

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université M'Hamed Bougara – Boumerdes

Faculté de Technologie

Département de génie des procédés



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de master en science et génie de
l'environnement

Option : Génie de l'environnement

Thème

Le traitement des eaux potables par coagulation floculation :
Cas des eaux de la station de traitement des eaux de
Boudouaou

Réalisé par :

. BENYAMINA Kheireddine

. ZERAOUI Imane

Promoteurs

- BOUMECHHOUR . F

- BALOUL. H

Membres de jury:

- OUAZENE. N

- AMMITOUCHE.M

MCB

MCA

Examinatrice

Président

Promotion 2019-2020

REMERCIEMENT

*Je rends grâce à Dieu le tout puissant qui m'a
permis d'arriver à ce but*

« Merci Mon Dieu »

*Au terme de ce travail fruit de nos efforts,
Nous tenons à remercier tous ceux et celles qui
ont contribué de près ou de loin à la
concrétisation de ce mémoire et plus
particulièrement,*

*Nous remercions chaleureusement notre
promoteur M^{er} Hakim Baloul et madame
Boumechhour pour leurs aides et conseils et
leurs disponibilités durant toute la période de
notre travail,*

*Nos profonds respects vont aux membres du
jury,*

*Et tous les enseignants de notre formation
« génie de l'environnement ».*



Dédicace

*Je dédie ce travail tout d'abord à mes très
chers parents:*

Le signe de courage mon père

*La source de l'amour et de la tendresse ma
mère*

*A la reine de notre famille ma grande sœur et
ma deuxième mère Halima et le roi son mari
Amr*

*Aux jumeaux de mon âme mes chères frère
Rachid et Mohamed*

*A mon binôme Kheïreddine ainsi que toute sa
famille*

A toute la promotion GP

*Sans oublier la plus amie fidèle à moi ma chère
Meriem Mohiédine*

*Je dédie ce travail à mon très cher amour mon
mari Salah qui m'a beaucoup soutenu et de ma
raison de vivre et de volonté ma fille*

« ange Meriem ».

M^{me} Z.Imane

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents qui m'ont tout donné, qui ont toujours été là pour moi, je les remercie infiniment pour m'avoir soutenu et accompagné tout au long de mes études. Je prie

le bon dieu de les bénir, de veiller sur eux en espérant qu'ils seront toujours fière de moi ;

A mes chers frères : Badr Eddine, Oussama, que dieu vous protège

A mes cousins et cousines : Aymen, Chakib, Hanene, Imene

A toute ma famille et mes proches

A mes amis : Imene, Célia, Saïda, Chams,

Hynd, Tina, Adlene, Mustapha, Hichem,

Ramzi, Islam, Mohamed, Abderaouf, Younes

A mon amie et binôme Imane ainsi a toute sa famille

A toute la promotion GP

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

Que dieu vous protège de tout mal.

B. Kheireddine

Sommaire

Introduction générale :.....	1
Chapitre I : Généralités sur eaux	
I.1-Introduction :.....	3
I.2-Les sources naturelles des eaux :.....	3
I.2.1-Eaux souterraines :.....	3
I.2.1.1-Nappes phréatiques ou alluviales :.....	3
I.2.1.2-Nappes captives :.....	3
I.2.2-Eaux de surface :.....	3
I.2.3-Eau de pluie :.....	4
I.2.4-Eau de mer :.....	5
I.3 -Les propriétés des eaux:.....	5
I.3.1-Propriétés physiques:.....	5
I.3.2-Propriétés chimiques :.....	6
I.3.3-Propriétés biologiques :.....	6
I.4- Critères de potabilités :.....	6
I.4.1-Introduction :.....	6
I.4.2 -Qualités organoleptiques :	6
I.4.3 Les paramètres physico-chimiques :.....	8
I.5-Pollution des eaux :.....	12
I.5.1 L'industrie:.....	13
I.5.2 L'agriculture :.....	13
I.5.3 Pollution domestique :.....	13
I.5.4 Pollution par les eaux pluviales:.....	13
I.5.5 Pollution d'origine naturelle:.....	13
I.5.6 Pollution par les substances associées au traitement de l'eau.....	13
I.6-Les principaux polluants des eaux naturelles:.....	13
I.6.1- Les polluants physiques:.....	13
I.6.2- Les éléments grossiers:.....	13
I.6.3-Les sables:.....	13

I.6.4-Les matières en suspension (MES) :	14
I.6.5- Pollution microbiologique:	14
I.6.6- Pollution chimique:	14
I.7-Les paramètres de pollution:	14
I.7.1-La matière organique (MO):	14
I.7.2 L'ammonium NH_4^+ :	14
I.7.3 Nitrate et nitrite (NO_3^- et NO_2^-) :	14
I.7.4 Phosphate PO_4^{3-} :	15
I.7.5 Les paramètres toxiques:	15
I.8 La pollution biologique :	16
I.8.1-Les microorganismes pathogènes qui se développent dans l'eau :	17
I.8.2-Réglementation algérienne sur les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine.....	18

Chapitre II : Les procédés de traitement des eaux potables

II.1-Introduction :	22
II.2-Fonctionnement d'une station de production d'eau potable :	22
II.2.1-Captage de l'eau :	22
II.2.2-Les types de captage :	22
II.3-Principaux procédés de traitement physique, chimique et biologique d'une station d'épuration :	22
II.3.1-Le Prétraitement :	23
II.4- Pré-oxydation :	23
II.4.1-Techniques utilisées de la conception :	24
II.4.2- Aération :	27
II.5 - Clarification :	27
II.5.1- Coagulation :	27
II.5.2-Floculation :	27
II.5.3-Décantation / flottation :	28
II.5.3.1- Flottation :	28
II.5.3.2- Types de décanteurs :	28
II.5.4- Filtration :	28
II.5.4.1- Types de filtration :	28

II.6-Traitement d'affinage :	29
II.6.1-Affinage par ozonation :	29
II.6.2-Affinage par adsorption :	29
II.7-La désinfection:	29
II.8-Les traitements d'équilibre :	30
II.8.1-Traitement par neutralisation :	30
II.8.1.2-Les principales techniques possibles :	30
Chapitre III : Le procédé de Coagulation et Flocculation et étude de cas	
III.1-Introduction :	31
III.2-Les articles colloïdales :	31
III.2.1 Structure des colloïdes :	32
III.3-Coagulation flocculation :	33
III.3.1 La coagulation :	33
III.3.1.1 Compression de la double couche :	34
III.3.1.2 Adsorption et neutralisation des charges :	34
III.3.1.3 Emprisonnement des particules dans un précipité.....	35
III.3.1.4 Adsorption et pontage.....	35
III.4- Les coagulants utilisés.....	36
III.4.1- Facteurs influençant la coagulation.....	37
III.4.2- Coagulation de la couleur.....	39
III.5- Critères de conception :	39
III.5.1- Choix des réactifs, de leurs doses et du pH de coagulation :	40
III.5.2-Appareillage et méthode du « Jar-test » :	41
III.6- Flocculation :	42
III.6.1-Flocculation péri-cinétique :	42
III.6.2 Flocculation ortho-cinétique :	42
III.6.3 Type de flocculant :	43
III.7-Partie Expérimental :	44
III.7.1-Etude de cas :	44
III.7.1.1-Coagulation par sulfate.....	44
III.7.1.2-Coagulation par chlorure ferrique (FeCl₃, 6H₂O) :	48
III.7.1.3-Coagulation par sulfate ferrique (Fe(SO₄)₃ :	51

III.7.2-Etude comparative entre les trois coagulants en fonction de la turbidité :	52
III.7.2.1-Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des coagulants: ;.....	52
III.7.2.2-Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des poly-électrolytes:	53
Conclusion générale :	56

Liste des tableaux

Tableau n° 01 : comparaisons caractéristiques des eaux de surface et souterraines	4
Tableau n° 02 : Exemple type d'odeurs	7
Tableau n° 03 : Exemples types de gout et odeur	8
Tableau n° 04 : classement des eaux de boisson en fonction de la conductivité	9
Tableau n° 05 : les valeurs de titre hydrotimétrique en degré français	10
Tableau n° 06 : Paramètres avec valeurs limites	18
Tableau n° 07 : paramètres avec valeurs incitatives	21
Tableau n° 08 : avantages- inconvénients des oxydants	26
Tableau n° 09 : Exemples de quelques types de particules en fonction de leurs états et leurs diamètres	31
Tableau n° 10 : Exemple de temps que mettent les articles pour chuter d'un mètre selon leurs diamètres	32
Tableau n°11 : Les principaux coagulants	36
Tableau n° 12 : Optimisation du coagulant	44
Tableau n°13 : L'optimisation du floculant	46
Tableau n° 14 : Optimisation du coagulant ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$)	48
Tableau n° 15 : Optimisation du floculant	50
Tableau n° 16 : Optimisation du coagulant $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	51
Tableau n° 17 : Optimisation du floculant	52
Tableau n° 18 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des coagulants	52
Tableau n° 19 : Optimisation du floculant (poly-électrolytes)	53

Liste des figures

Figure n°01 : chaine classique d'une station de traitement des eaux naturelles	23
Figure n°02 : Courbe méthode break-point	25
Figure n°03 : La chaux	30
Figure n°04 : Le carbonate de sodium avec ou sans chaux	30
Figure n°05 : La soude caustique	30
Figure n°06 : La double couche de NERNST	33
Figure n°07 : Caractéristiques de la particule colloïdale	34
Figure n°08 : Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation	35
Figure n°09 : Adsorption et pontage à l'aide d'un polymère	35
Figure n°10 : Schématisation de la séquence des opérations de l'expérience «Jar-test»	41
Figure n° 11 : Evolution de la coagulation floculation	43
Figure n° 12 : La silice activée	43
Figure n° 13 : Evolution de la densité optique en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$	44
Figure n° 14 : Evolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$	45
Figure n° 15 : Evolution du pH en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$	45
Figure n° 16 : Evolution du TAC en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$	46
Figure n° 17 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration du Poly-électrolyte	47
Figure n°18 : Evolution de la densité optique en fonction de la concentration du Poly-électrolyte	47
Figure n° 19 : Evolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant $FeCl_3$	48
Figure n° 20 : Evolution de la densité optique en fonction des doses du coagulant $FeCl_3$	48

Figure n° 21 : Evolution du pH en fonction des doses du coagulant FeCl_3 :.....	49
Figure n° 22 : Evolution du TAC en fonction des doses du coagulant FeCl_3 :.....	49
Figure n° 23 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration du Poly-électrolyte :.....	50
Figure n°24 : Evolution de la densité optique en fonction de la concentration du Poly-électrolyte :.....	50
Figure n° 25 : Evolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:.....	51
Figure n°26 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration du Poly-électrolyte :.....	52
Figure n°27 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des coagulants :.....	53
Figure n°28 : Evolution de la turbidité des 3 coagulants en fonction de la concentration du Poly-électrolyte :.....	54

Liste des abréviations

OMS : l'Organisation Mondiale de la Santé

TH : Titre Hydrotimétrique

TA : Tite Alcalimétrique simple

TAC : Tite Alcalimétrique Complet

COT : Carbone Organique total

pH : potentiel d'hydrogène

g/l : gramme par litre

mg/l : milligramme par litre

S% : la siccité

°C : degré Celsius

μS/cm : micro siemens par centimètre

Al₂(SO₄)₃. 14H₂O : le sulfate d'alumine

NaAlO₂ : l'aluminate de sodium

AlCl₃ : le chlorure d'aluminium

Fe Cl₃ : le chlorure ferrique

Fe₂(SO₄)₃ : le sulfate ferrique

FeSO₄ : le sulfate ferreux,

Cu SO₄ : le sulfate de cuivre,

Al(OH)₃: hydroxyde de l'aluminium

Fe(OH)₃ : hydroxyde de fer

S : seconde

μm : micromètre

trs/mn : tours par minute

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau, ressource vitale pour l'homme, recouvre plus de 70% du globe. Cependant, l'eau potable est loin d'être présente en abondance : en effet, l'eau douce ne représente que 2% de l'eau de notre planète. Nous pouvons puiser cette eau indispensable à notre survie grâce à des forages, et celle-ci nous provient de glaciers, de nappes souterraines ou encore de sources. Le reste provient des eaux de surface que constituent les lacs et les rivières. Toutes ces sources d'eau douce sont renouvelables car la pluie et la neige contribuent à les réapprovisionner de près de 200 milliards de mètres carrés par an, mais il ne faut tout de même pas en abuser car certaines nappes phréatiques, par exemple, s'assèchent à force d'être exploitées : l'eau douce constitue une denrée de plus en plus rare et précieuse.

Pour obtenir de l'eau potable, l'eau douce puisée nécessite de subir certains traitements définis par des normes de potabilité : ainsi, nous devons la débarrasser d'impuretés, de bactéries voire même de traces de minéraux trop fortes afin qu'elle devienne potable et qu'elle puisse donc être bue sans risque par l'homme.

En quoi consiste alors le système de traitement collectif des eaux dans les usines en ce qui concerne la production d'eau potable et en quoi est-elle réalisable chez soi?

L'eau du robinet provient soit des eaux souterraines soit des eaux superficielles, connaissons que les eaux souterraines sont moins polluées et ont peut les traiter à une seule technique qui est la stérilisation par le chlore / eau de javel. Contrairement aux eaux superficiels qui sont gravement pollués, cette pollution liées à l'activité de l'homme qui peuvent être entraîné (nitrate, matière organique « MO » et matière en suspension «MES »)

Les eaux superficielles passent par les stations d'épuration et être suivi par les principales étapes suivantes :

- ✚ Le prétraitement (dégrillage, tamisage)
- ✚ Pré-chloration
- ✚ Clarification (coagulation floculation décantation filtration)
- ✚ Traitement d'affinage
- ✚ Désinfection

L'essentiel étape de la clarification aide à éliminer les matières en suspension et la réduction de la matière organique cette étape conditionnera le reste du traitement et elle permet par un processus physico-chimique comprene l'ajout de sels métalliques dénommé coagulant, et de transformer la suspension colloïdale en des et particules plus importantes qui sont aptes à sédimenter [1]. L'efficacité de cette étape de traitement est rattaché à la variable type et dose du coagulant ainsi qu'à la nature des particules aider matrice minérale et organique [2].

Les coagulants les plus couramment employé sans les sels d'aluminium et de fer.

Introduction générale

Objectif de travail :

- ✚ Revoir la chaîne classique des procédés du traitement de l'eau potable d'une station d'épuration
- ✚ L'objectif général de ce travail est l'amélioration de la qualité d'eau naturelle destinée à l'alimentation en eau potable par une étude comparative de coagulation.

Ce travail est présenté en trois chapitres :

Le 1^{er} chapitre est relatif à l'étude bibliographique dont rappel et généralités sur les ressources, propriétés, pollution des eaux, et la pollution des eaux utilisées pour la production d'eau potable.

Le 2^{em} chapitre donne un rappel de procédés de traitement des eaux potables avec une description générale de fonctionnement de la station d'épuration.

Le 3^{em} chapitre contient 2 parties :

- ✚ une vue générale sur le procédé de la coagulation/floculation et les paramètres liés, critères, type ; de cette conception.
- ✚ Partie expérimentale et étude de cas, comparaison entre plusieurs coagulants et interprétation des résultats.

Enfin notre travail se termine par une conclusion, qui synthétise les principaux travaux réalisés dans ce mémoire (aspects théoriques du traitement des eaux et étude de cas)

I.1-Introduction :

De toutes les planètes du système solaire, la Terre est la seule à être pourvue d'une hydrosphère celle-ci recouvre plus de 70 % de sa superficie [3]. Schématiquement l'eau évolue entre trois secteurs les océans (l'hydrosphère), l'atmosphère et les sols (lithosphère). La Terre reçoit l'énergie solaire, l'hydrosphère chauffe et s'évapore, conduisant à la présence d'eau dans l'atmosphère cette eau suite subit un refroidissement par l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se retrouve précipitée sous forme de pluie, neige ou glace sur la lithosphère à la surface. Le fonctionnement de ce système conduit à définir différents types d'eaux, d'usages et de compositions différentes[4], Sous la pression des besoins considérables, on est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface ,parallèlement se sont développées les recherches des eaux souterraines, les méthodes de recyclage et maintenant on se préoccupe de plus en plus du dessalement de l'eau de mer . Ces trois types d'eaux constituent une source importante pour la satisfaction des besoins en eau potable.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut-être dégradée par des micro-organismes, des substances toxiques, des contaminants biogénétiques, des matières organiques ...etc. Ces éléments sont soit naturellement présent dans l'environnement, soit le résultat des activités humaines.

I.2-Les sources naturelles des eaux :**I.2.1-Eaux souterraines :**

Du point de vue hydrogéologique la couche aquifère se divise en :

I.2.1.1-Nappes phréatiques ou alluviales : Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses où l'écoulement d'eau en dessus.

I.2.1.2-Nappes captives :

Plus profondes que le premier et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures [5], la nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant appelées aussi les eaux propres car elles répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant ces eaux sont moins sensibles à la pollution accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originales dans le cas de contamination par des polluants. Quand une eau souterraine contient des concentrations en certains minéraux qui dépassent les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales. [6]

I.2.2-Eaux de surface :

Ce type d'eaux englobe toutes les eaux circulantes où stockées à la surface des continents (rivière, lacs barrage ...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours dans l'ensemble des bassins-versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas d'un développement d'une vie microbienne à

cause des déchets rejetés dans cette eau et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [6]

Le tableau ci-dessous donne une comparaison des caractéristiques entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines :

Tableau n°1 : comparaisons caractéristiques des eaux de surface et souterraines. [6]

Caractéristiques	Eaux surfaces	Eaux souterraines
Température	Change selon la saison	Relativement constante
Turbidité	Variable et parfois élevée	Faible, sauf en "terrain karstique"
Fer et manganèse dissous	Absents	Présents
Nitrate	Généralement peu abondants	Présent, teneur parfois élevé
Eléments vivants	Bactéries et virus	Ferme bactéries fréquentes
Micropolluants minéraux et organiques	Présents mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais elle peut être présente à cause d'une pollution accidentelle
Minéralisations globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations et des rejets	Plus élevée dans les eaux de surfaces, mais elle est sensiblement constante
Couleur	Liée à la présence des MES sauf dans les eaux très douce (acides humique)	Liée aux matières en solution "acide humique"

I.2.3-Eau de pluie :

Ce sont des eaux très douce c'est-à-dire des eaux qui ne contiennent pas en solution de sels de calcium de magnésium de fer ou de manganèse. Nos aïeux qui recueillaient l'eau de pluie pour faire leur lessive, ils savaient pertinemment qu'une eau douce consomme peu de savon et produit une mousse abondante. Ces eaux sont également saturées en oxygène en N_2 et en dioxyde de carbone (gaz carbonique CO_2), les 3 gaz qui entrent dans la composition de l'atmosphère.

Dans les régions industrielles cependant les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques et des gaz étrangers par exemple le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO) et (NO_2) et l'acide sulfurique (H_2SO_4). Les gaz constitués à partir d'azote et de soufre sont responsables de l'acidité de certaines pluies, dont le pH peut descendre jusqu'à 4.

Étant donné qu'elles sont peu minéralisées, les eaux de pluie sont agressives et peuvent corroder les conduites de cuivre, de fonte, de béton. [7]

I.2.4-Eau de mer :

Ce sont des eaux salées, elles contiennent (25000 mg par litre de sel dissous, et même plus). Pour dessaler ces eaux il existe deux techniques à base de membrane, l'électro dialyse et l'osmose inverse, qui sont coûteuse étant donné la grande quantité d'énergie requise. On peut également recourir à d'autres techniques comme la distillation solaire et la congélation lorsque l'ensoleillement ou la température le permettent. [7]

I.3 -Les propriétés des eaux :

L'eau est également le principal agent de sédimentation est donc un facteur déterminant de la formation des paysages. Le caractère banal de l'eau, nous fait parfois oublié que ce liquide qui nous est si familier s'avère en réalité par ses propriétés si particulière à la fois le fluide le plus indispensable à la vie et celui dans la complexité est et la plus remarquable [4]. L'eau existe dans les trois états : Liquide (eau proprement dite), solide (glace) gazeux (vapeur produit une véritable réaction chimique une solvatation complète et une dissolution). L'énergie de formation de la molécule d'eau est élevée 242 KJ/mol pour cela l'eau à une grande stabilité, ces 3 phases coexistent dans la nature toujours observables deux à deux et en équilibre: Eau-glace, eau vapeur, glace-vapeur selon les conditions de température et de pression [3].

I.3.1-Propriétés physiques:

L'association des molécules d'eau et l'origine de caractère physique tel que :

a) La température d'ébullition:

Dans les conditions normales elle est de 100 degrés Celsius.

b) La masse volumique :

L'eau à une masse volumique de 1 gramme par centimètre cube. Elle varie avec la température et la pression mais aussi avec la teneur en sel dissous.

c) La viscosité :

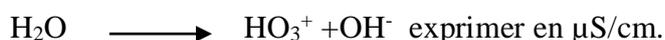
Contrairement aux autres liquides une pression modérée rend l'eau moins visqueuse à basse température [4].

d) La tension superficielle :

Elle définit comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface, elle est extrêmement élevée est égale à 73 erg/ cm à 18 degrés Celsius [6].

e) La conductivité électrique:

L'eau est légèrement conductrice. Cette conductivité très faible mais jamais nulle, elle est expliquée par une légère dissolution de la molécule d'eau selon l'équation chimique suivante :



I.3.2-Propriétés chimiques :

L'action hydratante de l'eau est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre, pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau, et forger ainsi des nouvelles structures. L'eau a des groupements polaires qui lui permettent de mettre en solution de nombreux composés solide liquide et gazeux.

I.3.3-Propriétés biologiques :

L'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants, il existe en cycle biologique au cours duquel s'effectuent une série d'échanges, l'eau et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants [8].

I.4- Critères de potabilités :**I.4.1-Introduction :**

L'eau potable est une eau dont on considère, à l'aune de normes de qualité, qu'elle peut être bue, cuite ou utilisée à des fins domestiques et industrielles sans danger pour la santé [9].

Elle peut être distribuée à partir de bouteilles, du robinet et dans l'industrie, à partir de citernes.

I.4.1 -Qualités organoleptiques :

Elles concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de la consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe:

a) Le goût:

Le goût est l'ensemble des sensations gustatives et olfactives perçues au moment de boire (la boisson en contact de la bouche). Une croissance des micro-organismes meilleurs du système de distribution d'une contamination occasionnel par les matériaux utilisés pour la construction ou l'entretien du réseau peut causer un goût désagréable. Parfois l'eau naturelle présente un goût particulier le traitement par le chlore de l'eau de consommation produit des substances organochlorés à haut pouvoir gustatif dans certaines conditions.

Une eau au goût agréable peut se révéler non conforme aux normes de potabilité, cependant la modification des caractéristiques gustatives constitue un bon indicateur de dégradation possible de la qualité.

Les eaux sont traitées par la technique de filtration fine (élimination des substances responsable), ou bien l'oxydation (chloration, ozonation...etc.), dans le cas de matière organique soit une meilleure aération de l'eau [10].

b) La couleur :

Généralement même si l'eau n'a pas de couleur, les eaux naturelles même après traitement n'est jamais considéré incolore (par comparaison à une eau distillée par exemple), le côté de potabilité dit qu'elle peut être due à certains impuretés minérale comme le fer mais également à certaines matières organiques (acide humique). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire.

L'élimination de la couleur s'accompagne également de celle de certaines matières organiques indésirables, l'élimination devra être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau [9].

c) La turbidité :

On peut dire que la couleur dépend de la turbidité d'une eau, mais plus précisément la turbidité est lié à la transparence et en relation avec les matières en suspension (sable, argile, matière organique, micro-organisme...etc.) tous ces éléments donnent des aspects troubles à l'eau [11] ce qui est équivalent à la diminution de la transparence, cela veut dire une présence de turbidité.

d) L'odeur et la saveur :

L'odeur d'une eau définit l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, aux conditions de potabilité une eau buvable doit être inodore, en effet toute odeur inhabituelle est révélatrice d'une dégradation de la qualité et d'un signe de pollution qui est dû principalement à la présence des substances organiques volatiles où certains gaz, ces substances peuvent être de :

- ✓ Origine biologique: Les odeurs révèlent la présence des micro-organismes qui peuvent signifier une augmentation de la concentration en germes pathogènes.
- ✓ activités humaines : Comme les effluents des industries agricoles, elles sont considérées dans ce cas précurseur de pollution.

Les techniques de désodorisation le plus souvent appliquées, sont l'absorption des gaz odorants par lavage et l'oxydation au chlore ou à l'ozone et aussi l'utilisation du filtre de charbon actif [11].

Tableau n°2 : Exemple type d'odeurs [12]

Caractéristiques	Exemples
Aromatique	Épice, camphre, girofle, citron
Vase	Herbe ou feuille en décomposition (odeur de rivière)
Chlore	Chlore libre
Hydrocarbure	Pétroles et dérivés
Médicale ou pharmaceutique	Iodoforme phénol
Sulfureuse (œuf pourri)	H ₂ S
Terreuse	Terre ou argile humide
Fécaloïde	Fosse d'aisances, égout

Tableau n°3 : Exemples types de gout et odeur [12]

Caractéristiques	Exemples
Salée et Amère	Sels de magnésium
Salée	Sulfates et chlorures
Amère	–
Sucrée	–
Mandarine	Oxydation de traces d'hydrocarbures Au cours du traitement d'élaboration de l'eau
Marée	Composées organiques et industrielles, métabolite d'organismes de plancton, poissons
Œufs pourris	H ₂ S
Très désagréable	Egout, poissons
Bicarbonate alcalin	Eau de type de vichy
Acide	Acide citrique
Métallique	Fe ²⁺ , Mn ²⁺
Chlorophénol	Chlorophénol
Terreuse	Terre, eaux de zones calcaires
Vase	Herbe ou feuille en décomposition

I.4.2 Les paramètres physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques sont simple à mesurer, on les mesures sur le terrain, pour déterminer la composition naturelle des impuretés de l'eau et à étudier ses équilibres [13].

a) La température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers, elle permet également de corriger les paramètres dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température doit être mesurée in situ [14]

b) Le pH :

Le pH, potentiel d'hydrogène mesure la concentration des ions H⁺ de l'eau, traduis ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. 7 est le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau, le pH doit être mesuré sur le terrain à l'aide de pH-mètre ou par colorimétrie [14].

c) Classification des eaux d'après leur pH : [14]

- pH <5 → acidité forte (présence d'acides minéraux, organiques dans les eaux naturelles).
- pH=7 → pH neutre.
- 7 < pH < 8 → neutralité approchée (majorité des eaux de surface).
- 5,5 < pH < 8 → majorité des eaux souterraines.
- pH=8 → alcalinité forte évaporation intense.

d) La conductivité et TDS (sel dissous totaux) :

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, elle est également en fonction de la température de l'eau (la conductivité importante... La température élevée), donc elle 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 conductivité dépend de la température donc les résultats de mesure peuvent être présentés sous le terme "conductivité équivalente" à 20°C ou 25°C, elle est exprimée en milli Siemens/centimètre (mS/cm) ou micro siemens/centimètre ($\mu\text{S/cm}$) et le TDS en mg/L [14].

Tableau n°4 : classement des eaux de boisson en fonction de leur conductivité ($\mu\text{S/cm}$) [15]

Conductivité	Minéralisation	Qualité de l'eau
$C < 100$	Très faible	Excellente
$100 < C < 200$	Faible	Excellente
$200 < C < 400$	Peu accentuée	Excellente
$400 < C < 600$	Moyenne	Bonne
$600 < C < 1000$	Importante	Utilisable
$C > 1000$	Excessive	Utilisable

e) Salinité:

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorure (Cl^-), les sulfate (SO_4^{2-}), et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante.

La salinité peut se mesurer de deux façons soit par les matières dissoutes totales (MDT) ou plus couramment par la conductivité électrique [16]

f) Dureté de l'eau TH :

La dureté (TH) de l'eau ou "titre hydrotimétrique" est une mesure globale de la concentration en sel dissous en calcium et magnésium, en excès les sels dissous dans l'eau forme un composé insoluble et réagit avec le savon qui perd aussi une partie de son pouvoir détersif et ne mousse plus que difficilement.

La dureté totale (TH_T) est déterminée par la méthode de dosage complexométrie à titre hydrotimétrique élevé est dit « eau dure » dans le cas contraire, « eau douce ».

Tableau n°5: les valeurs de titre hydrotimétrique en degré français [11]

Degré français (°F)	Dureté de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
> 30	Eau dure

g) L'alcalinité de l'eau (TA et TAC):

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des ions hydroxyde (OH^-) et de carbonate (CO_3^{2-}) et de bicarbonate (HCO_3^-).

Le TA et le TAC traduisant l'alcalinité d'une eau, la connaissance de ces valeurs et leurs concentrations sont essentiels pour l'étude de l'agressivité de l'eau.

- ✓ TA mesure la concentration en (CO_3^{2-}) et (OH^-)
- ✓ TAC mesure l'ensemble des ions (CO_3^{2-}), (OH^-) et (HCO_3^-)

L'alcalinité totale d'une eau est mesurée par la quantité d'acide nécessaire pour abaisser son pH jusqu'à 4,5.

Les eaux naturelles ont un pH compris entre 4,3 et 8,3 et leur alcalinité est attribuable essentiellement aux bicarbonates (HCO_3^-).

Si ; $\text{pH} > 8,3 \longrightarrow$ Acidité totale est nul.

Si ; $4,3 < \text{pH} < 8,3 \longrightarrow$ la teneur en acides forts est nul et ne contient pas de bases fortes.

L'alcalinité d'un échantillon est déterminée par un titrage avec une solution d'acide nitrique.



Au fur et à mesure du titrage, le pH diminue légèrement. Lorsque l'échantillon contient des carbonates, un premier point d'équivalence peut être observé aux environs de pH 8,3. Ce point correspond à la transformation des ions carbonates et bicarbonates. Cependant, l'alcalinité est mesurée au deuxième point d'équivalence, soit celui correspondant à la transformation du bicarbonate en acide carbonique. Ce point d'équivalence se trouve aux environs de pH 4,3.

- Pour le TA :

C'est le volume d'acide exprimé en ml à $0,02 \text{ mol.L}^{-1}$ en ions H_3O^+ nécessaire pour doser 100 ml d'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphthaléine qui vire de l'incolore au rose-

fuchsia à un pH de 8,2. Le TA s'exprime en degrés français (°f) : $1\text{ °f} = 3,4\text{ mg/l}$ d'ion hydroxyde OH^- ou $6,0\text{ mg/l}$ d'ion carbonate CO_3^{2-} .

- **Pour le TAC :**

Le titre alcalimétrique complet correspond au volume d'acide nécessaire pour neutraliser les ions bicarbonates HCO_3^- en complément des ions carbonates CO_3^{2-} contenus dans 100 ml d'échantillon :

$$\text{TAC} = [\text{HO}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \text{ Le TAC s'exprime en degrés français (°f) :}$$

$$1\text{ °f} = 3,4\text{ mg/l HO}^- \text{ (seuls ions hydroxydes si } [\text{CO}_3^{2-}] = [\text{HCO}_3^-] = 0)$$

$$1\text{ °f} = 6,0\text{ mg/l CO}_3^{2-} \text{ (seuls ions carbonates si } [\text{HO}^-] = [\text{HCO}_3^-] = 0)$$

$$1\text{ °f} = 12,2\text{ mg/l HCO}_3^- \text{ (seuls ions bicarbonates si } [\text{HO}^-] = [\text{CO}_3^{2-}] = 0)$$

Le niveau guide dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 20 °f (200 mg/l de CaCO_3) en Algérie.

h) Turbidité (Transparence) :

C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes,...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi aux pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur. La mesure de la turbidité est par une méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [14].

- NTU < 5 => eau claire.
- NTU < 30 => eau légèrement trouble.
- NTU > 50 => Eau trouble.

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse).

i) L'oxygène dissous :

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies aquatiques. En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène c'est l'asphyxie des poissons. (7 mg/l pour les salmonidés ; 3 mg/l pour les carpes) L'oxygène de l'eau permet également le processus d'oxydation des matières organiques (autoépuration), mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène.

L'oxygénation de l'eau des cours d'eau provient d'abord du contact de sa surface avec l'atmosphère. Elle est favorisée par les remous, les turbulences, les chutes et surtout par une

basse température de l'eau. Car plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble. La pression atmosphérique influe aussi modestement [14].

Valeurs de saturation en oxygène de l'eau en conditions ordinaires (pression atmosphérique 760 mm d'Hg) :

- à 5°C, maximum d'oxygène dissous : 12,3mg/l.
- à 10°C : 10,9 mg/l.
- à 15°C : 9,7 mg/l.
- à 20°C : 8,8 mg/l.
- à 25°C : 8,1 mg/l.

Déficit en oxygène dissous : C'est le cas, lorsque la concentration en oxygène dissous mesurée est inférieure à la valeur de saturation. Ce peut être le cas par exemple, la nuit en été puisque les végétaux consomment de l'oxygène, et s'il y a trop de végétaux dans peu d'eau (sécheresse) ; la faune aquatique peut être alors être menacée d'asphyxie (anoxie) surtout en fin de nuit lorsque son déficit en O₂ atteint son maximum. En dessous de 6 mg/l. la faune aquatique est en danger, en premier lieux les salmonidés.

Sursaturation en oxygène dissous : Il y a sursaturation quand une oxygénation supplémentaire est apportée, par exemple le jour par beaucoup de plantes vertes aquatiques qui produisent de l'oxygène à la lumière du soleil.

La teneur en oxygène des eaux d'une rivière peut donc varier en cours de journée de plusieurs mg/l suivant la température et la présence ou non de végétaux aquatiques (jusqu'aux environs de 20 mg/l en cas d'eutrophisation).

La teneur en oxygène des eaux d'une rivière varie aussi selon la profondeur : elle peut être très faible en eau profonde alors qu'elle peut approcher le taux de saturation près de la surface.

Pour mesurer l'oxygène dissous d'un cours d'eau, il est possible d'utiliser un oxymètre électrochimique, matériel disposant d'une sonde spéciale.

Il existe aussi des trousse colorimétriques de terrain utilisant des réactifs chimiques (méthode de Winkler).

C'est un paramètre très important pour la vie dans la rivière (respiration des poissons).

- ▶ A 15°C un litre d'eau peut avoir saturation en oxygène maximum de 9,7mg/l. de O₂.
- ▶ A 25°C, un litre d'eau peut concentrer jusqu'à 8,25 mg/l. de O₂ et à 29°C, 7,5 mg/l. de O₂..

I.5-Pollution des eaux :

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité

I.5.1 L'industrie:

Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insolubles ou solubles d'origines minérales et ou organiques, plus ou moins biodégradables et parfois toxiques même à très faibles concentrations.

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme [4]

I.5.2 L'agriculture :

L'utilisation des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, (pesticides, les fongicides, les herbicides ...), ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration [17].

I.5.3 Pollution domestique :

Les eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de pathogène et de produits chimiques [6].

I.5.4 Pollution par les eaux pluviales:

L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumée industrielle) ou au contact de sol (pollution de sol).

I.5.5 Pollution d'origine naturelle:

L'environnement contient des substances naturelles qui peuvent entraîner parfois des problèmes de contamination de l'eau potable comme des composés inorganiques: Le baryum, l'arsenic, les fluorures, les sodiums, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures [17]

I.5.6 Pollution par les substances associés au traitement de l'eau: Le traitement de l'eau peut causer dans quelques étapes des procédés des produits chimiques toxiques qui peuvent être même cancérigènes comme la formation des sous-produits de chloration (spc) le trihalométhane (THM) lors de la chloration de l'eau, aussi la présence des concentrations d'aluminium très élevées lors de la coagulation (coagulant sulfate d'alumine).

I.6-Les principaux polluants des eaux naturelles:

a. Les polluants physiques:

Ce sont les éléments solides entraînés par l'eau ils se divisent en plusieurs catégories selon leurs natures et leurs dimensions:

b. Les éléments grossiers:

Généralement ce sont les brindilles, les feuilles, les arbres Leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simple grilles.

c. Les sables:

Ils sont généralement à base de silice ou de composition minérale équivalente, leur masse spécifique est de 2,5 à 2,6 g/cm³ ce qui permet leur élimination par simple décantation [18].

d. Les matières en suspension (MES)

Elles sont constituées de quartz d'argiles de sels minéraux insolubles, de particules organiques composer de micro-organismes, et de produits de dégradation des animaux ou des végétaux.

Les matières en suspension rencontrés dans les eaux superficielles sont très divers tant par leur nature que leur dimension [19].

e. Pollution microbiologique:

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus des bactéries des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limités dans les usages que l'on peut faire de l'eau.

f. Pollution chimique:

La pollution chimique de l'eau peut prévoir de plusieurs sources:

- les éléments chimiques minéraux.
- les éléments chimiques organiques.

I.7-Les paramètres de pollution:

C'est la résultante d'origine triel ou activité humaine on peut citer par les paramètres suivants (matière organique, COT (carbone organique total dérivée azotée (nitrate, nitrite, ammonium), phosphore, hydrogène sulfaté [20].

I.7.1 La matière organique (MO):

Les matières organiques sont présentes de manière naturelle dans les cours d'eau et proviennent de la mort des organismes vivants animaux et végétaux. Elles sont aussi liées aux activités humaines. Elles participent à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau: couleur, sous-produit de désinfection, odeur, saveurs... etc.

Possible de donner des valeurs moyennes de concentration de matière organique naturel MON rencontrées dans les eaux utilisées pour la production d'eau potable (pour une eau de surface, la concentration varie entre 2 à 10 mg/l) [21]

I.7.2 L'ammonium NH₄⁺ :

L'ammonium provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenue dans le phytoplancton et les micro-organismes il peut être aussi la résultante d'effluents

urbains épurés, de rejet industriels ou agricoles. L'ion ammonium NH_4^+ est la forme réduite de l'azote, sa concentration dans les eaux naturelles varie entre 0,1 et 10 mg/l. [21]

I.7.3 Nitrate et nitrite (NO_3^- et NO_2^-) :

Les sources de ces polluants dus à l'utilisation des engrais et la fabrication d'explosifs, les industries chimiques et alimentaires, La teneur en nitrate de l'eau est élevée que celle des nitrites, Une forte concentration en nitrite indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniaque. Le traitement classique de l'eau ne modifie pas la teneur en nitrates [21].

- ✓ Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique.
- ✓ Les nitrites de l'oxydation incomplète de l'azote organique. [21]
- ✓ La réduction des nitrates en nitrites est optimale à pH supérieur à 4,6
- ✓ Les nitrites jouent un rôle très important dans le cycle de l'azote sous l'action de bactéries de type Nitrobacter.
- ✓ (autotrophe et strictement aérobie), les nitrites sont rapidement oxydés en nitrates, ces derniers sont les produits finaux de l'oxydation des dérivés azotés [22]

I.7.4 Phosphate PO_4^{3-} :

Les phosphates sont des anions qui s'attachent très facilement en minéraux du sol, dans certaines régions en particulier dans les zones phosphatique, la plupart des eaux renferment des traces dues au terrain, on a vu dans la science écologique que le phosphore est responsable de l'eutrophisation des cours d'eau, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau, qui laisse moins d'oxygène disponible pour les autres espèces vivantes. Il faut limiter l'apport de phosphore dans les eaux pour protéger surtout les poissons [21].

I.7.5 Les paramètres toxiques:

Toutes ses origines de pollution essentiellement la pollution industrielle peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Parmi ces éléments : les métaux lourds, le plomb, nickel, mercure, chrome, cadmium, arsenic, HAP totaux (hydrocarbure aromatique polycycliques) [20]

a. L'arsenic(As) :

L'arsenic est présent dans l'eau sous de forme: Arséniate (Av) et arsénite (As III), 10 fois plus toxique. En effet naturel l'arsenic présent dans le sol. Il est associé à 245 minerais notamment le cuivre, l'or, le zinc.

Alors l'arsenic se trouve dans les gisements de minerais comme les roches anciennes dites " roche du socle" où les roches volcaniques (massif Central, Vosges...) la concentration moyenne à laquelle il est dosé est d'environ $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ dans les eaux de surface, autres industries utilisant beaucoup l'arsenic pour ses pouvoirs de blanchiment (industrie du verre du cuivre du papier peint) aussi de conservation (industrie du bois) même pour sa toxicité (industrie pharmaceutique et chimique) [23].

b. Le chrome (Cr):

On trouve le chrome dans la nature sous plusieurs de - 2 à 6, Cr³⁺ trivalent ou Cr⁶⁺ hexa valent ce dernier est rare il y a aussi les chromates CrO₄²⁻ et les bichromates Cr₂O₇²⁻ qui sont observés dans l'environnement proviennent généralement de rejets industriels ou domestiques. Les concentrations de chrome dans les sols varient entre 10 à 125 mg/kg.

On trouve aussi des traces de chrome dans des tissus végétaux et des animaux.

La concentration maximale acceptable du chrome dans l'eau potable est de 0,05 mg/litre (50 ug/l)

Les sels (chlorures, nitrates et sulfate) de chrome trivalent rapidement soluble dans l'eau à l'exception des hydroxydes et des carbonates [23].

c. Les pesticides:

C'est le groupe générique de les pesticides , les herbicides , les fongicides , les algicides ... D'origine Agricole,[21] produits par synthèse phytosanitaire dénommé antiparasitaire à usage agricole sont utilisés pour lutter contre les herbes les insectes et les champignons (fongicides) aussi pour amélioration de la production végétale et la préservation des récoltes ils sont entraîné par les eaux de pluie ou de ruissellement, ce sont actuellement une des grandes sources de contamination des eaux et même des légumes et fruits car ces derniers changent leur goût [20].

d. Hydrocarbures:

Est dû à des rejets pétroliers, d'huile de vidange, d'effluents de différentes industries ou d'usine à gaz de vapeur. Les hydrocarbures aromatiques sont particulièrement solubles. Comme pétrole, kérosène, l'essence, du mazout, du fuel, des huiles ou lubrifiant.

La biodégradabilité des hydrocarbures est très lente [24]

I.8 La pollution biologique**a. Les bactéries:**

Le grand risque pour la santé humaine la présence d'organismes pathogènes dans une eau [20], il ne doit contenir ni microbes bactéries pathogène ni virus, qui pourrait entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie. Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies c'est-à-dire se développe en présence d'oxygène [13].

Et voici quelques micro-organismes qui peuvent causer un risque pour la santé humain :

b. Les bactéries qui survivent dans l'eau:**b.1 Le choléra :**

La bactérie la plus connue responsable de nombreuses épidémies mortelles en Europe au XIX siècle le choléra se développe surtout dans les eaux stagnantes et dans les estuaires [23].

b.2 Salmonella et Schigellae:

La bactérie est très sensible à la désinfection.

I.8.1 Les microorganismes pathogènes qui se développent dans l'eau :**a. Pseudomonas:**

Très fréquente dans les eaux usées et les eaux pluviales, la bactérie est très résistante aux antibiotiques [23].

b. Aeromonas:

Présentes dans l'eau claire, elles se développent dans les eaux usées et chaudes [23].

c. Légionelles :

Présentes dans le milieu hydrique en fonction de multiples conditions favorables (physique, chimique ou biologique) et aussi en fonction de la température et de la présence d'éléments nutritifs, les bactéries (micro-organisme vivant ou mort, biofilm) [21].

d. Les parasites:

Les opportunistes, ils se développent sur un hôte, les plus connues sont les gardiens le cryptosporidium découvert en 1955, ces parasites sont rejetés par les animaux et les hommes. Ils résistent à la désinfection [21].

e. Les virus:

Ces micro-organismes sont plus résistantes que les bactéries, ils peuvent exister à l'état végétatif, ou être actifs sur les cellules vivantes, qui comprennent plusieurs familles (virus de Norwich, de Sapporo...) il existe plus de 140 virus identifiés, la résistance au traitement de désinfection est variable [21].

I.8.2 Autres microorganismes :**a. Champignons:**

Caractérisé par des spores abondantes et des membranes de cellules épaisses [25].

b. Algues:

Caractérisé par une forte variation saisonnière dans certaines eaux superficielles elle apporte des teneurs élevées en matière organique [25].

c. Bactérie test de contamination fécale:

Une contamination dans l'environnement effectuée par la présence de certaines bactéries comme l'Escherichia coli, staphylocoque, coliformes... Dans les rejets d'eaux résiduaires urbaines [21].

d. Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices:

Ce sont des germes capables de former et de se maintenir longtemps dans l'eau sous une forme végétative. Difficile de les éliminer avec les désinfectants [25].

I.9 Réglementation algérienne sur les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine.

Ils sont présentés sur deux tableaux, le premier tableau concerne les valeurs limites à ne pas dépasser et le deuxième tableau concerne les valeurs indicatives.

Tableau n°6 : PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITEES :

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITEES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/L	0,2
	Ammonium	mg/L	0,5
	Baryum	mg /L	0,7
	Bore	mg /L	1
	Fer total	mg /L	0,3
	Fluorures	mg/L	1,5
	Manganèse	µg /L	50
	Nitrates	mg /L	50
	Nitrites	mg /L	0,2
	Oxydabilité	mg /L O2	5
	Phosphore	mg /l	5
	Acrylamide	µg /l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
Cyanure	µg/l	70	
Mercure	µg/l	6	

Nickel	µg/l	70
Plomb	µg/l	10
Sélénium	µg/l	10
Zinc	mg/l	5
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (1,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène. benzo (3,4) pyrène	µg/l µg/l	0,2 0,01
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés extraits au CCl4	µg/l	10
Phénols	µg/l	0,5
Benzène	µg/l	10
Toluène	µg/l	700
Ethylbenzène	µg/l	300
Xylènes	µg/l	500
Styrène	µg/l	100
Agents de surface réagissant au bleu de méthylène	µg/l	0,2
Epychlorehydrine	µg/l	0,4
Microcystine LR	µg/l	0,1
Pesticides par substance individualisée - Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides,	µg/l	0,1

	les fongicides, les P.C.B. et PC.T à l'exception de aldrine et dieldrine		0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlore	mg/l	5
	Chlorite	mg/l	0,07
	Trihalométhanes (THM) (Total) Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane	µg/l	100
	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
	1,2 –Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2 – Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4 – Dichlorobenzène	µg/l	300
	Trichloroéthylène	µg/l	20
	Tetrachloroéthylène	µg/l	40
Radionucléides	Particules alpha	Pricocurie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

Tableau n°7 : PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions Hydrogène	Unité pH	≥6,5 et ≤9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	

II.1-Introduction :

L'eau pure n'existe pas à l'état naturel. Dans son parcours jusqu'à nos robinets, elle se charge d'éléments à la fois indispensables à notre santé mais peut également rencontrer des substances potentiellement toxiques pour l'organisme. C'est pourquoi l'eau doit subir plusieurs traitements avant d'être considérée comme potable. Elle doit ainsi répondre à de nombreux critères pour permettre à chacun de boire une eau sans aucun risque pour la santé. Mais d'où vient l'eau potable et comment arrive-t-elle jusqu'à nos robinets ? C'est ce que nous allons voir dans ce chapitre.

II.2-Fonctionnement d'une station de production d'eau potable :**II.2.1-Captage de l'eau**

Les captages sont majoritairement réalisés dans les nappes souterraines. Ces dernières, en effet, présentent des avantages indéniables : leur eau, épurée par le sol, est généralement de bonne qualité et moins vulnérable aux pollutions. A l'inverse, les eaux superficielles sont exposées à tous les types de pollutions et de disponibilité variable selon les saisons. Cependant l'eau brute captée en milieu naturel n'est pas toujours potable. Elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à une usine spécialisée dans le traitement de l'eau, qui la rend "potable" c'est à dire consommable sans risque [26].

II.2.2-Les types de captage :

Il existe divers types d'ouvrages de captage d'eau souterraine destinée à la consommation humaine : [26]

- ✓ Puits tubulaires
- ✓ Puits de surface

- ✓ Pointes filtrantes
- ✓ Puits rayonnants
- ✓ Puits à drains horizontaux
- ✓ Le captage direct des sources
- ✓ Forages

- ✓ Recherche en eau souterraine
- ✓ Recherche en eau de surface

II.3-Principaux procédés de traitement physique, chimique et biologique d'une station d'épuration :

Une station de production d'eau potable traite généralement les eaux de surface par une chaîne de traitement comme suit :

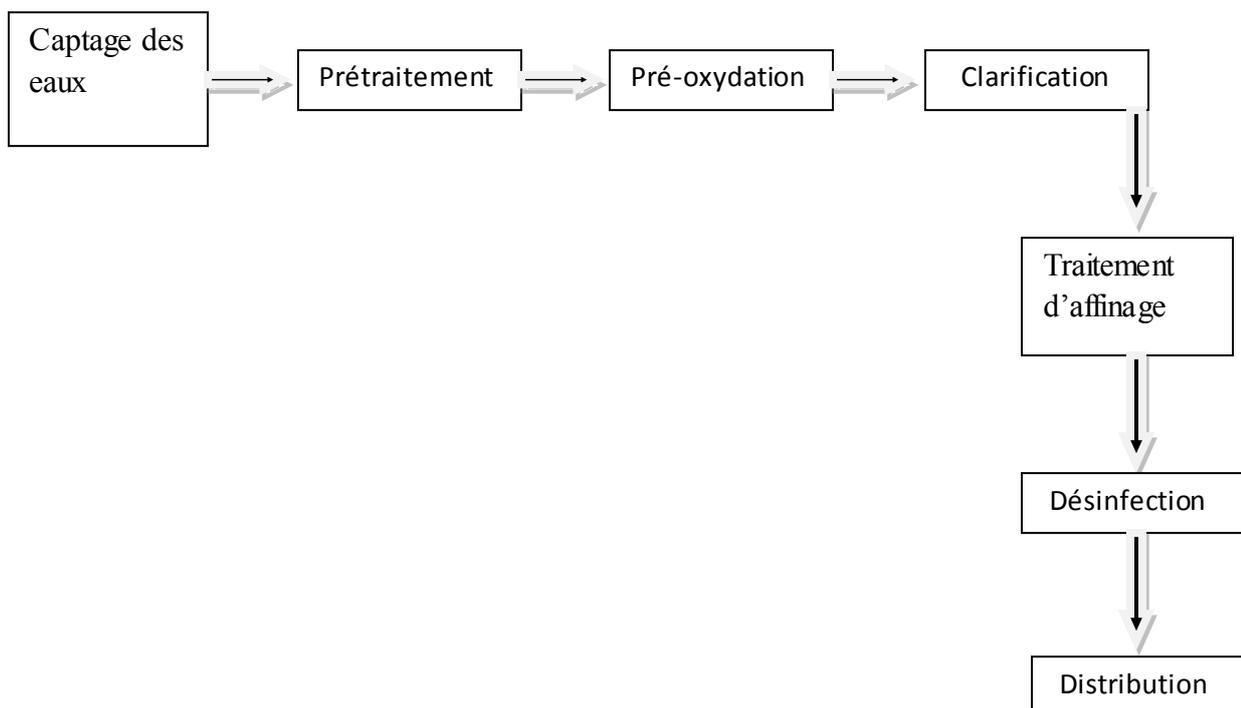


Figure n° 1 : chaîne classique d'une station de traitement des eaux naturelles

II.3.1-Le Prétraitement :

- A- **Le dégrillage** : permet de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement, l'espacement entre les barreaux d'une grille varie de 5 à 10 cm [27].
- B- **Le tamisage** : permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage grâce à des grille à mailles de 0.3 à 3 mm, il existe également des micro-tamis à mailles de 25 à 100 microns [28].
- C- **Le dessablage** : bassin de dessablage est prévu dans le but d'extraire les sables et particules minérales plus au moins fines.

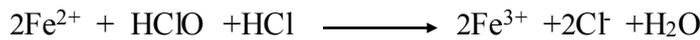
II.4- Pré-oxydation :

C'est un procédé chimique qui utilise le chlore (ou l'hypochlorite de sodium), l'ozone, le dioxyde de chlore ou le permanganate de potassium [27].

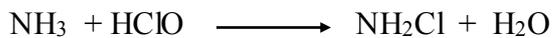
Destinée à permettre l'élimination de :

- L'élimination du fer et du manganèse (notamment pour les eaux souterraines) ;





- L'élimination de l'azote ammoniacale ;

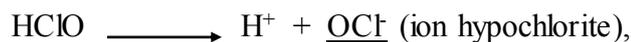


- L'élimination de la couleur (essentiellement pour les eaux superficielles) ;
- L'élimination des algues et phytoplancton et lutte contre leur prolifération dans les installations. (essentiellement pour les eaux superficielles).

II.4.1-Techniques utilisées de la conception : [29]

1) Pré-chloration :

Utilisation du chlore gazeux, l'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, l'hypochlorite de sodium NaClO (eau de Javel). Ces composés se dissolvent pour donner l'acide hypochloreux HOCl sous les réactions suivantes :



Traitement de désinfection efficace d'où pH entre 7 et 8.

Lorsque le chlore est introduit dans une eau contenant de l'azote ammoniacale, il se forme des chloramines (chlore résiduel combiné) ayant un pouvoir bactéricide non négligeable.



Une dose plus élevée de chlore détruit ces chloramines en les oxydant en azote gazeux.



2) La méthode dite du break-point :

« Break-point » [30,31] où les chloramines sont transformées totalement en azote moléculaire.

Pour connaître la dose de chlore à injecter, il faut introduire dans différents récipients remplis d'une même quantité d'eau, une dose croissante de chlore. La mesure du chlore résiduel (chlore total) après environ 30 minutes donne la courbe d'absorption du chlore suivante :

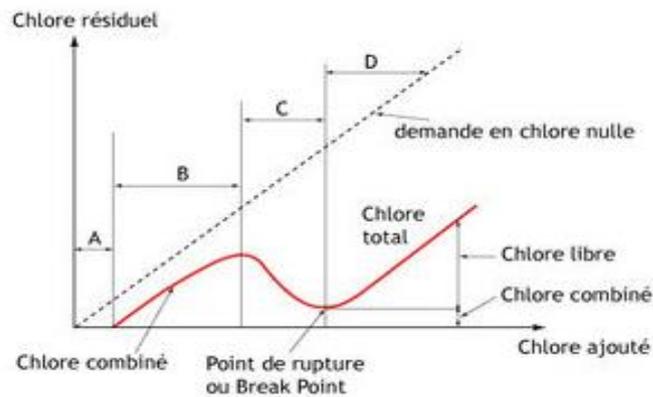


Figure n° 2 : Courbe méthode break-point [32, 33,34]

Interprétation de la courbe :

- ✚ A : destruction du chlore par les composés minéraux (fer, manganèse...);
- ✚ B : formation de composés chlorés organiques et de chloramines, réduction des monochloramines et des dichloramines, formation des trichloramines;
- ✚ C : destruction des chloramines par ajout de chlore supplémentaire; Point de rupture (break-point) : les mono-, di et trichloramines ont pratiquement disparu;
- ✚ D : production de chlore actif. Tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux (HClO), mais il reste du chlore combiné (trichlo-amines et autres sous-produits de désinfection). Les trichlo-amines ont un très léger effet désinfectant, mais il donne un goût de chlore à l'eau.

La pré-chloration présente l'inconvénient de former des composés organique chlorés dont les trihalométhanes (THM) qui peuvent avoir des effets nocifs sur la santé de l'homme, il faut donc éviter une pré-chloration dans le cas de l'eau brute (fortement chargées en matière organique).

3) Pré-ozonation :

Utilisée en remplacement de la pré-chloration sur les eaux chargées en matières en suspension (MES) et en algues.

Avantage :

- ✓ Pas de formation de produits chlorés.
- ✓ Favorise la coagulation-floculation-décantation (l'oxydation, la dégradation de certaines molécules en fragments plus petits change la distribution des particules selon la taille). Mais sa préparation et son utilisation est plus délicate et plus couteuse que celle du chlore

4) Pré-oxydation par le bioxyde de chlore ClO_2 :

Il est efficace vis-à-vis de la couleur et du gout mais il ne permet pas l'élimination de l'azote ammoniacale. Son application reste limitée du fait de son cout élevé et de sa préparation et manipulation délicate.

5) Pré-oxydation par le permanganate de potassium KMnO_4 :

Efficace pour les eaux brutes riches en fer et en manganèse. Cependant, ce traitement est trois fois plus couteux que les précédents.

Le tableau suivant représente les avantages et inconvénients de chaque oxydant

Tableau n° 8 : avantages- inconvénients des oxydants

Oxydant	Avantages	Inconvénients
Chlore	Utilisation simple Résiduel persistant Longue expérience de son utilisation	Formation de sous-produits THM Forte influence du pH Gout et odeur
Bioxyde de chlore	Résiduel relativement persistant Pas de formation de THM Pas d'influence du pH	Préparation sur site Présence d'odeur Formation produits halogènes
Ozone	Pas de THM ni produits halogènes Pas de problèmes avec gout et odeurs Efficacité sur les algues Peu d'effet du pH Effet bénéfique sur coagulation Formation de sous-produit biodégradables	Faible effet rémanent Préparation sur site Corrosif Utilisation peu aisée
Permanganate de potassium	Utilisation aisée Pas de formation de THM	Oxydant modéré Coloration rosé de l'eau quand il est en excès Sous-produits peu connus Peut précipiter suivant pH

II.4.2- Aération :

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs et elle suit les lois de l'échange gaz-liquide, pour le transfert des solutés à travers une interface air-liquide, elle peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de peroxydation

L'aération permet aisément l'oxydation du fer s'il n'est pas à l'état complexé soit par la matière organique (acides humiques) ou par la silice dissoute [26].

Ce procédé est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène et permet alors, Soit :

- ✓ D'oxyder des éléments réduits, tels les ions ferreux ;
- ✓ D'augmenter la teneur en oxygène dans l'eau (améliorer le goût, éviter la corrosion des conduites métalliques en formant une couche protectrice) ;
- ✓ D'éliminer des gaz indésirables (H_2S , CO_2 libre, sursaturation en oxygène, composés organiques volatils, etc.). [26]

II.5 - Clarification :

C'est une étape indispensable pour les eaux de surface et les eaux souterraines karstiques. Permet d'obtenir une eau limpide par élimination des matières en suspension(MES), est donc de la turbidité. Ainsi que l'élimination de certains éléments minéraux et matières organiques(MO).

La clarification combine les procédés suivants :

Coagulation-floculation + décantation + filtration

II.5.1- Coagulation :

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales [35] ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables. On va voir tous les critères de cette conception dans le chapitre 3

II.5.2-Floculation :

La floculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de flocs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un floculant [35].

II.5.3-Décantation / flottation :

L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floccs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface [6].

II.5.3.1- Flottation :

Consiste à favoriser la clarification par entrainement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accroche aux MES et aux floccs. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur.

II.5.3.2- Types de décanteurs : [36, 2]

1. **Décanteurs statique** : bassin rectangulaire ou circulaire où les boues se déposent. Les petits décanteurs sont munis de fonds inclinés de 45° à 60° pour permettre l'évacuation continue ou intermittente des boues au point le plus bas.
2. **Décanteurs à contact de boues** : possèdent une zone de réaction où l'on met en contact l'eau brute et ces réactifs avec les boues déjà existantes. On trouve là les appareils à circulation des boues.

II.5.4- Filtration :

C'est un procédé physique disposé généralement après la décantation. Ce dernier peut être toutefois situé directement après une coagulation-floculation ou après une pré-oxydation.

La filtration permet de retenir les MES qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de pré-oxydation. Elle est réalisée généralement sur sable [37, 6].

Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage d'eau [38, 1].

II.5.4.1- Types de filtration :

- 1) **Filtration lente ($V < 10 \text{ m/j}$)** : utilisée pour les faibles débits d'eau, elle assure l'épuration et la clarification des eaux. Elle a l'avantage d'être une opération facile mais ce type de filtration nécessite une grande surface et exige une eau dont la turbidité est faible.
- 2) **La filtration rapide ($V = 4.5 \text{ à } 10 \text{ m/h}$)** : s'applique à des eaux préalablement traitées (eau floculée et décantée) et a pour but la clarification poussée de l'eau par l'élimination des MES.

II.6-Traitement d'affinage :**II.6.1-Affinage par ozonation :**

Le traitement d'oxydation par l'ozone précède généralement une étape d'adsorption sur charbon actif en grain. Cette combinaison permet une réduction importante de la matière organique [6, 31]

Parmi les actions principales qu'elle opère, on trouve :

- Elimination des goûts et des odeurs
- Transformation des molécules de grandes chaînes en molécules de petite taille
- Destruction des phénols de certains détergents

II.6.2-Affinage par adsorption :

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux à fixer à leur surface des molécules extraites de la phase liquide ou gazeuse dans laquelle ils sont immergés, on peut utiliser le charbon sous deux formes :

- Le charbon actif en poudre: il est utilisé pour former de suspension que l'on introduit au cours de la phase de floculation.
- Le charbon actif en grains: Il est utilisé sous forme de lit filtrant permettant de combiner les propriétés adsorbante et filtrante du charbon, ces filtres doivent être placés dans la filière de traitement soit à placer des filtres à sable soit après une filtration rapide sur sable.

II.7-La désinfection: [36, 1]

- ✓ La désinfection a pour objectif la destruction de tous les organismes pathogènes à la sortie des usines
- ✓ La désinfection n'est efficace que si l'eau a été préalablement bien traitée
- ✓ Elle doit être effectuée de manière à maintenir un résiduel désinfectant sur tout le réseau de distribution afin d'éviter toute dégradation de la qualité de l'eau par prolifération de micro-organismes.

II.8-Les traitements d'équilibre :**II.8.1-Traitement par neutralisation :**

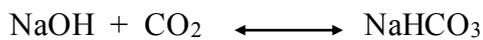
C'est un procédé chimique qui permet l'élimination du CO₂ par réaction de neutralisation avec un réactif basique [26]

II.8.1.2-Les principales techniques possibles :

- Neutralisation à la chaux :



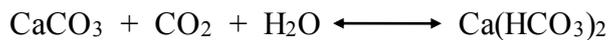
- Neutralisation à la soude :



- Neutralisation au carbonate de sodium :



- Filtration sur matériaux neutralisant à base de calcaire principalement:



- Ces figures présentent les réactifs utilisés : [26]



Figure n°3: La chaux;



Figure n°4 : Le carbonate de sodium avec ou sans chaux;



Figure n°5 : La soude caustique.

III.1-Introduction :

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, 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. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. [1]

La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

III.2-Les particules colloïdales :

- Le tableau suivant donne des ordres de grandeurs des particules en fonction de leur état

Tableau n°9 : Exemples de quelques types de particules en fonction de leurs états et leurs diamètres.

Diamètre des particules (micromètre)	Etat	Exemple
< 0,001	Etat dissous	.
0,001 à 1	Etat colloïdal	Oxydes et hydroxydes Argile Huiles et graisses Bactéries
> 1	Solides décantables	Limon Sables Pollen

Le tableau suivant nous montre quel est le temps mis par ces particules pour chuter naturellement d'un mètre dans l'eau.

Tableau n° 10: Exemple de temps que mettent les particules pour chuter d'un mètre selon leurs diamètres.

Type	Diamètre des particules (micromètre)	Temps de décantation
Gravier	10 000	1 s
Sables grossiers	1 000	10 s
Sables fins	100	2 min
Argile	10	2 h
Bactéries	1	8 j
Colloïdes	0,1 à 0,001	2 à 200 ans

On voit bien que les particules colloïdales ne pourront pas décanter naturellement dans les décanteurs qui équipent les stations de traitement des eaux potables.

III.2.1 Structure des colloïdes :

Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde et forment la couche liée ou de STERN, qui attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité des cations : c'est la couche diffuse ou de GOUY. Il y a donc formation d'une double couche ionique, l'un accompagnant la particule lors de ces déplacements, l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard [31].

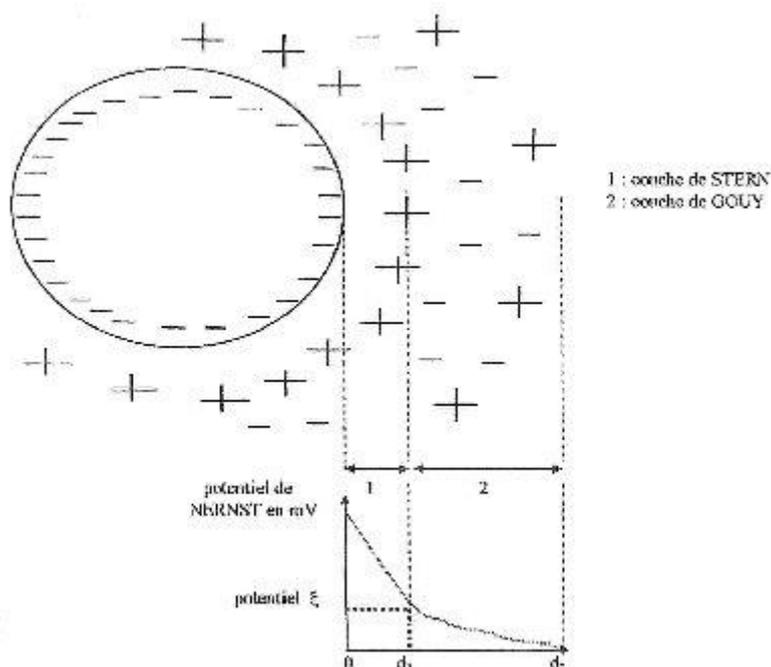


Figure n°5: La double couche de NERNST [39]

Il existe entre ces deux couches un potentiel électrostatique ou de NERNST, qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde. Dans la couche liée, le potentiel de NERNST décroît linéairement car les cations constitutifs sont empilés uniformément. En revanche, dans la couche de GOUY, le potentiel électrostatique varie de manière non linéaire, étant donné que la répartition ionique résulte d'un mélange aléatoire de cations et d'anions. La valeur du potentiel à la surface de la couche de NERNST est appelé potentiel zêta [39]. Les colloïdes étant chargés négativement, ce potentiel est négatif. Dans les eaux naturelles, sa valeur varie de -30 à -35 mV. Les particules de potentiel zêta négatif se repoussent très fortement. C'est pourquoi, les colloïdes sont très stables et inhibent toute agglomération.

III.3-Coagulation floculation :

La coagulation et la floculation sont deux opérations indissociables et particulièrement primordiales en traitement des eaux de surface.

L'objectif est de contribuer à l'élimination de la turbidité, des matières organiques dissoutes (COD), de certains micropolluants minéraux (métaux lourds, fluor, arsenic) ainsi que des micro-organismes à l'aide des étapes de clarification placées en aval.

III.3.1 La coagulation :

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant, afin de faciliter leur agglomération [40] en flocons décantables ou

filtrables. Le coagulant peut être introduit dans un bassin de mélange rapide ou dans un mélangeur statique en ligne qui génère tous deux une violente agitation au point d'injection.

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

III.3.1.1 Compression de la double couche

Lorsqu'on rapproche deux particules colloïdales semblables, leurs couches diffuses interagissent et génèrent une force de répulsion. Tout comme le potentiel électrostatique, le potentiel de répulsion chute plus rapidement en fonction de la distance lorsque la force ionique est élevée [1].

Il existe par ailleurs un potentiel d'attraction, ou forces d'attraction, E_a , entre les particules. Ces forces, appelées forces de van der Waals, dépendent des atomes qui constituent les particules et de la densité de ces dernières. Contrairement aux forces de répulsion, les forces de van der Waals ne sont pas affectées par les caractéristiques de la solution.

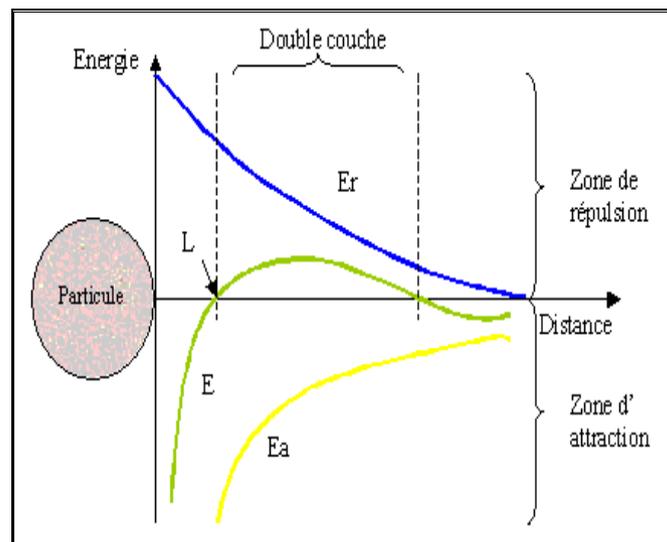


Figure n°6: Caractéristiques de la particule colloïdale

La courbe (**E**) schématisant le phénomène général de répulsion électrostatique est la résultante de la courbe de l'énergie d'attraction, (**Ea**) (interactions de Van der Waals) et de la courbe de l'énergie de répulsion (**Er**) (gradient électrostatique). Lorsque la distance qui sépare deux particules est supérieure à la distance critique L, les forces de répulsion l'emportent. Pour favoriser les forces d'attraction (courbe Ea) il faut rompre la stabilité des colloïdes en comprimant la double couche.

III.3.1.2 Adsorption et neutralisation des charges

On peut toutefois expliquer la déstabilisation des particules colloïdales en posant l'hypothèse que des charges issues d'un surplus de coagulant sont adsorbées à la surface des particules. Les particules colloïdales ainsi déstabilisées possèdent alors une charge inversée, ce qui est contraire au but recherché [1].

L'adsorption peut être aussi à la base de la formation des ponts inter particules. Ce phénomène est dû aux polymères de poids moléculaire élevé. Un complexe particule-polymère est ainsi formé dans lequel le polymère sert comme un pont.

III.3.1.3 Emprisonnement des particules dans un précipité

Pour déstabiliser les particules colloïdales, on peut en outre les emprisonner dans une particule de floc. Lorsqu'on, ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $Al_2(SO_4)_3$ 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 $Al(OH)_3$ ou de $Fe(OH)_3$, possède habituellement une charge positive. La présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation de précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation de floc. Ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant requise. En d'autres mots, une concentration importante de particules en suspension peut entraîner une diminution de la quantité de coagulant nécessaire [1,40].

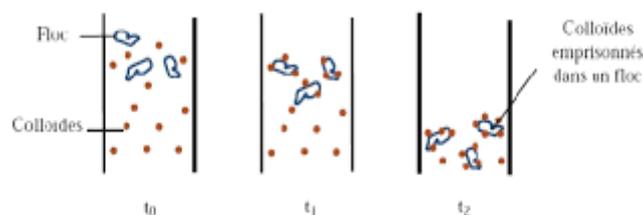


Figure n°7: Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation.

III.3.1.4 Adsorption et pontage

Les molécules de polymères, très longues, contiennent des groupes chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales. La molécule de polymère peut ainsi adsorber une particule colloïdale à une de ses extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules.

Donc les molécules de polymères forment des « ponts » entre les particules colloïdales. Il peut y avoir déstabilisation de la suspension, déstabilisation imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule-molécules de polymères ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales.

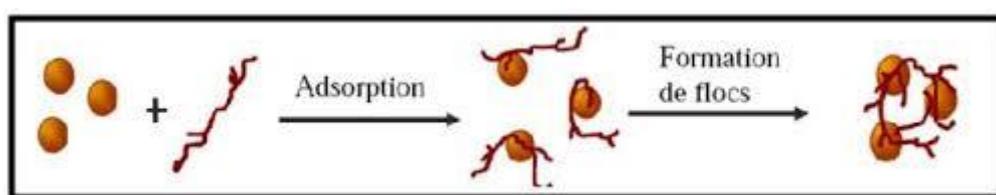


Figure n°8: Adsorption et pontage à l'aide d'un polymère [1]

III.4- Les coagulants utilisés

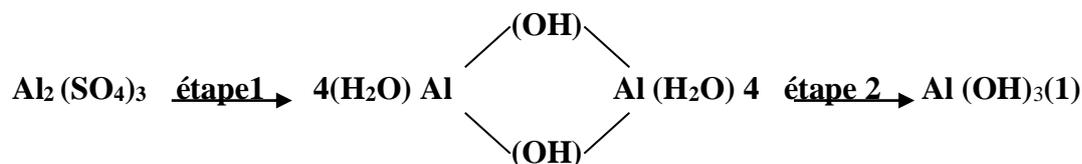
Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un floc sont : le sulfate d'alumine, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, l'aluminate de sodium, NaAlO_2 , le chlorure d'aluminium, AlCl_3 , le chlorure ferrique, FeCl_3 , le sulfate ferrique, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, le sulfate ferreux, FeSO_4 , le sulfate de cuivre, CuSO_4 , et les poly-électrolytes. Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer. On a longtemps pensé que ces sels libéraient des eaux Al^{3+} et Fe^{3+} qui neutralisaient la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation [1].

Lorsqu'on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes, $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$, insolubles et formant un précipité [1].

Tableau n°11: Les principaux coagulants [1]

Coagulants minéraux	Coagulants organiques
-Sels métalliques simples : Chlorure ferrique (FeCl_3 , 6 H_2O). Sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 18 H_2O). Sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 9 H_2O . Sulfate ferreux FeSO_4 , 7 H_2O . -Sels métalliques polymérisés : Polychlorures basiques d'aluminium (PCBA). Polychlorosulfates basiques d'aluminium (WAC, AQUALENC...).	-Polyamines : PolyDADMAC. Résines dicyandiamides. Résines mélamines formaldéhydes.

- Réactifs coagulants
- ✓ Mise en solution d'un coagulant



Etape 1: Phase d'hydrolyse

- Formation d'intermédiaires polychargés positifs.
- Neutralise la charge des colloïdes.
- Forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

Etape 2: Formation du précipité d' $\text{Al}(\text{OH})_3$

- Réaction qui dépend de l'agitation du milieu.
- Assure la coalescence des colloïdes déstabilisés: Forme floculant.

III.4.1- Facteurs influençant la coagulation

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelations, comme le pH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, les conditions de mélange, la turbidité et la couleur. Ces interrelations complexes interdisent actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants [1,34]

1) Influence du pH

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation aura lieu rapidement, plage qui est en fonction de coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. Lorsque la coagulation se produit hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité.

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. Pour certaines eaux, il faut parfois corriger le pH à l'aide de divers produits (acides, chaux ou soude). Pour abaisser le pH, il est plus avantageux dans certains cas, d'augmenter la quantité de coagulants.

Lorsque le pH est optimal, les produits solubles de fer et d'aluminium sont pratiquement inexistantes.

2) Influence des sels dissous

Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation et la floculation.

- Modification de la plage de pH optimale.
- Modification du temps requis pour la floculation.
- Modification de la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent.
- Modification de la quantité de coagulants requise.

3) Influence de la température de l'eau

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité. C'est ce qui explique les difficultés de décantation des floes. De plus, pour une même vitesse de filtration, les forces de cisaillement qui s'exercent sur le floe sont plus importantes, ce qui en favorise le bris et l'entraînement dans le filtre. En outre la plage de pH optimale se rétrécit [1].

On peut surmonter de diverses manières les difficultés dues à une diminution de la température de l'eau :

- On effectue la coagulation dans la plage de pH optimale pour cette eau à cette température.
- On augmente la quantité de coagulant, ce qui a pour effet d'accroître la probabilité de collisions entre les particules et d'élargir la plage de pH optimale.
- On augmente la turbidité de l'eau, afin d'alourdir le floe, ou on ajoute un aide-coagulant (silice activée ou poly-électrolyte) pour alourdir et renforcer le floe.

4) Influence du coagulant

Le choix du coagulant peut influencer les caractéristiques de la coagulation. Ainsi, même si l'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Cette dernière procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimale plus large que celle due à l'aluminium. On ne peut choisir un coagulant et on déterminera la concentration optimale, pour une eau donnée, qu'après avoir effectué des essais en laboratoire [1, 41].

5) Influence du mélange

Au cours de la coagulation et de floculation, on procède au mélange des produits chimiques en deux étapes. A la première étape, le mélange est énergique et de courte durée (120 s au maximum) : c'est le mélange rapide. Ce mélange a pour but principal de disperser les produits dans la totalité du volume d'eau à traiter. On effectue le mélange rapide en injectant les produits chimiques dans une zone de forte turbulence ou en utilisant des équipements de mélange mécanique. Un mélange rapide inadéquat entraîne en général un accroissement de la quantité de produits chimiques nécessaires.

A la deuxième étape, le mélange est lent et il a pour but de favoriser les contacts entre les particules de floc, de turbidité et de couleur. Cependant, le mélange doit être suffisamment énergique pour engendrer des différences de vitesses de l'eau dans le bassin, mais pas trop. En effet, si tel est le cas, les forces de cisaillement qui s'exercent sur les particules de floc risquent de briser ce dernier, même si la durée du mélange dans un bassin de floculation peut n'être que de 10 min (elle varie en général de 30 à 60 min).

6) Influence de la turbidité

La turbidité des eaux de surface est en grande partie due à la présence de particules de glaise dont le diamètre varie de 0.2 à 5.0 μm . Il s'agit donc là de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. La coagulation de ces particules est assez facile à réaliser lorsqu'on maintient le pH dans la plage optimale. On peut faire par ailleurs les constatations générales suivantes :

- Il faut ajouter une concentration minimale de coagulant pour obtenir une certaine quantité de floc.
- Lorsque la turbidité augmente, il faut augmenter la concentration de coagulant. L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie toutefois pas de façon linéaire en fonction de l'augmentation 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.
- La matière organique adsorbée sur les particules de glaise n'exerce aucune influence sur la quantité de coagulant nécessaire.
- Lorsque la turbidité est due à des particules de diamètres variés, il est plus facile d'effectuer la coagulation que lorsqu'elle est imputable à des particules de diamètres sensiblement égaux.

- La coagulation d'une faible concentration de particules de glaise dépend principalement du coagulant et de la composition chimique de l'eau.
- Il est plus difficile de coaguler les eaux contaminées par des eaux d'égout domestiques et industrielles, car elles exigent des concentrations de coagulant plus importantes que les eaux non contaminées.

III.4.2- Coagulation de la couleur

En général, la couleur d'une eau est due à la décomposition de matières organiques contenues dans l'humus des sols.

On peut dire que les particules responsables de la couleur sont de nature organique, hydrophile, petite et chargées négativement.

La coagulation c'est aussi l'élimination de la couleur, c'est-à-dire des matières organiques à l'état colloïdal et dissous et les micropolluants organiques [40].

III.5- Critères de conception : [26]

A)-Bassin de coagulation :

- Le temps de rétention hydraulique d'un tel bassin doit être conforme aux recommandations du fournisseur du décanteur (ou autre ouvrage appelé à fournir une garantie de performance sur le procédé) et être d'au moins 1 à 2 minutes, sur la base du débit de conception. En eau froide, il peut être parfois préférable de prolonger la rétention pour permettre un contact efficace entre l'eau et le coagulant. Le temps de rétention requis peut également varier selon la vitesse de réaction du coagulant utilisé.
- Le bassin doit être équipé d'une unité mécanique de mélange rapide. Le gradient de vitesse doit respecter les recommandations du fournisseur du type de décanteur utilisé et être de l'ordre de 300 à 1500 s⁻¹ selon les applications (les valeurs supérieures s'appliquant pour la coagulation par neutralisation des charges).
- L'entrée d'eau brute ne doit pas être dirigée directement sur l'arbre ou l'hélice de l'agitateur.
- L'entrée et la sortie du bassin doivent être disposées de manière à éviter les courts-circuits hydrauliques.

B)-Mélangeur statique :

Le mélangeur statique peut être utilisé lorsque le mode de coagulation principal se fait par neutralisation des charges (le temps de réaction du coagulant est court, soit de l'ordre de 0,5 à 1,0 s) et lorsque le débit d'eau brute ne varie pas ou très peu (l'énergie de mélange varie avec le débit). Le nombre d'éléments de mélange intérieur doit être choisi en fonction du débit et des produits chimiques injectés. Ces éléments doivent être amovibles pour des raisons

d'entretien. L'injection du coagulant doit se faire, de préférence, directement dans le mélangeur statique.

C)-Autres éléments importants de conception : [26]

- Le dosage doit être effectué de façon continue et proportionnelle au débit.
- Lorsqu'un agitateur est utilisé, le coagulant doit être injecté dans la zone où la turbulence est la plus grande, soit au-dessus ou au-dessous de l'hélice selon qu'elle refoule ou aspire l'eau. Il est souhaitable de prévoir au moins un autre point de dosage supplémentaire pour s'assurer que le mélange sera optimisé pour toutes les périodes de l'année.
- Lorsqu'un mélangeur statique est utilisé avec des pompes de type à pulsations, la fréquence de pulsation de ces dernières doit être beaucoup plus élevée que dans le cas d'un bassin de mélange rapide (en raison du faible temps de séjour).
- Des déflecteurs peuvent devoir être nécessaires dans le bassin de coagulation pour éviter la formation d'un vortex, ce dernier pouvant diminuer l'efficacité du mélange.

III.5.1- Choix des réactifs, de leurs doses et du pH de coagulation :

1) Choix du coagulant :

Le coagulant est de préférence choisi suite à des essais (cf. ci-dessous). Ces essais doivent être guidés par les connaissances acquises et habituellement vérifiées en usine:

- le chlorure ferrique est plutôt utilisé pour les eaux peu minéralisées, riches en matière organique naturelle dissoute (eau douce de cours d'eau et eau de retenue).
- le sulfate d'aluminium et les polychlorures d'aluminium (PCA) sont plutôt utilisés pour des eaux minéralisées, peu chargées en matières organiques (eau de cours d'eau) avec une préférence pour les PCA en eau froide.

2) Choix de la dose et de pH :

Les variables permettant d'agir sur le processus de coagulation pour obtenir le meilleur résultat possible sont pour un coagulant donné, sa dose, le pH de coagulation, ainsi que secondairement les conditions d'agitation (gradient de vitesse et durée d'agitation). Cependant, la complexité du système est telle que les bases théoriques de la coagulation/floculation ne permettent pas à elles seules de préciser les conditions optimales de traitement pour une eau donnée. Il faut toujours avoir recours à l'expérience dite du « flocculateur à hélices » ou « Jar-test » [41].

III.5.2-Appareillage et méthode du « Jar-test » :

L'appareillage utilisé est généralement constitué d'un agitateur à hélices multipostes (4 ou 6 postes), muni d'un variateur de vitesse et d'un compte-tours [34, 39,41].

À chaque poste est disposé un béccher d'un volume d'un litre. Chaque béccher est rempli du même volume d'eau, puis trois principales opérations sont réalisées :

- 1^{ère} étape : introduction du coagulant sous agitation rapide (100 à 200 tr/min) pendant 2 à 3 minutes (temps qui peut être parfois plus long) et ajustement éventuel du pH (si possible avant l'introduction du coagulant). C'est la phase de coagulation.
- 2^e étape : agitation lente (20 à 40 tr/min) pendant 10 à 20 minutes. C'est la phase de grossissement des floccs ou floculation.
- 3^e étape : décantation pendant 10 à 60 minutes, selon le type de décanteur utilisé.
- entre la 1^e et la 2^e étape, il peut être testé l'introduction d'un réactif floculant (ou d'un charbon actif en poudre) à la fin de la phase de coagulation, toujours sous agitation rapide très courte.

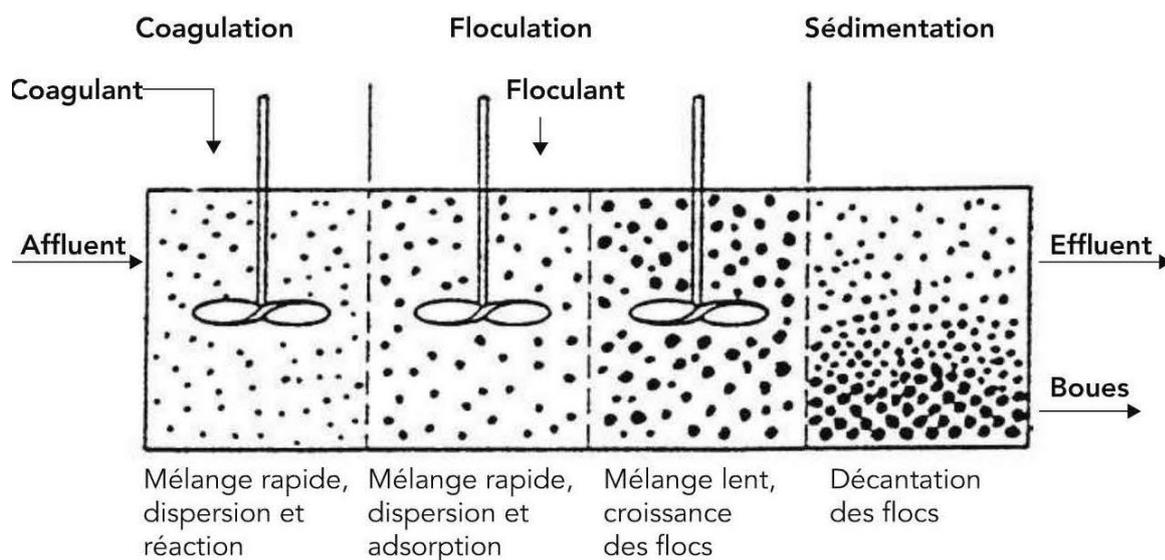


Figure n°9: Schématisation de la séquence des opérations de l'expérience «Jar-test».

Une appréciation notée doit être attribuée à chaque béccher en tenant compte de la taille des floccs et de leur vitesse de décantation. Une mesure de potentiel (ou du « streaming current ») peut être réalisée pendant l'étape de coagulation.

En fin d'expérience, les prélèvements d'eau décantée doivent être réalisés à la même profondeur dans chaque béccher, par exemple avec un tube en S dont l'extrémité dans l'eau est orientée vers la surface de façon à ne pas prélever les boues décantées. Plusieurs contrôles analytiques peuvent être alors effectués sur les prélèvements d'eau décantée et parfois d'eau filtrée.

III.6- Floculation :

La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des floes sous l'influence d'une agitation lente avec ou sans utilisation d'additifs (floculant) [41].

III.6.1-Floculation péricinétique :

En cas de floculation péricinétique, F_p , les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien [41]. On peut exprimer le taux de variation de la concentration des particules à l'aide de l'équation suivante :

$$F_p = \frac{dN}{dt} = - \frac{4\Gamma k\theta(N)^2}{3\eta} \quad (2)$$

D'où

N : concentration totale des particules en suspension au temps t (nombre de particules /m³).

Γ : facteur qui rend compte de l'efficacité des collisions (nombre de collisions effectives/nombre de collisions totales, une collision effective étant une collision qui entraîne l'agrégation des deux particules).

K : constant de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$).

Θ : température absolue (K).

η : viscosité dynamique de l'eau(Pa.s).

III.6.2 Floculation orthocinétique :

On appelle floculation orthocinétique F_o , la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. L'agitation facilite l'agrégation en augmentant la probabilité des collisions entre les particules. La vitesse du fluide est variable dans l'espace et dans le temps [34,41]. On caractérise la variation de la vitesse du fluide dans l'espace à l'aide d'un gradient de vitesse, G . On peut alors décrire le taux de la floculation à l'aide de l'équation suivante :

$$F_o = \frac{dN}{dt} = - \frac{2}{3} \Gamma G d^3 (NN_0) \quad (3)$$

avec :

d = diamètre des particules (m).

G = gradient de vitesse(s⁻¹).

Après intégration et en posant $N=N_0$ à $t = 0$ et $N=N$ à $t = t$, on obtient

$$\ln(N/N_0) = - \frac{(4/\pi) \Gamma G t (\pi d^3 N_0)}{6} \quad (4)$$

$(\pi d^3 N_0)/6$: Le volume total des particules par unité de volume de solution.

Pour de grosses particules, une agitation relativement faible est suffisante, pour obtenir un taux acceptable de floculation orthocinétique [34].

La figure n°10 : nous représente la bonne agrégation avec l'étape de floculation [34].

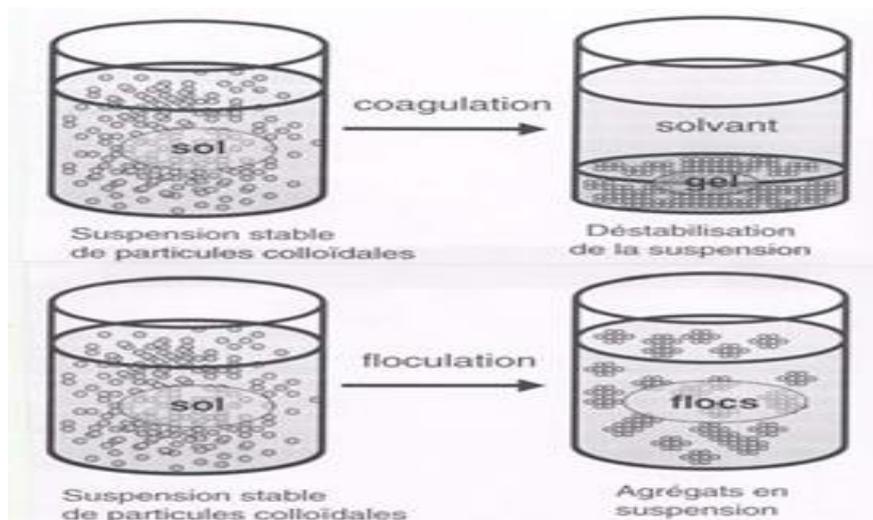


Figure n°10 : Evolution de la coagulation floculation [41].

III.6.3 Type de flocculant :

1) Flocculants minéraux :

- **Silice activée :**

La silice activée a été le premier flocculant employé. Elle donne de bons résultats principalement quand elle est associée au sulfate d'aluminium en eau froide. Peu stable, elle est préparée juste avant utilisation par neutralisation partielle de l'alcalinité d'une solution de silicate de sodium, elle est introduite après le coagulant [34, 41]

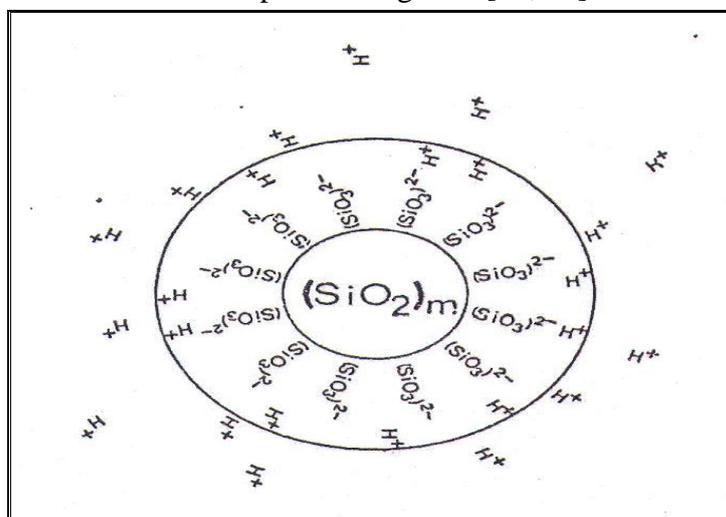


Figure n°11 : La silice activée

2) Flocculants organiques

- **Origine naturelle :** Acide alginique, Alginates de sodium (polymères anioniques linéaires) formes commerciales : Aqualgine, Sobalgine, Cellalgine, etc.
- **Origine synthétique :** Polyélectrolytes anioniques, cationiques ou non ioniques, à très haute masse molaire (Polyacrylates, polyacrylamides, polyamines).

III.7-Partie Expérimental :

III.7.1-Etude de cas :

Nous avons étudié l'efficacité de trois coagulants, le sulfate d'aluminium, le sulfate ferrique et chlorure ferrique sur une eau de la station de traitement des eaux de BOUDOUAOU

III.7.1.1-Coagulation par sulfate d'alumine :

Tableau n°12 : Optimisation du coagulant

Doses de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (mg/L)	10	20	30	40	50	60	70	80
Turbidité (NTU)	4,73	3,41	2,91	2,07	2,00	1,73	2,00	2,10
Densité optique (UV=254nm)	0,073	0,064	0,176	0,168	0,170	0,161	0,164	0,165
pH	7,78	7,51	7,40	7,32	7,24	7,17	7,10	7,03
TAC (°F)	22	21,2	21	17	16,6	16,2	15,4	15

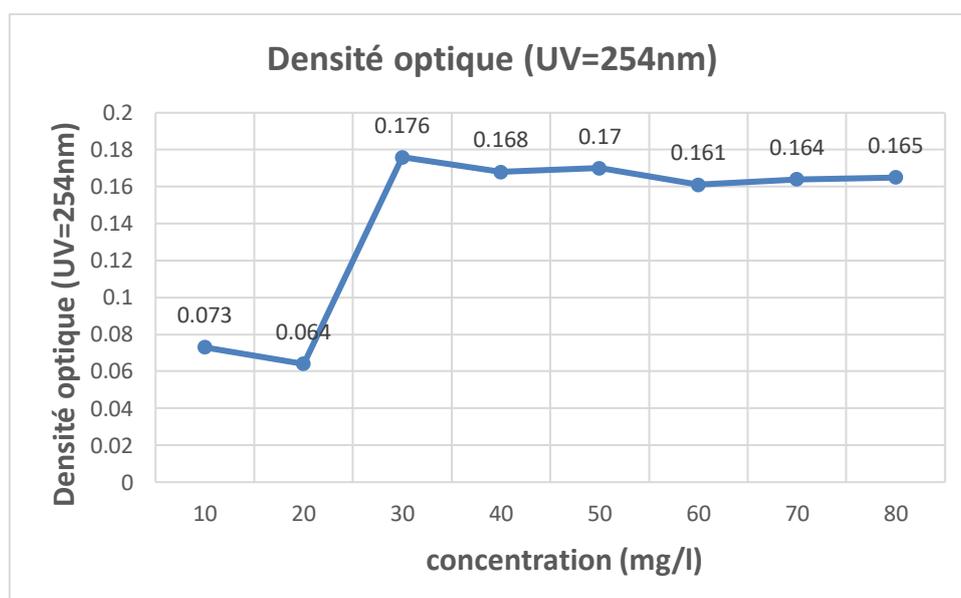


Figure n° 12 : Evolution de la densité optique en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$

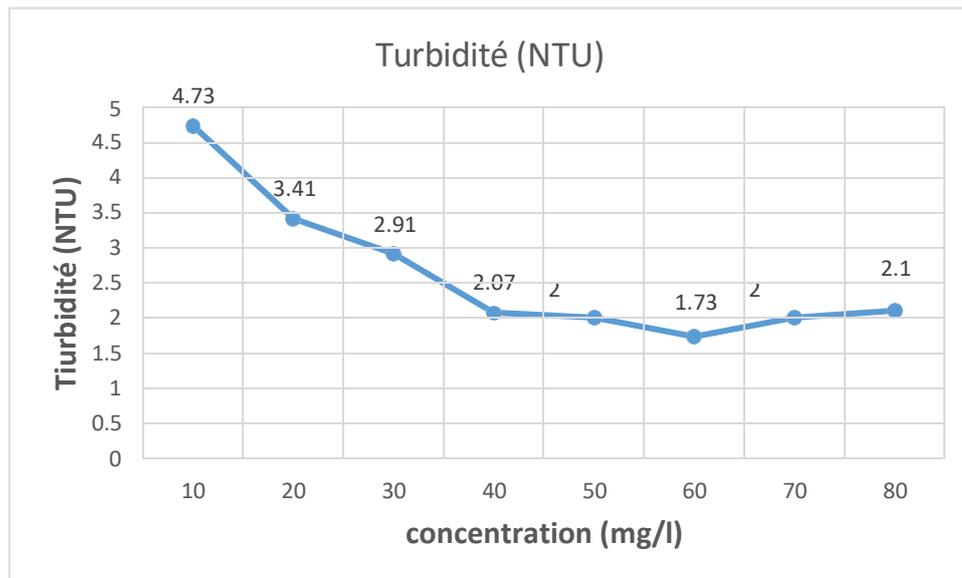


Figure13 : Evolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$

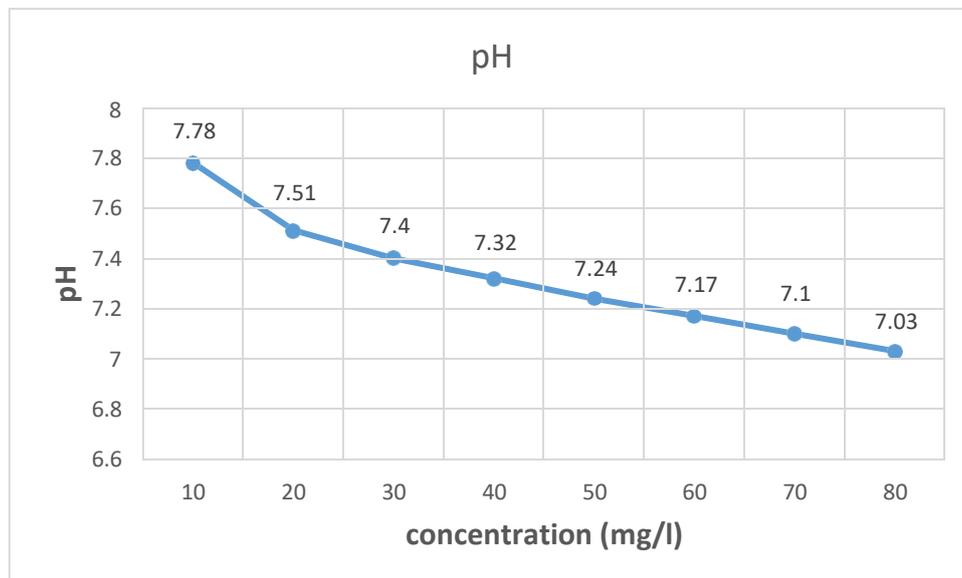


Figure 14 : Evolution du pH en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$

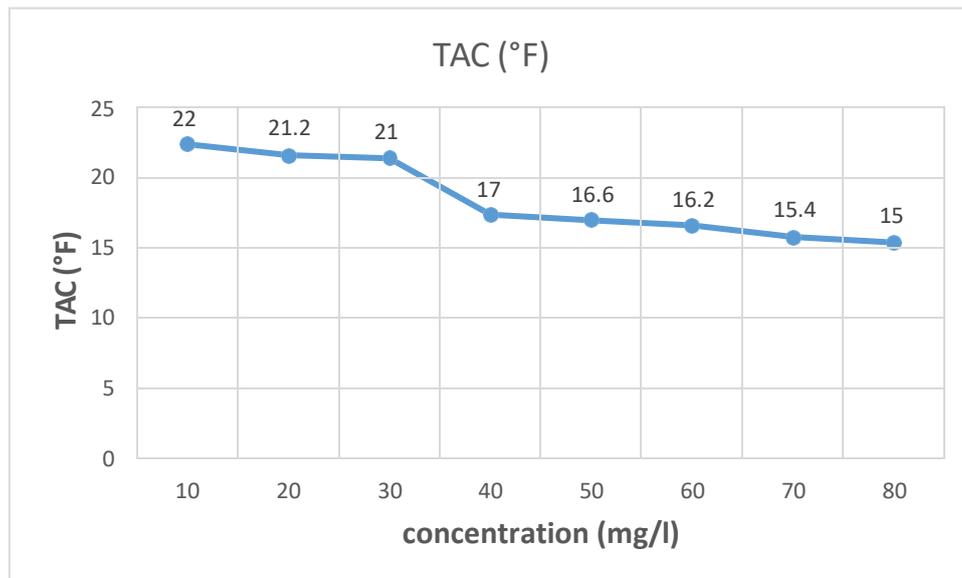
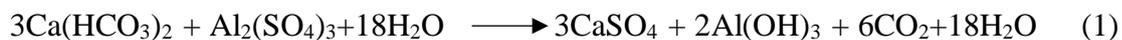


Figure 15 : Evolution du TAC en fonction des doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3$

➤ **Interprétation des résultats :**

On remarque une diminution de la turbidité grâce à l'effet du coagulant le sulfate d'alumine, la concentration de 60 mg/l du coagulant donne la plus faible valeur de la turbidité 1,73 (NTU). Donc cette concentration est la dose optimale, et pour une vue économique la meilleure valeur de la concentration du coagulant est de 40 mg/l pour une turbidité de 2,07 (NTU).

Une diminution de la turbidité à cause de l'agglomération des matières en suspension, puis la formation et la précipitation des floes sous forme d' $Al(OH)_3$ selon la réaction 1 suivante :



On remarque une diminution de pH et le TAC grâce à la réaction du sulfate d'aluminium avec les ions bicarbonates HCO_3^- qui sont transformés en gaz carbonique (réaction 1).

Cette longueur d'onde (254 nm) n'autorise pas l'identification d'une classe de chromophore particulière, mais elle permet de caractériser la présence de systèmes conjugués (noyaux aromatiques en particulier), très abondants dans les structures macromoléculaires qui constituent la matière organique dissoute des eaux naturelles.

Nous avons aussi constaté une valeur minimale de l'absorbance à 254 nm (0,043) pour une concentration optimale de 50 mg/l de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

➤ **Optimisation du flocculant :**

Tableau n°13: L'optimisation du flocculant

Dose optimale $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	60	60	60	60	60	60
Poly-électrolyte (ppm)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,150
Turbidité (NTU)	0,80	0,75	0,73	0,58	0,75	0,95
Densité optique (UV=254nm)	0,058	0,046	0,045	0,044	0,043	0,045
pH	7,14	7,15	7,16	7,16	7,15	7,15
TAC (°F)	15,8	15	14,4	14,8	14,6	15,80

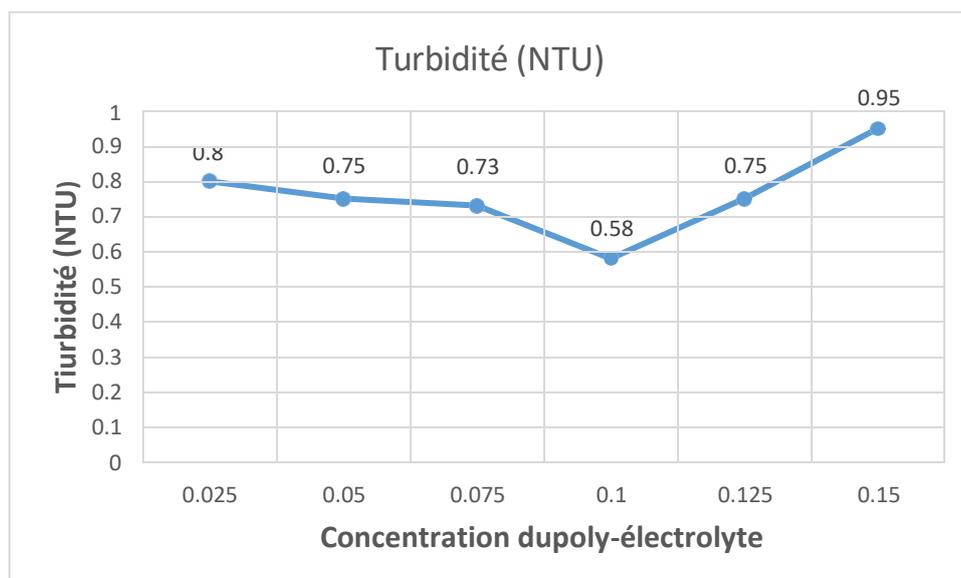


Figure n°16 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration du Poly-électrolyte

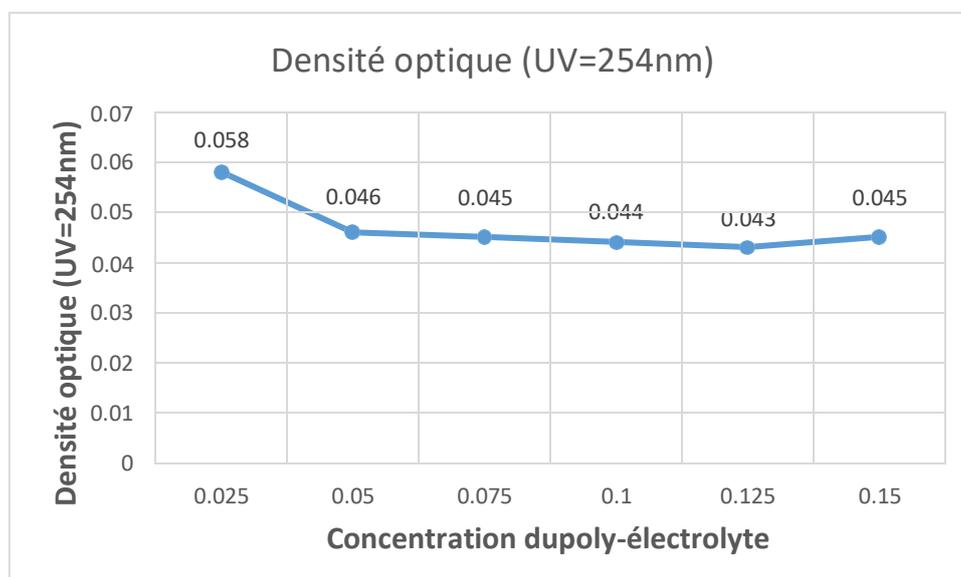


Figure n°17 : Evolution de la densité optique en fonction de la concentration du Poly-électrolyte

➤ Interprétation des résultats :

On remarque que la meilleure concentration de la turbidité est 0,58 (NTU) à cause d'une concentration en poly-électrolyte de 0,1 (ppm).

Pour le pH, le TAC et la turbidité, ils ont des valeurs constantes et indépendantes de la dose du poly-électrolyte.

On constate que la dose de floculant qui donne la plus faible valeur de l'absorbance en UV à 254 nm est égale à 0,125 ppm avec une densité optique (UV= 254 nm) de 0,043, mais reste très proche de la valeur optimale d'élimination de la turbidité qui donne une densité optique de 0,044.

Chapitre III le procédé de coagulation-floculation et étude de cas

Tableau n°14 :Optimisation du coagulant (FeCl₃, 6H₂O)

Doses de FeCl ₃ .6H ₂ O(mg/l)	10	20	30	40	50	60	70	80
Turbidité (NTU)	2,07	1,36	1,21	0,79	0,52	0,84	0,87	0,92
Densité optique (UV=254nm)	0,083	0,066	0,060	0,054	0,043	0,057	0,059	0,061
pH	7,67	7,36	7,23	7,10	7,01	6,96	6,95	6,93
TAC	19	18,4	18,2	17	16,6	16	15,40	15,2

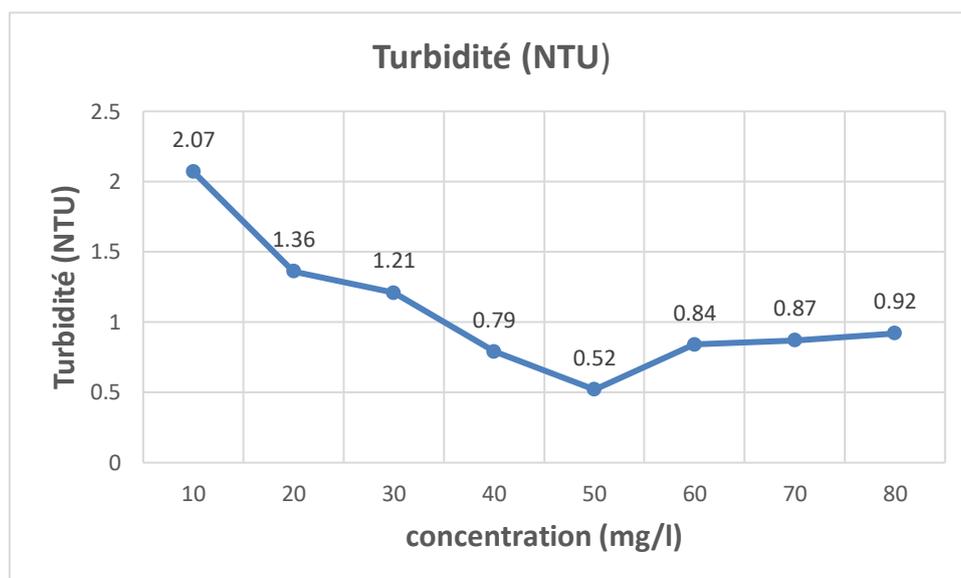


Figure n°18: Evolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant FeCl₃

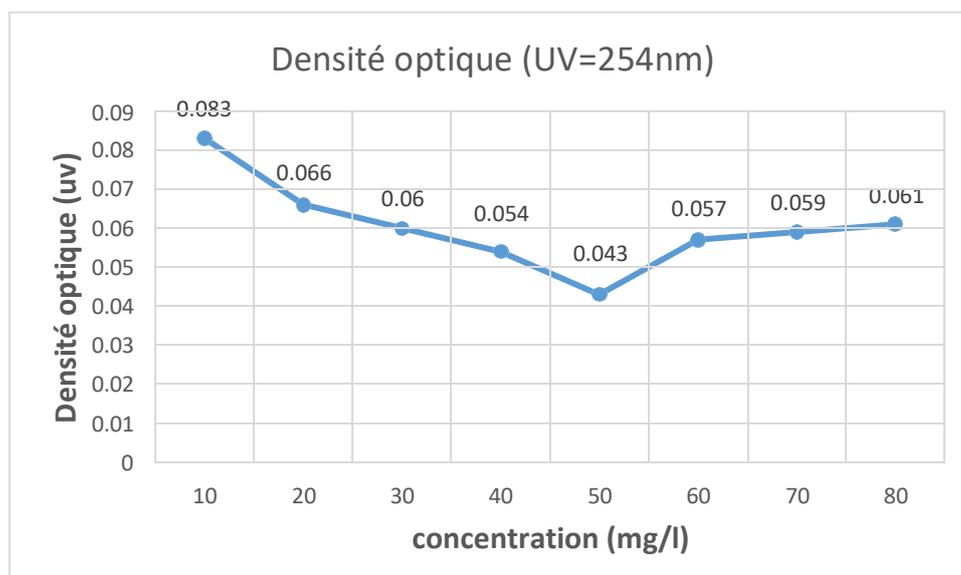


Figure n°19 : Evolution de la densité optique en fonction des doses du coagulant FeCl₃

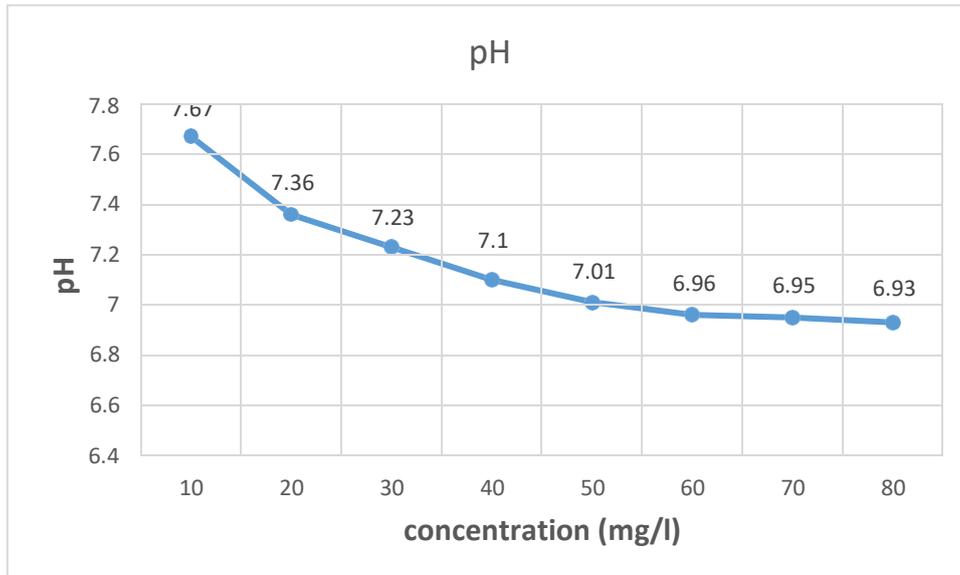


Figure n°20 : Evolution du pH en fonction des doses du coagulant FeCl₃

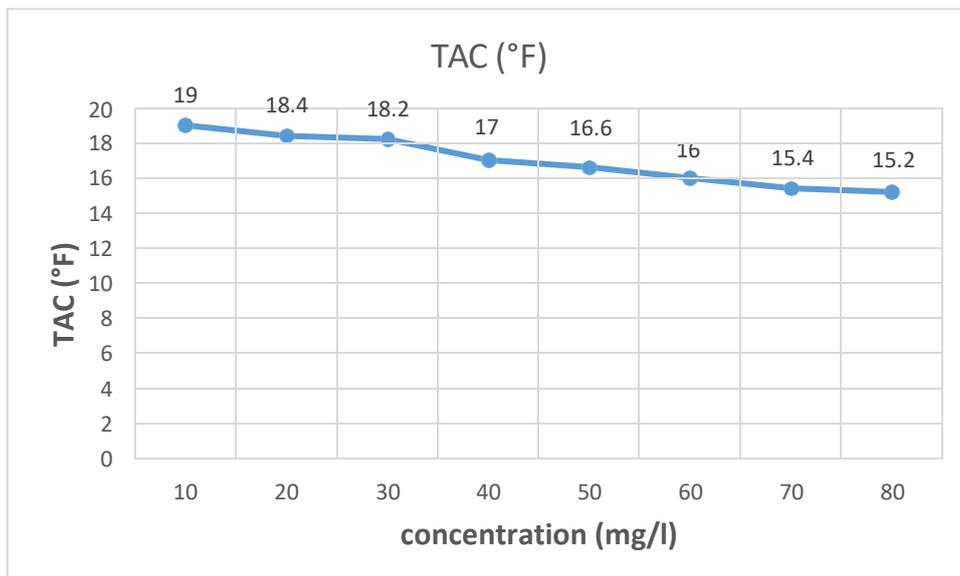


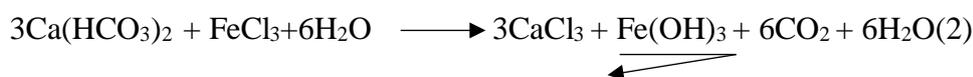
Figure n°21 : Evolution du TAC en fonction des doses du coagulant FeCl₃

➤ **Interprétation des résultats :**

On remarque qu'il y a une diminution de la turbidité, et la meilleure concentration du coagulant chlorure ferrique qui donne la plus faible turbidité (0,52 NTU) est de 50 (mg/l).

Et pour une vue économique, la meilleure valeur de la concentration du coagulant chlorure ferrique est de 40 (mg/l) pour une turbidité de 0,79 (NTU).

Concernant le pH et le TAC, il y a une diminution en fonction de la concentration du coagulant, selon la réaction suivante :



➤ **Optimisation du floculant :**

Tableau n°15 : Optimisation du floculant

Dose optimale de FeCl ₃ , 6H ₂ O (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Poly-électrolyte (ppm)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,150
Turbidité (NTU)	0,582	0,728	0,52	0,604	0,736	0,880
pH	6,879	6,882	6,909	6,908	6,894	6,897
Densité optique (UV=254nm)	0,043	0,045	0,044	0,045	0,047	0,055
TAC (°F)	15,6	15,20	15,00	14,60	14,20	13,8

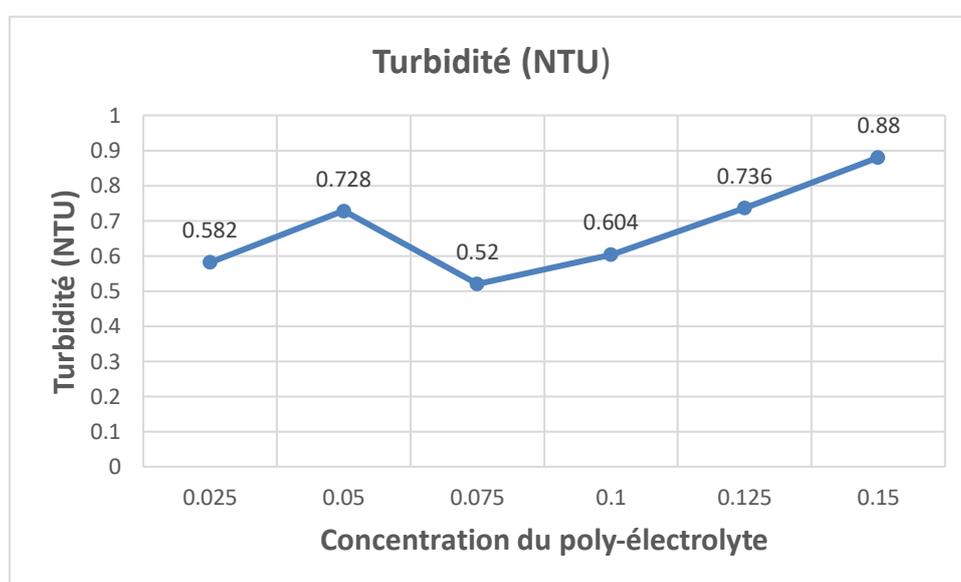


Figure n°22 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration du Poly-électrolyte

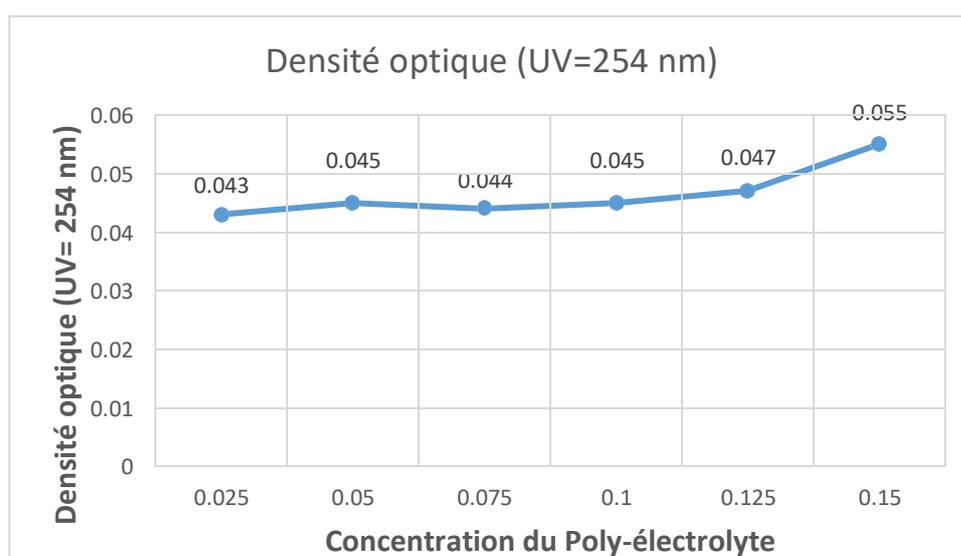


Figure n°23 : Evolution de la densité optique en fonction de la concentration du Poly-électrolyte

➤ Interprétation des résultats :

On remarque que la concentration de poly-électrolyte à 0,075 (ppm), nous assure la plus faible valeur de la turbidité 0,52 (NTU).

Le pH est stable, il ne varie pas en fonction des doses du floculant.

Pour le TAC il y a une faible diminution en fonction de la concentration du floculant poly-électrolyte.

Pour la densité optique (254 nm), nous remarquons une légère augmentation en fonction de la dose du coagulant.

III.7.1.3-Coagulation par sulfate ferrique ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$) :

Optimisation des résultats :

Tableau n°16 : Optimisation du coagulant $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Doses de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	10	20	30	40	50	60	70	80
Turbidité (NTU)	6,87	5,42	6,01	4,31	4,00	3,12	2,17	3,52

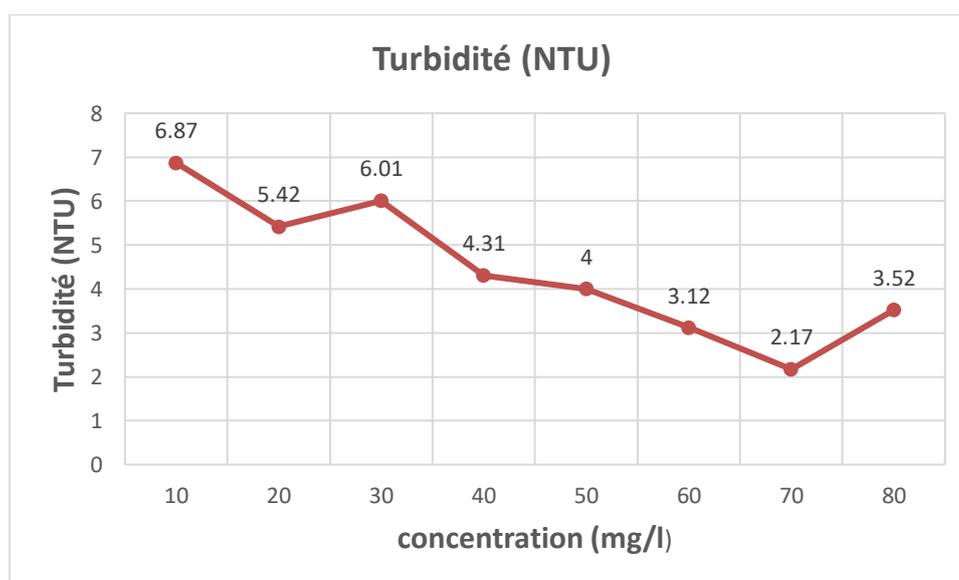


Figure n°24 : Evolution de la turbidité en fonction des doses du coagulant $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

➤ Interprétation des résultats :

On remarque qu'il y a une diminution de la turbidité, la dose du coagulant sulfate ferrique de 70 (mg/l) correspond à la plus faible turbidité 2,17 (NTU). Après la dose optimale du coagulant 70 (mg/l) il y a une augmentation de la turbidité.

➤ Optimisation du flocculant :

Tableau n°17 : Optimisation du flocculant

Dose optimal $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l)	70	70	70	70	70	70
Poly-électrolyte (ppm)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
Turbidité (NTU)	1,25	1,29	1,20	1,17	1,32	1,36

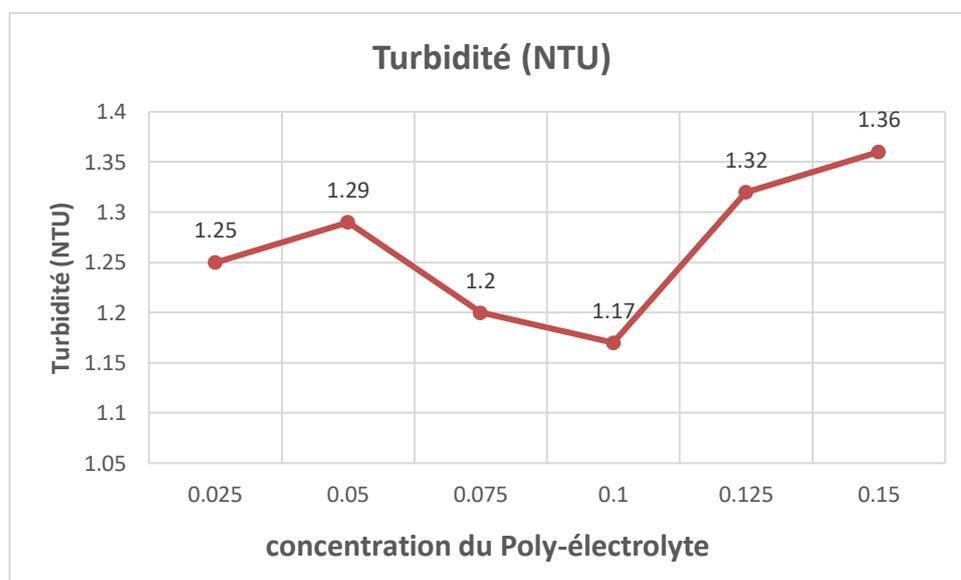


Figure n°25: Evolution de la turbidité en fonction de la concentration du Poly-électrolyte

➤ Interprétation des résultats :

Après l'utilisation du flocculant poly-électrolyte on remarque une diminution de la turbidité jusqu'à 1,17 (NTU) qui correspond à 0,1 (mg/l) de poly-électrolyte qui est la dose optimale.

III.7.2-Etude comparative entre les trois coagulants en fonction de la turbidité :

III.7.2.1-Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des coagulants:

Tableau n°18 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des coagulants

Concentration des coagulants (mg/l)	10	20	30	40	50	60	70	80
Sulfate d'alumine	4,73	3,41	2,91	2,07	2,00	1,73	2,00	2,10
Chlorure Ferrique	2,07	1,36	1,21	0,79	0,52	0,84	0,87	0,92
Sulfate ferrique	6,87	5,42	6,01	4,31	4,00	3,12	2,17	3,52

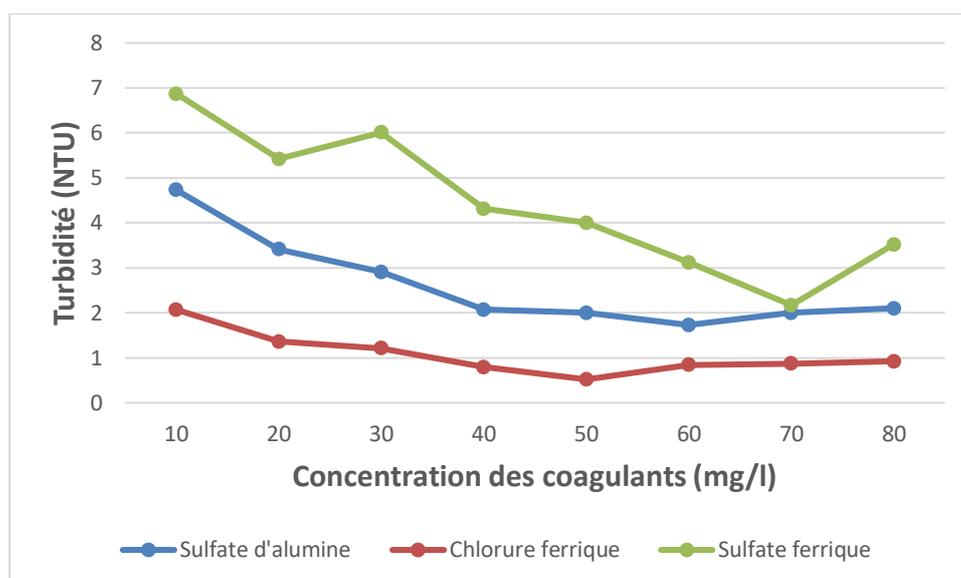


Figure n°26 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des coagulants

➤ **Interprétation des résultats :**

On remarque entre les 3 coagulants, le meilleur rendement d'abattement de la turbidité est du chlorure ferrique (0,52 NTU) avec une dose optimale de 50 mg/l. Ensuite le sulfate d'aluminium avec une turbidité de (1,73 NTU), et après le sulfate ferrique avec une turbidité de (2,17 NTU).

III.7.2.2-Evolution de la turbidité en fonction de la concentration des poly-électrolytes:

Tableau n° 19 : Optimisation du floculant (poly-électrolytes)

Concentration de poly-électrolyte (ppm)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
Sulfate d'aluminium	0,80	0,75	0,73	0,58	0,75	0,95
Chlorure Ferrique	0,582	0,728	0,52	0,604	0,736	0,880
Sulfate Ferrique	1,25	1,29	1,20	1,17	1,32	1,36

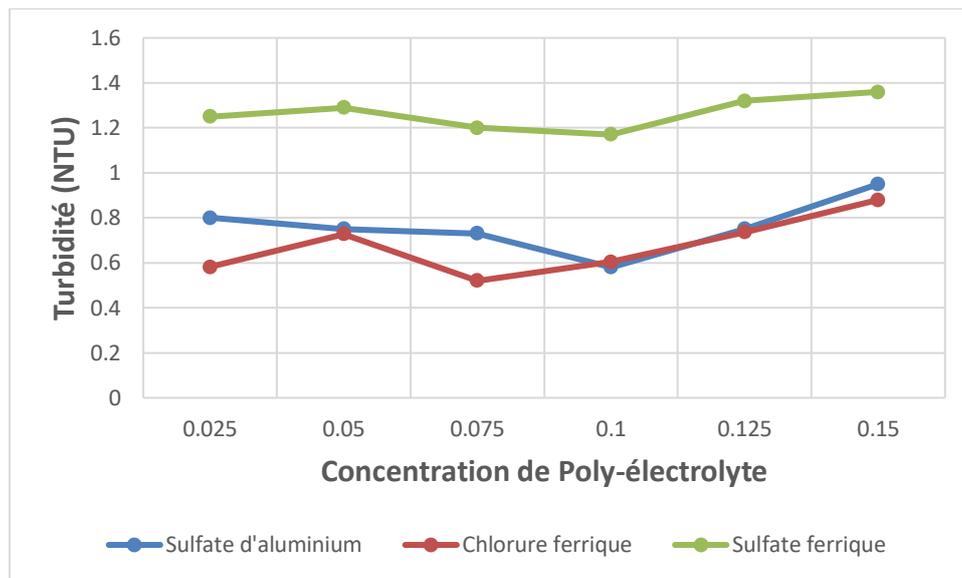


Figure n°27: Evolution de la turbidité des 3 coagulants en fonction de la concentration du poly-électrolyte

➤ Interprétation des résultats

Après l'ajout du flocculant (le poly-électrolyte) qui est un polymère anionique, on remarque une diminution de la turbidité dans les 3 coagulants, donc la meilleure turbidité est du chlorure ferrique (052 NTU), ensuite le sulfate d'aluminium avec une turbidité de (058 NTU), et après le sulfate ferrique (1,17NTU).

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ce travail on a traité des aspects théoriques qui résument les principaux procédés du traitement des eaux potables, nous avons expliqué le fonctionnement d'une chaîne classique d'une station de traitement des eaux, qui est divisée en plusieurs méthodes de traitement l'une qui complète l'autre, y compris la clarification.

La clarification (coagulation - floculation) fait partie des traitements de base, nous avons donc étudié la turbidité et la matière organique à travers le suivi de l'absorbance à l'UV à 254 nm.

Cette longueur d'onde (254 nm) n'autorise pas l'identification d'une classe de chromophore particulière, mais elle permet de caractériser la présence de systèmes conjugués (noyaux aromatiques en particulier), très abondants dans les structures macromoléculaires qui constituent la matière organique dissoute des eaux naturelles.

Lors de cette étude comparative pour l'optimisation des coagulants/ floculant, nous avons constaté que l'utilisation du chlorure ferrique donne des meilleurs rendements d'élimination de la turbidité par rapport au sulfate d'aluminium et au sulfate ferrique.

Nous avons aussi constaté une valeur minimale de l'absorbance à 254 nm (0,043) pour une concentration optimale de 50 mg/l de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Références bibliographiques

- [1] DEJSARDINS R. le traitement des eaux 2^{ème} édition, Ed. De l'école polytechnique de Montréal, 1997.
- [2] LEFEBVRE E. coagulation des substances humiques aquatique par le fer ferrique en milieu aqueux. Effet de la peroxydation, thèse de doctorat université de Poitiers, 1990.
- [3] BLIEFRT Claus. PERRAUD Robert. Chimie de l'environnement.
- [4] BOEGLIN Jean-Claude. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur traité environnement.
- [5] CARDOT Claude. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau paris, 1999.
- [6] DEGREMONT. Mémento technique de l'eau, technique et documentation
Tome 1, 1989.
- [7] FRENCIOS ; G. BRIERE, « distribution et collection des eaux 2^{ème} édition.
- [8] DAJOZ R. Précis d'écologie 4^{ème} édition Gauthier Villars, 1982
- [9] [http://environnement Wallonie.be/ewé](http://environnement.Wallonie.be/ewé). Le 27 aout 2020 à 01:00h
- [10] <http://www.sagasciences.fr>. Le 27 aout 2020 à 01:00h
- [11] Potelon JL & Zysman K, 1998
- [12] J.RODIER, l'analyse de l'eau 7^{ème} édition. Dunod, 1974.
- [13] Édu Scol culture Science-chimie,
, <http://culturesciences.chimie.sen.fr/dossiers-chimie-société- -ind.html>. 4/09/20 à 19 :00h
- [14] <http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/Analyse> Eau/physico_chimie_presGen.htm. 4/09/20 à 20h
- [15] JEAN-LUE. POTELON, le guide des analyses de l'eau potable.
- [16] <http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr.html>. 10/10/20 à 02 :00h
- [17] DJABRI L. Mécanismes de la pollution t vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de doctorat d'état, université d'Annaba, Algérie, 1996.
- [18] MIZI Abdelkader. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles. Thèse de doctorat d'état. Université d'Annaba, Algérie. 2006.
- [19] MARCEL Dore. Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P).
- [20] <http://www.paravarini.free.fr/> Le 17/10/20 à 02 :20h
- [21] www.gls.fr Le 17/10/20 à 02 :45h

- [22] O.M.S : Nitrates, Nitrite, et composés N-nitroso. O.M.S série critères.
- [23] http://www.senat/rap/102-215-2/102-215-2_mono.html#toc147#toc147 30/10/20 à 10h
- [24] DEGREMONT : 9^{ème} Ed. 1984 Tomel.
- [25] AFNOR, Qualité biochimique et micro biologique de l'eau 1999, Tome 4.
- [26] Dr BESSEDIK Madani, traitement de l'eau PDF, m_bessedik@mail.univ-tlemcen.dz
- [27] Masson, M.H, Canu, S. Grandvalet, Y. Lyngaard-Jensen. A. Software sensor design based on empirical data, Ecologique Mödling, 1999.
- [28] KETTAB A. Traitement des eaux "les eaux potables", O.P.U, Alger, 1992.
- [29] VALENTINE Nicolas. Construction d'un capteur logiciel pour le control automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable de l'UTC, thèse de doctorat, 2000.
- [30] RODIER J. l'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} édition 2009.
- [31] BEAUDRY Jean-Paul. Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada, 1984.
- [32] ACHOUR S, MOUSSAOUI K. Effet de chloration sur quelques types des eaux en Algérie, Tribune de l'eau, 1993.
- [33] DELAAT J, MERLET N, DORE M. Chloration de composés organiques : demande en chlore et réactivité vis-à-vis de la formation de trihalomithanes, Wat.Res, 1982.
- [34] EDELINE M.F. Epuration physico-chimique des eaux, 2^{ème} édition, Ed. CEBEDOC.1992
- [35] VALIRON F, Gestion des eaux : alimentation en eau- assainissement, presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris, 1989.
- [36] MOUCHET P, Les modalités de traitement des eaux brutes. STP. Pratiques, 1991.
- [37] KEMMER F.N Manuel de l'eau, Ed. NALCO, 1984
- [38] DEGREMONT, Mémento technique de l'eau, Lavoisier SAS Lexique technique de l'eau, paris, dixième édition, 2005.
- [39] VIGOURET J. Le potentiel Zeta et son application dans le domaine de l'eau potable, TSM, 1985.
- [40] D.M. Ruthven. Principal of adsorption and adsorption processe. John Wiley and Sons, 1984.
- [41] BOTTERO J. Y, LARTIGES B. Séparation liquide-solide par coagulation-floculation : les coagulants/floculant, mécanismes d'agrégation, structure et densité des floccs, Mines et carrières Industrie minérales. Les Techniques, 1992.

Résumé :

Les procédés mécaniques et physiques comme le dégrillage et le dessablage ont permis d'éliminer une grande partie des matières contenues dans l'eau. Mais après ces opérations l'eau contient toujours une quantité de substances composées de colloïdes, de suspension très fines difficilement décantables. Une des méthodes les plus utilisées pour les éliminer est la coagulation floculation. Il s'agit d'une étape essentielle dans la chaîne de traitement des eaux.

L'objectif de notre travail est de revoir la chaîne classique des procédés du traitement de l'eau potable d'une station de traitement des eaux, tout en axant sur le procédé de coagulation floculation et enfin le travail se termine par une étude de cas.

Cette étude de cas consiste à comparer l'efficacité des coagulants / flocculant utilisés par rapport à l'élimination de la turbidité. A travers notre étude, le coagulant chlorure ferrique donne des meilleurs rendements d'élimination de la turbidité par rapport au sulfate d'aluminium et au sulfate ferrique. Nous avons aussi constaté une valeur minimale de l'absorbance à 254 nm (0,043) pour une concentration optimale de 50 mg/l de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Mots-clés : coagulation-floculation, turbidité, chlorure ferrique, sulfate ferrique, sulfate d'aluminium, colloïde.

Abstract:

Mechanical and physical processes such as screening and grit removal have removed much of the material in the water. But after these operations, the water always contains a quantity of substances composed of suspended matter, colloids, very fine suspensions which are difficult to settle. One of the most used methods of removing them is coagulation flocculation. This is an essential step in the water treatment chain.

The objective of our work is to review the classic chain of drinking water treatment processes in a water treatment plant, while focusing on the coagulation-flocculation process and finally the work ends with a case study.

This case study compares the effectiveness of the coagulants / flocculants used against turbidity removal. Through our study, the ferric chloride coagulant gives better turbidity removal performance compared to aluminum sulfate and ferric sulfate. We also found a minimum value of the absorbance at 254 nm (0.043) for an optimal concentration of 50 mg/l $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Keywords: coagulation-flocculation, turbidity, ferric chloride, ferric sulfate, aluminum sulfate, colloid.

ملخص

أدت العمليات الميكانيكية والفيزيائية مثل الغربلة وإزالة الحصى إلى إزالة الكثير من المواد في الماء. ولكن بعد هذه العمليات، يحتوي الماء دائمًا على كمية من المواد المكونة من مادة معلقة، وغرويات، ومعلقات دقيقة جدًا يصعب ترسيبها. واحدة من أكثر الطرق استخدامًا للتخلص منها هي التلبد التخثر. هذه خطوة أساسية في سلسلة معالجة المياه.

الهدف من عملنا هو مراجعة السلسلة الكلاسيكية لعمليات معالجة مياه الشرب في محطة معالجة المياه، مع التركيز على عملية تخثر التلبد وأخيرًا ينتهي العمل بدراسة حالة.

تتكون دراسة الحالة هذه من مقارنة فعالية مواد التخثر / مادة التلبد المستخدمة فيما يتعلق بالقضاء على التعكر. من خلال دراستنا، يعطي تخثر كلوريد الحديد أداءً أفضل في إزالة التعكر مقارنة بكبريتات الألومنيوم وكبريتات الحديد. وجدنا أيضًا قيمة

امتصاص دنيا عند 254 نانومتر (0.043) لتركيز مثالي قدره 50 مغ/لتر من $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

الكلمات المفتاحية: المادة العالقة، التخثر - التلبد، التعكر، كلوريد الحديد، الغرواني