

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF –M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE CHIMIE
N° :.....



DOMAINE:SCIENCE DE LAMATIER
FILIERE : CHIMIE
OPTION : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

BOUHADI Rim

ARIOUA Somia

KAICHE Besma

Intitulé

Traitement des eaux usées par le procédé
coagulation-floculation en utilisant des coagulants à
base des sels d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$ - $AlCl_3$)

Soutenu devant le jury composé de :

HAFFAR Hichem	M.C.B	Université de M'sila	Président
NOUFEL Kamel	M.C.B	Université de M'sila	Rapporteur
LAIB Nouri	M.C.B	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce mémoire de fin d'études.

*Ce travail a été réalisé au laboratoire de chimie Je tiens à remercier à Monsieur **NOUFEL kamel**, mon encadreur de mémoire, ma profonde reconnaissance pour l'encadrement et les conseils qu'il m'a apportés*

Je veux également exprimer toute ma gratitude aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Mes vifs remerciements vont également à :

***Hamza et Mouhamed** pour leur assistance permanente, leur disponibilité et leur aide dans mes travaux expérimentaux au laboratoire*

***ARIOUA Nour elddine** chef du Laboratoire de la chimie pour son assistance constante avec tout ce dont nous avons besoin.*

Mes remerciements vont aussi à tout le corps enseignant et administratif du Département de chimie de l'université de M'sila.

Enfin, Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon
égard, de me soutenir et de m'épauler que je puisse
atteindre mes objectifs.*

A mes frères,

A mon chère sœur,

Pour soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mes chères ami (e) s,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille.

Kaiche Basma



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cassé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères,

Pour soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mes chères ami (e) s,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille kebaïli.

Bouhadi Rim



Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur,

celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ;

maman que j'adore.

A toute ma famille, et mes amis

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont

accompagné durant mon chemin d'études supérieures Et à tous ceux qui ont contribué de près ou

de loin pour que ce projet soit possible,

Tous ceux que j'aime et je respecte. Je vous dis merci.

ARIOLA SOMBA

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة معالجة مياه الصرف بشكل تجريبي بتقنية التخثر التلبد .
درسنا المعلمات الرئيسية
مثل ، وقت وسرعة التحريض ، ووقت الاستقرار ، والجرعة المثلى من مواد التخثر (كبريتات الألومنيوم وكلوريد الألومنيوم)
أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن التخثر والتلبد هي تقنية جيدة للغاية للتخلص من التعكر.
الكلمات الرئيسية: التخثر التلبد ، التعكر ، اختبار الجرة ، كبريتات الألومنيوم ، كلوريد الألومنيوم

Résumé

Ce travail avait pour objectif d'étudier expérimentalement le traitement des eaux usées avec le pesticide par la technique de coagulation-floculation (C-F). Nous avons étudié les principaux paramètres tels que, le temps et la vitesse d'agitation, le temps de décantation, la dose optimale des coagulants (Sulfate d'aluminium et Chlorure d'aluminium)

Les résultats obtenus montrent que la coagulation-floculation est une très bonne technique pour Turbidité.

Mots clés : Coagulation-floculation, Turbidité, Jar test, Sulfate d'aluminium, Chlorure d'aluminium

Tables des matieres

Introduction :..... Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I : Généralités sur l'eau usées

I.1.Définition des eaux usées : **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.Pollution de l'eau : **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.Origine de la pollution des eaux : **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.1.Origine domestique : **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.2.Origine agricole : **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.3.Origine industrielle : **Erreur ! Signet non défini.**

I.4.Type des eaux usées : **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.1.Les eaux usées domestiques : **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.2.Les eaux usées industrielles : **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.3.Les eaux de ruissellement : **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.4.Les eaux usées agricoles : **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.5.Eaux de pluie : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.Caractéristiques des eaux usées : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.1.Paramètres physiques : **Erreur ! Signet non défini.**

Température : **Erreur ! Signet non défini.**

Matière En Suspension (MES) : **Erreur ! Signet non défini.**

Turbidité : **Erreur ! Signet non défini.**

Couleur : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.2.Paramètres chimiques : **Erreur ! Signet non défini.**

Potentiel d'hydrogène (pH) : **Erreur ! Signet non défini.**

Conductivité électrique : **Erreur ! Signet non défini.**

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) : **Erreur ! Signet non défini.**

La demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) : **Erreur ! Signet non défini.**

L'azote : **Erreur ! Signet non défini.**

Le phosphore : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.3.Paramètres Bactériologiques : **Erreur ! Signet non défini.**

I.5.4.Notion de biodégradabilité : **Erreur ! Signet non défini.**

I.6.Principe de fonctionnement d'une station d'épuration : **Erreur ! Signet non défini.**

I.6.1.Définition d'une station d'épuration : **Erreur ! Signet non défini.**

- I.6.2. Les objectifs principaux d'une station d'épuration : **Erreur ! Signet non défini.**
- I.6.3. les Conditions d'implantation d'une station d'épuration : **Erreur ! Signet non défini.**
- I.6.4. Risques liés à la station d'épuration : **Erreur ! Signet non défini.**
- I.7. Les étapes de traitements des eaux usées utilisés dans les STEP :** **Erreur ! Signet non défini.**
- I.7.1. Le prétraitement : **Erreur ! Signet non défini.**
- Le dégrillage: **Erreur ! Signet non défini.**
- Le dessablage **Erreur ! Signet non défini.**
- Le dégraissage -désuilage: **Erreur ! Signet non défini.**
- I.7.2. Traitement primaire : **Erreur ! Signet non défini.**
- Décantation: **Erreur ! Signet non défini.**
- Flottation: **Erreur ! Signet non défini.**
- I.7.3. Traitement secondaire (traitement biologique): **Erreur ! Signet non défini.**
- Les boues activées: **Erreur ! Signet non défini.**
- Lagunage : **Erreur ! Signet non défini.**
- Lit bactérien : **Erreur ! Signet non défini.**
- I.7.4. Traitement tertiaire **Erreur ! Signet non défini.**
- I.8. Présentation de la station d'épuration de M'sila :.....** **Erreur ! Signet non défini.**
- I.8.1. Description et situation géographique : **Erreur ! Signet non défini.**
- I.8.2. Caractéristique de l'effluent a la rentrée de
SM'sila: **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II : Procédée de traitement des eaux usées

- II.1. Introduction** **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2. coagulation-floculation** **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2.1. Caractéristiques des particules à éliminer **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2. 1.1. Généralités : **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2. 1.1.1. Les matières en suspension : **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2. 1.1.2. Les particules colloïdales **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2. 1.1.3. Les matières dissoutes **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2.2. Les types des particules colloïdales **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2.2.1. Les particules colloïdales hydrophile **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2.2.2. Les particules colloïdales hydrophobes **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2.3. Stabilité des particules colloïdales **Erreur ! Signet non défini.**
- II.2.3. La potentielle thermodynamique ou potentiel Stern : **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.3. La potentielle électrocinétique Zêta :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.le procédé de coagulation floculation :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1. la coagulation floculation :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1.1. Rôle de la coagulation-floculation :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2. Coagulation.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.1.Définition:.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.2. Principe :.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.3 . Phénomène de coagulation :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.3.1. Compression de la double couche :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.3.2. Adsorption et neutralisation des charges :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.3.3. Emprisonnement des particules dans un précipité :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.3.4 Adsorption et pontage :.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.3.5. Coagulants et floculants chimiques :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.4. Dimensionnement d'une coagulation-floculation.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.5. Les facteurs influençant dans la coagulation:	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.1. Influence pH :	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.2. Influence de la turbidité	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.3. Influence de la Température de l'eau :	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.4. Influence du coagulant :.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.5. Influence de l'agitation.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.6. Influence de la minéralisation.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.5.7. Influence de la couleur :.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2.6. Choix du coagulant :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1. Floculation	Erreur ! Signet non défini.
II .3.2. La floculation :.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.3.Principe :.....	Erreur ! Signet non défini.
II .3.4.Types de floculation	Erreur ! Signet non défini.
II.3.4.1. Floculation physique.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.4.2. Floculation péricinétique	Erreur ! Signet non défini.
II.3.4.3. Floculation Orthocinétique :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.4.4.Floculation chimique :	Erreur ! Signet non défini.
II.3.4.5.Floculants utilisés	Erreur ! Signet non défini.
Floculants organiques.....	Erreur ! Signet non défini.
Floculants minérales.....	Erreur ! Signet non défini.
Floculants de synthèses	Erreur ! Signet non défini.
II .4.Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III : Méthodes et Techniques Expérimentales

III .1.Préparations des coagulants et des flocculants :	Erreur ! Signet non défini.
III .1.1.Appareillage :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.2. Matériels et produits :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.3. Procédure expérimentale:	Erreur ! Signet non défini.
III.1.4.Dispositifs expérimentaux :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.5. Jar Test :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.5.1 Mesure pH- mètre :	Erreur ! Signet non défini.
III .1.5.2. Mesure de Conductivité.....	Erreur ! Signet non défini.
III .1.5.3. Mesure de Turbidité	Erreur ! Signet non défini.
III .1.5.4.Mesure de l'absorbance:.....	Erreur ! Signet non défini.
III .1.5.5.Mesure des matières en suspensions (MES):	Erreur ! Signet non défini.
III.1.2. Le déroulement de la deuxième expérience :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre IV : Résultats expérimentaux et discussions

IV. Résultats expérimentaux et discussions	Erreur ! Signet non défini.
IV.1. Caractéristiques des échantillons utilisées :	Erreur ! Signet non défini.
IV.2. L'influence de la vitesse et de temps d'agitation :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3. Détermination de la concentration optimale des coagulants :	Erreur ! Signet non défini.
IV.4. Etudes comparative de l'efficacité et le rendement des Coagulants $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$:	Erreur ! Signet non défini.
IV.4. 1. Variation de pH en fonction des doses $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$:	Erreur ! Signet non défini.
IV.4. 2. Variation de La conductivité en fonction des doses $Al_2(SO_4)_3$ et $(Al(Cl))_3$:	Erreur ! Signet non défini.
IV.4. 3. Variation de la turbidité en fonction de la dose de $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl))_3$: ..	Erreur ! Signet non défini.
IV.1. 4. Variation de la matière en suspension MES en fonction des doses $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$:	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.5. Variation de l'absorbance UV $_{254\text{ nm}}$ en fonction des doses $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl))_3$: ..	Erreur ! Signet non défini.

Conclusion générale :	51
Références bibliographiques :	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.01: Tableau d'appareillage. Erreur ! Signet non défini.

Tableau.III.02 : tableau des matériels et produits utilisés. Erreur ! Signet non défini.

Tableau III.03. : Classification des eaux d'après leur pH. Erreur ! Signet non défini.

Tableau III 04 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.1. Caractéristiques des échantillons utilisées :
.....Erreur ! Signet non défini.

Tableau IV.2. Effet de la dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3$ sur la variation des paramètres de traitement :
.....Erreur ! Signet non défini.

Tableau IV.3. Effet de la dose du coagulant $Al(Cl)_3$ sur la variation des paramètres de traitement :
..... **Erreur ! Signet non défini.**

LISTE DES FIGURES

- Figure 01: Vue aérienne d'une station d'épuration..... Erreur ! Signet non défini.
- Figure 02 : Lamelles de dégrillage..... Erreur ! Signet non défini.
- Figure 03 : Dessableur-dégraisseur rectangulaire Erreur ! Signet non défini.
- Figure 04. Bassin d'aération (à gauche) et les décanteurs secondaires (à droite).Erreur ! Signet non défini.
- Figure.05: Situation géographique de la ville et de la STEP de M'silaErreur ! Signet non défini.
- Figure 06: Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement..Erreur ! Signet non défini.
- Figure 07 : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale Erreur ! Signet non défini.
- Figure 08 : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.Erreur ! Signet non défini.
- Figure 09 : Représentation schématique de neutralisation des charges.Erreur ! Signet non défini.
- Figure 10:Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.Erreur ! Signet non défini.
- Figure 11 : Jar test flocculateurs.....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 12 : Microprocesseur pH Mètre Erreur ! Signet non défini.
- Figure 13 : Conductimètre..... Erreur ! Signet non défini.
- Figure 14 : Turbidimètre (2100N)..... Erreur ! Signet non défini.
- Figure 15 : Dispositif représentant le spectrophotomètre utilisé.....38
- Figure 16 : Mesure des matières en suspension (MES).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure IV.1: Variation de pH en fonction de la dose $Al_2(SO_4)_3$ Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.3: Variation de la conductivité en fonction de la dose $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$..Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.4: Variation de la conductivité en fonction de la dose $(\text{Al}(\text{Cl})_3)$...Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.5: Variation de la turbidité en fonction de la dose $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.6: Variation de la turbidité en fonction de la dose $\text{Al}(\text{Cl})_3$Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.7: Variation du MES en fonction de la dose $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$... Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.9: Variation de l'absorbance UV 254 nm en fonction de la dose $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$..Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.10: Variation de l'absorbance UV $_{254 \text{ nm}}$ en fonction de la dose $\text{Al}(\text{Cl})_3$Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

Introduction générale

Toute matière vivante est composée d'eau et a besoin d'eau. Il n'y a pas de vie sans eau. La teneur en eau et les besoins de chaque être vivant varient, mais l'eau reste un besoin vital. L'eau est présente partout dans notre vie quotidienne, on l'utilise pour boire, pour préparer la cuisine, pour se laver, pour l'évacuation des toilettes, pour arroser le jardin, pour nettoyer la maison, etc... Toutes les activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles, artisanales, agricoles. Produisent des eaux usées. On distingue quatre grandes catégories d'eaux usées : Les eaux domestiques. Les eaux agricoles, Les eaux industrielles et Les eaux pluviales et de ruissellements.

En principe, ces eaux sont collectées pour être traitées. Le but de l'épuration de l'eau est de traiter suffisamment les eaux usées pour que leur rejet dans les cours d'eau ou dans l'environnement ne dégrade pas ces milieux naturels, et ne cause pas de graves dommages (destruction partielle ou totale de la faune et de la flore). L'environnement des eaux usées est un milieu idéal pour une large gamme de microorganismes, en particulier les bactéries, les virus et les protozoaires. La majorité est inoffensive et peut être utilisée dans le traitement biologique des eaux usées, mais les eaux usées contiennent également des microorganismes pathogènes. Parmi les traitements des eaux usées, nous nous focalisons sur le procédé de Coagulation floculation, qui fait appel à plusieurs agents de coagulation et de floculation généralement d'origine synthétiques. Ces produits ont des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement, cependant faire appel à des produits alternatifs devient une nécessité cruciale. Dans un contexte sanitaire et environnemental ; nous allons concentrer nos études à faire intégrer de nouveaux produits biodégradables dans le processus de traitement des eaux.

L'objectif de notre travail Traitement des eaux usées par le procédé coagulation-floculation en utilisant des coagulants à base sels d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$ - $AlCl_3$). Ce mémoire est composé de deux parties principales. La première partie est la présentation bibliographique. Ldeuxième partie présente l'étude expérimentale. Les deux parties comportent quatre chapitres.

- Un premier chapitre : généralité sur les eaux usée
- Un deuxième chapitre procédé de traitement des eaux usées (coagulation floculation).
- Un troisième chapitre : matériels et méthodes.
- Un quatrième chapitre : résultats et discussion

En fin une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les eaux usées

Généralités sur l'eau usées

I. Introduction :

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques suite à l'usage domestique, industriel, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc être traitées pour répondre à certaines normes avant toute réutilisation ou injection dans l'environnement. **(Cherif L)**

I.1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées en matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. L'eau usée est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'elles ne causent pas la pollution de ces autres sources. Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. Tout ce que vous évacuez en tirant la chasse d'eau et lorsque vous utilisez vos éviers sont considérés comme une eau usée.

Les eaux usées, qui sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées. **(Alain Damen)**

I.2. Pollution de l'eau :

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique ou biologique de cette eau, provoquée par le rejet de substances indésirables qui perturbent les conditions de vie et l'équilibre du milieu aquatique, et induisent d'importantes nuisances : mauvaises odeurs, fermentations qui se répercutent, à court terme, sur notre organisme, à travers, la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons. **(El ALAOUI Riham et TAUSSE Imane)**

I.3. Origine de la pollution des eaux :

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers les ressources agricoles, en

eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature (**LAURENT J-L**). Les charges polluantes contenues dans les eaux résiduaires ont des origines diverses. Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eau et plus généralement tout le milieu naturel. Ces substances polluantes peuvent avoir différentes origines :

I.3.1. Origine domestique :

Ce sont les eaux qui proviennent généralement des habitations «eaux ménagères et eaux vannes» qui sont présentées comme un mélange de matières non dissoutes dans une solution aqueuse de matières organiques et minérales.(**GOMELLA C & GUERRÉE H**)

I.3.2. Origine agricole :

L'agriculture constitue la première cause de pollutions diffuses. Lorsque l'on considère les pollutions d'origine agricole, il faut englober à la fois celles qui ont trait aux cultures et à l'élevage (**MARTEL O**). Les causes des différentes formes de pollution agricole sont multiples (**GAUJOUS D**) : De fortes teneurs en sels minéraux « azote, phosphore, potassium» provenant des engrais, des purins et lisiers (élevage) ; La présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...etc.) ; Les déjections animales qui accompagnent les élevages intensifs et les résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections animales ou pour favoriser leur croissance.

I.3.3. Origine industrielle :

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau au cours du procès industriel. Parmi les industries considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau tels que les industries agroalimentaires, papetières, la chimie, les traitements de surface, l'industrie du cuir et de textile, etc. (**MARTEL O**) La pollution est directement liée aux activités industrielles et agricoles. Nous nous intéressons aux rejets liquides transportés par l'eau, appelés couramment les eaux résiduaires industrielles transportant en général divers produits hautement toxiques avec des taux très élevés.

I.4. Type des eaux usées :

Les eaux usées sont réparties en 5 catégories :

I.4.1. Les eaux usées domestiques :

Sont issues des installations sanitaires, des cuisines, du nettoyage des bâtiments, des lessives à domicile, de certains petits établissements et qui sont destinées à être déversées dans une station d'épuration. Elles peuvent être un danger pour la santé car elles véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne. (**Belahmadi mohamed seddik Oussama**)

I.4.2. Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires).
- Des hydrocarbures (raffineries).
- Des métaux (métallurgie).
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries).
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).

Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs). Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations. (**Gérard Grosclaude**)

I.4.3. Les eaux de ruissellement :

Artificielles d'origine pluviale, elles sont aussi considérées comme étant des eaux usées, si ce n'est qu'elles font, dans certains cas, l'objet d'un traitement séparé dans le cadre de leur évacuation. (**Université CheikhantaDiop de Dakar**)

I.4.4. Les eaux usées agricoles :

sont des eaux usées provenant d'établissements ou sont gardés ou élevés des animaux entraînant une charge polluante globale inférieure à une valeur maximale fixée par le gouvernement et qui ne sont ni des jardins zoologiques ni des animaleries permanentes. (Gérard Grosclaude)

I.4.5. Eaux de pluie :

Ces eaux proviennent des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie par deux mécanismes :

- Le lessivage de sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces, sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décaatables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts. (Règlement du service départemental d'assainissement)

I.5. Caractéristiques des eaux usées :

I.5.1. Paramètres physiques :

➤ Température :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique 'pollution thermique'. Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32 °C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures variant de 12 à 15 °C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C. (Dahou A et Brek A)

➤ Matière En Suspension (MES) :

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille non dissoutes, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en

suspension (MES). **MVS** : Matières Volatiles en Suspension. Partie biodégradable de MES. (**GAÏD A**)

➤ **Turbidité :**

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles et les limons, (**ATTAB S**)

➤ **Couleur :**

La couleur foncée indique généralement que l'eau est impure à l'inverse, plus on a une couleur claire plus l'eau n'est pas polluée. (**RahouK**)

I.5.2. Paramètres chimiques :

➤ **Potentiel d'hydrogène (pH) :**

Le pH représente l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Le pH d'une eau domestique ou urbaine se situe généralement entre 6.8 et 7.8. Au-delà, c'est l'indice d'une pollution industrielle. (**ATTAB S**)

➤ **Conductivité électrique :**

La conductivité est mesurée au moyen d'un conductimètre électrique de type (AD310) donnant des mesures en ms/cm. On utilise aussi le conductimètre pour mesurer la température, la salinité et le taux des matières solides dissoutes dans l'eau (TDS). (**KARDACHE LOUBNA**)

➤ **La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :**

C'est la quantité de matières organiques oxydables par voie chimique. Le rapport entre ces deux paramètres peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent. La DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables. La dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous. (**Baha S et Bensari F**)

➤ **La demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) :**

la demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques (biodégradables) par voie biologique (oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries). (GAÏD A)

➤ **L'azote :**

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines... Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniacal, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. (Rahouk)

➤ **Le phosphore :**

L'origine du phosphore provient essentiellement des détergents pour lave-vaisselle et des produits industriels. (AbibsiN)

I.5.3. Paramètres Bactériologiques :

Les bactéries sont présentes dans la nature. Seules quelques dizaines d'espèces sont adaptées à l'homme : la plupart sont inoffensives ou même utiles, et certaines sont pathogènes. (Catherine B(*) et Alain H(**) et Jean-M(**))

I.5.4. Notion de biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient :

$$K = \text{DCO} / \text{DBO}_5$$

Si : $k < 1,5$ l'effluent est biodégradable.

$1,5 < k < 2,5$ l'effluent est moyennement biodégradable.

$K > 2,5$ l'effluent n'est pas biodégradable.

Un coefficient k élevé peut traduire la présence dans l'eau, d'éléments inhibiteurs. (Sandrine D)

I.6. Principe de fonctionnement d'une station d'épuration :

I.6.1. Définition d'une station d'épuration :

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel.

Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées qu'elles soient d'origines industrielles ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme. Le but est de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement, avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer notre environnement.

Une station d'épuration est une installation de plusieurs dispositifs et de procédés bien spécifique, chaque procédé a pour rôle d'éliminer ou de diminuer le taux d'un polluant présent dans l'eau usée. Equipée d'un LABORATOIRE D'ANALYSE qui a pour but de calculer le rendement de la STEP et d'étudier l'anomalie (si nécessaire), d'une façon générale il surveille le fonctionnement de la station. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur. **(KARDACHE LOUBNA)**

La première tentative d'épuration des eaux usées a été inventée en 1914 par des scientifiques anglais.



Figure 1: Vue aérienne d'une station d'épuration

I.6.2. Les objectifs principaux d'une station d'épuration :

- Protection de la nappe phréatique contre la pollution.
- Eviter aux agriculteurs l'irrigation des terres agricoles avec les eaux usées.
- Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique.
- Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation.
- Economie importante de l'eau.
- Eviter la surexploitation des nappes souterraines.

I.6.3. les Conditions d'implantation d'une station d'épuration :

La station d'épuration doit être implantée selon les conditions suivantes :

- Eviter le maximum les zones inondables.
- Prendre en considération les zones urbanisées et urbanisables à cause des odeurs désagréables, maladies transmissibles par l'air, ... ;
- L'implantation doit être l'aval du réseau d'assainissement (à l'exutoire) afin d'éviter le relevage et par conséquent le coût élevé.
- La position de la station d'épuration doit être dans un point où la collecte des eaux usées se fait au maximum (repérer le stratégique entre deux agglomération par exemple).
- Le rejet des eaux épurées ne doit pas affecté le milieu récepteur (inondation des terres agricoles).

I.6.4. Risques liés à la station d'épuration :

- Risque de chutes, de glissades, liées à la circulation du personnel aux abords immédiats des équipements et matériels.
- Le personnel exploitant peut être contaminé par voie digestive (essentiellement en portant les mains ou les objets souillés à la bouche), par la peau tout au long du processus de traitement de l'eau.
- Le risque de contamination par voie respiratoire existe à proximité des procédés (dégrillage,...).

- Les risques d'incendie et d'explosion liés à la présence de gaz de fermentation ou de résidus de produit inflammables, nécessaires à l'exploitation ou introduits accidentellement par les eaux résiduaires.
- Les risques d'asphyxie liés aux espaces confinés, aux fosses. (MR, Toubal)

I.7. Les étapes de traitements des eaux usées utilisés dans les STEP :

Les STEP traitent les eaux usées afin de les purifier et aussi les boues d'épuration en les déshydratants de toute humidité.

1- Les étapes d'épuration des eaux usées :

I.7.1. Le prétraitement :

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un prétraitement qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.(GAÏD A)

➤ Le dégrillage:

L'opération de dégrillage permet de protéger la station contre l'arrivée des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages au niveau de différentes unités de l'installation et d'éliminer les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements ultérieurs.

En fonction de l'espacement des barreaux on peut distinguer :

- ✓ Le dégrillage fin : écartement de 3 à 10mm
- ✓ Le dégrillage moyen : écartement de 10 à 45mm
- ✓ Le dégrillage grossier : écartement de 50 à 100mm

Les dégrillages peuvent être verticale; ou inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale (Mimeche L).



Figure 2 : Lamelles de dégrillage

➤ **Le dessablage**

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants.

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. **(Cherif L)**

➤ **Le dégraissage -désuilage:**

Le désuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient ensuite. **(DEGREMONT)**



Figure 3 : Dessableur-dégraisseur rectangulaire

I.6.2. Traitement primaire :

➤ **Décantation:**

Il s'agit le plus souvent d'une décantation qui permet d'éliminer les matières en suspension décantables en deux heures. L'utilisation de réactifs chimiques pour éliminer des particules plus fines constitue un traitement physico-chimique.

➤ L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage

➤ **Flottation:**

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. Dans les eaux à forte charge en matières organiques, les matières solides sont rassemblées à la surface par insufflation d'air, sous forme d'écume qui est ensuite retirée par raclage à la surface de l'eau. Les bulles d'air fines s'accrochent aux particules fines à éliminer. (**Bouchenak K et Racha M**)

I.7.3. Traitement secondaire (traitement biologique):

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer. Dans les cas étudiés, le principe général est de favoriser la croissance de communautés de bactéries aérobies, c'est-à-dire qui prélève l'O₂ pour leur métabolisme. (**Solène M et David R et Milena S**)

A. Les boues activées:

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu. Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le

mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte) ; l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène, voire même d'oxygène pur, a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies (**PNUE / OMS**)

Dans le décanteur secondaire, la boue activée est séparée de l'eau purifiée. Une partie des boues activées séparée est réintroduite dans le bassin d'aération (boues de retour). La partie non réintroduite (boues en excès) est un résidu de ce procédé. (**Geräte**).



Figure .4. Bassin d'aération (à gauche) et les décanteurs secondaires (à droite)

B. Lagunage :

Il s'agit d'un étang ou un système de lagunes mettant en œuvre une culture mixte alga bactérienne. Suivant la profondeur du bassin, on peut distinguer différents régimes de fonctionnement. En zone peu profonde, le traitement s'effectue dans des conditions d'aérobiose. Les deux populations vivent en symbiose. Bien qu'une partie limitée de l'oxygène dissous provienne de la diffusion naturelle à travers l'interface air-liquide, les besoins en oxygène des bactéries sont principalement assurés par l'activité photosynthétique des algues exposées à la lumière. De leur côté, les végétaux profitent du gaz carbonique ainsi que les nutriments inorganiques produits au cours des réactions métaboliques des cellules vivantes.

Dans le cas des lagunes plus profondes, en plus de la zone supérieure aérobie, on peut distinguer une région intermédiaire facultative où la disponibilité de l'oxygène dépend de la lumière solaire. Le traitement a lieu dans des conditions d'aérobiose le jour, et en anaérobiose

durant la nuit. Les dépôts de boues au fond des bassins suffisamment profonds forment une couche anaérobie où ont lieu des processus de fermentation. (Hadj-Sadok, Z. M., 1999)

C. Lit bactérien :

Ce procédé aérobie à cultures fixées consiste à faire supporter les micro-organismes par des matériaux poreux. L'effluent est distribué par aspersion en surface et l'oxygénation est apportée par ventilation naturelle de bas en haut. L'affluent arrive par la partie supérieure alors que l'effluent est évacué par le fond afin de ne pas perturber la fonction aérobie. De ce fait, ce système présente un inconvénient majeur, en ce sens qu'il nécessite un dispositif de relevage. La biomasse se développe à la surface du support. Lorsqu'elle devient trop importante, la pellicule bactérienne se détache naturellement ; elle doit alors être séparée de l'effluent par décantation. (Boari, G., Mancini, I.M. and Trulli, E., 1997)

I.7.4. Traitement tertiaire

Les traitements complémentaires appelés aussi tertiaire, avancés, ou de finissage, sont des procédés qui permettent d'améliorer la caractéristique d'une eau résiduaire après un traitement biologique ou un traitement physico-chimique. On leur fait appel lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire de milieu récepteur ou en raison d'une réutilisation immédiate. Ces procédés ont notamment pour but :

-l'élimination de l'azote et du phosphore.

-La désinfection (Jooste, S., Palmer, C., Kühn, A. and Kempster, P., 2003)

I.8. Présentation de la station d'épuration de M'sila :

I.8.1. Description et situation géographique :

La STEP de M'sila est située au Nord Est de la Wilaya de M'sila et à une distance d'environ 248Km au Sud Est de la capitale d'Alger (Fig. 03) aux coordonnées géométriques suivantes : 35°45N et 4°35'E.

Elle est limitée : au nord par la wilaya de Bordj Bou Arreridj Commune d'(Elaach), au sud par la commune OuledMadhi, à l'Ouest ; par la commune de OuledMansour et à l'Est par les communes de Metarfa.



Figure.05: Situation géographique de la ville et de la STEP de M'sila

(Source : Image satellite Google Earth 2016).

La station d'épuration (STEP) de la ville de M'sila est située au sud à environ 9Km du centre de la ville de M'sila et sur la rive droite d'Oued M'sila. Elle s'étend sur une superficie de 4,16ha. aux coordonnées géométriques suivantes : 35°40N et 4°30N.

I.8.2. Caractéristique de l'effluent a la rentré de STEP de M'sila:

Débit journalier	32000m ³ /j
Débit de pointe en temps sec	2.772m ³ /h
Débit de pointe en temps de pluie	5.544m ³ /h
DBO5	10800kg/j soit 337.5mg/l
MES	12000kg/j soit 375mg/l
PH	Entre 6.5 et 8.5
TKN (azote Kjehal)	75mg/l
Coliformes totaux	10 ⁶ /100ml

Chapitre II

Procédée de traitement des eaux usées

Procédée de traitement des eaux usées

II.1. Introduction

En tant que processus unitaire du traitement de l'eau, la coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans des dispersions aqueuses, afin d'assembler en agrégats plus gros, les fines particules dispersées. Ces nouveaux agrégats peuvent être éliminés, après floculation, par des procédés tels la décantation ou la filtration. La floculation est considérée ici comme processus distinct qui a lieu en fin de coagulation. Elle consiste à favoriser la croissance de floes macroscopiques, avec ou sans utilisation d'additifs tels que les adjuvants de floculation.

L'efficacité de cette étape de traitement est liée au pH, au type et au dosage du coagulant ainsi que à la nature des particules et des matrices minérales et organiques.

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur le procédé de coagulation floculation avec les différents coagulants et les réactions du coagulant.

II.2. coagulation-floculation

II.2.1. Caractéristiques des particules à éliminer

II.2. 1.1. Généralités :

Les particules en suspensions dans une eau de surface proviennent de l'érosion des terres, de la dissolution de substances minérales et la décomposition de substances. En général, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matières inorganiques (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matières organiques. Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivant :

- Etat de suspension qui regroupe les plus grosses particules
- Etat colloïdale
- Etat dissous des sels minéraux et des molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules (**Aouina B et Leblalta M (2020)**).

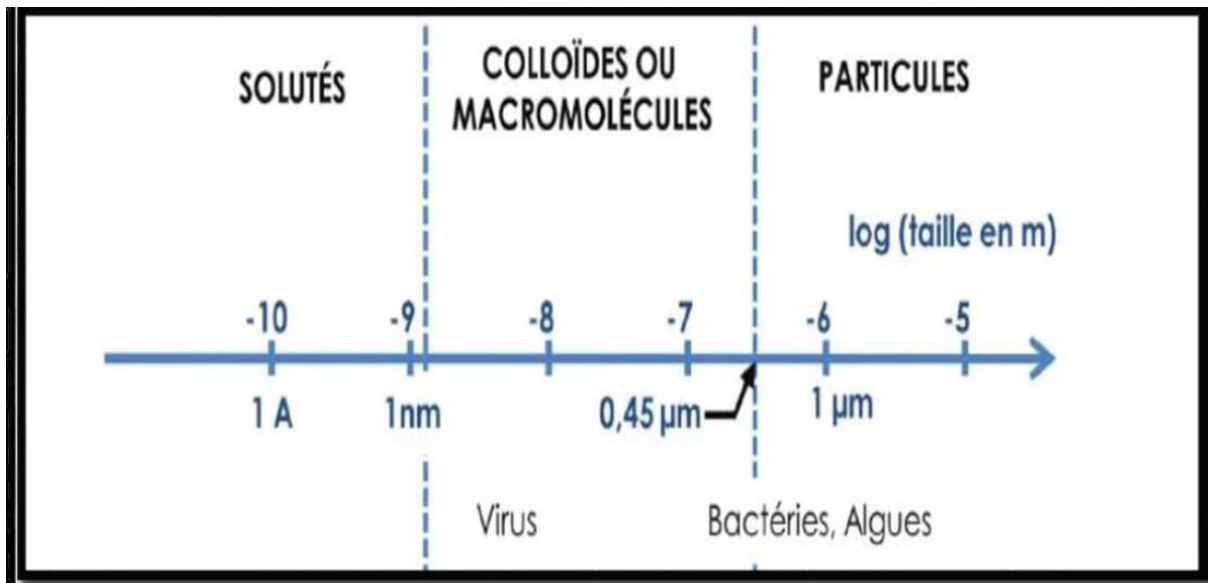


Figure 06: Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement (Aouina B et Leblalta M (2020)).

II.2. 1.1.1. Les matières en suspension :

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois groupes suivants : Les matières en suspension qui regroupe les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique. Leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité (Ezziane, 2007).

Les matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à un micron, leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdes d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité peuvent nécessiter jusqu'à 66600 années pour décanter d'un mètre (Ezziane, 2007).

Les matières dissoutes sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre. La difficulté de sédimentation des particules colloïdales est essentiellement due d'une part, à la faible taille de la particule, à leur densité proche de l'eau et d'autre part, aux charges électriques réparties à leur surface qui leur confère une grande stabilité (Ezziane, 2007).

II.2. 1.1.2. Les particules colloïdales

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau

durant de très longues périodes de temps, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation (Boursali, 2011).

II.2. 1.1.3. Les matières dissoutes

Sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètres. (Desjardins, 1999)

II.2.2. Les types des particules colloïdales

Les particules colloïdes sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles (Ezziane, 2007).

II.2.2.1. Les particules colloïdales hydrophile

Les hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique. Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur Agglomération (Ezziane, 2007).

II.2.2.2. Les particules colloïdales hydrophobes

Les hydrophobes sont des micelles ou agrégats de molécules simples, dissoutes et qui comprennent la plupart des corps de la chimie minérale. Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée. On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physique. Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles (Ezziane, 2007).

On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physique. Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles (Boursali, 2011).

II.2.3. Stabilité des particules colloïdales

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer, elles demeurent donc stables. Les ions positifs présents dans l'eau neutralisent la charge à la surface de la particule et forment une couche autour du colloïde. Diverses théories expliquent ce phénomène (**Lakhdari, 2011**).

- **La théorie d'Helmholtz** : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).
- **La théorie de Gouy-Chapman** : la couche d'ions positifs est inégalement autour du colloïde, la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse) (**Lakhdari, 2011**).
- **La théorie de Stern** : est un compromis des deux précédentes. Elle considère la formation de la double couche. La première adhère à la particule et le potentiel décroît rapidement. La seconde est plus diffuse et potentiel décroît plus lentement (**Deltalab, 2012**).

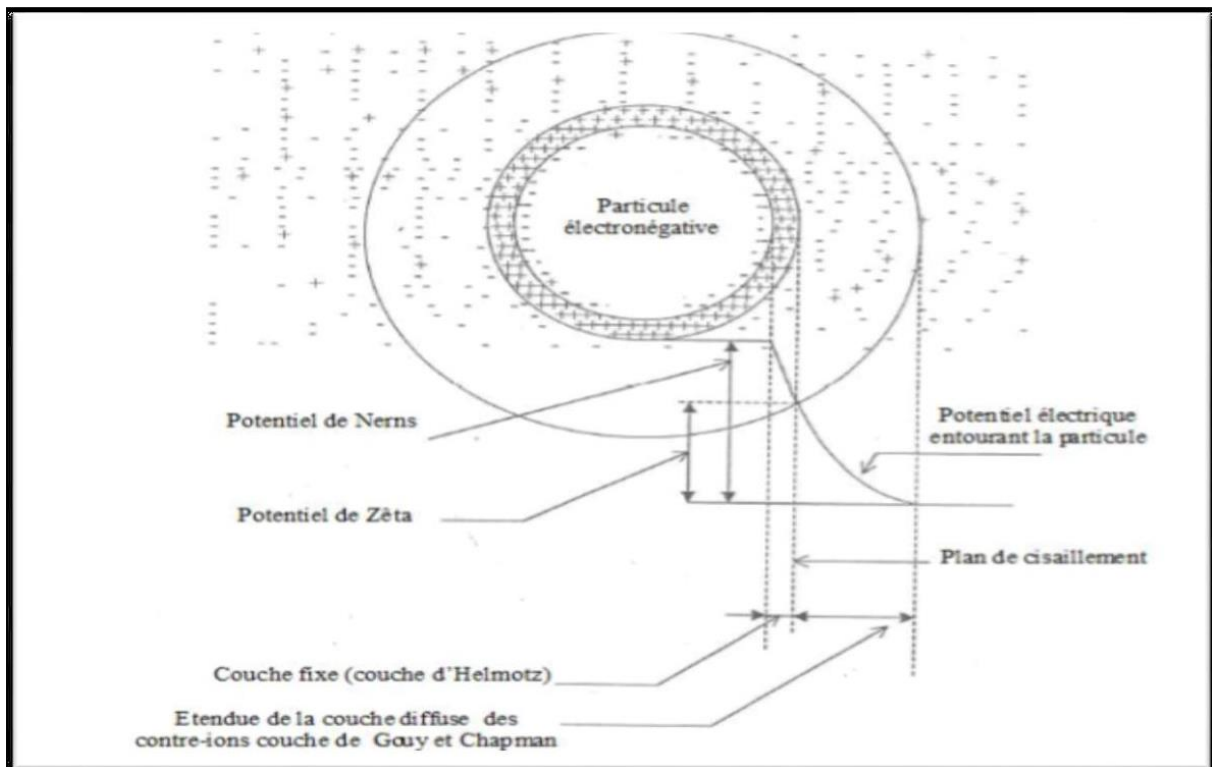


Figure 07 : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale (Ezziane, 2007)

II.2.3. La potentielle thermodynamique ou potentiel Stern :

C'est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule.

II.2.3. La potentielle électrocinétique Zêta :

Le potentiel électrostatique diminue à mesure où l'on s'éloigne de la particule. Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Lorsqu'un champ électrique est appliqué, les particules ayant un potentiel Zêta négatif se déplacent en direction de l'électrode positive. Le potentiel Zêta est important car il définit le comportement électrocinétique des particules et par voie de conséquence leur stabilité dans la solution, l'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations (Siangsanun, 2010).

II.3.le procédé de coagulation floculation :

II.3.1. la coagulation floculation :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes.

La coagulation a pour but la déstabilisation des colloïdes et leur agglomération ainsi que celle des particules fines en suspension. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre par addition d'un réactif chimique, dit «le coagulant ». Elle agit également par adsorption sur les substances dissoutes et les grosses molécules organiques hydrophiles en suspension stable (Godart. H, 2000).

La floculation est l'agglomération de ces particules déchargées en micro- flocc, puis en flocons volumineux et décantables. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif dit le flocculant ou adjuvant de floculation.

II.3.1.1. Rôle de la coagulation-floculation :

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES et des colloïdes en les rassemblant sous forme de flocc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration.

Ils constituent les traitements de base appliqués pour corriger tout ou partie des défauts de l'eau liés aux fractions particulières inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (microalgues planctoniques ; micro-invertébrés en particulier les kystes des protozoaires parasites : amibes, Giardia Cryptospridium... ; bactéries).

Ils assurent aussi l'élimination de la fraction « flocculable » des matières organiques (macromolécules, en particulier la plupart des acides humiques responsables de la couleur), de certains métaux lourds, plus généralement de la fraction des micropolluants associée à ces MES et macromolécules colloïdales dont les virus, pratiquement toujours portés par les MES et colloïdes de l'eau (**Ymottot, 2000**).

II.3.2. Coagulation

II.3.2.1. Définition:

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques amenant un processus comportant, en premier lieu la déstabilisation d'une suspension colloïdale, et en second lieu l'agrégation des particules en petits amas, ou flocons, sous agitation et sous l'action du mouvement brownien. (**Beaudry, 1984**)

II.3.2.2. Principe :

Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire des réactifs chimiques nommés coagulants (**Hernandez de León, 2006**).

L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes (**Brahmi et al, 2010**). Le procédé nécessite une agitation importante (**Hernandez de León, 2006**).

II .3.2.3 . Phénomène de coagulation :

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquence, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération .On peut obtenir cette déstabilisation par:

- a) compression de la double couche
- b) adsorption et neutralisation de la charge
- c) emprisonnement des particules dans un précipité
- d) adsorption et pontage (Kherifi , 2009)

II.3.2.3.1. Compression de la double couche :

La compression de la double couche diminue la barrière énergétique ; ainsi, les colloïdes peuvent se rapprocher (Ghernaout et al., 2017). Ceci est atteint par l'injection d'électrolyte indifférents dans l'eau (Ghernaout et al., 2018). La règle de Schultz -Hardy montre que l'impact des électrolytes indifférents augmente avec la valence des ions d'une sixième puissance exponentielle (Al arni et al., 2019).

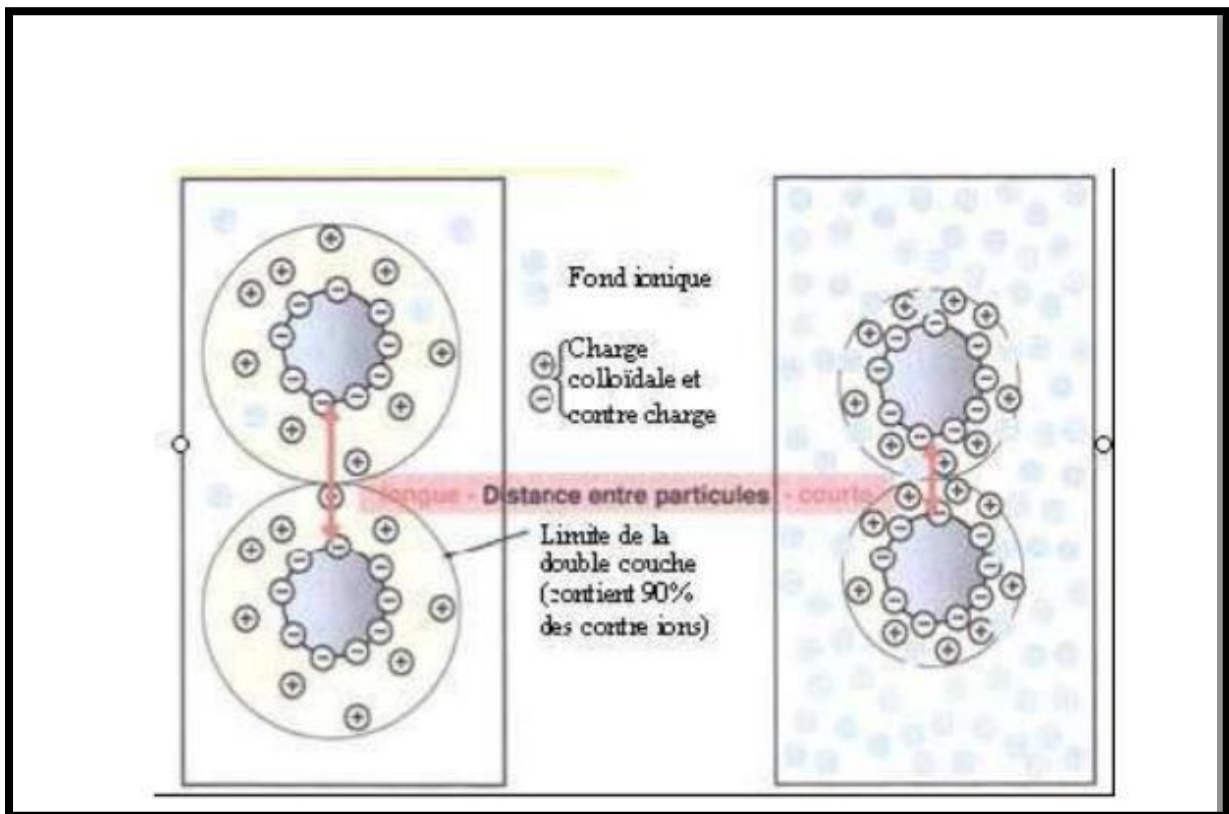


Figure 08 : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.(Ezziane , 2007)

II.3.2.3.2. Adsorption et neutralisation des charges :

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de

cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi rentabilisées (figure18). (Boursali, 2011).

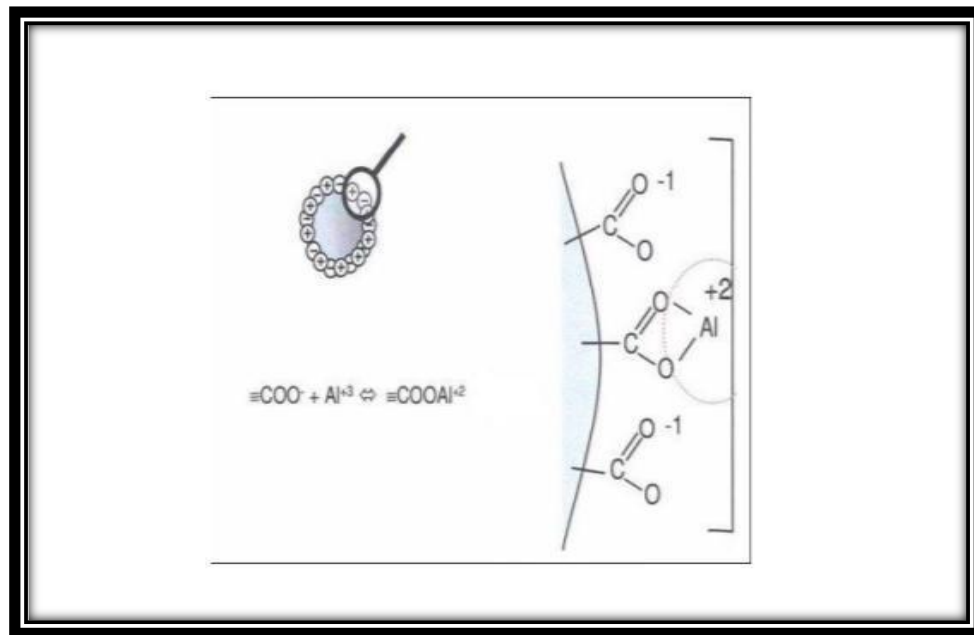


Figure 09 : Représentation schématique de neutralisation des charges. (Ezziane, 2007)

II.3.2.3.3. Emprisonnement des particules dans un précipité :

Pour la déstabilisation des particules colloïdales, on peut en outre les emprisonner, lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou FeCl_3 , on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc, constitué de molécules de $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, possède habituellement une charge positive. La présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc; ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant requise (figure19). En d'autres mots, une concentration importante de particules en suspension peut entraîner une diminution de la quantité de coagulant nécessaire. (Desjardins, 1997)

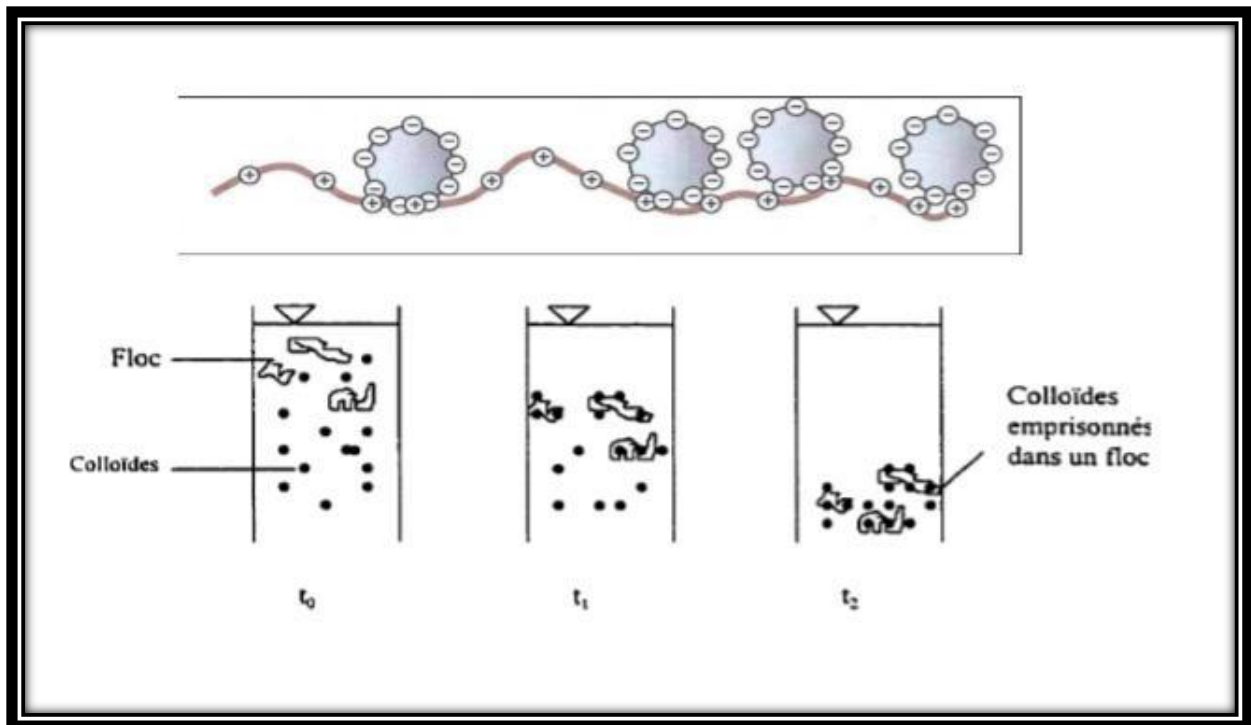


Figure 10: Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation (Zongo, 2009)

II.3.2.3.4 Adsorption et pontage :

Dans quelques cas, on a obtenu le traitement le plus économique en utilisant un polymère anionique lorsque les particules étaient chargées négativement. Ce phénomène, n'explicable à l'aide de la théorie électrique, peut toutefois être expliqué par le "pontage". Les molécules de polymère, très longue contiennent des groupes chimique qui peuvent adsorber des particules colloïdale à une de ses extrémité, alors que d'autres sites sont libre pour adsorber d'autre particules. On dit alors que les molécules polymères forment des "ponts" entre les particules colloïdal (figure 20). Il peut y avoir restabilisation de la suspension, imputable à une concentration excessive de polymères de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule – molécule de polymères ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdal, ce qui est encore contraire au but recherché (Raymond Desjardins, 1997)

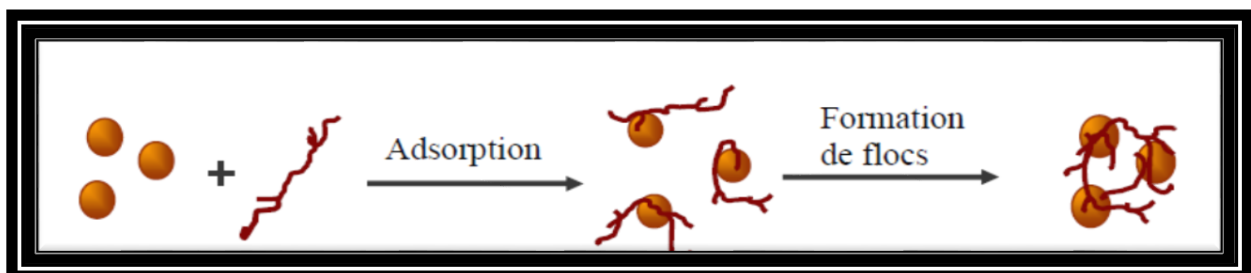


Figure 11 : Adsorption et pontage à l'aide de polymères (Lakhdari, 2011)

II .3.2.3.5. Coagulants et floculants chimiques :

Plusieurs agents chimiques peuvent être employés dans le procédé de coagulation floculation. Les sels métalliques sont indéniablement les coagulants les plus utilisés actuellement dans le monde. Récemment, plusieurs types de coagulants et de floculants inorganiques sous formes de polymères ont été développés et sont maintenant largement utilisés en Chine, au Japon, en Russie et l'Europe de l'Est (Wang *et al.*, 2004). D'autres recherches ont montré que l'utilisation de polymères d'origine biologique est une avenue forte prometteuse.

Tableau 2 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer (Lakhdari, 2011)

Sels d'aluminium	Sels de fer
Sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$)	Chlorure ferrique ($AlCl_3$)
Chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)	Sulfate ferrique ($Fe_2(SO_4)_3$)
Aluminate de sodium ($NaAlO_2$)	Sulfate ferreux ($FeSO_4$)

Les produits les plus utilisés sont l'alun et le chlorure ferrique. Ces coagulants, une fois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de la coagulation. Par exemple, lorsque l'alun est utilisé, plusieurs radicaux hydroxyalumineux monomères ou polymères sont formées (Duan *et al.*, 2003).

II.3.2.4. Dimensionnement d'une coagulation-floculation

Le dimensionnement de ce type d'installation prend en compte la quantité de réactif ainsi que la vitesse d'agitation des bacs destinés à recevoir les volumes à traiter. Un essai au laboratoire appelé "Jar test" permet, par un dosage et une vitesse d'agitation différente sur plusieurs béchers, de déterminer quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les "flocs" les plus gros et les mieux décantés (Figure11).

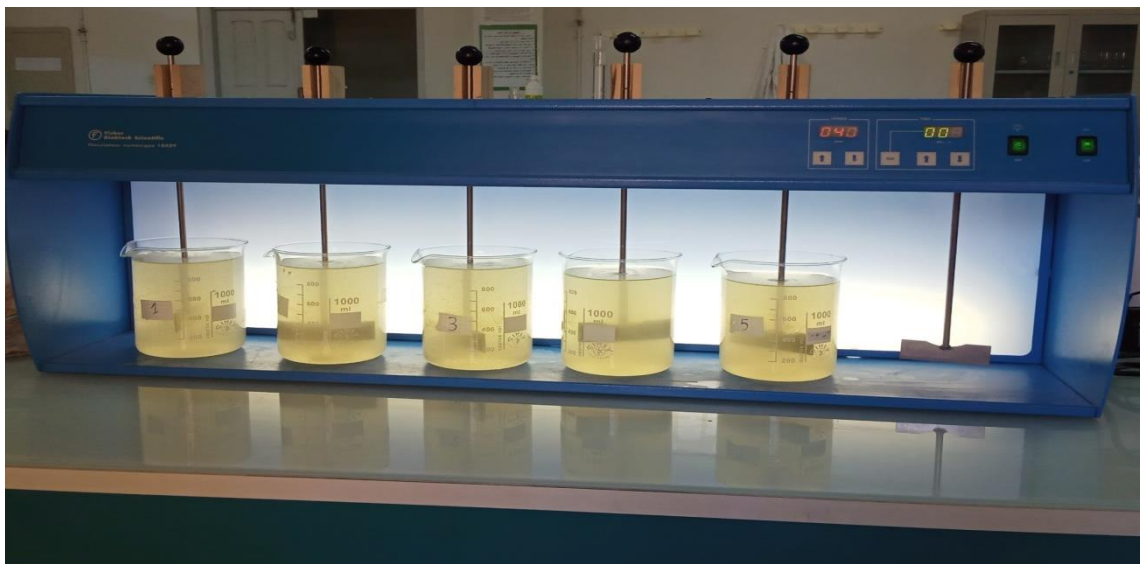


Figure 11 : Jar test flocculateurs

II.3.2.5. Les facteurs influençant dans la coagulation:

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs paramètres comme le pH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, la turbidité et la couleur. (Desjardins, 1997)

II .3.2.5.1. Influence pH :

C'est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. (Belarbi, 2000) Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. (Larakeb, 2015 et Beaudry, 1984 et Moussaoui, 2009) La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de pH optimales s'étendent respectivement de 4 à 6 et de 5 à 7. (Desjardins, 1997)

II .3.2.5.2. Influence de la turbidité

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation (Hernandez de León, 2006). Elle est principalement due à la présence de particules de diamètre de 0,2 à 5 micromètre.

L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie tout fois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par

contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile. (Ahmed et Benhaddou, 2010).

II .3.2.5.3. Influence de la Température de l'eau :

La température joue un rôle important. En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus: la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons. (Hector, 2006)

II .3.2.5.4. Influence du coagulant :

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter. On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale qu'après essai au laboratoire vu la complexité du phénomène. (M. SEKIOU.F, 2001)

II .3.2.5.5. Influence de l'agitation

Selon Ezziane (2007), le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes :

- Une étape de mise en contact entre l'eau à traiter et le coagulant. Cette étape se déroule généralement sous forte agitation (2minutes au maximum) ; son but est également de permettre la neutralisation de la charge des particules et d'amorcer le processus de floculation par la formation des microflocs. La turbidité résiduelle dépend du temps de mélange rapide et pour chaque combinaison de gradient de vitesse et dose du coagulant injecté ; il existe un temps de mélange rapide associé au minimum de turbidité (Rodier et al., 2005).
- La deuxième étape c'est l'agitation lente (30 à60minute) et elle pour but provoque les contacts entre les particules pour former des floccs décantables (Bachi et Abdelli, 2005)

II .3.2.5.6. Influence de la minéralisation

En règle générale, la minéralisation de l'eau exerce des influences sur la coagulation et la floculation :

- Modification de la plage de pH optimale
- Modification du temps requis pour la floculation
- Modification de la quantité de coagulant requis (**Desjardins, 1997**)

II .3.2.5.7. Influence de la couleur :

En général, la couleur d'une eau est due à la décomposition de matières organiques contenues dans l'humus des sols. Elle dépend donc d'une grande variété de composés organique, dont les substances humiques, lesquelles sont des polymères dont la masse moléculaire varie de 800 à 50000. Des études ont révèlent que 90% des particules responsables de la couleur avaient un diamètre supérieur à 3.5 nm ; ces particules sont donc des particules colloïdales beaucoup plus petites que les particules de glaise responsable de la turbidité (rappelons que le diamètre des particules de glaise est de l'ordre 1µm). La plus part des particules responsable de la couleur possèdent des charge négatives à leur surface, dont l'intensité dépend du degré d'ionisation et du pH de l'eau. On peut dire que les particules responsables de la couleur sont de natures organiques, hydrophiles, petites et chargées négativement. (**Desjardins, 1997**)

II .3.2.6. Choix du coagulant :

Un certain nombre de paramètres doivent être pris en compte :

- Température de l'eau,
- Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique),
- Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou
- Matières Organiques, par exemple).
- Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc.).
- Coût du produit.
- Choix imposé ou considération esthétique. (**Kane, 2017**)

II.3.1. Floculation

II .3.2. La floculation :

La floculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimique menant à Processus de grossissement et d'uniformisation des flocons sous l'influence d'un brassage modéré. (**Beaudry, 1984**) Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisés et leur agglomération pour accroître son volume, sa masse, et sa cohésion. (**Beaudry, 1984**).

Ce phénomène est réversible, c'est à dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale. (Mottot, 2000)

II .3.3.Principe :

La floculation est l'agrégation des particules déjà déstabilisées, par collision les unes contre les autres ce qui conduit à la croissance en taille du floc et à la diminution en nombre des particules en solution (Chen et al., 2007).

Les processus préalables à la floculation sont :

- La coagulation
- Les oxydations chimiques ou biologiques qui détruisent les colloïdes protégés
- Le changement des conditions générales tel que le pH et la température
- Et enfin, l'utilisation de réactifs auxiliaires (par exemple : les adjuvants de floculation).

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floccs risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes (Hernandez de León, 2006).

II .3.4.Types de floculation :

II.3.4.1. Floculation physique

Elle consiste à augmenter par la création d'une différence de vitesse entre les particules colloïdales déstabilisées, la probabilité des contacts entre ces particules afin de les agglomérer en floccs denses ensuite de les décanter (Boursali, 2011). Deux mécanismes assurent la mobilité des particules : le mouvement brownien (floculation péricinétique) ; et le brassage mécanique (floculation orthocinéque).

II.3.4.2. Floculation péricinétique

Par le mouvement brownien ; le mouvement aléatoire des particules causée occasionnellement des collisions. Ce mécanisme est plus efficace que la sédimentation différentielle mais il demeure lent et produit de petits agglomérats (Svarowsky et Ladislav, 2000).

Au cours du processus de floculation lui-même, le mouvement Brownien a de moins en moins d'effet sur le mouvement des particules dont la taille augmente progressivement.

Cette augmentation accroît aussi l'influence de la barrière énergétique et ceci réduit encore le contact péricinétique dès que le diamètre de particules dépasse $1\mu\text{m}$ (Masschlin, 1996).

II.3.4.3. Flocculation Orthocinétique :

Ce type de flocculation est fonction de l'énergie dissipée dans le fluide. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules. La vitesse du fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par les particules. Par l'agitation mécanique, c'est la méthode la plus efficace, mais trop d'agitation peut briser les agrégats au lieu de les créer. La coagulation n'est pas utilisée dans le procédé Bayer, mais elle est très importante dans plusieurs autres domaines, notamment dans le traitement des eaux.

(Sincero *et al.*, 2003).

II.3.4.4. Flocculation chimique :

C'est la flocculation qui est provoquée par l'agitation de l'eau. Cette agitation facilite l'agrégation des particules par augmentation de la probabilité de collisions entre ces particules. Elle consiste en une agglomération par pontage des particules colloïdales déchargées à l'aide de certains produits chimiques appelés flocculants (Degremont, 2005).

II.3.4.5. Flocculants utilisés

Les polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forment ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter d'avantage la taille et la cohésion des flocons (Boursali, 2011). Les flocculants peuvent être de trois natures différentes.

➤ Flocculants organiques

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent avoir une charge anionique ou, cationique ou neutre. On peut citer exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides.

➤ Flocculants minérales

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculants connus sont à base de la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif

en poudre, certains hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et le sable fin (Boursali, 2011).

➤ **Floculants de synthèses**

Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire. Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels. Ils sont classés suivant leur ionicité:

- a) **Anionique** : conçu à partir polymère d'acrylamide et l'acide acrylique
- b) **Neutre** : conçu à partir de polyacrylamides
- c) **Cationique** : conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle(Boursali, 2011).

II .4.Conclusion

Le processus de coagulation-floculation et 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 organique, certains ont porté leur choix sur l'amélioration des performances des réactifs coagulant et adjuvants de floculation.

Chapitre III
Méthodes et techniques
expérimentales

Introduction :

Avant de nous lancer dans la présentation et la discussion des différents résultats obtenus au cours de notre étude, il nous paraît impératif de décrire les diverses méthodes expérimentales et analytique suivies. Ainsi, nous présenterons dans ce chapitre, d'abord, la composition et la préparation des solutions de coagulant et adjuvants. Ensuite, les méthodes de dosage de différents paramètres physico-chimiques, ainsi que le protocole expérimental de la méthode de coagulation-floculation par les essais de jar-test.

III .1. Préparations des coagulants et des flocculants :**III .1.1.Appareillage :**

Dans ce travail nous avons utilisé des appareils mentionnés dans le tableau suivant

Tableau III.01: Tableau d'appareillage.

Appareillage	Utilisation pour
Balance électronique	Mesurer la masse de la plante utilisée (poudre).
Jar-test	déterminer la concentration optimale du coagulant pour le processus de coagulation floculation.
Conductivité	mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes.
pH- mètre	mesure la concentration en ion H ⁺ de l'eau,
spectrophotomètre UV-vis	Pour mesurer directement l'absorbance
Turbidité	La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau.
matières en suspensions	Mesure de la présence de grosses particules insolubles, supérieures à 10 µm, en suspension dans l'eau, qui peuvent être absorbées dans les solides en suspension

III.1.2. Matériels et produits :

Le matériel et les produits utilisés dans ce travail sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau.III.02 : tableau des matériels et produits utilisés.

Matériels utilisés	Produits utilisés
bécher –micropipette - erlenmeyer - entonnoir éprouvette gradué - verre de montre - spatule inox mortier et pilon - – papierfiltre- cuve spectro usage	1) Sulfate d'aluminium (Al ₂ (SO ₄) ₃). 2)Chlorure d'aluminium (AlCl ₃). 3) hydroxyde de sodium (NaOH). 4) acide chlorhydrique (HCl)

III.1.3. 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 Le Jar Test est un appareil couramment utilisé pour les essais de coagulation-floculation. Il est composé de 6 postes à vitesse réglable de 0 à 300 tr/min, un régulateur de vitesse et une minuterie Les vases de floculation utilisés sont des béciers 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 bécier.

III.1.4. Dispositifs expérimentaux :

III.1.5. Jar Test :

Le Jar-test est un appareil qui permet de déterminer la concentration optimale du coagulant pour le processus de coagulation floculation. Toutes les doses sont exprimées en poids de produits commerciaux (solution ou poudre). Le mode de travail de cet appareil se fait selon le protocole suivant :

- 1) On lave bien les béciers et s'assurer qu'il ne reste aucune trace de détergent, on remplit les béciers avec l'eau usées (1l), on place chaque bécier sous l'agitateur et on submerge les palettes
- 2) démarrage des agitateurs (150 rpm pendant 1 min) c'est la phase de coagulation (agitation rapide)
- 3) Ajouter alors des doses croissantes (entre 0.1 et 0.5 g/L) du coagulant (Sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$).ou Chlorure d'aluminium ($AlCl_3$))
- 4) Remuer rapidement (150tr / min) pendant 3 minutes
- 5)Après 3 minutes : Réduire l'agitation à 40tr/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 15 minutes. Laisser reposer jusqu'à ce qu'il se stabilise en arrêtant et en soulevant les lames
- 6) Après 10 - 35 - 60 minutes de coulée, prélever une quantité suffisante de surnageant (eau claire) dans chaque bécier, et mesurer les paramètres de productivité sélectionnés.
 - **pH- mètre.**
 - **turbidité .**
 - **matières en suspensions (MES).**
 - **Conductivité.**
 - **spectrophotomètre UV-vis (UV₂₅₄).**

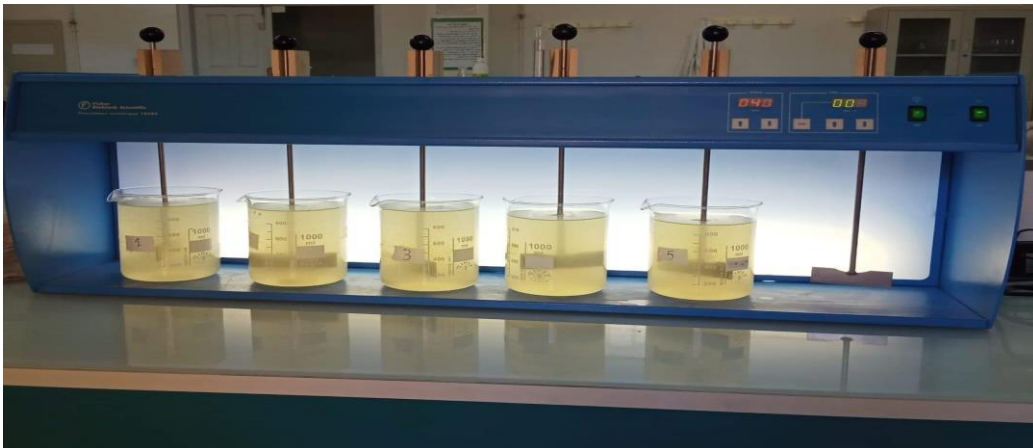


Figure 11 : Appareil du Jar test

III.1.5.1 Mesure pH- mètre :

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ion H^+ de l'eau, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre.

Tableau III.03. : Classification des eaux d'après leur pH.

pH < 5	Acidité fort => présence d'acide minéraux ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neuter
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense



Figure 12 : Microprocesseur pH Mètre

III .1.5.2. Mesure de Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25 C° les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau. Comme la température, les contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions. Des zones des mélanges ou d'infiltration... la conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimique de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.



Figure 13 : Conductimètre.

III .1.5.3. Mesure de Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organique, argile, organismes microscopique...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs, car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité est en fonction des particules en suspension. Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.

Tableau III 04 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité



Figure 14 : Turbidimètre (2100N).

III .1.5.4.Mesure de l'absorbance:

L'absorbance des différents prélèvements se mesure sur le surnageant clair. Ces mesures se font en spectrométrie UV visible de marque Shimizu-2401 après la prise de ligne de base avec de l'eau déminéralisée .L'absorbance permet d'estimer la coloration des effluents de façon indirecte



Figure 15: Dispositif représentant le spectrophotomètre utilisé

III .1.5.5.Mesure des matières en suspensions (MES):

Pour la mesure des matières en suspension (MES), on filtre 100 mL (0.1 L) des échantillons avec un filtre à 0.45 µm, on place le filtre dans une coupelle que l'on laisse sécher pendant 24 heures dans une étuve à 105 °C.

La concentration des matières en suspension (MES) s'exprime par :

$$\text{MES (g/L)} = (M_2 - M_1) / 0.1$$

Avec M_1 la masse de l'ensemble de la coupelle et du filtre propre (en g) et M_2 correspond à la masse de la coupelle du filtre et des matières en suspension après séchage. Les filtres et les coupelles sont placés à l'étuve 24 h avant leur utilisation de sorte que le poids M_1 corresponde bien au poids sec.



Figure 16: Mesure des matières en suspension (MES).

III.1.2. Le déroulement de la deuxième expérience :

Tout d'abord, nous déterminons la valeur de l'échelle de pH à chaque fois (5, 6 et 8) en l'ajoutant (NaOH), (HCL) aux eaux usées placées dans le Jar Test et faisons les mêmes étapes pour la première expérience.

Chapitre IV

Résultats expérimentaux et discussions

IV. Résultats expérimentaux et discussions

L'objectif de cette partie expérimentale est de mettre en évidence l'influence de la nature et les propriétés des particules et les conditions opératoires sur l'efficacité de la coagulation -floculation. Comme il a été signalé dans le chapitre précédent les coagulants solides utilisés dans notre étude sont $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$.

Le choix de ces coagulants est justifié par leurs disponibilités aux niveaux de laboratoire, et son utilisation à grande échelle dans les stations de traitement des eaux.

Pour déterminer l'efficacité du processus de coagulation-floculation, plusieurs essais ont été effectués sur jar test, en utilisant deux coagulants : Le sulfate d'aluminium et le chlorure d'aluminium.

Afin de suivre l'efficacité et le rendement de processus étudié, on a effectué des mesures de la turbidité, matière en suspension, absorbance UV_{254} , pH et la conductimétrie à différente temps 10min, 35min et 60min pour chaque essai.

IV.1. Caractéristiques des échantillons utilisées :

Le tableau IV.1. Ci-dessous regroupe les résultats d'analyse de nous échantillons prélevés à la sortie de la station après traitement, comparativement avec les normes algérienne exigées :

Tableau IV.1. Caractéristiques des échantillons utilisées :

Paramètres	pH	T °C	Cond $\mu s/cm$	MES (mg/l)	ABS _{254nm}	Turbidité (NTU)
Eau usée à la sortie de station	7.79	28	6.58	0.407	/	84.83

IV.2. L'influence de la vitesse et de temps d'agitation :

La coagulation demande une vitesse d'agitation rapide afin que le coagulant et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent, alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes sans

détruire les floccs déjà formés. On cherche à obtenir au final l'eau la plus limpide et les floccs les plus gros et les mieux décantés. Dans notre travail Nous avons appliqué une vitesse d'agitation rapide 150tr/min, puis une vitesse lente 3tr/min .Puis nous allons suivre l'efficacité de chaque coagulant sur l'évolution d'élimination de la turbidité et matière en suspension et absorbance.

IV.3. Détermination de la concentration optimale des coagulants :

Pour des concentrations varie entre 0.1et 0.5 mg/l, on a fait des essais sur jar test avec des concentrations différentes de coagulants, les vitesses d'agitation et le pH sont fixés aux valeurs optimales obtenues dans les essais précédents. Le but c'est de déterminer la concentration optimale de sulfate d'aluminium ainsi le chlorure d'aluminium Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux : IV.2 et IV.3.

Le meilleur résultat ayant été observé pour une dose de 0,3 mg/L de sulfate d'aluminium et le chlorure d'aluminium respectivement.

Tableau IV.2. Effet de la dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3$ sur la variation des paramètres de traitement :

Dose d $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	0.1			0.2			0.3			0.4			0.5		
	10	35	60	10	35	60	10	35	60	10	35	60	10	35	60
Temps (min)							10	35	60						
pH	7,3	7,45	7,33	7	7,08	7,08	6.9	7	7.03	6,8	6,82	6,87	6,7	6,76	6,8
Conductivité	6,67	6,68	6,69	6,69	6,7	6,713	6,7	6,715	6,719	6,71	6,722	6,725	6,72	6,731	6,734
AbsorbanceUV ₂₅₄	0,31	0,311	0,315	0,285	0,278	0,287	0,283	0,276	0,285	0,293	0,288	0,3	0,296	0,294	0,302
Turbidité	36	38	42	8	9	15	6	8	13	7	9	15	6	10	21
M.E.S	0,025	0,024	0,0235	0,0072	0,0067	0,0063	0,0026	0,0021	0,0017	0,0034	0,0031	0,0027	0,019	0,015	0,01

Tableau IV.3. Effet de la dose du coagulant $Al(Cl)_3$ sur la variation des paramètres de traitement :

Dose de $Al_2(Cl)_3$ (mg/l)	0.1			0.2			0.3			0.4			0.5		
Temps (min)	10	35	60	10	35	60	10	35	60	10	35	60	10	35	60
pH	7,34	7,31	7,25	7,2	7,07	7,15	7,03	6,98	6,95	6,77	6,64	6,7	6,46	6,41	6,37
Conductivité	6,75	6,77	6,75	6,8	6,84	6,82	6,89	6,87	6,85	7,05	6,99	7,02	7,16	7,12	7,15
Absorbance UV_{254}	0,293	0,3	0,306	0,253	0,243	0,254	0,23	0,233	0,244	0,24	0,245	0,25	0,265	0,26	0,27
Turbidité	36	35	39	17	12	11	12,1	8	9	15,6	12	11	18	41	12,7
M.E.S	0,03	0,022	0,0237	0,0077	0,007	0,0067	0,0018	0,0024	0,0019	0,0039	0,0032	0,0028	0,024	0,019	0,021

IV.4. Etudes comparative de l'efficacité et le rendement des Coagulants $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$:

Les résultats relatifs à l'étude de l'effet de la dose des coagulants sur le procédé traitement sont présentés dans les courbes suivantes :

IV.4. 1. Variation de pH en fonction des doses $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$:

Pour déterminer la dose optimale du coagulant testé (sulfate d'aluminium ainsi le chlorure d'aluminium), l'essai de coagulation et la floculation sont effectués dans des béchers de 500 ml en utilisant un flocculateur à pales rectangulaires. Le coagulant est introduit à des doses croissantes de 0.1 à 0.5 mg/l. L'essai est réalisé sans ajustement du pH et à une température ambiante. Après différents temps de décantation 10 min, 35 min et 60 min, le paramètre pH est déterminé et présenté précédemment sur les tableaux IV.2. et IV.3.

Les figures IV.1 et IV.2 représentent la variation du pH en fonction de la dose des deux coagulants à différents temps :

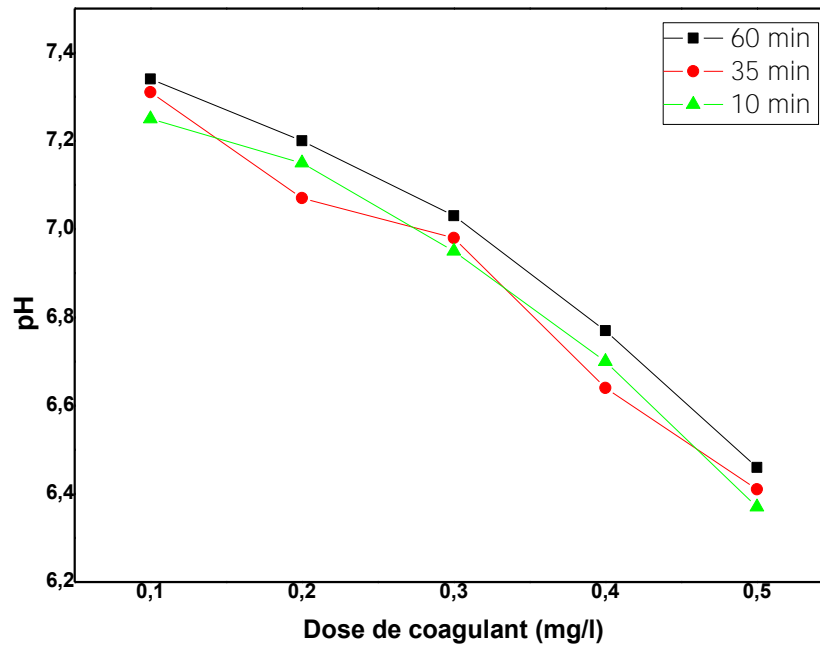


Figure IV.1: Variation de pH en fonction de la dose Al₂(SO₄)₃.

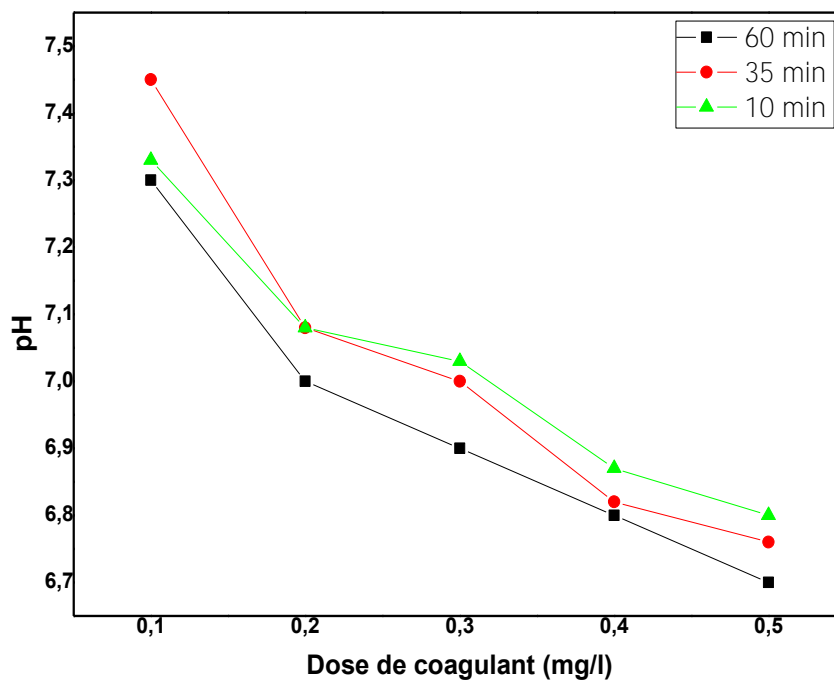
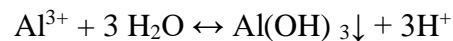


Figure IV.2: Variation de pH en fonction de la dose de (AlCl)₃.

Il est reconnu que le pH influence les taux d'abattement de la pollution contenue dans les eaux usées. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation a lieu rapidement. Plage qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter.

Les résultats obtenus, montrent que l'addition progressive des deux coagulants à l'eau usée a provoqué une baisse de pH de 7.5 à 6,2. Ces valeurs de pH sont comprises entre 6.5 et 7 qui correspond à une dose de 0.3mg/l pour les deux coagulants, ce qui signifie les valeurs de pH et la dose de coagulants qui permettant un abattement optimal.

D'après la bibliographie (**Rahni et Legube, 1996**) cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre colloïdes. selon la réaction suivantes :



Le pH et diminuent avec l'augmentation de la dose du coagulant, la même observation est obtenue pour les deux coagulants.

IV.4. 2. Variation de La conductivité en fonction des doses $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et $(\text{Al}(\text{Cl}))_3$:

La conductivité est un moyen de mesure utilisé pour évaluer la minéralisation ou la salinité des échantillons, elle varie en fonction de la température, et de la concentration des substances dissoutes. Sur Les figures IV.3 et IV.4 nous avons indiqué l'évolution de la conductivité en fonction de la dose de coagulant ajouté et de différents temps de décantation de 10min, 35min et 60m.

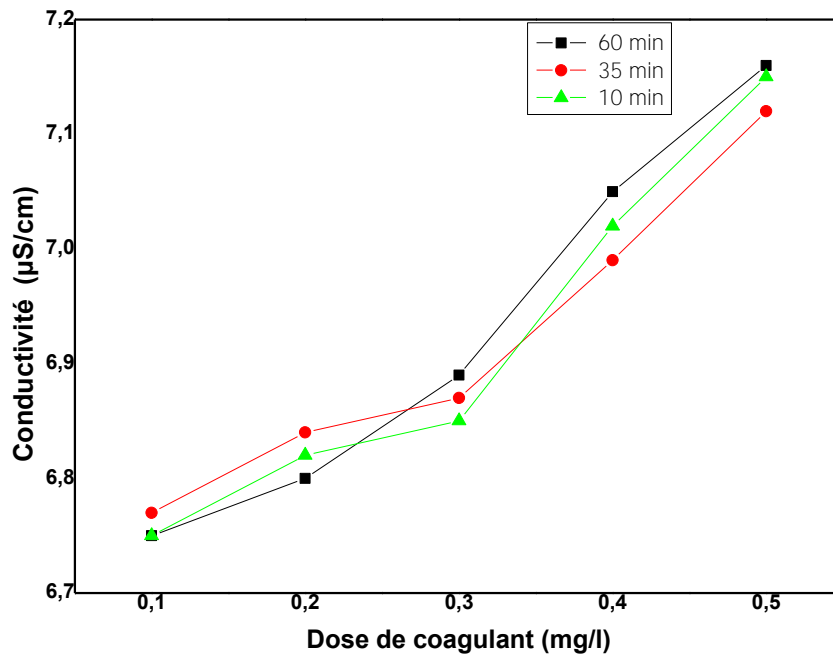


Figure IV.3: Variation de la conductivité en fonction de la dose $Al_2(SO_4)_3$.

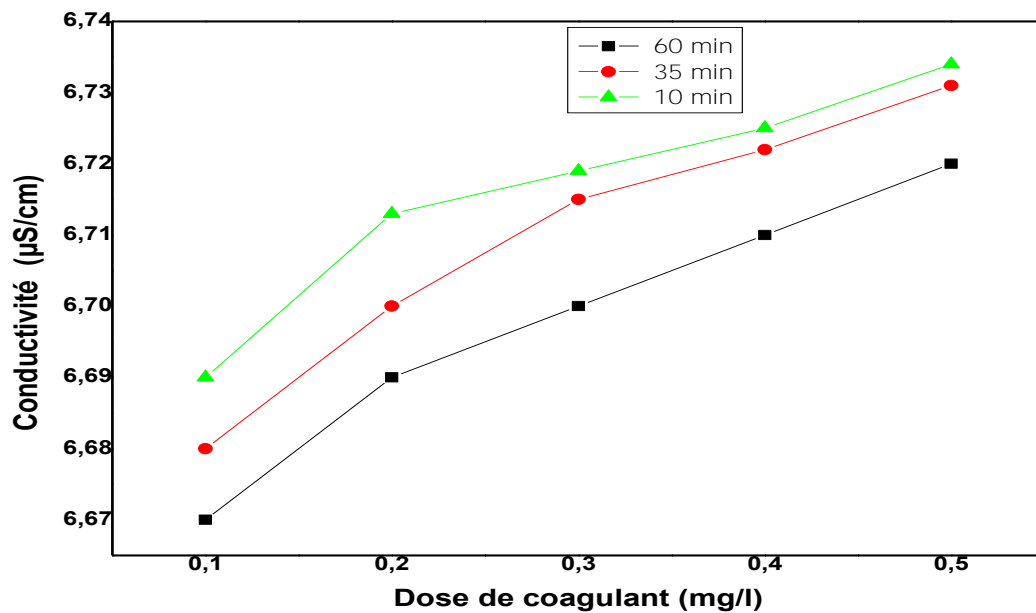


Figure IV.4: Variation de la conductivité en fonction de la dose $(AlCl)_3$.

Nous observant que la conductivité est plus grande lorsque la dose de coagulant augmente, cette observation permet de juger la quantité de sels dissous dans l'eau. Les valeurs de la conductivité sont comprises entre $6.50 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $6.80 \mu\text{S}/\text{cm}$. L'évolution de la conductivité peut s'expliquer par la mobilité des ions présents dans les différentes solutions en présence de différents coagulants.

IV.4. 3. Variation de la turbidité en fonction de la dose de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et $\text{Al}(\text{Cl})_3$:

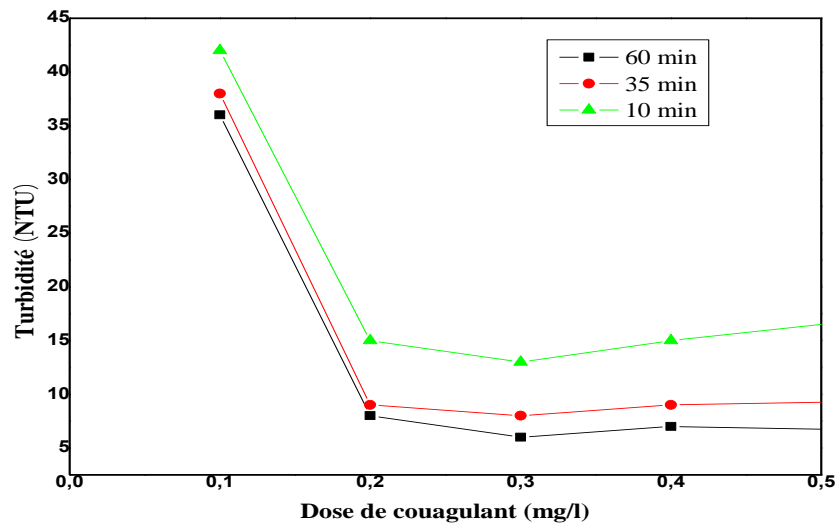


Figure IV.5: Variation de la turbidité en fonction de la dose $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

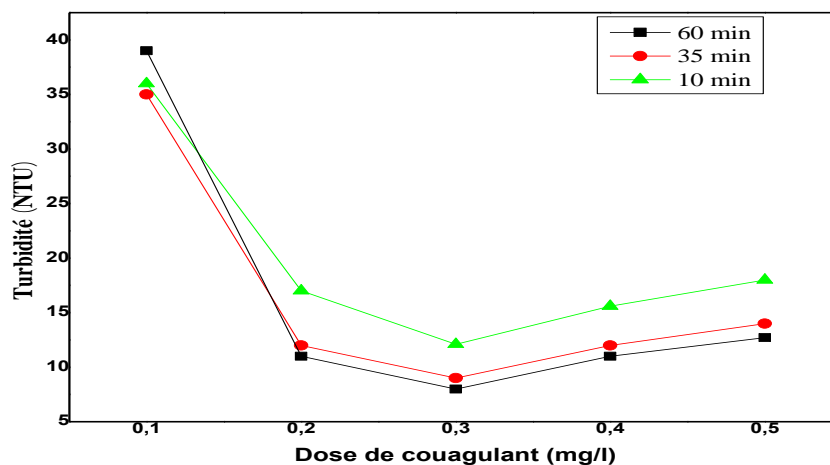


Figure IV.6: Variation de la turbidité en fonction de la dose $\text{Al}(\text{Cl})_3$.

D'après les figures IV.5 et IV.6 On remarque bien que l'addition de 0.1 mg/l du coagulant a provoqué la diminution de la valeur de la turbidité de 40 à 05 NTU, avec l'augmentation de la concentration du coagulant ces valeurs continuent à diminuer. D'après la bibliographie (GAGNON et al. LAMRINI et al. WAISSMAN-VILANOVA, BAXTER et al.), cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre colloïdes. Arrivant à une concentration de 0.3 mg/l de coagulant, nous avons remarqué que la valeur de turbidité a atteint 05 NTU et elle reste stable.

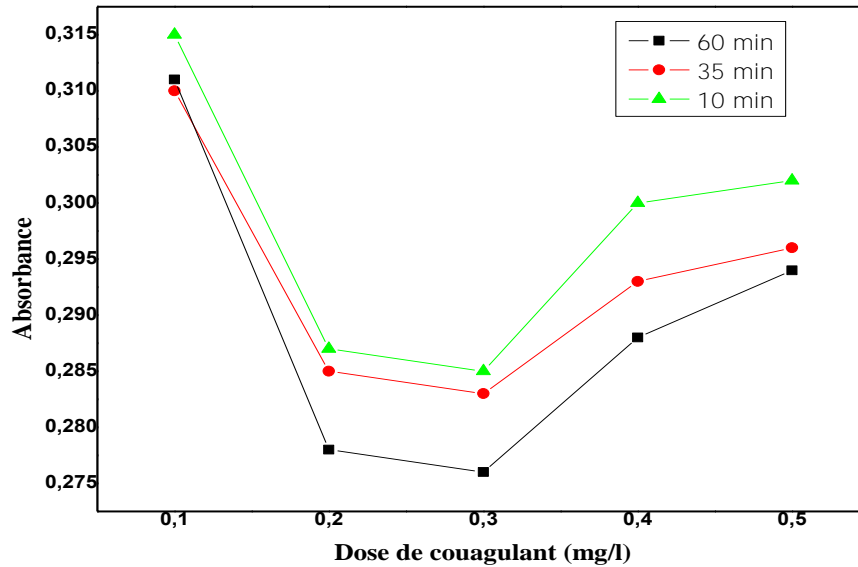
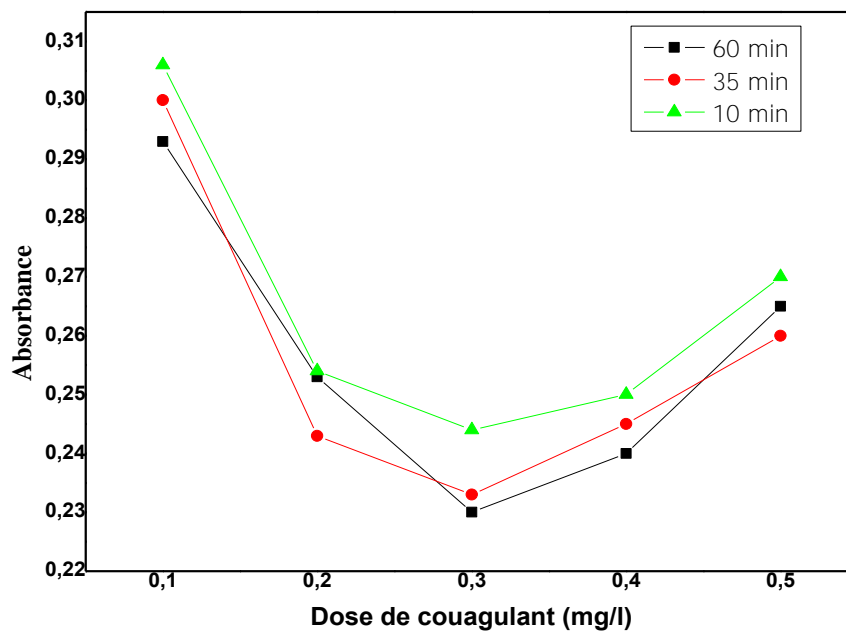
On peut dire que cette valeur 0.3 mg/l est la concentration optimale de ce coagulant dans cette eau, les cations apportés par le coagulant ont englobé presque la totalité des suspensions colloïdales dans le liquide ce qui entraîne une clarté meilleure.

Au de la de 0.3 mg/l on a remarqué l'augmentation des valeurs des paramètres mesurés et qui croît avec l'accroissement de la dose du coagulant. On comprend de cela que la surdose en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales ainsi la disponibilité de leurs sites diminue et empêche la formation des ponts interparticulaires (CARDOT,1999) et on aura donc une eau très chargée en coagulant avec une mauvaise clarification. Et cela nous confirme que la dose optimale du coagulant est 0.3 mg/l.

IV.1. 4. Variation de la matière en suspension MES en fonction des doses $Al_2(SO_4)_3$ et $Al(Cl)_3$:

On peut aussi voir ce phénomène en traçant les courbes de MES en fonction de la concentration du coagulant, comme le montre les figures IV.7 et IV.8.



IV.1.5. Variation de l'absorbance UV $_{254\text{ nm}}$ en fonction des doses $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et $\text{Al}(\text{Cl})_3$:**Figure IV.9: Variation de l'absorbance UV $_{254\text{ nm}}$ en fonction de la dose $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.****Figure IV.10: Variation de l'absorbance UV $_{254\text{ nm}}$ en fonction de la dose $\text{Al}(\text{Cl})_3$.**

Les courbes de la figure IV.9 et IV.10 représentent la variation de l'absorbance UV_{254} en fonction de la dose de coagulants. L'absorbance UV_{254} baisse lorsque la dose augmente de 0.1 à 0,3. A cette dose 0,3 on atteint la valeur minimale d'absorbance de 0.23 et 0.27 pour les deux coagulants respectivement, soit un taux d'abattement de 84%. Une augmentation de la dose au-delà de 0,3 entraîne une augmentation des valeurs de l'absorbance UV_{254}

Références bibliographiques

A

- Abibsi N, Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoepuration) pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra , mémoire de magister , Université Mohamed Khider – Biskra , Année 2011.
-
- Ahmed Ammar Y. Benhaddou M. (2010). Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate d'alumine des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen.
- Alain Damen, guide de traitement des déchets, 2^{ème} édition, paris année 2002-2003
- Al Arni S. Amous J. Ghernaout D. (2019). On the Perspective of Applying of a New Method for Wastewater Treatment Technology: Modification of the Third Traditional Stage with Two Units, One by Cultivating Microalgae and Another by Solar Vaporization. International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources. (2). pp.1-4.
- Aouina B et Leblalta M ., (2020). (Élimination des pesticides par coagulation – floculation). Mémoire de Master en Hydraulique, Université Mohamed boudiaf de M'sila.
- ATTAB S, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux epurees par boues activées de la station d'épuration haoudberkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local, mémoire de magister, Université kasdiMerbah-Ouargla, Année, 2013.

B

- Bachi M. Abdelli R. (2005). Influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation-floculation et décantation. Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en hydraulique. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen.
- Baha S et Bensari F, Epuration des eaux usées domestique par boues activées etude de la performoce de la STEP d' Ain el houtz , mémoire de master , d'état Hydraulique , Université de Tlemcen, Année 2014.
- Beaudry J. P., (1984). « Traitement des eaux, Ed. Le Griff on d'argile INC, Canada. P27-41
- Belahmadi mohamed seddik Oussama, 2011 étude de la biodegradation du 2.4 dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie la station d'épuration des eaux usées d'ibn ziad, mémoire de magister , université mentouri-costantine.
- Belarbi F (2000). « Etude comparative de l'effet des caractéristiques physicochimique des particules solides sur la coagulation-floculation » Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Génie Rural Université de Blida.
- Bouchenak K et Racha M , Comparaison qualitative entre filtration sur sable et filtration sur charbon actif 'application aux eaux usées épurées de la STEP de Ain El Houtz', Mémoire de master , d'état Hydraulique , Université de Tlemcen, Année 2015
- Boursali I. (2011). Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'états en géologie. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen.
- Brahimi Z. Benaissa N. (2010). Influence de la coagulation-floculation et décantation sur la qualité des eaux épurées de la station de Ain El Houtz. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen.

C

- Catherine B(*) et Alain H(**) et Jean-M(**), Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) Rapport final, convention de partenariat ONEMA-Cemagref Domaine : Ecotechnologies et pollutions Action : 28, Réutilisation des eaux traitées , Année 2008

- Cherif L, l'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres, mémoire de master, d'état Hydraulique, Université de Tlemcen, Année2012.
- Cours Qualité et traitement des eaux , Mr, Toubal , M1 Eau Environnement.

D

- DADDA IMEN & HAKKOUMI HALIMA SAADIA, thème Traitement des eaux usées par Bio-coagulation, 30/05/2017 , Mémoire MASTER ACADEMIQUE ,Sciences Techniques , Spécialité Génie de l'environnement
- DahouA et Brek A , lagunage aere en zone aride performance epuratoires cas de (regiond'ouargla) , mémoire de master , Département des sciences et technologie , Université d'Ouargla, Année2013.
- Desgrement. (2005). Mémento technique de l'eau, Tome I et II.10eme édition. Lavoisier. Paris.France.1718p.
- Desjardins C., (1999). Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar-test, mémoire pour l'obtention du diplôme de maitrisées sciences appliqués, Ecole polytechnique de Montréal, Canada.
- Desjardins R., (1997). Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique. de Montréal, 2ème édition revue et améliorée.

E

- El ALAOUI Riham et TAUSSI Imane, «L'impact du Chrome VI sur le traitement des eaux usée dans la station d'épuration des Marrakech», mémoire de licence, Université Cadi Ayyad 2013.
- Ezziane S. (2007). Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT 'TENES. Mémoire de Magister en génie de procédés. Université Hassiba Ben Bouali. Chleff.

G

- GAUJOUS D., 1995, La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Technique et documentation, 2eme édition Lavoisier, Paris.
- GAÏD A, Traitement des eaux résiduaires, Techniques de l'Ingénieur l'expertise technique et scientifique de référence,Année2008.
- Gérard Grosclaude, 1999, L'eau Usages et polluants, paris.
- Geräte ,La gamme complète des équipements GUNT pour les opérations unitaires de traitement de l'eau , étude et conseil • ;service technique , mise en service et formation , Barsbüttel • Allemagne.
- Ghernaout D. (2017). Water Treatment Chlorination: An Updated Mechanistic Insight Review. Chemistry Research Journal. (2). pp.125-138.
- Ghernaout D. Aichouni M. Alghamdi A. (2018). Applying Big Data (BD) in Water Treatment Industry: A New Era of Advance. International Journal of Advances in Applied Sciences. (5). pp. 89-97.
- GOMELLA C & GUERRÉE H., 1986, Guide de l'assainissement dans les agglomérations urbaines et rurales. Tome I, La collecte. Edition Eyrolles, Paris, France.

H

- Hadj-Sadok, Z. M., 1999 Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau.
-Thèse : Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Nice – Sophia Antipolis, France.

- Hector Ricardo Hernández De León., (2006) « Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable», Thèse de doctorat à l'institut nationale des sciences appliquées de Toulouse.
- Hernandez de León H R. (2006). Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées. Toulouse.

J

- 1) Jooste, S., Palmer, C., Kühn, A. and Kempster, P., 2003
The management of complex industrial wastewater discharges.
-Institute for Water Quality Studies, Department of Water Affairs and Forestry, Private Bag X313,

K

- Kane M.B., (2017). (Analyse et traitement des eaux d'Oued Fès par le procédé de coagulation-floculation) MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques Université de Fès
- KARDACHE LOUBNA, Mémoire de fin D'études, Valorisation Energétique Des Boues De La Station D'épuration De Bomerdes ,2015-2016.
- Kherifi W., (2009). étude de la cinétique de sédimentation des matières en suspension dans le calcul des décanteurs, mémoire de magistère, Université badji-Mokhtar-Annaba

L

- Lakhdari B. (2011). Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz. Mémoire de magister en Chimie Inorganiques et Environnement. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen
- Larakeb M., (2015). « Elimination du Zinc par adsorption et par coagulation floculation», thèse de doctorat LMD en hydraulique, université de Biskra
- LAURENT J-L., 1994, L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions. 170p.

M

- M. SEKIOU.F,"Effet de la nature des particules solides disperses et des conditions de formation du floc sur l'efficacité de la floculation" Mémoire de Magister en hydraulique. Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique, 2001
- MARTEL O., 2007, Eau, fleuves et patrimoine. Livret ressource Communauté urbaine de Lyon Direction Prospective et Stratégie d'Agglomération.
- Masschelein wj. (1996). Processus unitaire du traitement de l'eau potable". Edition Cebedoc. Paris. France.pp.222-647.
- Mimeche L , Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride-Application à la région de Biskra ,Thèse de Doctorat , d'état Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, Année 2014.
- MOttot Y., (2000). Coagulants et floculants, Texte des 279 conférences de l'Université de tous les savoirs.
- Moussaoui F., (2009). « Essais du traitement des lixiviats de la décharge de Wilaya de Saida par coagulation – floculation ». Mémoire d'ingénieur en chimie industrielle, option : génie de l'environnement, université de Saida

P

- PNUE / OMS, Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles, Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, Année1979.

R

- Rahouk , Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'EL- kerma ORAN , mémoire de master ,faculté de chimie , Université d'Oran ,Année2014.
- Raymond Desjardins, Le traitement des eaux, Édition de l'École Polytechnique de Montréal, 317 pages,1997
- Règlement du service départemental d'assainissement des Hauts-de-seine adopté par délibération du 9 juillet 2012, Edition Octobre 2012.
- Rodier J. Legube B. Merlet N. (2005). L'analyse de l'eau ; eau naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8eme édition. Dunod, Paris.1824p.

S

- Sandrine D , Carbone Organique Total (COT) , Cellule Mesures et Analyses– LGC Site UPS -,Laboratoire de génie chimique ,Toulouse, Année 2012.
- Siangsanum V. (2010). Procédé hybride: hydrocyclone, coagulation-floculation et flottation pour le traitement de l'eau, Hybrid process: hydrocyclone, coagulation, floculation and flotation for water treatment process. Thèse Doctorat en génie des procédés et de l'environnement. Université de Chulalongkon. Toulouse.
- Sincero AP. Sincero AG. (2003). Physical-chemical treatment of water and wastewater.1éd. New York: RC Press.832p.
- Svarowsky L. (2000). Solid-liquid separation. 4eme édition. Angle Terre: Butterworth-Heinemann.554p Solène M et David R et Milena S , Traitement des eaux usées, CERES-ERTI ; 24 rue Lhomond 75005 Paris, Année2013.
- Solène M et David R et Milena S , Traitement des eaux usées, CERES-ERTI ; 24 rue Lhomond 75005 Paris, Année2013

Y

- Yao Akpo,Evaluation de la pollution des eaux usees domestiques collectées et traitées a la station d'épuration de camberene (dakar), Université CheikhantaDiop de Dakar Année2006.
- Ymottot. (2000). Texte de la 279^o conférence de l'université de tous les savoirs.

Z

- Zongo I. (2009). 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 produit. Institut national polytechnique. Lorraine.