

Après décantation de l'eau, on observe une augmentation en aluminium résiduel pour les échantillons (6), (7) et (8) avec des valeurs de 0.175, 0.302 et 0.183 mg/L, ce résultat provient de l'injection de $Al_2(SO_4)_3$ qui augmente la concentration de l'aluminium résiduel et même qu'il dépasse la norme pour l'échantillon (7).

Suite à la filtration, l'eau reçoit un abaissement de la concentration en aluminium résiduel pour tous les échantillons (6), (7) et (8) qui ont pour valeurs 0.123, 0.112 et 0.111 mg/l respectivement, cela revient à la rétention de l'aluminium par les filtres, ces dernières sont largement sous la norme de l'OMS pour l'aluminium dans l'eau traitée.

Même si on observe une hausse de la concentration de l'aluminium résiduel des échantillons (6), (7) et (8) après filtration et aussi pour l'eau traitée qui est de 0.118 mg/L, notre intérêt repose sur ce que nos valeurs après traitement soient sous la barre de la norme qui est de 0,2 mg/L imposée par l'OMS.

Notre étude et analyse nous a permis d'extraire trois bonnes combinaisons d'injection de coagulant et de floculant pour traiter l'eau brute, qui sont :

Combinaison (1) : 23 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ et 0.25 mg/L du polymère.

Combinaison (2) : 25 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ et 0.25 mg/L du polymère.

Rappelons que notre but est de minimiser les quantités injectées en sulfate d'alumine et en polymère, aussi éviter le colmatage des filtres et la réduction de la durée de vie des filtres, cela nous permet de sélectionner la combinaison (1) comme l'optimale.

IV.1.6 Effet de la concentration en polymère durant la période hivernale

On analyse l'échantillon qui est l'eau brute prélevée le jour de l'analyse, on mesure la turbidité, le pH, la conductivité, la température, la couleur et l'absorbance, le tableau ci-dessous représente les valeurs trouvées :

Tableau 14 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	3,72
PH	8,02
Conductivité (μ s)	553
Température ($^{\circ}$ c)	15,6
Couleur (PtCo)	22
U V	0,065

Une concentration de 23 mg/L en coagulant $FeCl_3$ a été considérée avec une dose de 0,08 à 0,26 mg/L en floculant lors du traitement de l'eau brut du barrage de Taksebt. L'aspect des floes est donné par le tableau 15 pour 10 échantillons examinés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 15 : Résultats d'analyse de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose et volume du coagulant (mg/L)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Dose du floculant (mg/L)	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26
Aspects des floes	petits	petits	petits	moyens	moyens	moyens	moyens	moyens	23	23
									2,3	2,3
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation										
pH	7,79	7,77	7,70	7,67	7,67	7,62	7,67	7,67	7,65	7,63
Turbidité (NTU)	0,46	0,42	0,42	0,27	0,28	0,33	0,44	0,40	0,22	0,20
Couleur (PtCo)	7	6	7	4	5	4	6	5	5	7
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration										
pH	7,87	7,87	7,83	7,87	7,93	7,87	7,82	7,87	7,86	7,92
Turbidité (NTU)	0,12	0,14	0,17	0,17	0,18	0,12	0,22	0,12	0,23	0,27
Couleur (PtCo)	2	4	4	1	4	3	5	2	4	3

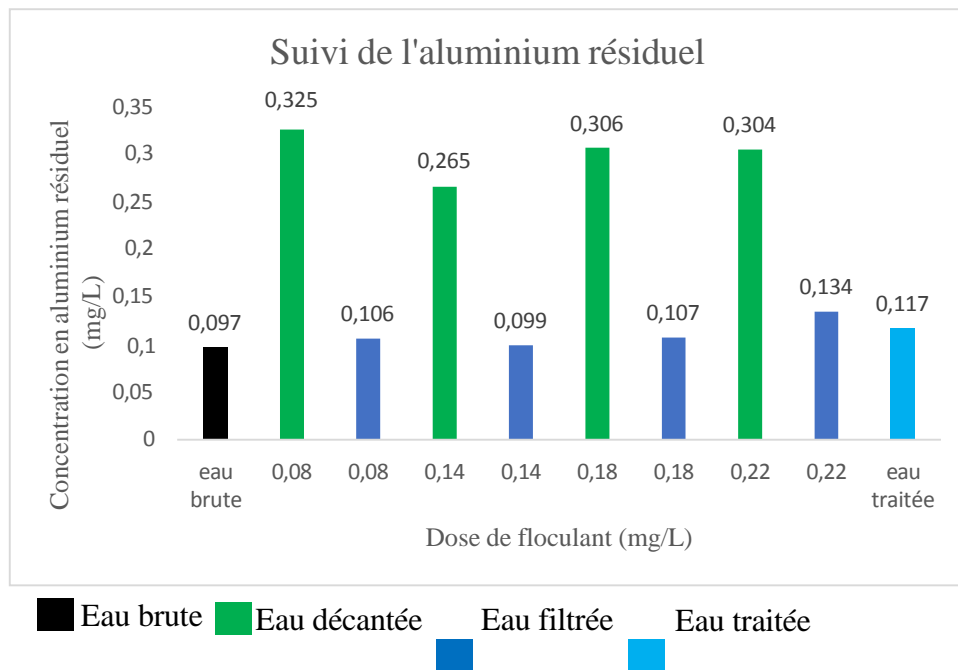


Figure 17 : Évolution de la concentration en aluminium résiduel en fonction des doses de flocculant

L'histogramme ci-dessus représente la concentration en aluminium résiduel en fonction de la dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3$.

La présence de l'aluminium résiduel dans l'eau brute du barrage est causée par la nature, c'est-à-dire par l'altération des minéraux et leur extraction, ces dernières libèrent de l'aluminium naturellement dans les sols, les eaux souterraines ainsi dans les eaux de surface.

L'eau brute a pour valeur de 0.097 mg/L en aluminium résiduel, cette concentration est bien inférieure à la norme (0.2 mg/L).

L'eau après décantation subit une hausse considérable de la concentration en aluminium résiduel pour les échantillons (1), (4), (6) et (8) qui ont 0.325 , 0.265 , 0.306 et 0.304 mg/L, ces valeurs partent bien loin de la norme, ces résultats sont dues à l'injection de $Al_2(SO_4)_3$ qui fait augmenter la présence de l'aluminium résiduel dans cette eau.

Suite au procédé de la filtration, on observe un bon abattement de la concentration de l'aluminium résiduel, c'est due à la bonne rétention de l'aluminium par les filtres, ces derniers nous produit une eau bien conforme en terme de concentration en aluminium résiduel qui est au-dessous de la plage de la norme pour tous les échantillons (1), (4), (6), et (8) avec 0.106 , 0.099, 0.107 et 0.134 mg/L respectivement.

Les résultats nous ont conduit à extraire quatre combinaisons pour le bon traitement de notre eau brute afin d'avoir une eau traitée de bonne qualité et qui répond aux normes exigées par l'OMS.

Combinaison (1) : 23mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0,08 mg/L en polymère.

Combinaison (2) : 23 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0,14 mg/L en polymère.

Combinaison (3) : 23 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0,18 mg/L en polymère.

Combinaison (4) : 23 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0,22 mg/L en polymère.

On choisit la combinaison (1) comme optimale, car on a pour but d'économiser les quantités injectées en sulfate d'alumine et en polymère, cette combinaison a de bons paramètres physico-chimiques (turbidité : 0.12 NTU / couleur : 2 PtCo / PH : 7.87).

IV.1.7 Effets de la concentration en $Al_2(SO_4)_3$ durant la période Mai-Septembre

En cette période de faible turbidité, l'analyse physico-chimique de l'eau brute prélevée du barrage de Taksebt a montré les résultats représentés dans le tableau 16. Les paramètres physico-chimiques de l'eau brute répondent aux normes dictées par l'OMS.

Tableau 16 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute

Eau brute	
Turbidité (NTU)	1.19
PH	7,74
Conductivité (μ s)	543
Température ($^{\circ}$ c)	20.1
Couleur (PtCo)	20
UV	0,053

Une concentration de 4 à 16 mg/L en coagulant $Al_2(SO_4)_3$ a été considérée avec une dose de 0,04 mg/L en flocculant lors du traitement de l'eau brut du barrage de Taksebt. L'aspect des floccs est donné par le tableau 17 pour 10 échantillons étudiés, ainsi que les résultats de l'analyse du pH, la turbidité et la couleur après décantation et après filtration.

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de l'eau après traitement

	1	2	3	4	5	6	7
Dose coagulant (mg/L)	4	6	8	10	12	14	16
Aspect des flocs	petits	petits	petits	petits	petits	petits	moyens
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après décantation							
pH	7,79	7,74	7,75	7,77	7,72	7,69	7,63
Turbidité (NTU)	1,49	1,86	1,48	1,17	0,96	0,62	0,56
Couleur (PtCo)	20	19	14	11	12	16	13
Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée après filtration							
pH	7,99	7,97	7,96	7,97	7,91	7,92	7,84
Turbidité (NTU)	0,25	0,19	0,16	0,15	0,14	0,20	0,28
Couleur (PtCo)	8	2	6	6	4	5	4

Après l'analyse de nos échantillons d'eau traitée par le procédé de coagulation-floculation, on constate une augmentation de la turbidité et de la couleur après décantation et un abattement considérable après la filtration pour la turbidité et la couleur, ainsi on a pu extraire les échantillons de combinaisons fiable pour le traitement avec des paramètres physico-chimiques remarquables. Ces échantillons sont : (2), (4) et (5) de turbidité de 0.19 , 0.15 et 0.14 NTU respectivement de couleur 2 , 6 , et 4 PtCo.

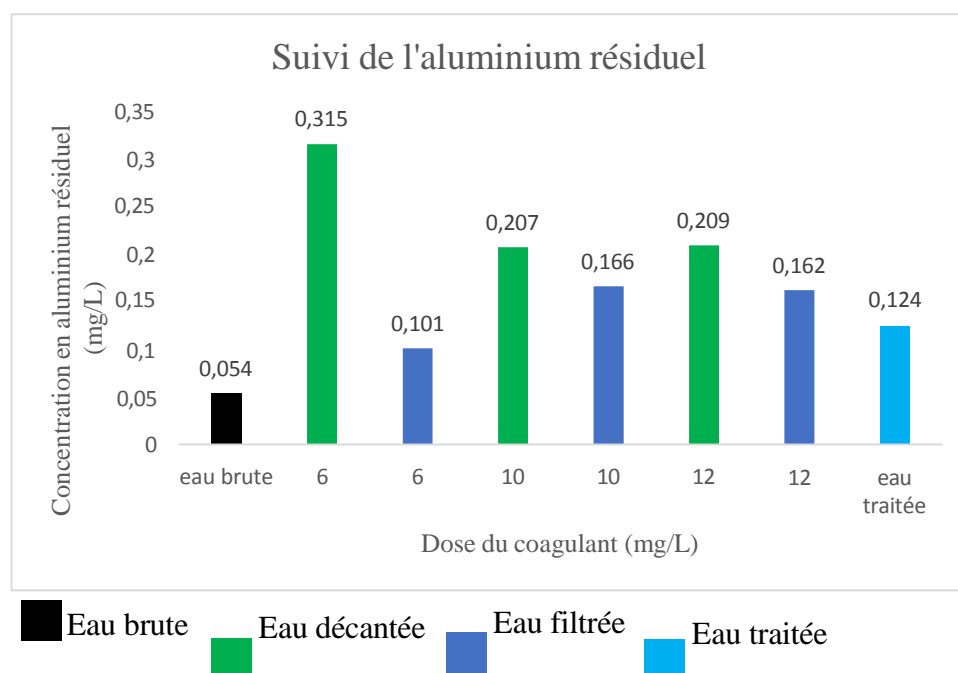


Figure 18 : Évolution de la concentration en aluminium résiduel en fonction des doses du coagulant

Après notre analyse en aluminium résiduel pour l'échantillon étudié qui est l'eau brute issue du point de prélèvement de la station, on constate une présence d'une faible concentration en aluminium résiduel de 0.054 mg/l, cet aluminium est présent naturellement dans l'eau de Taksebt.

L'augmentation de la concentration en aluminium résiduel après décantation pour les échantillons (2), (4) et (5) de 0.305 , 0.207 et 0.209 mg/l respectivement, cela revient à l'injection du sulfate d'alumine ($Al_2(SO_4)_3$) qui augmente la présence de l'aluminium bien au-dessus de la plage de la norme.

Quant à la baisse de la concentration de l'aluminium résiduel pour nos échantillons, qui sont pour valeurs 0.101 , 0.166 et 0.162 mg/l, c'est due à la bonne rétention de l'aluminium par les filtres en aboutissant à des valeurs bien au-dessous de la plage de norme de l'OMS, de même pour l'eau traitée par la station de 0.124 mg/l.

Notre étude et analyse nous a permis d'extraire trois bonnes combinaisons d'injection de coagulant et de floculant pour traiter l'eau brute, qui sont :

Combinaison (1) : 6 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0.04 mg/L du polymère.

Combinaison (2) : 10 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0.04 mg/L du polymère.

Combinaison (3) : 12 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ et 0.04 mg/L du polymère.

Notre travail a pour but d'économiser les quantités injectées en sulfate d'alumine et en polymère, ainsi que le bon fonctionnement des filtres en le colmatage, aussi prolonger la durée de vie des filtres, cela nous a conduit à favoriser la combinaison (1) (6 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ et 0.04 mg/l du polymère.) et la prendre comme optimale pour traitement de l'eau brute à faible turbidité.

IV.2 Coût de revient des coagulants pour la station de traitement Taksebt

Le sulfate d'alumine revient à 65 DA pour le kilogramme. Le chlorure ferrique revient à 48 DA pour le kilogramme.

L'automate est une boîte informatisée qui contient une cuve de préparation destinée pour l'injection des coagulants pour station de traitement de Taksebt :

Où M : Point d'injection

M= Concentration * Volume de la cuve de préparation

Le volume de la cuve de préparation du sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ est de 20 m^3 .

Le volume de la cuve de préparation du chlorure ferrique $FeCl_3$ est de 6 m^3 .

IV.2.1 Coût du sulfate d'alumine

La teneur donnée par l'automate de préparation est de 85 g/L.

D'où $M = 85 * 20$; $M = 1700 \text{ kg}$ de sulfate d'alumine, équivalent à un peu plus d'un bigbag et demi (un bigbag équivalent à 1000 kg).

Le débit de la dernière semaine du mois de Juin d'eau brute est de $18\,000 \text{ m}^3/\text{h}$. Pour un débit de $1 \text{ m}^3/\text{h}$, la cuve de l'automate assure 8h d'injection

Coût du sulfate d'alumine = $1700 \text{ kg} * 65 = 110\,500 \text{ DA}$

Soit 110 500 DA par 8h d'injection

Pour 24h, la masse de sulfate d'alumine pour le traitement de Taksebt revient à 331 500 DA. Et pour une année 120 997 500 DA

Si la station injecte notre combinaison qui est de 6 mg/L en sulfate d'alumine et 0.04 mg/L en polymère on aura comme résultats :

10 mg/L \longrightarrow 120 997 500 DA

6 mg/L \longrightarrow 72 598 500 DA

Alors on va économiser 48 399 000 DA pour la station annuellement.

IV.2.2 Coût du chlorure ferrique

Soit la teneur donnée par l'automate de préparation qui est de 507 g/l.

D'où $M = 507 * 6$; $M = 3042 \text{ kg}$ de chlorure ferrique donc un peu plus de deux futs de 1400kg.

Avec de débit de $18\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, la cuve va tenir 6 heures de temps à une injection de $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Coût= $3042 \text{ kg} * 48 \text{ DA}$

Soit 146 016 DA par 6 heures d'injection

Pour 24 heures la masse du chlorure ferrique reviens à 584 064 DA

Et pour une année 213 183 360 DA

Si la station injecte notre combinaison qui est de 10 mg/L en chlorure ferrique et 0.01 mg/L en polymère on aura comme résultats :

12 mg/L —————> 213 183 360 DA

10 mg/L —————> 177 652 800 DA

Alors on va économiser 35 530 560 DA pour la station annuellement

On conclue que le chlorure ferrique reviens plus cher à l'achat pour la station par rapport ausulfate d'alumine, ce qui nous conduit à favoriser le sulfate d'alumine pour traitement de l'eau brute du point de vue économique.

Conclusion générale

Conclusion

L'objectif de notre travail repose sur l'économie des quantités de coagulants (chlorure ferrique et sulfate d'alumine) injectés par la station de traitement de l'eau du barrage de TAKSEBT, étant donné que la turbidité de l'eau du barrage varie selon les conditions climatiques et par les points de prélèvement à partir du barrage. Cette différence de turbidité impose des traitements différents en termes de quantités de coagulants et flocculants injectées par la station, cela nous conduit à optimiser les combinaisons d'injection pour les deux coagulants utilisés.

Lors du traitement de l'eau par le chlorure ferrique pour une période fortement ensoleillée, on a une combinaison parfaite comme résultat, qui est de 20mg/l de FeCl_3 et 0,08mg/l en polymère, or que la station injecte 24mg/l de chlorure ferrique et 0,25mg/l en polymère. À une période pluviométrique la combinaison optimale trouvée est de 10mg/l du coagulant cité et 0,01mg/l en flocculant, par contre la dose injectée par la station est de 10mg/l de coagulant et de 0,08mg/l en flocculant.

Quant au traitement de l'eau par le sulfate d'alumine à une période fortement ensoleillée, après l'analyse la valeur optimale trouvée a pour le $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 23mg/l et 0,08mg/l en flocculant, tandis que la station injecte 25mg/l de sulfate d'alumine et 0,10mg/l en polymère. Pour une période pluviométrique, la dosé trouvée après le jar-test est de 6mg/l de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et 0,04 mg/l en polymère par contre la station injecte 10mg/l en coagulant et 0,04mg/l en flocculant.

L'étude comparative sur les deux coagulants favorise le traitement par le sulfate d'alumine pour son faible coût par rapport à la station ainsi que la durée de son injection par l'automate qui est supérieur par rapport au chlorure ferrique.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] HOLMES R. La terre et ses valeurs intrinsèques : la nature et les nations. Éthiques de l'environnement et politique internationale, 2007.
- [2] FESTY, B. HARTEMANN, P. LEDRANS, M. et al. Qualité de l'eau. Environnement et santé publique-Fondements et pratiques, 2003, p.333-368.
- [3] Romade. F. Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Edi science internationale, Paris (1998).
- [4] BOUTEBBA, K. Encadreur, et al. Contrôle et suivi de la qualité de l'eau traitée. Station de traitement KIssir de la Wilaya de Jijel 2022. Thèse de doctorat. Université de Jijel.
- [5] LEVALLOIS, P, St-Laurant J, GAUVIN D, COURTEAU M. Etude de l'impact de la contamination par le plomb de l'environnement résidentielle sur la plombémie des jeunes enfants. Report presented to Health Canada. Institut nationale de santé publique du Québec, (2011).
- [6] ROSS, H. L'eau et la santé publique. Consultation publique sur la gestion de l'eau au Québec, Document de soutien à l'atelier de travail de la Commission du, 1999, vol. 15.
- [7] Journal Algerieeco du 23 janvier 2023.
- [8] RODIER J. l'analyse de l'eau, 9^{ème} édition . Dunod, (2009).
- [9] DEGREMONT. Memento technique de l'eau . Edition : technique et documentation, Paris, (1989).
- [10] BEST WATER TECHNOLOGY, technique de traitement de l'eau dans les bâtiments, 3^{ème} édition, LEMONITEUR, (2009).
- [11] KACI-MOUSSA, MOALI. Suivi du barrage Taksebt en surface et en profondeur et des affluents de l'Oued-Aissi. Master en géologie de l'université MOULOU MAMERI (2019).
- [12] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. Directive de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition volume 1, recommandations. Genève (2004).
- [13] JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUNLIQUE ALGERIENNE N°18. 2011 ;
- [14] BOUMATI, R. Prétraitement des ezux de mer par coagulation-floculation, chimie de l'environnement, université Mouloud Mameri de Tizi-Ouzou, (2017).
- [15] ZENGO I., MAIGA A.H., WETHE J., VALENTIN G., LECLERC J.P., PATERNOTTE G., LAPICQUE F., Electrocoagulation for the treatment of textile wastewaters with all Al or Fe electrodes :

Références Bibliographiques

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

[16] Desjardins C. Simulation et étude en laboratoire de floculation lestée (ACTIFLO) à l'aide d'une procédure modifiée de jar-tes. Mémoire de maîtrise Es Science Appliquées (Génie Civil), département des génie civil, géologiques et des mines, école polytechnique de Montréal, Canada (1999).

[17] ZONGO, I., Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application de traitement de deux effluents textiles et un effluent simulé de tannerie. Thèse de doctorat en Génie Des Procédés et De Produits, Institut nationale polytechnique, Lorraine, (2009).

[18] CHENNAFI , B ALZAHRAA, DOUADI A, traitement des eaux de surface du barrage El K'sob par coagulation-floculation, (2021).

[19] BOURSALIL, « études expérimentales de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et chlorure ferrique des matières en suspension », mémoire d'ingénieur d'état en géologie, université de Tlemcen, (juin 2011).

[20] YVES, M. 2000, texte de la 279^e conférence de l'université de tous les savoirs, 5 octobre 2000.

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

[22] ACHOUR, S. et GUESBAYA, N. Coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et de substances humiques. *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, 2005..

[23] ASSAAD, E. Étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition. Thèse de doctorat. Université du Québec à Montréal. (2006).

[24] AMIMEUR, DJ. Contribution à l'étude de l'élimination du plomb par coagulation-floculation et par adsorption sur charbon actif. Effet de la minéralisation et des paramètres réactionnels thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en science en hydraulique, Biskra, (2018).

Références Bibliographiques

- [25] LAKHDARI, B., effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Air ELHOUTZ , (2011), p 20-36.
- [26] DEGREMONT. Mémento technique de l'eau. Edition : technique et documentation, Paris, (2005).
- [27] ZEMMOURI, H. Utilisation du chitosane comme agent floculant dans le traitement des eaux. Thèse de doctorat. Ecole nationale polytechnique. (2008).
- [28] KABORE, A., SAVADAGO, B., ROSILLON, F., et al. Optimisation de l'efficacité des graines de *Moringa oleifera* dans le traitement des eaux de Consommation en Afrique subsaharienne: cas des eaux du Burkina Faso. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 26, no 3, p. 209-220. (2013).
- [29] FATOMBI K, JOSSE, Roger G., MAMA, DAOUDA, et al. Étude de l'activité floculante de la caséine acide extraite de la crème de *Cocos nucifera* dans la clarification des eaux de surface. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 22, no 1, p. 93-101. (2009).
- [30] BROUILLARD, J. Effets comparatifs de deux fertilisants commerciaux et de deux types de biosolides sur la croissance du basilic génois (*Ocimum basilicum* L.). 2019.
- [31] ZAMAN-ALLAH, M., SIFI, B., EL AOUNI, M., et al. Paramètres agronomiques liés à la tolérance au sel chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). BASE, 2009.
- [32] GHANEM H., SAI, I. Utilisation des biocoagulants en traitements des eaux usées textiles. Thèse de doctorat. (2020).
- [33] ONESIPPE, C. Etudes des systèmes polyélectrolytes/Tensioactif en phase aqueuse et l'interface liquide/gaz. Application à l'élaboration de micro-capsules. Thèse de doctorat, Ecole doctorale : Science chimique et physique, Université de Montpellier II, France. (2005).
- [34] EZZIANE, S. « Traitement des eaux de rejets de l'unité de ceramit (tenes) », mémoire magister, université Hassiba ben boualo Chlef. (2007).
- [35] MERZOUK, B. Traitement et dessalement des eaux. Cours Master I. (2021/2022).
- [36] CHENG, WEN PO, Y., RUEY FANG, C., CHIEN, H., et al. Coagulation améliorée sur l'eau du réservoir par deux coagulants inorganiques. *Sciences de l'ingénieur environnemental*, vol. 20, n° 3, p. 229-235. (2003).

Résumé

Le procédé de coagulation-floculation nécessite l'utilisation des sels minéraux (sels d'aluminium ou sel de fer), pour un bon traitement de l'eau l'injection d'une dose de ces coagulants peut être avec des grandes doses, ce qui influe sur l'économie de la station, mais aussi la présence de ces métaux dans l'eau potable nuit à la santé humaine. L'étude suivante a pour but de minimiser les doses de coagulants et floculant injectés dans la station de traitement TAKSEBT, afin d'économiser le budget de la station SEAAL de Tizi-Ouzou, que ce soit dans l'achat de sulfate d'alumine ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ou bien en chlorure ferrique (FeCl_3). Cependant, les analyses effectuées permettent aussi la réduction des concentrations en fer/aluminium résiduel dans l'eau traitée afin de minimiser le risque à l'atteinte des maladies. Cependant les concentrations trouvées sont de : 10mg/L en FeCl_3 et 0.04 mg/L en polymère pour la période ensoleillée, et 10mg/L en coagulant et 0.01 mg/L en floculant concernant la période hivernale. Pour le sulfate d'alumine on a une concentration de 23mg/L en coagulant et 0.25mg/L en floculant pour la période hivernale, 6mg/L en coagulant 0.04mg/L en floculant pour la période ensoleillée.

Mots clés : coagulation-floculation, sulfate d'alumine, chlorure ferrique, station de traitement TAKSEBT, économie de la station, fer résiduel, aluminium résiduel.

Abstract

The coagulation-flocculation process requires the use of mineral salts (aluminum salts or iron salts), for good water treatment the injection of a dose of these coagulants can be with large doses, which affects the economy of the plant, but also the presence of these metals in drinking water harms human health. The aim of the following study is to minimize the doses of coagulants and flocculants in the TAKSEBT treatment plant, in order to save the budget of the Tizi-Ouzou SEAAL plant, whether in the purchase of alumina sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) or ferric chloride (FeCl_3). However, the analyses carried out also make it possible to reduce residual iron/aluminium concentrations in treated water in order to minimize the risk of disease. However, the concentrations found are: 10mg/L in FeCl_3 and 0.04 mg/L in polymer for the sunny period, and 10mg/L in coagulant and 0.01 mg/L in flocculant for the winter period. For aluminum sulphate we have a concentration of 23mg/L in coagulant and 0.25mg/L in flocculant for the winter period, 6mg/L in coagulant 0.04mg/L in flocculant for the sunny period.

Keywords : coagulation-flocculation, alumina sulfate, ferric chloride, TAKSEBT treatment plant, plant economics, residual iron, residual aluminum.